УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 7 2018

ISSN 1681-7494

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,560

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,311

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

Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,560.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,311.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ИД «Академия Естествознания»

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

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

Подписано в печать – 01.08.2018
Дата выхода номера – 01.09.2018

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

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

Способ печати – оперативный.
Распространение по свободной цене.
Усл. п.л. 26,75
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/7-2018
Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОИСКУ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА 4-МЕТИЛФЕНИЛ(БЕНЗИЛ) АМИДОВ N-БЕНЗОИЛ-5-БРОМ(5-ЙОД)АНТРАНИЛОВЫХ КИСЛОТ НА ОСНОВЕ РАССЧИТАННЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
Андрюков К.В., Коркодинова Л.М. 9

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЯ НА АНТИРАДИКАЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ
Анохина И.Н., Скрыпник Л.Н. 15

СОСТАВ ВОДОРАСТВОРИМОГО ПОЛИСАХАРИДНОГО КОМПЛЕКСА ПЛОДОВ ИРГИ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС
Лаксаева Е.А. 20

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИКОТРОФНОСТИ PINUS SYLVESTRIS L. В НАСАЖДЕНИЯХ, ПОВРЕЖДЕННЫХ HETEROBASIDION ANNOSUM (FR.) BREF.
Адамович И.Ю. 26

КУЛЬТУРЫ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (QUERCUS ROBUR L.) НА РЕКУЛЬТИВИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ
Андронова М.М. 32

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ОТЧУЖДЕНИЯ НА ОТРАСТАНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВ УМЕРЕННОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ
Горчакова А.Ю. 37

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА ЧИСЛЕННОСТЬ ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКИХ ГРУПП МИКРООРГАНИЗМОВ В СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ
Зинченко М.К., Зинченко С.И. 43

ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИИ ИНБРЕДНЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ
Ильин В.С., Логинова А.М., Гетц Г.В. 48

ПОДБОР РАННЕСПЕЛЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ ДЛЯ КОРМОВЫХ СЕВООБОРОТОВ В УСЛОВИЯХ ВОЛГО-ВЯТСКОГО РАЙОНА
Соколова Е.А., Мефодьев Г.А., Свечников А.К. 54

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР
Тедеева А.А., Хохоева Н.Т., Тедеева В.В. 59

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ МЕЖДУРЯДИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗДОРОВОГО КАРТОФЕЛЯ
Уромова И.П., Штырлина О.В., Васюкова Е.А., Логинова Т.А. 65

АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ВАСИЛЬКА СИНЕГО (CENTAUREA CYANUS L.) НА КОРМОВЫЕ ЗЛАКИ
Чегодаева Н.Д., Маскаева Т.А., Лабутина М.В. 71

Науки о Земле (25.00.00)

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩИЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА «ПАССАЖ», Г. ЕКАТЕРИНБУРГ)
Абатурова И.В., Савинцев И.А., Стороженко Л.А., Корчак С.А. 77

СОСТОЯНИЕ ПОРОД У ЗАБОЕВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ НА ОСНОВЕ ПОВОРОТНЫХ КОНВЕЙЕРОВ
Бейсембаев К.М., Нокина Ж.Н., Телиман И.В., Абдугалиева Г.Б. 83

ПРОГНОЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЕОСИСТЕМ СЕВЕРНОГО ПРИОЛЬХОНЬЯ
Бибаева А.Ю. *90*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ВУКТЫЛЬСКОЙ ПЛОЩАДИ ПРИ ПОМОЩИ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Вельтистова О.М., Мотрюк Е.Н. *95*

ВОПРОСЫ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ ОТХОДОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ И РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)
Горбунова О.И., Каницкая Л.В. *102*

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ ГИДРОАКУСТИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЗАГЛУШЕННЫХ ПОДВОДНЫХ СКВАЖИН
Дмитревский Н.Н., Ананьев Р.А., Мелузов А.А., Шабалин Н.В., Ремизова Д.М. *109*

АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ ПРИ «БОЛЬШИХ ДЫХАНИЯХ»
Елизарьев А.Н., Гапонов В.М., Юсупов Т.Р., Тараканов Д.А., Тараканов Дм.А. *116*

ДИСКУССИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПАЛЕОГЕОГРАФИИ ПЛЕЙСТОЦЕНА ЛЕДНИКОВЫХ ОБЛАСТЕЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
Зыкин В.С., Зыкина В.С. *121*

ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОМПОНОВКИ НИЗА БУРОВОЙ КОЛОНКИ С УЧЕТОМ НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ ФАКТОРОВ
Иванов Р.О., Лушпей В.П., Панков М.Е. *129*

ПРИРОДНО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ КАРКАС ГОРОДСКОГО ОКРУГА И ДОЛИНЫ МАЛЫХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЧЕБОКСАРЫ)
Казаков Н.А., Еремеева С.С., Караганова Н.Г., Михайлова Е.В. *136*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ОТХОДОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ УНАЛЬСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА
Каманина И.З., Пухаева Н.Е., Густова М.В., Фронтасьева М.В., Чигоева Д.Н., Каплина С.П. *142*

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛИТОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ
Константинов А.О., Лойко С.В., Курасова А.О., Кулижский С.П. *151*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОТВЕСНЫХ ГРАНИЦАХ ШАХТНОГО ПОЛЯ ПО ИЗМЕРЕННЫМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СДВИЖЕНИЯМ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
Кравчук А.С., Смалюк А.Ф., Славашевич С.И., Мисников В.А. *157*

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТОРФА – ОСНОВА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТИПИЧНЫХ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ
Кузнецова И.А., Ларионов Н.С. *165*

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЁННОСТИ ВОДНЫХ МАСС И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОЁМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ КАЛИНИНСКОЙ АЭС ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
Кузовлев В.В., Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б., Чекмарёва Е.А. *171*

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКА И ОКРЕСТНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ LANDSAT-8
Матузко А.К., Якубайлик О.Э. *177*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИЗУЧЕНИИ РЕЖИМА ЗАТОПЛЕНИЯ И СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЛИМАНОВ
Онаев М.К., Туктаров Р.Б., Тарбаев В.А., Гафуров Р.Р. *183*

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РЕГИОНАХ РОССИЙСКОГО ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА
Степанько Н.Г. *189*

ПОТОКИ ВЕЩЕСТВА ИЗ АТМОСФЕРЫ В БЕРЕГОВУЮ ЗОНУ
ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ
Топчая В.Ю., Чечко В.А. 194

ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД
НА ТЕРРИТОРИИ И В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА ЧИТЫ
Усманова Л.И. 200

Научный обзор

Науки о Земле (25.00.00)

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ И ЦИФРОВАЯ МЕЛИОРАЦИЯ: МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ
Напрасников А.Т. 209

CONTENTS

Chemical sciences (02.00.00)

A THEORETICAL APPROACH TO THE SEARCH CONDITIONS OF SYNTHESIS OF 4-METHYL PHENYL(BENZYL)AMIDE N-BENZYL-5-BROMO (5-IODINE) ANTHRANILIC ACIDS ON THE BASIS OF THE CALCULATED THERMODYNAMIC PARAMETERS
Andryukov K.V., Korkodinova L.M. 9

EFFECT OF SOLVENT ON ANTIRADICAL ACTIVITY OF MEDICINAL PLANT EXTRACTS
Anokhina I.N., Skrypnik L.N. 15

THE CONTENT OF WATER SOLUBLE POLYSACCHARIDE COMPLEX OF AMELANCHIER FRUIT AND ITS EFFECT ON THE ORGANISM OF LABORATORY RATS
Laksaeva E.A. 20

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

ANATOMIC-MORPHOLOGICAL FEATURES OF THE PINUS SYLVESTRIS L. MYCOTROPHY IN THE PLANTATIONS DAMAGED BY THE HETEROBASIDION ANNOSUM (FR.) BREF.
Adamovich I.Yu. 26

QUERCUS ROBUR L. CROPS ON RECULTIVATED LANDS
Andronova M.M. 32

INFLUENCE OF CLIPPING HEIGHT ON GROWTH OF LONG-TERM CEREALS IN THE TEMPERATE ZONE OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA
Gorchakova A.Yu. 37

LIMING INFLUENCE ON THE NUMBER OF ECOLOGICAL AND TROPHIC GROUPS OF MICROORGANISMS IN GREY FOREST SOIL
Zinchenko M.K., Zinchenko S.I. 43

EVALUATION OF THE COLLECTION INBRED MAIZE LINES UNDER THE CONDITIONS OF THE OMSK REGION
Ilin V.S., Loginova A.M., Getz G.V. 48

SELECTION OF EARLY MATURING MAIZE HYBRIDS FOR FODDER CROP ROTATIONS UNDER CONDITIONS OF THE VOLGA-VYATKA DISTRICT
Sokolova E.A., Mefodev G.A., Svechnikov A.K. 54

ADVANCED ELEMENTS OF TECHNOLOGY FOR LEGUMINOUS CROPS CULTIVATION
Tedeeva A.A., Khokhoeva N.T., Tedeeva V.V. 59

THE INFLUENCE OF ROW-SPACING WIDTH ON THE YIELD OF HEALTHY POTATOES
Uromova I.P., Shtyrlina O.V., Vasyukova E.A., Loginova T.A. 65

INFLUENCE OF CORNFLOWER BLUE (CENTAUREA CYANUS L.) IN FORAGE LEGUMES
Chegodaeva N.D., Maskaeva T.A., Labutina M.V. 71

Earth sciences (25.00.00)

FORECAST FOR THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING-GEOLOGICAL PROCESSES AND THEIR INFLUENCE ON THE SURROUNDING BUILDINGS (FOR EXAMPLE SHOPPING CENTRE PASSAGE EKATERINBURG)
Abaturova I.V., Savintsev I.A., Storozhenko L.A., Korchak S.A. 77

CONDITION OF BREEDS AT FACES B ECOLOGICALLY SAFE TECHNOLOGIES OF DREDGING ON THE BASIS OF ROTARY CONVEYORS
Beysembaev K.M., Nokina Zh.N., Teliman I.V., Abdugalieva G.B. 83

GEOSYSTEM TRANSFORMATIONS FORECAST OF THE NORTHERN PRIOLKHONYE
Bibaeva A.Yu. 90

MODELING OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF VUKTYLSKAYA SQUARE USING MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES
Veltistova O.M., Motryuk E.N. 95

THE ISSUES OF UTILIZATION OF DRILLING WASTES OF OIL AND GAS INDUSTRY IN THE IRKUTSK REGION AND THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)
Gorbunova O.I., Kanitskaya L.V. 102

APPLICATION OF THE HIGH RESOLUTION UNDERWATER ACOUSTICS FOR DEFINITION OF POSITION OF THE MUFFLED UNDERWATER WELLS
Dmitrevskiy N.N., Ananev R.A., Meluzov A.A., Shabalin N.V., Remizova D.M. 109

ANALYSIS OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO FIRE HAZARD ASSESSMENT FOR RESERVOIR PARKS WITH STRONG BREATHING
Elizarev A.N., Gaponov V.M., Yusupov T.R., Tarakanov D.A., Tarakanov Dm.A. 116

DISCUSSION PROBLEMS OF PLEISTOCENE PALEOGEOGRAPHY OF GLACIAL REGIONS OF WESTERN SIBERIA
Zykin V.S., Zykina V.S. 121

PROGRAM FOR THE BOTTOM OF THE DRILL BIT CONTROLLED MOVEMENT ANAGEMENT SIMULATION THAT TAKING IN ACCOUNT NON-CONTROLLED FACTORS
Ivanov R.O., Lushpey V.P., Pankov M.E. 129

NATURAL AND RECREATIONAL FRAME OF THE CITY DISTRICT AND VALLEYS OF SMALL RIVERS (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF CHEBOXAR)
Kazakov N.A., Eremeeva S.S., Karaganova N.G., Mihaylova E.V. 136

THE USE OF NUCLEAR PHYSIC METHODS FOR THE ANALYSIS OF WASTES FROM THE MININING AND PROCESSING INDUSTRY BY THE EXAMPLE OF THE UNAL TAILING POND
Kamanina I.Z., Pukhaeva N.E., Gustova M.V., Frontaseva M.V., Chigoeva D.N., Kaplina S.P. 142

COMMON FACTORS OF THE LITHOLOGICAL-GEOMORPHOLOGICAL ORGANIZATION OF SOIL COVER OF THE SAND MASSIVES OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA
Konstantinov A.O., Loyko S.V., Kurasova A.O., Kulizhskiy S.P. 151

DETERMINATION OF CHANGES IN PARAMETERS OF NATURAL DISTRIBUTION OF STRESSES ON THE STEEP SIDE SURFACES OF THE MINE FIELD BY MEASURED HORIZONTAL DISPLACEMENTS OF THE DAY SURFACE
Kravchuk A.S., Smalyuk A.F., Slavashevich S.I., Misnikov V.A. 157

THE RESOURCE BASIS OF NORTH-WEST RUSSIA REPRESENTATIVE OLIGOTROPHIC BOGS: CHEMICAL COMPOSITION AND BINDING PROPERTIES
Kuznetsova I.A., Larionov N.S. 165

ASSESSMENT OF POLLUTION WITH HEAVY METALS OF WATER AND BOTTOM SEDIMENTS OF THE COOLER-PONDS OF THE KALININ NUCLEAR POWER PLANT
Kuzovlev V.V., Grigoreva I.L., Komissarov A.B., Chekmareva E.A. 171

MONITORING OF LAND SURFACE TEMPERATURE IN KRASNOYARSK AND ITS SUBURBAN AREA BASED ON LANDSAT-8 SATELLITE DATA
Matuzko A.K., Yakubaylik O.E. 177

USE OF SATELLITE METHODS OF RESEARCH IN STUDY OF FLOOD MODE AND MODERN CONDITION THE VEGETABLE COVER OF LIMANS
Onaev M.K., Tuktarov R.B., Tarbaev V.A., Gafurov R.R. 183

ANALYSIS OF ECONOMIC ENSURING OF ENVIRONMENTAL ACTIVITY IN THE REGIONS OF THE RUSSIAN FAR EAST
Stepanko N.G. 189

FLUXESOF MATTER FROM THE ATMOSPHERE TO THE COASTAL ZONE
OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE BALTIC SEA
Topchaya V.Yu., Chechko V.A. 194

CHARACTERISTICS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF RIVER WATERS
IN AND AROUND THE CITY OF CHITA
Usmanova L.I. 200

Scientific review

Earth sciences (25.00.00)

GEOINFORMATION-BASED AND DIGITAL RECLAMATION:
METHODOLOGICAL ASPECTS
Naprasnikov A.T. 209

УДК 547.583.5:536.773

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ПОИСКУ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА 4-МЕТИЛФЕНИЛ(БЕНЗИЛ)АМИДОВ N-БЕНЗОИЛ-5-БРОМ (5-ЙОД)АНТРАНИЛОВЫХ КИСЛОТ НА ОСНОВЕ РАССЧИТАННЫХ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Андрюков К.В., Коркодинова Л.М.

ФГБОУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Пермь, e-mail: k_andrukov@mail.ru

Химия органического синтеза использует множество подходов и способов, связанных с усовершенствованием методик синтеза, как экспериментального проведения реакций, так и их теоретического расчёта, с целью повышения выхода целевых продуктов. Теоретический подход позволяет моделировать оптимальные условия синтеза веществ, в частности провести модификацию методики реакции, подбирая температуру и растворитель. С целью поиска оптимальных условий получения 4-метилфенил(бензил)амидов N-бензоил-5-бром(5-йод)антраниловых кислот выполнен квантово-химический расчёт неэмпирическим методом Хартри – Фока в базисе 3-21G термодинамических параметров: константы равновесия ($К_{равн.}$) и энергии Гиббса активации химической реакции ($\Delta G_р$) (кДж/моль). Расчёт переходного состояния реакции проводили в рамках метода IRC (Intrinsic Reaction Coordinate calculation) неэмпирическим методом Хартри – Фока в базисе 3-21G с полной оптимизацией геометрии молекул, в результате получали два минимума, связанных седловой точкой (максимумом) – соответствует переходному состоянию. Моделирование влияния растворителей: этанола, диметилсульфоксида (ДМСО), уксусной кислоты и изменение температурного режима проводили на модели PCM (Polarizable Continuum Model). Выполнен расчёт термодинамических параметров исследуемых соединений в среде этанола при 25 °С и 79 °С. Изучено, как повлияет на выход продукта реакции замена растворителя этанола на смесь уксусная кислота: ДМСО (1:1), и проведены квантово-химические расчёты при температурах 25, 100 и 120 °С. В результате проведенного теоретического расчёта найдены оптимальные условия реакции амидирования в системе растворителей уксусная кислота: ДМСО, результаты расчетов подтверждены экспериментом.

Ключевые слова: антраниловая кислота, квантово-химические расчёты, термодинамические параметры

A THEORETICAL APPROACH TO THE SEARCH CONDITIONS OF SYNTHESIS OF 4-METHYL PHENYL(BENZYL)AMIDE N-BENZYL-5-BROMO (5-IODINE) ANTHRANILIC ACIDS ON THE BASIS OF THE CALCULATED THERMODYNAMIC PARAMETERS

Andryukov K.V., Korkodinova L.M.

Perm State Pharmaceutical Academy of the Ministry of health of the Russian Federation, Perm, e-mail: k_andrukov@mail.ru

The chemistry of organic synthesis uses a variety of approaches and methods associated with the improvement of synthesis techniques, both experimental and theoretical calculation of reactions, in order to increase the yield of target products. The theoretical approach allows to simulate the optimal conditions for the synthesis of substances, in particular, to modify the reaction technique, the temperature and the solvent. With the aim of finding optimal conditions for obtaining 4-methylphenyl(benzyl)amide, N-benzoyl-5-bromo(5-iodine)anthranilic acids performed quantum-chemical calculation by AB initio method Hartree – Fock in 3-21G basis of thermodynamic parameters: the equilibrium constants ($К_{rawn}$) and Gibbs energy activation of chemical reaction (ΔGr.) (kJ/mol). The transient state of the reaction was calculated using the IRC (Intrinsic Reaction Coordinate calculation) method by non – empirical Hartree-Fock method in the 3 – 21G basis with full optimization of the molecular geometry, resulting in two minima associated with the saddle point (maximum) – corresponding to the transient state. Modeling of the effect of solvents: ethanol, dimethylsulfoxide (DMSO), acetic acid and temperature changes were performed on the PCM model (Polarizable Continuum Model). The calculation of thermodynamic parameters of the studied compounds in the ethanol medium at 25 °C and 79 °C is performed. The effect of the reaction product yield, ethanol solvent replacement on the acetic acid: DMSO (1:1) mixture and quantum-chemical calculations at temperatures of 25, 100 and 120 °C were studied. As a result of the theoretical calculation, the optimal conditions for the amidation reaction in the system of solvents acetic acid: DMSO, the results of the calculations are confirmed by the experiment.

Keywords: antranilic acid, quantum chemical calculations, thermodynamic parameters

Современная химия органического синтеза использует множество подходов и способов, связанных с усовершенствованием методик синтеза с целью повышения выхода целевых продуктов. Одним из прогрессивных способов, позволяющих оценить влияние изменения условий реакции (температура, растворители и т.д.) на её протекание, является использование квантово-химических расчётов с учетом влияния растворителя и температуры. Экспериментальный подход очень длителен и требует больших материальных затрат, а теоретический – позволяет моделировать

оптимальные условия синтеза веществ, в частности провести модификацию методики реакции, подбирая температуру и растворитель.

При получении амидов антраниловой кислоты одним из методов получения является магнезиламинный способ, где в качестве исходного соединения используют метиловый эфир антраниловой кислоты в присутствии этилмагнийиодида при нагревании в эфире. К его недостаткам относятся длительность процесса и использование абсолютного эфира, являющегося пожароопасным растворителем.

Известно несколько способов получения амидов антраниловой кислоты, в частности путем взаимодействия изатового ангидрида с анилином. Авторами [1] показано, что максимальный выход анилида антраниловой кислоты получен при нагревании дибромизатового ангидрида с трёхкратным избытком анилина в ледяной уксусной кислоте при соотношении изатовый ангидрид – уксусная кислота 1:150 (рис. 1).

Уксусная кислота позволяет осуществить процесс в условиях кислотного катализа благодаря протонированию гетероатома кислорода в третьем положении изатового ангидрида. Использование полярного апротонного растворителя – диметилсульфоксида (ДМСО) увеличивает нуклеофильные свойства исходного амина и при сочетании с кислотным катализом приведет к увеличению выхода соответствующего амида.

Другой способ подразумевает получение замещенных амидов антраниловой кислоты на основе 2-замещенных 3,1-бензоксазин-4(3H)-онов [2, 3], реакция амидирования протекает при взаимодействии алифатических аминов с 2-замещенными 3,1-бензоксазин-4(3H)-онами в среде 95% этанола, например реакция амидирования 6-бром-2-фурил-3,1-бензоксазин-4(3H)-она метиламином [2].

Цель работы заключается в теоретическом обосновании условий синтеза 4-метилфенил(бензил)амидов N-бензоил-5-бром(5-йод)антраниловых кислот с использованием квантово-химических расчётов (константы равновесия и энергии Гиббса активации реакции) с учетом влияния растворителя и изменения температурного режима на модели PCM (Polarizable Continuum Model) программой Gaussian 09.

4-Метилфенил(бензил)амиды N-бензоил-5-бром(5-йод)антраниловых кислот получены реакцией амидирования 6-бром(6-йод)-2-фенил-3,1-бензоксазин-4(3H)-онов бензиламином и 4-метилфениламином (рис. 3).

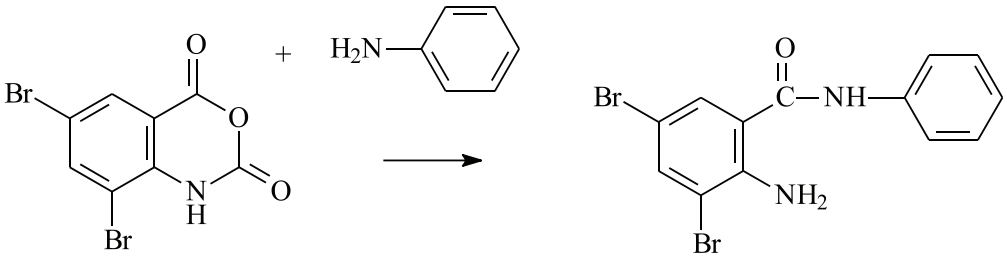


Рис. 1. Уравнение реакции амидирования изатового ангидрида анилином

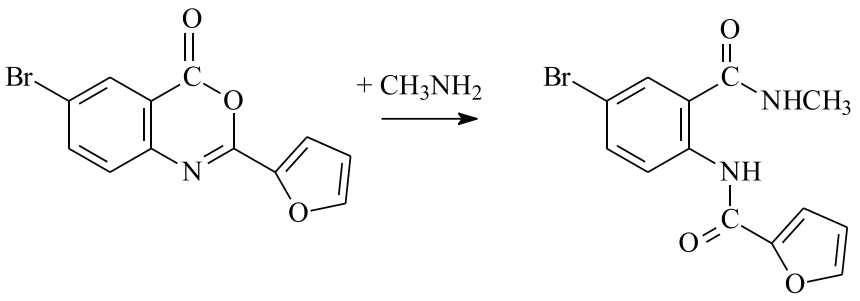
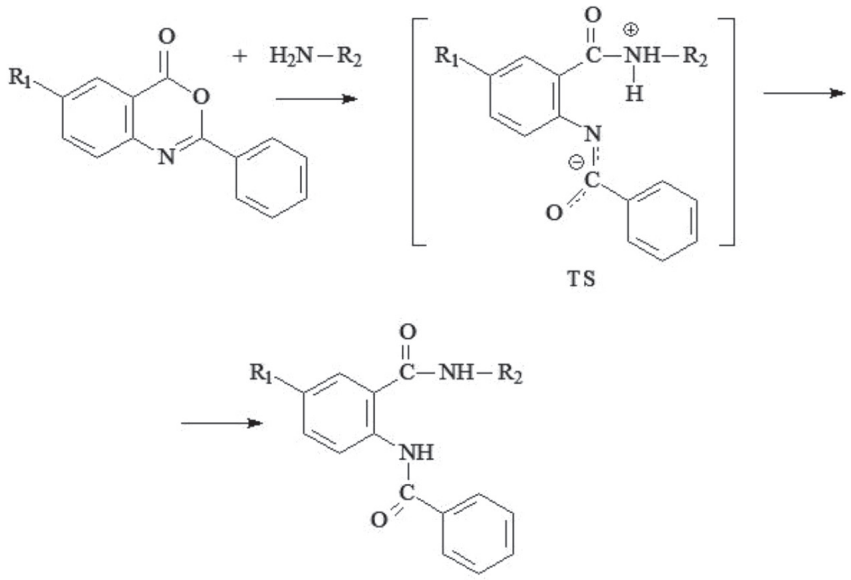


Рис. 2. Уравнение реакции амидирования 6-бром-2-фурил-3,1-бензоксазин-4(3H)-она метиламином



$R_1 = Br, R_2 = CH_2C_6H_5$ (I); $R_1 = I, R_2 = (4\text{-}CH_4)C_6H_4$ (II)

Рис. 3. Уравнение реакции амидирования, TS – переходное состояние

Материалы и методы исследования

Для поиска оптимальных условий синтеза 4-метилфенил(бензил)амидов N-бензоил-5-бром(5-йод)антраниловых кислот были проведены расчёты термодинамических параметров реакции амидирования: константы равновесия ($К_{равн.}$) и энергии Гиббса активации химической реакции ($\Delta G_{р.}$) (кДж/моль) (табл. 1). Квантово-химические параметры рассчитаны неэмпирическим методом Хартри – Фока в базисе 3-21G с полной оптимизацией геометрии молекул, с использованием программы Gaussian 09. Эффект растворителя учитывали, проводя расчёты на модели PCM.

Расчёт переходного состояния (TS) реакции (рис. 3) проводили в рамках метода IRC (Intrinsic Reaction Coordinate calculation) неэмпирическим методом Хартри – Фока в базисе 3-21G с полной оптимизацией геометрии молекул, с использованием программы Gaussian 09, получали два минимума, связанных седловой точкой (максимумом) – соответствует переходному состоянию [4].

Спектры ^{1}H ЯМР-соединений I–II записаны на спектрометре Mercury-300BB (рабочая частота прибора 300 МГц) в ДМСО-d_6, внутренний стандарт – ГМДС. ИК-спектры соединений выполнены на спектрометре Specord M-80 в таблетках KBr. Элементный анализ проведен на приборе Perkin Elmer 2400. Данные элементного анализа синтезированных соединений соответствуют вычисленным значениям.

Результаты исследования и их обсуждение

Энергию Гиббса активации реакции ($\Delta G_{р.}$) находили по разности энергий переходного состояния (ΔG (TS)) и реагентов (ΔG (реагентов)) по формуле [4]:

$$\Delta G_{р.} = \Delta G\ (TS) - \Delta G\ (\text{реагентов}). \quad (1)$$

Расчёт константы равновесия ($К_{равн.}$) реакции проводили по формуле, найденной из уравнения изотермы Вант-Гоффа [5]:

$$\Delta G_{р.} = -R \times T \times \ln К_{равн.} = -8{,}31 \times T \times 2{,}303 \times \lg К_{равн.}$$

В результате: $\lg К_{равн.} = -\Delta G_{р.} / 19{,}15 \times T.$

$$К_{равн.} = 10^{\lg К\ равн.}. \quad (2)$$

На протекание химической реакции оказывают влияние: изменение энергии Гиббса в ходе химической реакции ($\Delta G_{реакц}$) и константа равновесия химической реакции ($К_{равн.}$), если:

$К_{равн.} = 1$, то $\Delta G_{реакц} = 0$, и протекание реакции равновероятно в обе стороны.

$К_{равн.} > 1$, то $\Delta G_{реакц} < 0$, и реакция смещена в сторону образования продуктов.

$К_{равн.} < 1$, то $\Delta G_{реакц} > 0$, реакция протекает преимущественно в сторону образования реагентов, то есть преобладает обратная реакция.

Нами выполнен расчёт термодинамических параметров соединения I в среде этанола при 25 °С: $К_{равн.} > 1$ (402,23) и $\Delta G_{р.} < 0$ (–14,86 кДж/моль) (табл. 1) – реакция смещена в сторону образования продукта. Экспериментальный выход соединения I по методике 1 при этих условиях составил 46 % (табл. 2).

Методика 1 синтеза бензиламида-N-бензоил-5-бромантраниловой кислоты (I). К раствору 0,81 г (0,0027 моль) 6-бром-2-фенил-3,1-бензоксазин-4(3Н)-она в 10 мл 95 %-ного этанола прибавляют раствор из 0,28 г (0,0027 моль) бензиламина в 3 мл 95 %-ного этанола при перемешивании. После выдерживания в течение 1 часа при 25 °С выпадает осадок, который отфильтровывают, высушивают и перекристаллизовывают из этанола. Выход: 0,54 г (46 %), т.пл. = 139–141 °С.

ИК-спектр, ν_{max}, $см^{-1}$: 3410 (NHCO, CONH); 1675, 1640, 1605 (CONH, NHCO); 1580, 1540, 1510 (CONH, NHCO). Спектр ЯМР ^{1}Н (ДМСО-d_6), δ, м.д.: 4,52 д (2Н, CH_2, J 5,7 Гц); 7,25 д (2Н, ArH, J 8,4 Гц); 7,33 т (3Н, ArH, J 9,9 Гц); 7.52 т (1Н, ArH, J 3,9 Гц); 7,55 д (1Н, ArH, J 4,5 Гц); 7.59 т (2Н, ArH, J 4,5 Гц); 7,81 д (1Н, ArH, J 2,7 Гц); 7,88 д (1Н, ArH, J 1,8 Гц); 7,94 д (1Н, ArH, J 7,2 Гц); 8,07 с (1Н, ArH); 9,40 с (1Н, CONH); 12,32 с (1Н, NHCO). Найдено, %: С 61,35, 61,90; Н 3,89, 4,39; N 6,54, 7,04. Вычислено, %: С 61,63; Н 4,19; N 6,84.

Повышение температуры реакции в квантово-химических расчётах соединения I до 79 °С приводит к снижению термодинамических параметров: $К_{равн.} > 1$ ($2,60\times10^{-9}$) и $\Delta G_{р.} < 0$ (–61,34 кДж/моль), что приводит к снижению выхода соединения I в эксперименте до 10 %.

Для получения 4-метилфениламида N-бензоил-5-йодантраниловой кислоты (II) методика синтеза в этаноле не подходит, как при комнатной температуре (25 °С), так и при нагревании до 79 °С: $К_{равн.}$ от $-1,98\times10^{15}$ до $-4,66\times10^{2} < 1$ и $\Delta G_{реакц}$ в пределах +87,29 – +17,98 кДж/моль > 0 – реакция протекает преимущественно в сторону образования исходных реагентов, о чем свидетельствуют экспериментальные результаты, приведенные в табл. 2.

Авторами [6] проведен ряд экспериментальных исследований по подбору растворителей при синтезе 4-хлоранилида-5-хлорантраниловой кислоты: уксусная кислота, диметилсульфоксид (ДМСО) и использования смеси уксусная кислота: ДМСО (1:1) при температуре 100 °С. Наибольший выход продукта реакции наблюдался при использовании смеси растворителей уксусная кислота: ДМСО (1:1). Выход составил 87,7 %.

На основании анализа проведенных экспериментальных исследований авторам представлялось целесообразным изучить, как повлияет на выход продукта реакции замена растворителя этанола на смесь уксусная кислота: ДМСО (1:1).

Таким образом, чтобы синтезировать соединение II и провести модификацию методики синтеза, необходимо выполнить квантово-химические расчёты с использованием смеси растворителей: уксусная кислота: ДМСО (1:1), методом РСМ с учетом изменения температуры реакционной среды от 25 до 120 °С.

Моделируя условия, при температуре 25 °С, найдены термодинамические параметры по соединению I: $К_{равн.} > 1$ (+1,98) и $\Delta G_{р.} < 0$ (–1,70 кДж/моль) (табл. 1) – реакция смещена в сторону образования продукта реакции, что подтверждается экспериментальными данными, выход амида I составил 15 % (табл. 2).

Результаты расчёта соединения II показали смещение равновесия в сторону исходных веществ: $К_{равн.} < 1$ ($-1,28\times10^{12}$) и $\Delta G_{р.} > 0$ (+86,48 кДж/моль), реакция не протекает, что подтверждается экспериментальными данными, выход продукта составил 0 %.

Квантово-химические расчёты термодинамических параметров соединения I при температуре 100 °С привели к многократному увеличению константы равновесия в 1275 раз, и составила $К_{равн.} = 2524,88$, а энергия Гиббса реакции увеличивается от –1,70 до –19,41 кДж/моль. В эксперименте выход возрастает от 15 до 52 %.

Для модификации условий синтеза соединения II реакцию рассчитали при температуре 100 °С. При этом получено значение константы равновесия $К_{равн.} > 1$ (360,76), а также наблюдается переход от эндотермического эффекта к экзотермическому $\Delta G_{р.} < 0$ (–39,69 кДж/моль), реакция смещена в сторону образования продукта, экспериментальный выход составил 30 %.

При повышении температуры до 120 °С при расчётах в смеси уксусная кислота: ДМСО происходит многократное увеличение константы равновесия $К_{равн.} > 1$ ($1,98\times10^{22}$ и $1,07\times10^{8}$) и энергии Гиббса $\Delta G_{р.} < 0$ (–158,00 и –57,35).

По результатам проведенных квантово-химических расчетов при температуре 120 °С в смеси уксусная кислота: ДМСО, авторы модифицировали методику синтеза, заменив этанол на смесь уксусная кислота: ДМСО, и увеличили температуру реакции до 120 °С.

Проведенный эксперимент показал увеличение выхода 75 и 80 % соответственно для соединений I и II (методика 2).

Методика № 2 синтеза на примере бензиламида-N-бензоил – 5-бромантраниловой кислоты (I). К смеси 0,60 г (0,0020 моль) 6-бром-2-фенил-3,1-бензоксазин-4(3H)-она и 0,32 г (0,0030 моль) бензиламина добавляют 4 мл ДМСО и 4 мл ледяной уксусной кислоты, нагревают до температуры 120 °С, затем смесь охлаждают до комнатной температуры, добавляют воду очищенную, выпавший осадок отфильтровывают, высушивают и перекристаллизовывают из смеси этанол: этилацетат (1:1).

Выход: 0.81 г (75 %), т.пл. = 139–141 °С.

ИК-спектр, ν_{max}, $см^{-1}$: 3410 (NHCO, CONH); 1675, 1640, 1605 (CONH, NHCO); 1580, 1540, 1510 (CONH, NHCO). Спектр ЯМР ^1H (ДМСО-d_6), δ, м,д,: 4,52 д (2H, CH_2, J 5,7 Гц); 7,25 д (2H, ArH, J 8,4 Гц); 7,33 т (3H, ArH, J 9,9 Гц); 7,52 т (1H, ArH, J 3,9 Гц); 7,55 д (1H, ArH, J 4,5 Гц); 7,59 т (2H, ArH, J 4,5 Гц); 7,81 д (1H, ArH, J 2,7 Гц); 7,88 д (1H, ArH, J 1,8 Гц); 7,94 д (1H, ArH, J 7,2 Гц); 8,07 с (1H, ArH); 9,40 с (1H, CONH); 12,32 с (1H, NHCO), Найдено, %: C 61,35, 61,90; H 3,89, 4,39; N 6,54, 7,04. Вычислено, %: C 61,63; H 4,19; N 6,84.

4-Метилфениламид-N–бензоил–5-йодантраниловой кислоты (II) получен по методике № 2. К смеси 0,69 г (0,002 моль) 6-йод-2-фенил-3,1-бензоксазин-4(3H)-она и 0,32 г (0,0030 моль) бензиламина добавляют 4 мл ДМСО и 4 мл ледяной уксусной кислоты, нагревают до температуры 120 °С, затем смесь охлаждают до комнатной температуры, добавляют воду очищенную, выпавший осадок отфильтровывают, высушивают и перекристаллизовывают из смеси ацетонитрил: этилацетат (1:1). Выход: 0,72 г (80 %), т.пл. = 236–238 °С. ИК-спектр, ν_{max}, $см^{-1}$: 3330 (NHCO, CONH); 1670, 1630, 1615 (CONH, NHCO); 1570, 1540 (CONH, NHCO). Спектр ЯМР ^1H (ДМСО-d_6), δ, м.д.: 2,31 с (3H, CH_3); 7,19 д (2H, ArH, J 8,4 Гц); 7,56–7,62 м (5H, ArH, J 18,0 Гц); 7,93 д (2H, ArH, J 6,6 Гц); 7,96 с (1H, ArH); 8,25 д (1H, ArH, J 1,5 Гц); 8,37 д (1H, ArH, J 8,4 Гц); 10,58 с (1H, CONH); 11,81 с (1H, NHCO). Найдено, %: C 53,35, 57,90; H 3,59, 4,96; N 5,85, 6,34. Вычислено, %: C 55,80; H 3,76; N 6,14.

Выводы

Получены теоретические результаты расчёта в среде этанола для соединения I, которые показали низкую скорость протекания реакции при температуре 25 °С, повышение температуры до 79 °С не приводит к увеличению скорости реакции, а наоборот, снижает.

Таблица 1

Рассчитанные константа ($К_{равн.}$) равновесия и энергия Гиббса активации реакции ($\Delta G_{р.}$) по соединениям I и II

Соед.	t °С реакции	25	79	25	100	120
	Растворитель	Этанол		Уксусная кислота + ДМСО (1:1)		
I	$К_{равн.}$	402,23	$2,60\times10^{-9}$	1,98	2524,88	$1,98\times10^{22}$
	$\Delta G_{р.}$	–14,86	–61,34	–1,70	–19,41	–158,00
II	$К_{равн.}$	$-1,98\times10^{15}$	$-4,66\times10^{2}$	$-1,28\times10^{12}$	360,76	$1,07\times10^{8}$
	$\Delta G_{р.}$	+87,29	+17,98	+86,48	–39,69	–57,35

Таблица 2

Результаты модификации методики синтеза соединений I и II

Соед.	t °С реакции	25	79	25	100	120
	Растворитель	Этанол		Уксусная кислота + ДМСО (1:1)		
I	Выход, %	46	10	15	52	75
	Т.пл. °С	139–141	139–141	139–141	139–141	139–141
II	Выход, %	–	–	–	30	80
	Т.пл. °С				236–238	236–238

Выполнен теоретический расчёт при использовании смеси уксусная кислота: ДМСО и повышении температуры реакционной среды до 120 °С, в результате произошло многократное увеличение константы равновесия $К_{равн.} > 1$ по соединениям I и II ($1{,}98\times10^{22}$ и $1{,}07\times10^{8}$).

Таким образом, на основании полученных в ходе работы экспериментальных данных можно сделать вывод, что предложенная методика получения замещенных амидов на основе 6-бром(6-йод) 2-фенил-3,1-бензоксазин-4(3Н)-онов при температуре 120 °С в смеси уксусная кислота: ДМСО позволяет увеличить выход продуктов I и II до 75 % и 80 % соответственно.

Предложенный вариант подхода позволил теоретически обосновать оптимальные условия синтеза и экспериментально подтвердить максимальный выход продукта реакции.

Список литературы

1. Periyasamy Selvam. Synthesis, antiviral activity, and cytotoxicity of some novel 2–phenyl–3–disubstituted quinazolin–4(3H)–ones // International J. of Drug Design and Discovery. – 2010. – Vol 1. – № 2. – pp. 149–154.

2. Синтез и противомикробная активность замещённых амидов и гидразидов N-ацил-5-бромантраниловых кислот / К.В. Андрюков [и др.] // Химико-фармацевтический журнал – 2007. – Т. 41, № 9. – С. 29–31.

3. Maher Abd El-Aziz El-Hashash, Mohammad Emad Azab, Rasha Abd El-Aziz Faty. Synthesis, antimicrobial and anti-inflammatory activity of some new benzoxazinone and quinazolinone candidates. // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. – 2016. – Vol. 64. – No. 3. – pp. 263–271.

4. Бутырская Е.В. Компьютерная химия: основы теории и работа с программами GAUSSIAN и GAUSSVIEW. – М.: Солон-Пресс, 2011. – 224 с.

5. Буданов В.В., Максимов А.И. Химическая термодинамика: учебное пособие / Под ред. О.И. Койфмана. – 2-е изд., испр. – СПб.: Изд-во «Лань», 2016. – 320 с.

6. А.с. 1786022 А1 СССР. Способ получения 4-хлоранилида 5-хлорантраниловой кислоты / Ю.С. Цизин, О.В. Шехтер, Н.Л. Серговская. – Б.И. – 1993. – № 1. – С. 6.

References

1. Periyasamy Selvam. Synthesis, antiviral activity, and cytotoxicity of some novel 2–phenyl–3–di-substituted quinazolin–4(3H)–ones // International J. of Drug Design and Discovery. – 2010. – Vol 1. – № 2. – pp. 149–154.

2. Sintez i protivomikrobnaya aktivnost` zameshhyonny`x amidov i gidrazidov N-acil-5-bromantranilovy`x kislot / K.V. Andryukov [i dr.] // Ximiko-farmacevticheskij zhurnal – 2007. – T. 41, № 9. – pp. 29–31.

3. Maher Abd El-Aziz El-Hashash, Mohammad Emad Azab, Rasha Abd El-Aziz Faty. Synthesis, an-timicrobial and anti-inflammatory activity of some new benzoxazinone and quinazolinone candi-dates. // Chemical and Pharmaceutical Bulletin. – 2016. – Vol. 64. – No. 3. – pp. 263–271.

4. Buty`rskaya E.V. Komp`yuternaya ximiya: osnovy` teorii i rabota s programmami GAUSSIAN i GAUSSVIEW. – M.: Solon-Press, 2011. – 224 p.

5. Budanov V.V., Maksimov A.I. Ximicheskaya termodinamika: uchebnoe posobie / Pod red. O.I. Kojfmana. – 2-e izd., ispr. – SPb.: Izd-vo «Lan`», 2016. – 320 p.

6. A.s. 1786022 A1 SSSR. Sposob polucheniya 4-xloranilida 5-xlorantranilovoj kisloty` / Yu.S. Cizin, O.V. Shexter, N.L. Sergovskaya. – B.I. – 1993. – № 1. – pp. 6.

УДК 66.061.3:544.421

ВЛИЯНИЕ РАСТВОРИТЕЛЯ НА АНТИРАДИКАЛЬНУЮ АКТИВНОСТЬ ЭКСТРАКТОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ

Анохина И.Н., Скрыпник Л.Н.

ФГАОУ ВО «Балтийский федеральный университет имени И. Канта», Калининград, e-mail: henrietta.amati@mail.ru

Многие природные соединения, получаемые из лекарственных растений, обладают выраженным антиоксидантным действием. Антиоксиданты могут послужить фактором, позволяющим уменьшить окислительный стресс окружающей среды, который является последствием действия свободных радикалов, разрушающих клеточную систему организма. Эффективное извлечение активных природных соединений из растений зависит от типа растворителя, используемого при экстракции растительного сырья. В статье изучены вопросы влияния используемого экстрагента на антиоксидантные свойства растительных экстрактов некоторых лекарственных растений. В качестве объекта исследования использовали готовое сырьё восьми видов лекарственных растений: мелиссы лекарственной, горца птичьего, ромашки аптечной, бузины чёрной, черники обыкновенной, липы сердцевидной, бессмертника песчаного и соссюреи горькой, приобретённых в аптечной сети. Экстракция осуществлялась в одинаковых условиях индивидуальными растворителями (этанол 98%, диметилсульфоксид (ДМСО), ацетон, диэтиловый эфир). Антирадикальную активность определяли по способности растительных экстрактов связываться со стабильным радикалом 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила (DPPH). Показано, что кинетика протекания реакции DPPH-радикала с растительными экстрактами зависела как от используемого растворителя, прежде всего его полярности, так и от вида растения, то есть от качественного и количественного состава его антиоксидантных компонентов. Установлено, что наиболее выраженными антиоксидантными свойствами обладала липа сердцевидная при использовании в качестве экстрагентов ДМСО, этанола и ацетона. Максимальный выход антиоксидантов для всех исследуемых видов растений достигался при экстрагировании растительного сырья диметилсульфоксидом. При использовании диэтилового эфира извлечение веществ с антиоксидантными свойствами практически не происходило. Полученные результаты могут быть использованы при адаптации методики определения антиоксидантной активности с DPPH радикалом для растительных экстрактов, полученных при применении различных растворителей.

Ключевые слова: антиоксидант, антиоксидантная активность, лекарственные растения, растительное сырьё, метод DPPH

EFFECT OF SOLVENT ON ANTIRADICAL ACTIVITY OF MEDICINAL PLANT EXTRACTS

Anokhina I.N., Skrypnik L.N.

Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, e-mail: henrietta.amati@mail.ru

Many natural compounds obtained from medicinal plants have an antioxidant effect. Antioxidants can serve as a factor that reduces the oxidative stress of the environment, which is a consequence of the action of free radicals that destroy the body's cellular system. The effective extraction of active natural compounds from plants depends on the type of solvent used in the extraction. In this article the influence of the extractant on the antioxidant properties of the plant extract was studied. As an object of research the eight types of medicinal plants were used: lemon balm, common knotgrass, chamomile, black elderberry, blueberry, small-leaved linden, dwarf everlast and saussurea amara, purchased in the pharmacy network. The extraction was carried out under the same conditions by individual solvents (ethanol 98%, dimethylsulfoxide (DMSO), acetone, diethyl ether). Antiradical activity was determined by the ability of plant extracts to bind a stable 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) radical. It was shown that the kinetics of the reaction of the DPPH radical with plant extracts depended both on the solvent, primarily its polarity, and on the plant species, that is, on the qualitative and quantitative composition of its antioxidant components. It was established that the extracts of small-leaved linden characterized by highest antioxidant activity especially by using dimethylsulfoxide, ethanol, and acetone as solvents. The maximum yield of antioxidants for all studied plant species was achieved by extraction with dimethylsulfoxide. By using of diethyl ether, the extraction of substances with antioxidant properties practically did not occur. The results of this work can be used to adapt the protocol of determination the antioxidant activity with the DPPH radical for plant extracts obtained with various solvents.

Keywords: antioxidant, antioxidant activity, medicinal plants, plant raw materials, DPPH method

В настоящее время применение целебных трав и аптечных сборов на их основе в традиционной и народной медицине особенно актуально, что обусловлено существенным преимуществом растений по сравнению с химическими медикаментозными препаратами. Главное из них – отсутствие побочных эффектов и комплексное воздействие на организм [1]. Лечебные эффекты многих лекарственных растений можно объяснить наличием природных антиоксидантов. Антиоксидант – это соединение с одним непрочно присоединённым электроном, который легко отдаётся свободному радикалу, стабилизируя и нейтрализуя его молекулу, переводя её в устойчивое состояние [2].

Основными источниками антиоксидантов для человека являются продукты пита-

ния на основе растительного сырья. Растения обладают достаточной устойчивостью к окислительным повреждениям, которые возникают при резком изменении физиологического состояния организма. Это обусловлено существованием в растительной клетке эффективных антиоксидантов, которые способны обеспечить защиту от кислородных радикалов [3].

В литературе предлагается большое число методов анализа количества и активности антиоксидантов в различных объектах. В данной работе применялся метод DPPH, который широко используется для определения антиоксидантной активности природных веществ. Преимуществами DPPH метода определения антиоксидантной активности являются простота регистрации реакции, высокая воспроизводимость, общедоступность необходимого оборудования, высокая чувствительность [4]. Имеются литературные данные, которые утверждают, что данный метод ограничивается возможностью определения только жирорастворимых антиоксидантов [5]. Да и сама методика рассчитана на применение стандартных растворителей (вода, этанол и метанол) [6].

Таким образом, целью работы являлось изучение особенностей измерения антирадикальной активности растительных экстрактов при использовании различных растворителей с применением стабильного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали готовое сырье различных частей восьми видов лекарственных растений, приобретённых в аптечной сети: цветки бузины чёрной (*Sambucus nigra* L.), траву мелиссы лекарственной (*Melissae officinali* L.), цветки ромашки аптечной (*Matricaria chamomilla* L.), цветки бессмертника песчаного (*Helichrysum arenarium* L.), траву соссюреи горькой (*Saussurea amara* L.), траву горца птичьего (*Polygonum aviculare* L.), цветки липы сердцевидной (*Tilia cordata* L.) и побеги черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.).

Для определения антирадикальной активности (АОА) растительных экстрактов применялся метод DPPH [6]. Анализ основан на спектрофотометрическом определении изменения концентрации стабильного радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила. В качестве растворителей использовали: диметилсульфоксид (х.ч.), этанол 98 % (ГОСТ Р 51999-2002), ацетон (ос.ч.), диэтиловый эфир (х.ч.). Растворители обладают различной полярностью, что позволит экстрагировать из растительного сырья различные по структуре соединения. По полярности растворители можно распределить следующим образом: диэтиловый эфир < ацетон < этанол < диметилсульфоксид.

Для исследования антирадикальной активности лекарственных растений растительное сырьё массой 0,1 г растирали с 10 мл растворителя в фарфоровой ступке и количественно переносили в пробирку. Далее гомогенат центрифугировали в течение 15 мин при 6 тыс. об/мин при комнатной температуре. Из исходного экстракта готовили серию последовательных разбавлений: 0,25 мл каждого из полученных растворов серии приливали к 2,85 мл раствора DPPH и через 30 минут регистрировали значения оптической плотности при длине волны 515 нм на спектрофотометре (Shimadzu UV-3600, Япония). Каждый образец анализировали в трёх повторностях. В контрольном опыте вместо экстракта в реакционную систему вводили только растворитель. Исходя из полученных данных строили графики зависимости оптической плотности от количества исходного экстракта. Используя полученное уравнение кривой, вычисляли концентрацию экстракта, необходимую для реагирования 50 % от исходной концентрации DPPH (EC_{50}). В качестве стандарта использовали растворы аскорбиновой кислоты и тролокса (6-гидрокси-2,5,7,8-тетраметилхроман-2-карбоновой кислоты) известной концентрации. Тролокс является водорастворимым аналогом витамина Е и считается более предпочтительным стандартом при определении антирадикальных и антиоксидантных свойств экстрактов липофильных компонентов. Стандарт аскорбиновой кислоты используют для определения водорастворимых антиоксидантов. Данные по антирадикальной активности экстрактов лекарственных растений выражали в мг эквивалента аскорбиновой кислоты (АК) на грамм сухой массы (мг·экв. АК/г) и в мг эквивалента тролокса на грамм сухой массы (мг экв. тролокса/г).

Результаты исследования и их обсуждение

Для более точного определения концентрации в экстрактах растений веществ, активных в отношении радикала DPPH, необходимо было установить характер зависимости глубины превращения радикала

за первые 30 минут реакции от начальной концентрации антиоксидантов в реакционной системе. На графиках представлены кинетические кривые на примере экстрактов липы сердцевидной (рис. 1) и мелиссы лекарственной (рис. 2) в зависимости от растворителей.

Как видно из представленных на рис. 1 данных, при использовании в качестве растворителей диметилсульфоксида (ДМСО) и ацетона в течение первых 10 минут наблюдалось резкое падение оптической плотности, затем реакция замедлялась, но не останавливалась полностью. При использовании этанола резкое падение наблюдалось в первые 15 минут реакции, затем реакция практически прекращалась. С диэтиловым эфиром лишь в самом начале процесса наблюдалось падение оптической плотности реакционной системы на незначительную величину, а затем реакция останавливалась.

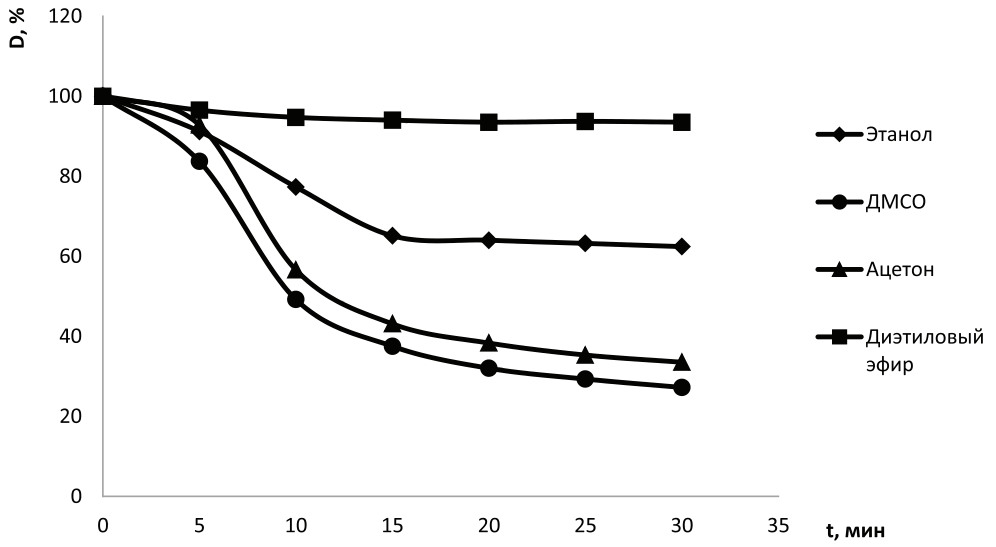


Рис. 1. Кинетические кривые оптической плотности раствора стабильного радикала DPPH при взаимодействии с АО экстрактов липы сердцевидной в среде разных растворителей

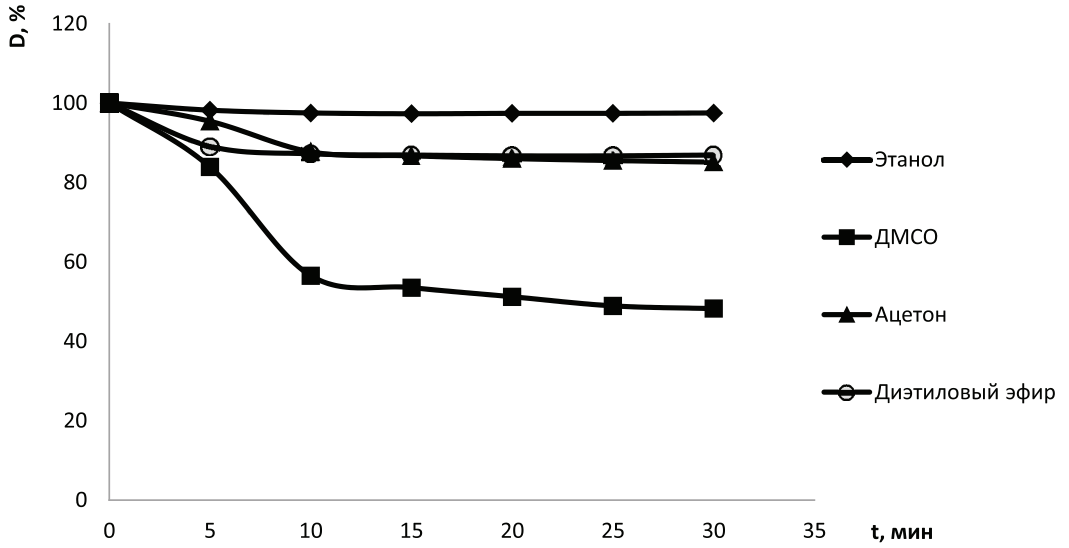


Рис. 2. Кинетические кривые оптической плотности раствора стабильного радикала DPPH при взаимодействии с АО экстрактов мелиссы лекарственной в среде разных растворителей

Результаты исследования кинетических зависимостей протекания реакции взаимодействия DPPH-радикала с экстрактом мелиссы лекарственной представлены на рис. 2. При использовании в качестве растворителя ДМСО наблюдалось резкое падение оптической плотности в течение первых 10 минут, затем реакция протекала очень медленно. С ацетоном и диэтиловым эфиром падение оптической плотности наблюдалось также первые 10 минут, затем реакция останавливалась. С этанолом реакция протекала очень медленно без существенных колебаний.

Антирадикальные свойства характеризуются количественным соотношением высоко- и низкоактивных компонентов [4]. Это соотношение отражает форма кинетической кривой. За начальные участки кривых отвечают более активные компоненты экстрактов.

Исходя из вышеизложенного можно заключить, что ДМСО, как более полярный по сравнению с другими растворителями, извлекает больше веществ, обладающих антирадикальной способностью. Это подтвердилось и в ходе сравнительного анализа антирадикальных свойств экстрактов различных лекарственных растений. Результаты данного исследования представлены в табл. 1–2 в виде средних значений с указанием стандартного отклонения.

Как видно из табл. 1–2, антирадикальная активность экстрактов лекарственных растений зависела от используемого растворителя. Так, при использовании в качестве растворителей ДМСО и этанола наибольшую антирадикальную активность проявляли экстракты липы сердцевидной, наименьшую – соссюреи горькой. Например, при использовании в качестве экстрагента ДМСО антирадикальная активность для липы составила 110,7 ± 1,30 мг·экв. АК/г и 153,4 ± 1,45 мг экв. тролокса/г, тогда как для соссюреи горькой эти показатели были практически в 4 раза ниже – 28,3 ± 4,12 мг·экв. АК/г и 36,7 ± 3,95 мг·экв. тролокса/г.

В целом анализ полученных результатов позволяет расположить изученные растения в зависимости от АОА их экстрактов при использовании различных растворителей следующим образом (в порядке возрастания):

При использовании ДМСО: трава соссюреи < цветки ромашки < цветки бузины < цветки бессмертника < трава мелиссы < трава горца < побеги черники < цветки липы.

Таблица 1

Значение антирадикальной активности растительного сырья в зависимости от растворителя (стандарт – аскорбиновая кислота)

Анализируемый объект	АОА в зависимости от растворителя, мг·экв. АК/г			
	ДМСО	Спирт 98%	Ацетон	Диэтиловый эфир
Липа сердцевидная	110,7 ± 1,30	72,9 ± 2,41	76,5 ± 1,91	1,3 ± 0,24
Ромашка аптечная	32,7 ± 0,74	6,2 ± 0,31	5,6 ± 0,56	0,6 ± 0,11
Соссюрея горькая	28,3 ± 4,12	4,6 ± 0,86	10,5 ± 1,15	2,0 ± 0,48
Черника обыкновенная	79,1 ± 0,46	19,9 ± 0,53	13,3 ± 0,38	1,0 ± 0,12
Мелисса лекарственная	75,0 ± 1,72	5,9 ± 1,21	13,6 ± 1,62	3,5 ± 0,51
Бессмертник песчаный	50,4 ± 2,10	13,3 ± 1,42	13,6 ± 1,24	5,0 ± 0,74
Горец птичий	77,2 ± 1,85	12,2 ± 1,11	18,4 ± 0,78	1,1 ± 0,22
Бузина чёрная	49,5 ± 3,32	8,9 ± 0,61	6,0 ± 0,47	0,7 ± 0,17

Таблица 2

Значение антирадикальной активности растительного сырья в зависимости от растворителя (стандарт – тролокс)

Анализируемый объект	АОА в зависимости от растворителя, мг·экв. тролокса/г			
	ДМСО	Спирт 98%	Ацетон	Диэтиловый эфир
Липа сердцевидная	153,4 ± 1,45	115,0 ± 2,72	78,4 ± 2,00	1,4 ± 0,22
Ромашка аптечная	45,2 ± 0,82	9,9 ± 0,28	5,7 ± 0,66	0,8 ± 0,17
Соссюрея горькая	36,7 ± 3,95	7,6 ± 0,81	10,8 ± 1,17	2,2 ± 0,44
Черника обыкновенная	114,0 ± 0,67	24,6 ± 0,61	13,6 ± 0,36	1,1 ± 0,10
Мелисса лекарственная	107,2 ± 1,81	8,6 ± 1,37	13,9 ± 1,44	3,8 ± 0,49
Бессмертник песчаный	70,0 ± 2,34	18,4 ± 1,51	14,0 ± 1,31	5,4 ± 0,70
Горец птичий	106,6 ± 2,05	17,3 ± 1,13	18,9 ± 0,86	1,3 ± 0,23
Бузина чёрная	64,4 ± 3,49	12,4 ± 0,54	6,2 ± 0,46	0,9 ± 0,15

При использовании этанола: трава соссюреи < трава мелиссы < цветки ромашки < цветки бузины < трава горца < цветки бессмертника < побеги черники < цветки липы.

При использовании ацетона: цветки ромашки < цветки бузины < трава соссюреи < побеги черники < трава мелиссы < цветки бессмертника < трава горца < цветки липы.

При использовании диэтилового эфира: цветки ромашки < цветки бузины < побеги черники < трава горца < цветки липы < трава соссюреи < трава мелиссы < цветки бессмертника.

Кроме того, следует отметить, что при экстракции диэтиловым эфиром наблюдались очень низкие показатели антирадикальной активности для экстрактов всех исследуемых видов растений. Необходимо подчеркнуть, что при экстракции растительного сырья диэтиловым эфиром происходило заметное окрашивание экстрактов в зависимости от вида растения, так, например, экстракт бессмертника песчаного имел ярко-жёлтый цвет, а мелиссы лекарственной – зелёный. При этом при экстракции другими растворителями – окраска была более тусклой или цвет практически не менялся. Это свидетельствует о том, что диэтиловый эфир как растворитель извлекает вещества, которые практически не проявляют антирадикальной активности. Несмотря на то, что содержания экстрагированных веществ в экстрактах ацетона и этанола различны, их антирадикальные активности соизмеримы. Это обусловлено близкими показателями диэлектрической константы этих растворителей. Показатели антирадикальной активности между ними близки по сравнению с показателями при использовании ДМСО и диэтилового эфира.

Выводы

1. Кинетика протекания реакции радикала 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила с растительными экстрактами зависела как от используемого растворителя, прежде всего от его полярности, так и от вида растения, то есть от качественного и количественного состава его антирадикальных компонентов.

2. Наибольшей антирадикальной активностью из анализируемых лекарственных растений обладали экстракты цветков липы сердцевидной.

3. Диметилсульфоксид является оптимальным растворителем, способным наиболее полно извлечь из сырья природные антиоксиданты.

Список литературы

1. Исследование антиоксидантной активности растительности Ферганской долины / Д.М. Аронбаев [и др.] // Молодой учёный. – 2015. – Т. 84, № 4. – С. 30–34.

2. Сейфулла Р.Д. Антиоксиданты / Р.Д. Сейфулла, Е.А. Рожкова, Е.К. Ким // Экспериментальная и клиническая фармакология. – 2009. – Т. 72, № 3. – С. 60–64.

3. Чупахина Г.Н. Природные антиоксиданты: монография / Г.Н. Чупахина, П.В. Масленников, Л.Н. Скрыпник. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта, 2011. – 112 с.

4. Волков В.А. Физико-химические закономерности взаимодействия 2,2-дифенил-1-пикрилгидразила с антиоксидантами растительного происхождения: автореф. дис. ... канд. хим. наук (02.00.04). – Тверь, 2010. – 20 с.

5. Мониторинг окислительного стресса в биологических объектах / М.Я. Ходос [и др.] // Вестник уральской медицинской академической науки. – 2017. – Т. 14, № 3. – С. 262–274.

6. Tonutare T. Possibilities to Affect Antioxidant Properties of Strawberries and Some Methodical Aspects in Their Determination: Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of agriculture / Tonu Tonutare. – Tartu. Estonian university of life sciences, 2015. – 150 p.

References

1. Issledovanie antioksidantnoj aktivnosti rastitel`nosti Ferganskoj doliny` / D.M. Aronbaev [i dr.] // Molodoj uchyony`j. – 2015. – T. 84, № 4. – pp. 30–34.

2. Sejfulla R.D. Antioksidanty` / R.D. Sejfulla, E.A. Rozhkova, E.K. Kim // E`ksperimental`naya i klinicheskaya farmakologiya. – 2009. – T. 72, № 3. – pp. 60–64.

3. Chupaxina G.N. Prirodny`e antioksidanty`: monografiya / G.N. Chupaxina, P.V. Maslennikov, L.N. Skry`pnik. – Kaliningrad: Izd-vo BFU im. I. Kanta, 2011. – 112 p.

4. Volkov V.A. Fiziko-ximicheskie zakonomernosti vzaimodejstviya 2,2-difenil-1-pikrilgidrazila s antioksidantami rastitel`nogo proisxozhdeniya: avtoref. dis. ... kand. xim. nauk (02.00.04). – Tver`, 2010. – 20 p.

5. Monitoring okislitel`nogo stressa v biologicheskix ob``ektax / M.Ya. Xodos [i dr.] // Vestnik ural`skoj medicinskoj akademicheskoj nauki. – 2017. – T. 14, № 3. – pp. 262–274.

6. Tonutare T. Possibilities to Affect Antioxidant Properties of Strawberries and Some Methodical Aspects in Their Determination: Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the field of agriculture / Tonu Tonutare. – Tartu. Estonian university of life sciences, 2015. – 150 p.

УДК 547.458:615.322

СОСТАВ ВОДОРАСТВОРИМОГО ПОЛИСАХАРИДНОГО КОМПЛЕКСА ПЛОДОВ ИРГИ ОБЫКНОВЕННОЙ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ОРГАНИЗМ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС

Лаксаева Е.А.

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова», Рязань, e-mail: elenalaksaeva@mail.ru

Научно-технический прогресс предъявляет повышенные требования к организму работающего человека. Одним из факторов, повышающих адаптационные резервы организма, является рациональное питание, и поиск в связи с этим пищевых веществ повышающих биологическую ценность продуктов весьма актуален. Согласно литературным данным, источниками таких веществ могут быть продуты растительного происхождения и входящий в их состав комплекс биологически активных соединений, в частности водорастворимый полисахаридный комплекс. В статье приводятся данные о составе водорастворимого полисахаридного комплекса (ВРПК) зрелых плодов ирги обыкновенной и его влиянии на организм лабораторных крыс при энтеральном введении. ВРПК выделяли из сухих и измельченных плодов. Растительное сырье заливали горячей водой и экстрагировали в течение полутора часов, экстракт упаривали и осаждали этиловым спиртом. Осадок промывали этиловым спиртом и дважды ацетоном. Выделенный полисахарид высушивали в вакууме в течение 12 часов над P_2O_5. Выход полисахаридного комплекса из зрелых плодов составляет 2,1%. ВРПК плодов ирги обыкновенной содержит шесть основных моносахаридных компонентов: D – галактуроновую кислоту, D – галактозу, D – глюкозу, L – арабинозу, D – ксилозу и L – рамнозу. Кроме того, ВРПК плодов ирги обыкновенной содержит такие макроэлементы, как калий, магний, натрий и кальций. При энтеральном введении лабораторным животным ВРПК вызывает существенные изменения в составе форменных элементов крови, гемоглобина, железа и железосвязывающей способности крови, белкового состава ее плазмы, увеличение физической работоспособности. Все это позволило сделать заключение о том, что ВРПК, выделенный из зрелых плодов ирги обыкновенной, при энтеральном введении лабораторным крысам повышает адаптационные резервы их организма.

Ключевые слова: состав водорастворимого полисахаридного комплекса плодов ирги обыкновенной, показатели крови, физическая работоспособность, лабораторные крысы

THE CONTENT OF WATER SOLUBLE POLYSACCHARIDE COMPLEX OF AMELANCHIER FRUIT AND ITS EFFECT ON THE ORGANISM OF LABORATORY RATS

Laksaeva E.A.

Ryazan State Medical University named after academician I.P. Pavlov, Ryazan, e-mail: elenalaksaeva@mail.ru

Scientific and technological progress places enormous demands on the organism of a working person. One of the factors increasing the adaptation reserves of an organism is a rational nutrition and, in this regard, the search of nutrients boosting the biological value of foodstuffs. The literature indicates that the sources of such substances may be products of plant origin and a complex of biologically active compounds in their content, in particular, the water soluble polysaccharide complex. The article includes data about the content of water soluble polysaccharide complex (WSPC) of Amelanchier mature fruit and about its effect on the organism of laboratory rats in case of enteral administration. WSPC was extracted from dry and chopped fruit. They poured hot water on the plant raw material and did extraction for one and a half hours, after that they did evaporation of the extract and its sedimentation with ethanol. The sediment was rinsed with ethanol and twice with acetone. The extracted polysaccharide was dried in vacuum during 12 hours on P_2O_5. The output of polysaccharide complex from mature fruit is 2,1%. WSPC of Amelanchier fruit consists of six principal monosaccharide components: D – galacturonic acid, D – galactose, D – glucose, L – arabinose, D – xylose and L – rhamnose. Furthermore, WSPC of Amelanchier fruit contents such microelements as potassium, magnesium, sodium and calcium. In case of enteral administration in laboratory animals, WSPC provokes considerable changing in the content of blood constituents, haemoglobin, iron and iron binding capacity of the blood, protein component of its plasma, the increase of physical workability. All this led conclude that WSPC, extracted from Amelanchier mature fruit, in case of enteral administration in laboratory rats, boosts the adaptation reserves of their organism.

Keywords: content of water soluble polysaccharide complex of Amelanchier fruit, blood parameters, physical workability, laboratory rats

В современных условиях изыскание веществ, входящих в состав пищевых продуктов, повышающих адаптационные резервы организма, весьма актуально. Питание, сбалансированное по содержанию белков, углеводов, витаминов, а также биологически активных веществ (БАВ), обеспечивает развитие организма, повышение качества жизни и работоспособность, улучшает адаптацию человека к изменяющимся условиям окружающей среды [1, 2]. Перспективными веществами, отвечающими этим требова-

ниям, являются полисахариды, выделенные из растений [3]. Одним из источников полисахаридов рассматриваются плоды ирги обыкновенной [4]. Ирга обыкновенная (*Amelanchier vulgaris* Moench; семейство розоцветных – Rosaceae, подсемейство яблоневых – Pomoideae). Безусловно, вызывает интерес не только состав полисахаридного комплекса плодов ирги обыкновенной, но и возможное влияние этого комплекса на организм при энтеральном введении.

Цель исследования: изучение состава водорастворимого полисахаридного комплекса зрелых плодов ирги обыкновенной и его влияние на показатели крови и физическую работоспособность лабораторных крыс при энтеральном введении.

Материалы и методы исследования

Водорастворимый полисахаридный комплекс (ВРПК) выделяли из зрелых плодов ирги обыкновенной (*Amelanchier vulgaris* М.), растущей в Рязанской области. Изучался состав водорастворимого полисахаридного комплекса плодов ирги обыкновенной и его влияние на показатели крови и физическую работоспособность лабораторных крыс при энтеральном введении.

Водорастворимый полисахаридный комплекс выделяли из сухих, измельченных плодов путем водной экстракции, в течение полутора часов, на водяной бане. Отфильтрованный экстракт осаждали этиловым спиртом (96%). Осадок полисахарида промывали этиловым спиртом и ацетоном. Выделенный полисахарид высушивали над P_2O_5[4]. В образцах ВРПК определяли количество уронового ангидрида методом комплексонометрического титрования, некоторые элементы (K, Na, Ca, Mg) – атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре марки С-115.

При изучении моносахаридного состава полисахарида (100 мг) подвергали гидролизу, в течение 9 часов на кипящей водяной бане, с добавлением серной кислоты (1 н H_2SO_4 5 мл). Гидролизат нейтрализовали карбонатом бария, фильтровали и упаривали до 1 мл. Продукты гидролиза подвергали хроматографированию. Моносахариды выявляли кислым анилинфталатом в бутиловом спирте. Идентификацию проводили сравнением со стандартными препаратами моносахаридов [4]. Соотношения нейтральных сахаров галактозы (Gal), глюкозы (Glc), арабинозы (Ara), ксилозы (Xyl) и рамнозы (Rham) определяли методом нисходящей хроматографии [5].

Препарат в виде 10% раствора, приготовленного на физиологическом растворе, в течение 30 дней, один раз в сутки вводили 54 крысам линии Вистар, массой 180–230 г, энтерально в дозе 0,1 г/кг массы тела. Животные контрольной группы, в те же сроки, получали аналогичный объем физиологического раствора, что и животные экспериментальной группы. На 2, 4, 6, 8, 11 сутки после начала введения препарата у крыс контрольной и экспериментальной групп брали для исследования кровь. У всех животных оценивали содержание форменных элементов крови, железа, уровень гемоглобина и железосвязывающую способность сыворотки, а также белковые фракции плазмы [6, 7].

Физическую работоспособность исследовали с помощью плавательного теста. Животные контрольной группы, получавшие физиологический раствор в том же объёме, что и экспериментальные животные, рассматривались в качестве контроля.

Полученные данные подвергнуты статистической обработке методами параметрической статистики. Различия сравниваемых средних величин считались достоверными при уровне значимости $Pd < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Выход ВРПК из зрелых плодов ирги обыкновенной составлял 2,1%. При этом основную долю представлял уроновый ангидрид (85,6 ± 0,36%). Поэтому мы сделали заключение о том, что выделенный ВРПК ирги обыкновенной являлся разновидностью смеси пектинов.

Исследование полисахаридного комплекса плодов ирги обыкновенной выявило значительное содержание в них таких минеральных элементов, как калий, магний, натрий и кальций. Установлено, что в полисахаридном комплексе больше содержалось калия, чем магния, натрия и кальция. Содержание калия в ВРПК ирги составляло 1,18%, тогда как магния 0,55%, а натрия и кальция 0,39% и 0,34% соответственно.

При хроматографическом анализе гидролизата водорастворимого полисахаридного комплекса плодов ирги обыкновенной установлено, что он содержит D – галактуроновую кислоту, D – галактозу, D – глюкозу, L – арабинозу, D – ксилозу, L – рамнозу (табл. 1).

Учитывая представленные выше данные, а также установленный ранее нами факт наличия в плодах ирги обыкновенной

таких микроэлементов, как железо, марганец, цинк и медь [4], авторы пришли к заключению, что ВРПК ирги обыкновенной может рассматриваться как биологически активный комплекс, который может оказать существенное влияние на организм животных при энтеральном введении.

На следующем этапе исследования мы изучили влияние ВРПК ирги обыкновенной на ряд показателей организма лабораторных крыс при энтеральном введении.

Под влиянием ВРПК плодов ирги обыкновенной количество эритроцитов в крови подопытных крыс статистически достоверно возрастало на 5 и 7 сутки, что превосходило уровень показателей лабораторных животных контрольной группы (табл. 2). После 10 суток получения животными ВРПК ирги количество эритроцитов практически снижалось до исходного уровня (табл. 2). Уровень гемоглобина уже после трех введений препарата статистически достоверно возрастал и превосходил показатели животных контрольной группы. При дальнейшем получении экспериментальными животными препарата количество гемоглобина постепенно снижалось до уровня показателей контрольной группы (табл. 2).

Количество железа в сыворотке крови животных, получавших ВРПК, статистически достоверно увеличивалось уже после первых суток эксперимента по отношению к уровню контрольной группы. Максимальное количество железа в крови лабораторных крыс наблюдалось на третьи сутки введения полисахаридов и более чем в 2,5 раза превышало показатель животных контрольной группы (табл. 2). Аналогичным образом изменялась железосвязывающая способность крови экспериментальных животных по сравнению с контрольной группой.

Неоднозначным оказалось влияние ВРПК ирги на фракции лейкоцитов крови экспериментальных животных (табл. 3). После первого введения ВРПК в крови экспериментальных животных численность лимфоцитов незначительно возрастала, по сравнению с животными контрольной группы с последующим восстановлением на уровень показателей животных контрольной группы к пятым суткам введения препарата. Начиная с седьмых суток введение полисахарида приводило к постепенному снижению численности лимфоцитов в крови экспериментальных животных по сравнению с контролем (табл. 3). Количество моноцитов в крови подопытных крыс под воздействием ВРПК практически не изменялось по сравнению с аналогичным показателем контрольных животных в течение недели приема полисахарида. Только после десятикратного введения животным полисахаридного комплекса численность моноцитов в их крови существенно возрастала (табл. 3).

Таблица 1

Содержание моносахаридов в ВРПК, выделенном из зрелых плодов ирги обыкновенной

Относительное содержание моносахаридов в ВРПК плодов ирги обыкновенной в % M ± m				
галактоза Gal	глюкоза Glc	арабиноза Ara	ксилоза Xyl	рамноза Rha
13,19 ± 1,63	14,96 ± 0,46	37,12 ± 1,73	20,52 ± 1,36	14,21 ± 0,96

Таблица 2

Изменение показателей крови животных, получавших ВРПК, выделенный из зрелых плодов ирги обыкновенной

№ п/п	Показатели крови	Контроль M ± m	1 сутки M ± m	3 сутки M ± m	5 сутки M ± m	7 сутки M ± m	10 сутки M ± m
1	Эритроциты (x10^{12}/л)	5,30 ± 0,31	5,26 ± 0,08	6,11 ± 0,21	6,42 ± 0,45*	6,53 ± 0,22*	5,29 ± 0,18
2	Гемоглобин (г/л)	114,5 ± 1,02	115,7 ± 1,59	136,7 ± 2,88*	118,5 ± 1,21*	115,3 ± 2,20	112,3 ± 3,23
3	Железо (мкмоль/л)	8,1 ± 0,41	13,8 ± 0,37*	21,7 ± 1,65*	17,5 ± 1,07*	18,6 ± 1,1*	15,5 ± 0,9*
4	ЖСС (мкмоль/л)	70,2 ± 1,13	79,7 ± 1,60*	88,9 ± 1,64*	86,9 ± 1,23*	79,0 ± 1,20*	80,0 ± 0,81*

Примечание. В таблице * – Pd < 0,05 по отношению к контрольной группе; M ± m – средняя величина показателя и её вероятная ошибка. ЖСС – железосвязывающая способность крови.

Вместе с тем общее количество лейкоцитов крови экспериментальных животных, под влиянием ВРПК плодов ирги, имело отчетливую тенденцию к снижению (табл. 3). После семидневного введения препарата наблюдался их минимальный уровень, который составлял 42% от уровня показателей животных контрольной группы. После десятикратного введения полисахарида происходило некоторое увеличение общей численности лейкоцитов и формировало тенденцию нормализации их общей численности.

Разнонаправленно происходило изменение белковых фракций плазмы крови у лабораторных животных, получавших полисахариды. Под влиянием ВРПК в плазме подопытных крыс на третьи сутки введение препарата приводило к незначительному увеличению количества альбуминов (табл. 4). После 10 суток получения животными полисахарида выявленная тенденция в изменении количества альбуминов сохранялась. Количество α_2-макроглобулинов практически не изменялось в течение всего времени проведения эксперимента, и только после десяти дней введения подопытным крысам полисахарида оно существенно возрастало (табл. 4). Уровень β-глобулиновой фракции под влиянием всего времени введения полисахарида достоверно понижался по сравнению с показателями животных контрольной группы. Содержание γ-глобулинов под влиянием первых пяти введений полисахарида оставалось на уровне контрольной группы, а на 7–10 сутки опыта понижалось по сравнению с показателями животных контрольной группы (табл. 4).

Под действием полисахарида зрелых плодов ирги обыкновенной у животных отмечалось повышение физической работоспособности по критерию плавательного теста. Это отражалось в статистически достоверном увеличении времени плавания животных и достигало своего максимального значения на 10 сутки введения препарата (табл. 5).

Следует отметить, что повышенная работоспособность у крыс экспериментальной группы сохранялась и в течение 7 дней после окончания получения животными полисахаридов (табл. 5).

Обсуждая возможные механизмы влияния ВРПК плодов ирги обыкновенной на показатели крови лабораторных животных, следует отметить, что основную долю полисахаридного комплекса составляют пектины. Согласно литературным данным пектины в желудочно-кишечном тракте не подвергаются гидролизу и поэтому моносахара, являющиеся составной частью ВРПК, не всасываются и не попадают во внутреннюю среду организма. По-видимому, полисахаридный комплекс, выделенный из плодов ирги обыкновенной, не может оказывать прямого действия на клетки и органы мишени организма экспериментальных животных. Согласно литературным данным пектины являются питательной средой для сапрофитов и способствуют их развитию в кишечнике. Продукты жизнедеятельности сапрофитов характеризуются биологической активностью, обладая в том числе способностью активировать эритропоэз и гемопоэз. Косвенно о направленности такого влияния свидетельствуют процессы увеличения соединений железа в крови и ее железосвязывающих свойств. Повышение эритроцитов и гемоглобина в крови увеличивает кислородную емкость крови, что, на наш взгляд, и приводит к повышению физической работоспособности животных. Вторым аспектом возможных механизмов влияния ВРПК плодов ирги обыкновенной на организм животных является повышение биодоступности макро- и микроэлементов, содержащихся в полисахаридах, улучшение их всасывания в кишечнике под влиянием биологически активных веществ, выделяемых сапрофитами и, в этой связи, улучшение метаболизма в тканях. Представленные в статье результаты исследований о влиянии полисахаридного комплекса зрелых плодов ирги обыкновенной на содержание в крови лейкоцитов и белковые фракции плазмы свидетельствуют о его модулирующем влиянии на иммунокомпетентную систему. Однако этот аспект действия полисахаридного комплекса на организм животных требует уточнения и дальнейшего изучения.

Выводы

1. Водорастворимый полисахаридный комплекс, выделенный из зрелых плодов ирги обыкновенной, представлен в основном уроновым ангидридом, а также шестью моносахаридными компонентами: D – галактуроновой кислотой, D – галактозой, D – глюкозой, L – арабинозой, D – ксилозой, L – рамнозой.

2. Водорастворимый полисахаридный комплекс, выделенный из зрелых плодов ирги обыкновенной, содержит ряд минеральных элементов, таких как калий, магний, натрий и кальций.

Таблица 3

Изменения клеточного состава «белой» крови крыс, получавших ВРПК, выделенный из зрелых плодов ирги обыкновенной, по сравнению с показателями животных контрольной группы

№ п/п	Клеточный состав «белой» крови	Группы сравнения					
		Контроль M ± m	1 сутки M ± m	3 сутки M ± m	5 сутки M ± m	7 сутки M ± m	10 сутки M ± m
1	Лимфоциты (%)	79,7 ± 0,90	82,5 ± 0,48	82,4 ± 0,65	78,9 ± 0,98	71,8 ± 1,10*	58,2 ± 0,52*
2	Моноциты (%)	4,85 ± 0,21	3,8 ± 0,14*	4,7 ± 0,36	3,86 ± 0,13*	4,7 ± 0,17	7,3 ± 0,15*
3	Лейкоциты ($x10^9$/л)	15,5 ± 0,19*	11,6 ± 0,22*	7,18 ± 0,17*	7,8 ± 0,04*	6,5 ± 0,21*	7,2 ± 0,16*

Примечание. * – Pd < 0,05 по сравнению с контрольной группой; M ± m – средняя величина показателя и её вероятная ошибка.

Таблица 4

Белковые фракции плазмы крови животных, получавших ВРПК зрелых плодов ирги обыкновенной, и животных контрольной группы

№ п/п	Белковые фракции плазмы крови в%	Группы сравнения					
		Контроль M ± m	1 сутки M ± m	3 сутки M ± m	5 сутки M ± m	7 сутки M ± m	10 сутки M ± m
1	альбумины	44,3 ± 1,17	47,0 ± 0,65	50,7 ± 0,41*	49,9 ± 2,51	50,0 ± 1,12*	47,1 ± 1,72
2	α_1-глобулины	14,7 ± 0,73	15,9 ± 0,51	14,1 ± 0,40	15,3 ± 0,57	13,0 ± 0,02	17,9 ± 0,37*
3	α_2-глобулины	7,2 ± 0,6	7,7 ± 0,18	7,0 ± 0,30	7,0 ± 0,55	7,0 ± 0,69	10,4 ± 0,04*
4	β-глобулины	21,9 ± 2,04	18,4 ± 0,98	16,3 ± 0,38*	16,0 ± 0,74*	18,0 ± 0,17	15,8 ± 0,66*
5	γ-глобулины	11,9 ± 0,33	10,9 ± 0,64	11,9 ± 0,64	11,7 ± 0,70	8,3 ± 0,72*	8,7 ± 0,77*

Примечание. * – Pd < 0,05 по сравнению с контрольной группой; M ± m – средняя величина показателя и её вероятная ошибка.

Таблица 5

Показатели плавательного теста животных, получавших ВРПК зрелых плодов ирги обыкновенной

№ п/п	Группы сравнения	Условия наблюдения						
		1 сутки	5 сутки	10 сутки	15 сутки	20 сутки	25 сутки	Последействие
		Среднее время плавания, в мин M ± m						
1	Контр.	1,42 ± 0,01	1,45 ± 0,01	1,43 ± 0,02	1,42 ± 0,02	1,5 ± 0,02	1,5 ± 0,04	1,7 ± 0,06
2	Опыт	1,41 ± 0,01	1,51 ± 0,01*	2,03 ± 0,05*	1,85 ± 0,04*	1,92 ± 0,04*	2,01 ± 0,03*	2,16 ± 0,02*

Примечание. * – Pd < 0,05 по сравнению с контрольной группой; M ± m – средняя величина показателя и её вероятная ошибка.

3. Водорастворимый полисахаридный комплекс, выделенный из зрелых плодов ирги обыкновенной, при энтеральном введении повышает физическую работоспособность экспериментальных животных по показателям плавательного теста.

4. Водорастворимый полисахаридный комплекс, выделенный из зрелых плодов ирги обыкновенной, при энтеральном введении лабораторным крысам увеличивает количество эритроцитов и гемоглобина, а также количество железа и железосвязывающую способность сыворотки крови, что является физиологической основой повышения физической работоспособности экспериментальных животных.

Список литературы

1. Режим питания в сохранении здоровья работающего населения / И.В. Кобелькова [и др.] // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86, № 5. – С. 17–21.

2. Пивоваров В.Ф. Овощи – продукты и сырье для функционального питания / В.Ф. Пивоваров, О.Н. Пышная, Л.К. Гуркина // Вопросы питания. – 2017. – Т. 86, № 3. – С. 121–127.

3. Сычев И.А. Изучение состава, некоторых физико-химических свойств и биологической активности полисахаридного комплекса листьев лопуха большого / И.А. Сычев, Д.Г. Кокина // Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова. – 2017. – № 1. – С. 42–48.

4. Лаксаева Е.А. Зависимость накопления плодами обыкновенной ирги биологически активных веществ от экологической ситуации и их влияние на состояние животных: автореф. дис. … канд. биол. наук. – Балашиха, 2011. – 24 с.

5. Ермаков А.И. Методы биохимического исследования растений / А.И. Ермаков, В.В. Арасимович, Н.П. Ярош. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 430 с.

6. Ерзылева Т.В. Влияние растительных полисахаридов на кровь и кроветворение в норме и при патологии // Наука молодых (Eruditio Juvenium):электронный научный журнал. – 2015. – № 3. – С. 97–102. URL: www.naukamolod.rzgmu.ru (дата обращения: 17.04.2018).

7. Сычев И.А. Влияние полисахарида ирги обыкновенной на кровь здоровых животных / И.А. Сычев, Е.А. Лаксаева // Российский медико-биологический вестник им. акад. И.П. Павлова. – 2010. – № 3. – С. 155–162.

References

1. Rezhim pitaniya v soxranenii zdorov`ya rabotayushhego naseleniya / I.V. Kobel`kova [i dr.] // Voprosy` pitaniya. – 2017. – T. 86, № 5. – pp. 17–21.

2. Pivovarov V.F. Ovoshhi – produkty` i sy`r`e dlya funkcional`nogo pitaniya / V.F. Pivovarov, O.N. Py`shnaya, L.K. Gurkina // Voprosy` pitaniya. – 2017. – T. 86, № 3. – pp. 121–127.

3. Sy`chev I.A. Izuchenie sostava, nekotory`x fiziko-ximicheskix svojstv i biologicheskoj aktivnosti polisaxaridnogo kompleksa list`ev lopuxa bol`shogo / I.A. Sy`chev, D.G. Kokina // Rossijskij mediko-biologicheskij vestnik im. akad. I.P. Pavlova. – 2017. – № 1. – pp. 42–48.

4. Laksaeva E.A. Zavisimost` nakopleniya plodami oby`knovennoj irgi biologicheski aktivny`x veshhestv ot e`kologicheskoj situacii i ix vliyanie na sostoyanie zhivotny`x: avtoref. dis. … kand. biol. nauk. – Balashixa, 2011. – 24 p.

5. Ermakov A.I. Metody` bioximicheskogo issledovaniya rastenij / A.I. Ermakov, V.V. Arasimovich, N.P. Yarosh. – L.: Agropromizdat, 1987. – 430 p.

6. Erzy`leva T.V. Vliyanie rastitel`ny`x polisaxaridov na krov` i krovetvorenie v norme i pri patologii // Nauka molody`x (Eruditio Juvenium):e`lektronny`j nauchny`j zhurnal. – 2015. – № 3. – pp. 97–102. URL: www.naukamolod.rzgmu.ru (data obrashheniya: 17.04.2018).

7. Sy`chev I.A. Vliyanie polisaxarida irgi oby`knovennoj na krov` zdorovy`x zhivotny`x / I.A. Sy`chev, E.A. Laksaeva // Rossijskij mediko-biologicheskij vestnik im. akad. I.P. Pavlova. – 2010. – № 3. – pp. 155–162.

УДК 630*443:630*181.351/352:633.877.3

АНАТОМО-МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МИКОТРОФНОСТИ PINUS SYLVESTRIS L. В НАСАЖДЕНИЯХ, ПОВРЕЖДЕННЫХ HETEROBASIDION ANNOSUM (FR.) BREF.

Адамович И.Ю.

ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск, e-mail: igor_adamovich@mail.ru

Исследованы анатомо-морфологические особенности микориз Pinus sylvestris L. в насаждениях, поврежденных Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. Из основных разновидностей микориз у Pínus sylvestris зафиксированы эктотрофная микориза и псевдомикориза. Эктотрофная микориза сосны отличается наличием грибного чехла, развитием сети Гартига, отсутствием внутриклеточной инфекции. Гифы гриба способны внедряться внутрь клеток корня, но очень незначительно и ограничиваются периферическим слоем клеток, богатых дубильными веществами. Внутри этих клеток происходит переваривание мицелия, гифы разрушаются, образовавшиеся гранулы затем уменьшаются и постепенно исчезают. Типичная эндотрофная микориза у Pínus sylvestris не обнаружена. Псевдомикоризы сходны по внешнему виду с истинными микоризами, отличить их можно лишь под микроскопом. На поперечном срезе можно видеть значительные отклонения псевдомикориз от эктомикориз. У псевдомикориз меньше, чем у истинной микоризы, развит грибной чехол, клетки растения заражены грибом и часто наполнены гаусториевидными гифами, прокладывающими себе путь от обволакивающего корень грибного чехла. Причем гифы проникают почти во все клетки коровой ткани и центрального цилиндра. Заражение корня разветвленными пальцевидными гифами напоминают картину заражения некоторыми паразитами. В псевдомикоризах менее выражена или отсутствует сеть Гартига, отсутствуют признаки внукриклеточного переваривания гифов гриба. Это может свидетельствовать о нарушении нормально уравновешенных соотношений между деревом-хозяином и грибом, переход гриба к одностороннему паразитизму. Псевдомикориза может образоваться вследствие заражения растения слабопатогенным грибом. Также причиной возникновения псевдомикориз может быть ослабление растения, что приводит к нарушению нормальных мутуалистических отношений между корешком и мицелием истинного микоризного гриба. Изучение микотрофности Pinus sylvestris L. в насаждениях, поврежденных Heterobasidion annosum (Fr.) Bref, может помочь в выработке мер борьбы с корневой губкой.

Ключевые слова: Pinus sylvestris, Heterobasidion annosum, эктомикоризы, псевдомикоризы, симбиоз, паразитизм, корневая гниль, лесные культуры

ANATOMIC-MORPHOLOGICAL FEATURES OF THE PINUS SYLVESTRIS L. MYCOTROPHY IN THE PLANTATIONS DAMAGED BY THE HETEROBASIDION ANNOSUM (FR.) BREF.

Adamovich I.Yu.

Bryansk State University of Engineering and Technology, Bryansk, e-mail: igor_adamovich@mail.ru

The anatomic-morphological features of Pinus sylvestris L. mycorrhizae in the plantations damaged by the Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. are studied. Ectotrophic mycorrhiza and pseudomycorrhiza were recorded among the main varieties of the Pinus sylvestris L. mycorrhizae. Ectotrophic mycorrhiza of Scotch pine is characterized by the presence of fungal outer cover, the development of the Hartig net and the lack of intracellular infection. The fungal flocusses can penetrate inside the root cells but very insignificantly and they are limited to the peripheral layer of cells rich in tannins. The mycelium is digested and flocusses are destroyed inside these cells. Then granules that are formed during this process are reduced and gradually disappear. A typical endotrophic mycorrhiza in Pínus sylvestris was not found. Pseudomycorrhizae are similar in appearance with the true mycorrhizae and they can be distinguished only under a microscope. Significant deviations of pseudomycorrhizae from ectomycorrhizae can be seen on the cross-section. Pseudomycorrhizae have less fungal cover than the true mycorrhiza; the cells of the plant are infected with fungus and are often filled with haustorium-shaped flocusses, making their way from the root enveloping fungal cover. And flocusses penetrate almost all cells of the bark tissue and the central cylinder. Root infection with the branched finger-shaped flocusses resembles a picture of some parasites infection. There are no signs of intracellular digestion of fungal flocusses and the Hartig net is less expressed or absent in pseudomycorrhizae. This may indicate a violation of the normally balanced relationship between the host tree and the fungus, the transition of the fungus to unilateral parasitism. Pseudomycorrhiza may be formed due to the plant infection with weakly pathogenic fungus. The cause of pseudomycorrhizae formation may also be a disturbance of the plant weakening, which leads to the violation of normal mutualistic relationships between the root and the mycelium of the true mycorrhizal fungus. The study of the Pinus sylvestris L. mycotrophy in the plantations damaged by Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. can help in developing measures to combat it.

Keywords: Pinus sylvestris, Heterobasidion annosum, ectomycorrhizae, pseudomycorrhizae, symbiosis, parasitism, root rot, forest plantations

Heterobasidion annosum – возбудитель стволовой гнили древесины, на сегодняшний день он является основным патогеном *Pinus sylvestris* L. в умеренных широтах. Корневая губка массово распространена в чистых сосновых культурах, созданных во многих областях России, особенно в тех местах, где сосна посажена на площадях,

которые длительное время не были заняты лесом, таких как пастбища, старопахотные земли и т.д. [1]. Отмечается тенденция к усилению распространения *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. в связи с изменением климата, а следовательно, и возрастание экономического ущерба, наносимого лесному хозяйству [2]. В настоящее время проводятся многочисленные работы по выработке мер противодействия корневой губке. Проводятся исследования вирусов, паразитирующих на *Heterobasidion annosum* [3]. Исследуются защитные реакции саженцев хвойных, отмечено сходство ответной реакции растения на заражение *Heterobasidion annosum* с реакцией на заражение микоризным грибом *Pisolithus tinctorius* [4]. Учитывая тот факт, что сосна обыкновенная является высокомикотрофным растением, не способным к нормальному развитию без микориз, их роль в формировании устойчивости *Pinus sylvestris* к корневой губке может быть весьма значительной.

У сосны обыкновенной описаны три основных типа метаморфизированных корневых окончаний, образованных в результате взаимодействия гриба и высшего растения: эктотрофные микоризы, эктоэндотрофные микоризы и псевдомикоризы. При благоприятных условиях произрастания на корневых окончаниях сосны формируются эумицетные хальмофаговые эктомикоризы, или эктотрофные микоризы [5]. Эктотрофная микориза образуется главным образом у хвойных и «сережкоцветных» покрытосеменных. Трофические связи симбионтов сводятся к хальмофагии или резорбции солей и других веществ. У хвойных взаимоотношения гриба и высшего растения варьируют от факультативного до облигатного симбиоза, но главным образом сводятся к двустороннему умеренному паразитизму гриба и высшего растения, или аллелопаразитизму [6]. Эндоэктотрофные микоризы отмечались прежде всего в хвойных питомниках и в биотопах с нарушенными условиями обитания. Псевдомикоризы в здоровых лесных условиях встречаются редко и наблюдаются в случаях, когда растение сильно подавлено, например при выращивании сеянцев хвойных в стерильных условиях. Псевдомикоризы являются односторонним паразитизмом слишком вирулентных грибов на высшем растении. При определенных условиях или на определенной стадии в ходе развития ассоциации роль микоризного гриба может меняться. Один и тот же микобионт может быть эндофитом, мутуалистическим симбионтом, сапротрофом или некротрофным паразитом. Грибы, образующие эктомикоризы с одним растением, у другого могут формировать эктоэндомикоризы и даже псевдомикоризы [6].

Исследование особенностей корневого питания *Pinus sylvestris* в насаждениях, пораженных *Heterobasidion annosum*, особенно актуально, поскольку может помочь в выработке мер борьбы с корневой губкой. Цель нашего исследования – изучить анатомо-морфологические особенности микотрофности *Pinus sylvestris* в насаждениях, пораженных *Heterobasidion annosum* и в здоровых древостоях.

Материалы и методы исследования

Пробные площади (ПП) закладывались в лесных культурах *Pinus sylvestris*, созданных ручной посадкой на старопахотных землях Клюковенского участкового лесничества Государственного казенного учреждения Брянской области «Навлинское лесничество». Насаждения представляют собой лесные культуры: возраст 44 года, состав 10С, ТЛУ (тип лесорастительных условий) – В2, тип леса – сосняк орляковый. В насаждениях зафиксировано до 10% деревьев, пораженных *Heterobasidion annosum*.

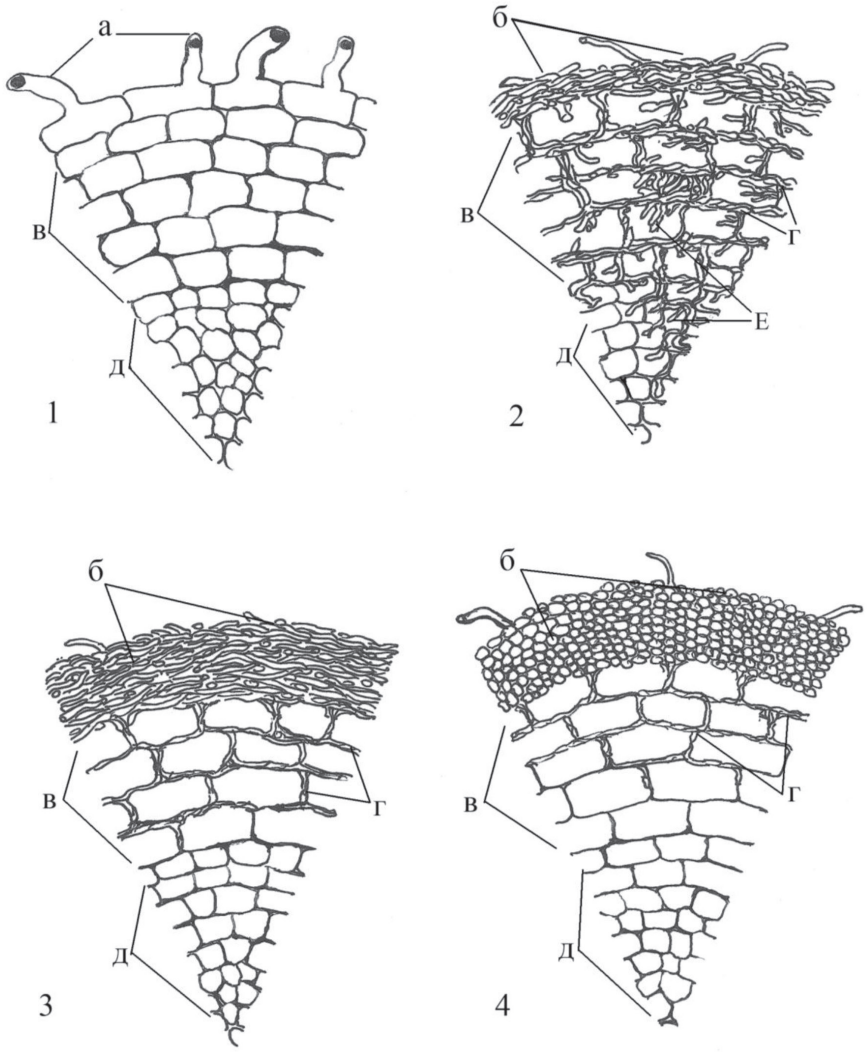
Микоризы сосны и других хвойных пород – это однолетние образования, функционирующие в течение одного вегетационного периода, а затем погибающие. Рост корней характеризуется определенным ритмом, развитие микориз очень тесно связано с изменениями активности роста дерева-хозяина и условий среды, окружающей корни. Это обстоятельство имеет особенное значение при выборе сроков отбора материала для исследований [5]. Сбор полевого материала осуществлялся в конце вегетационного периода, причем отбор образцов корневых систем осуществлялся в течение 4…7 дней, что позволило свести к минимуму климатические отличия на ПП и считать их одинаковыми на опытных и контрольных площадях. Отобрано и проанализировано 700 корневых окончаний сосны обыкновенной.

Из отобранных материалов приготавливали микросрезы толщиной 5…10 мкм. Полученные препараты исследованы с использованием микроскопов МБИ-6 и Микмед. Размеры исследуемых элементов микориз определяли при помощи окуляра, оснащенного шкалой Гюйгенса. Разнообразие эктомикориз исследовано с ис-

пользованием классификации, изложенной в работе И.А. Селиванова [6], основанной на признаках анатомического строения эктомикоризных чехлов, выделяемые при этом способе классификации единицы – подтипы микоризных чехлов. В корневых окончаниях измеряли толщину грибного чехла, толщину паренхимы первичной коры, радиус центрального цилиндра, общую толщину корневого окончания. Статистическая обработка экспериментального материала осуществлялась по схеме малой выборочной совокупности, при этом определялись такие статистические показатели, как средняя арифметическая величина с ошибкой ($M \pm mx$), среднее квадратическое отклонение (σ), точность опыта (p). Достоверность различия средних величин оценивалась по t-критерию Стьюдента. Все вычисления осуществлялись с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel на ЭВМ.

Результаты исследования и их обсуждение

Микоризы сосны имеют простую (неразветвленную), вильчатую, дваждывильчатую и сильноразветвленную (коралловидную) формы.



Корневые окончания сосны обыкновенной в насаждениях, поврежденных Heterobasidion annosum (Fr.): 1 – Немикоризное корневое окончание; 2 – псевдомикориза; 3 – эктотрофная микориза с плектенхиматическим строением грибного чехла; 4 – эктотрофная микориза с псевдопренхиматическим строением грибного чехла; а – корневые волоски; б – грибной корневой чехол; в – первичная кора; г – сеть Гартига; д – центральный цилиндр; е – мицелий гриба в клетках корня

Типичная эндотрофная микориза (или эндомикориза), характеризующаяся отсутствием грибного чехла, сохранением неизменным внешнего вида корневого окончания и наличием обильных грибных структур в клетках корня, у *Pínus sylvestris* нами не была обнаружена.

В очаге поражения *Heterobasidion annosum* нами зафиксированы немикоризные корневые окончания, эктотрофная микориза и псевдомикориза (рисунок).

На контрольных ПП, заложенных в здоровых насаждениях, псевдомикориза не была обнаружена ни в одном образце.

Микоризность сосны (доля метаморфизированных корневых окончаний, к которым мы причисляем и псевдомикоризу) составила 93–97%, статистически достоверных отличий на контрольных и опытных ПП не отмечено.

Эктотрофная микориза сосны отличается наличием грибного чехла, развитием сети Гартига, отсутствием внутриклеточной инфекции.

При образовании микориз и формировании грибного чехла корневые волоски редуцируются. Сеть Гартига хорошо развитая, проникает по межклетникам на три-пять слоев клеток первичной коры. Гифы гриба способны внедряться внутрь клеток корня, но очень незначительно и ограничиваются периферическим слоем клеток, богатых дубильными веществами. Внутри этих клеток происходит переваривание мицелия, гифы разрушаются, образовавшиеся гранулы затем уменьшаются и постепенно исчезают. Часть периферических клеток первичной коры (от нескольких клеток до нескольких слоев клеток) обычно представлена таниновыми клетками, которые имеют темно-коричневую, иногда черную окраску, более плоскую форму, часто наблюдается потеря ими тургора. Таниновые клетки встречались нам в микоризах со всеми подтипами чехлов, (микориз с бесструктурными чехлами, не содержащих таниновых клеток, авторами не зафиксировано). Часть периферических слоев клеток первичной коры (как правило, 1 или 2 слоя) бывают представлены таниновыми клетками. В немикоризных корневых окончаниях таниновые клетки не отмечены.

Авторами обнаружены эктотрофные микоризы с различными подтипами грибных чехлов. Микоризы с плектенхиматическим (войлочным) строением грибного чехла, на ПП зафиксированы подтипы: B – поверхность грибного чехла гладкая или покрыта слабой бахромой, C – на поверхности грибного чехла встречаются ризоморфы, D – грибной чехол покрыт щетинками, A – имеет рыхлое, неправильное соединение гифов с корнем. Отмечены микоризы с псевдопаренхиматическими подтипами, среди них: F – имеет гладкую или с одиночными гифами поверхность грибного чехла, H – грибной чехол покрыт многочисленными светлыми, мягкими гифами; G – поверхность грибного чехла покрыта жесткими, тупоконечными гифами. Микоризы с двойными чехлами представлены тремя подтипами: P – наружный слой грибного чехла светлый, плектенхиматического строения, внутренний – темный, псевдопаренхиматический, K – наружный слой гладкий, коричневого цвета, плектенхиматического строения, внутренний – псевдопаренхиматический, другой окраски, O – имеет темный наружный слой и светлый внутренний, оба псевдопаренхиматического строения. Из микориз с чехлом бесструктурного строения отмечен только один подтип – S, характеризующийся гладкой, более или менее однородной поверхностью.

Поскольку анатомо-морфологические показатели, например толщина грибного чехла, зависят от типа микориз, целесообразно исследовать их по основным типам. Среди эктомикориз сосны бесструктурные и двойные чехлы встречались на ПП в незначительном количестве. Наиболее распространены плектенхиматические и псевдопаренхиматические подтипы микориз, они встречаются на всех ПП, анализ анатомоморфологических особенностей эктомикориз авторы проводили по этим подтипам.

Немикоризные корневые окончания характеризуются наличием корневых волосков, отсутствием грибного чехла и сети Гартига. В паренхиме их первичной коры авторам также не встречались таниновые клетки и клетки с потерей тургора.

Псевдомикоризы сходны по внешнему виду с истинными микоризами, отличить их можно лишь под микроскопом. На поперечном срезе можно видеть значительные отклонения псевдомикориз от эктомикориз. У псевдомикориз меньше, чем у истинной микоризы, развит грибной чехол, клетки растения заражены грибом и часто наполнены гаусториевидными гифами, прокладывающими себе путь от обволакивающего корень грибного чехла. Причем гифы проникают почти в клетки коровой ткани и центрального цилиндра. Заражение корня разветвленными пальцевидными гифами,

напоминают картину заражения некоторыми паразитами. В классических псевдомикоризах менее выражена или отсутствует сеть Гартига [6]. Псевдомикоризы с полным отсутствием сети Гартига обнаружены не были, что, наряду с имеющимся грибным чехлом, позволяет отнести их к псевдоэктомикоризам. У корневых окончаний этого типа отсутствуют признаки лизиса (внутриклеточного переваривания) гифов гриба. Это может свидетельствовать о нарушении нормально уравновешенных соотношений между деревом-хозяином и грибом, переход гриба к одностороннему паразитизму.

В ходе исследования анатомо-морфологических параметров корневых окончаний наименьшие размеры грибного чехла (13,6 ± 0,6 мкм) зафиксированы авторами у псевдомикориз. Толщина паренхимы первичной коры псевдомикориз составила 74,9 ± 3,4 мкм, радиус центрального цилиндра – 55,8 ± 2,7 мкм, общая толщина корневого окончания равна 288,6 ± 9,1 мкм.

Толщина грибного чехла эктомикориз плектенхиматических подтипов составила 17,0 ± 0,8 мкм, что на 3,4 мкм больше аналогичного показателя псевдомикориз, различие статистически достоверно ($t_{St} > t_{табл}$ при $p = 0,01$). Общая толщина плектенхиматических микориз равняется 294,2 ± 6,7 мкм, радиус центрального цилиндра – 56,9 ± 1,7 мкм, толщина паренхимы первичной коры – 73,2 ± 2,8 мкм, статистически значимых отличий от псевдомикориз не обнаружено (таблица).

У микориз с псевдопаренхиматическими подтипами грибных чехлов размеры составляют: толщина паренхимы первичной коры – 73,2 ± 2,4 мкм, радиус центрального цилиндра – 56,6 ± 1,7 мкм, толщина грибного чехла – 24,3 ± 0,7 мкм, общая толщина – 308,0 ± 6,7 мкм. Как и у плектенхиматических подтипов, у псевдопаренхиматических микориз значимое отличие ($t_{St} > t_{табл}$ при $p = 0,001$) зафиксировано только по толщине грибного чехла, который почти в два раза превышает толщину аналогичного показателя псевдомикориз (24,3 ± 0,7 мкм).

Микоризы имеют первостепенное значение для растений и деревьев, растущих на целинных лесных почвах и родственных типах почв. Известно, что псевдомикориза может образоваться вследствие заражения растения слабопатогенным грибом [6].

При создании лесных культур на старопахотных землях отсутствие грибов, образующих эктотрофную микоризу, или наличие слабопатогенных грибов, образующих псевдомикоризу, может привести к ослаблению растения, что делает его более восприимчивым к поражению *Heterobasidion annosum*. Также причиной возникновения псевдомикориз может быть ослабление растения, вызванное развитием корневой губки, что может привести к нарушению нормальных мутуалистических отношений между корешком и мицелием истинного микоризного гриба. В здоровых насаждениях сосны обыкновенной псевдомикориза не обнаружена ни в одном образце.

Для диагностирования характера взаимоотношений между сосной обыкновенной и грибом имело бы большое практическое и научное значение коллекционирование препаратов типичных микориз и псевдомикориз.

Заключение

Развитие у *Pinus sylvestris* псевдомикориз, в насаждениях, поврежденных *Heterobasidion annosum*, может свидетельствовать о нарушении нормально уравновешенных соотношений между деревом-хозяином и грибом, переход гриба к одностороннему паразитизму. Изучение микотрофности *Pinus sylvestris* в насаждениях, поврежденных *Heterobasidion annosum*, может помочь в выработке мер борьбы с корневой губкой.

Анатомо-морфологические показатели корневых окончаний Pinus sylvestris в насаждениях, поврежденных Heterobasidion annosum

Тип корневого окончания	Толщина грибного чехла, мкм	Толщина паренхимы первичной коры, мкм	Радиус центрального цилиндра, мкм	Толщина корневого окончания, мкм
Псевдомикоризы	13,6 ± 0,6	74,9 ± 3,4	55,8 ± 2,7	288,6 ± 9,1
Эктомикоризы с плектенхиматическими подтипами грибного чехла	17,0 ± 0,8	73,2 ± 2,8	56,9 ± 1,7	294,2 ± 6,7
Эктомикоризы с псевдопаренхиматическими подтипами грибного чехла	24,3 ± 0,7	73,2 ± 2,4	56,6 ± 1,7	308,0 ± 6,7

Список литературы

1. Телепина Ю.В. Корневая губка в сосняках Тарасовского лесничества Ростовской области / Ю.В. Телепина // Научный альманах. Сельскохозяйственные науки. – 2015. – № 11–4 (13). – С. 337–341. DOI: 10.17117/na.2015.11.04.337.

2. Brunette M., Caurla S. An economic comparison of risk handling measures against Hylobius abietis and Heterobasidion annosum in the Landes de Gascogne Forest. Annals of Forest Science, September 2016, vol. 73, Issue 3, pp. 777–787. DOI: 10.1007/s13595-016-0568-z.

3. Hyder R., Piri T., Hantula J., Nuorteva H., Vainio E.J. Distribution of Viruses Inhabiting Heterobasidion annosum in a Pine-Dominated Forest Plot in Southern Finland. Microbial Ecology, April 2018, vol. 75, Issue 3, pp. 622–630. DOI: 10.1007/s00248-017-1027-6.

4. Likar M., Regvar M. Early defence reactions in Norway spruce seedlings inoculated with the mycorrhizal fungus Pisolithus tinctorius (Persoon) Coker & Couch and the pathogen Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. Trees, December 2008, vol. 22, Issue 6, pp. 861–868. DOI: 10.1007/s00468-008-0247-2.

5. Адамович И.Ю. Микоризообразование Pinus sylvestris в насаждениях, поврежденных Heterobasidion annosum / И.Ю. Адамович, С.Н. Шлапакова // Труды Карельского научного центра РАН. – 2016. – № 12. – С. 123–125. DOI: 10.17076/eco334.

6. Селиванов И.А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза / И.А. Селиванов. – М.: Наука, 1981. – 232 с.

References

1. Telepina Yu.V. Kornevaya gubka v sosnyakax Tarasovskogo lesnichestva Rostovskoj oblasti / Yu.V. Telepina // Nauchny`j al`manax. Sel`skoxozyajstvenny`e nauki. – 2015. – № 11–4 (13). – pp. 337–341. DOI: 10.17117/na.2015.11.04.337.

2. Brunette M., Caurla S. An economic comparison of risk handling measures against Hylobius abietis and Heterobasidion annosum in the Landes de Gascogne Forest. Annals of Forest Science, September 2016, vol. 73, Issue 3, pp. 777–787. DOI: 10.1007/s13595-016-0568-z.

3. Hyder R., Piri T., Hantula J., Nuorteva H., Vainio E.J. Distribution of Viruses Inhabiting Heterobasidion annosum in a Pine-Dominated Forest Plot in Southern Finland. Microbial Ecology, April 2018, vol. 75, Issue 3, pp. 622–630. DOI: 10.1007/s00248-017-1027-6.

4. Likar M., Regvar M. Early defence reactions in Norway spruce seedlings inoculated with the mycorrhizal fungus Pisolithus tinctorius (Persoon) Coker & Couch and the pathogen Heterobasidion annosum (Fr.) Bref. Trees, December 2008, vol. 22, Issue 6, pp. 861–868. DOI: 10.1007/s00468-008-0247-2.

5. Adamovich I.Yu. Mikorizoobrazovanie Pinus sylvestris v nasazhdeniyax, povrezhdenny`x Heterobasidion annosum / I.Yu. Adamovich, S.N. Shlapakova // Trudy` Karel`skogo nauchnogo centra RAN. – 2016. – № 12. – pp. 123–125. DOI: 10.17076/eco334.

6. Selivanov I.A. Mikosimbiotrofizm kak forma konsortivny`x svyazej v rastitel`nom pokrove Sovetskogo Soyuza / I.A. Selivanov. – M.: Nauka, 1981. – 232 p.

УДК 630*232.41:630*181.522:633.873.1

КУЛЬТУРЫ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (QUERCUS ROBUR L.) НА РЕКУЛЬТИВИРУЕМЫХ ЗЕМЛЯХ

Андронова М.М.

Вологодский институт права и экономики ФСИН России, Вологда, e-mail: mary1969@ya.ru

В соответствии с требованиями ГОСТ 17.5.3.04-83 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель» рекультивации должны быть подвергнуты все нарушенные земли. В случае применения лесотехнической рекультивации ограничивающим фактором являются бедность почв и нарушение водного баланса. В 1974 г. в г. Грязовце созданы культуры дуба черешчатого на землях частично рекультивированного карьера. В условиях Вологодской области дуб черешчатый является редким растением, занесенным в региональную Красную книгу. Однако в населенных пунктах Вологодской области Quercus robur L. встречается в зеленых насаждениях различного пользования повсеместно, растет медленно, плодоносит и дает жизнеспособные плоды. Для оценки состояния культур проведено сравнение дуба черешчатого на рекультивированных землях (подзона южной тайги) и в парке «Чуглы» Верховажского района (подзона средней тайги). По микрорельефу и освещенности местности для культур на рекультивированных землях выделены 2 участка. Отсутствие в настоящее время рубок ухода и высокая плотность посадки дубов на них приводят к изреживанию деревьев и препятствуют их нормальному росту. Отмечено наличие большого числа тонкомерных деревьев. Проведена оценка санитарного состояния культур дуба. Для г. Грязовца характерно наличие большого числа деревьев с механическими повреждениями (36,1% и 38,7%). Изучены морфометрические характеристики желудей культур дуба. Отмечено, что плодоносят лишь деревья, растущие на границах участков. Насаждения дуба черешчатого характеризуются наличием желудей в основном мелкой фракции (78,8% и 75,9%). На обоих участках отсутствуют крупные фракции желудей. В изучаемых культурах чаще всего встречается мучнистая роса листьев (Microsphaera alphitoides Griff. et Maubl.) Учтено 63,0% случаев. Поражениям бурой пятнистости (Gloesporium quercinum West.) подвержены листья дуба черешчатого в 11,0% случаев.

Ключевые слова: дуб черешчатый, Quercus robur L., желуди, рекультивация, культуры, биометрические характеристики

QUERCUS ROBUR L. CROPS ON RECULTIVATED LANDS

Andronova M.M.

Vologda Institute of Law and Economics of the Federal Penal Service of Russia, Vologda, e-mail: mary1969@ya.ru

In accordance with the requirements of GOST standard 17.5.3.04-83 «Nature protection. Lands. Reclamation general requirements» all disturbed lands should be reclaimed. In the case of forest reclamation the limiting factor is soil poverty and water balance disturbance. In 1974 in the city of Gryazovets there were created the crops of the Quercus robur L . on the partially reclaimed quarry. In the conditions of the Vologda region the Quercus robur L. is a rare plant listed in the regional Red Data Book. Howeverб in the settlements of the Vologda region Quercus robur L. occurs in green plantations of various use everywhere, grows slowly, fructifies and gives viable fruits. To assess the condition of the crops a comparison was made of the Quercus robur L . in the reclaimed lands (subzone of the southern taiga) and in the Chugly Park of the Verkhovazhsky District (subzone of the middle taiga). 2 sites are allocated for crops in the cultivated lands according to the microrelief and illumination of the area. Now the absence of cutting and high density of planting of the Quercus robur L. leads to the thinning of trees and prevents their normal growth. The presence of many small-sized trees was noted. The sanitary condition of the Quercus robur L. was assessed. Gryazovets is characterized by a large number of trees with mechanical damages (36.1% and 38.7%). Morphometric characteristics of acorns of the Quercus robur L. have been studied. It is noted that only trees that grow on the borders of the plots bear fruit. The plantations of oak leaves are characterized by the presence of acorns in the mostly shallow fraction (78.8% and 75.9%). On both sites, there are no large fractions of acorns. In the studied cultures powdery mildew of leaves (Microsphaera alphitoides Griff, et Maubl.) is most often found. It was recorded 63.0% of cases. The damage of the brown spot (Gloesporium quercinum West.) affects the leaves of the Quercus robur L. leaves in 11.0% of cases.

Keywords: Quercus robur L., acorns, recultivation, crops, biometric characteristics

В соответствии с требованиями ГОСТ 17.5.3.04-83 «Охрана природы. Земли. Общие требования к рекультивации земель» рекультивации подлежат нарушенные земли всех категорий, а также прилегающие земельные участки, полностью или частично утратившие продуктивность в результате отрицательного воздействия нарушенных земель. Лесонасаждения создаются с целью увеличения лесного фонда, оздоровления окружающей среды; создания рекреационных зон.

Лесохозяйственное направление рекультивации предусматривает создание искусственных насаждений на нарушенных землях. Ограничивающим фактором для роста растений в данном случае является бедность почв по обеспеченности питательными элементами и нарушенный водный баланс территории.

Оценке роста древесных растений после проведения лесохозяйственных мелиораций в последнее время посвящается все большее число исследований [1–3].

В решении вопросов восстановления нарушенных ландшафтов наиболее важными являются местные виды. Одним из аргументов в поддержку данного высказывания является важнейшая роль аборигенных видов в сохранении естественных экосистем. Они лучше приспособлены к местным условиям, есть возможность заготовки семенного материала на месте, а также восстанавливающаяся растительность будет ближе к ранее произраставшей [3]. При рассмотрении вопроса использования интродуцируемых видов для лесохозяйственной рекультивации следует учитывать мировой опыт использования инорайонных древесных видов и негативные последствия инвазии [3, 4].

В пределах Вологодской области в естественных насаждениях дуб черешчатый встречается редко, занесен в региональную Красную книгу. Северная граница его ареала проходит южнее г. Вологды, что определяет экстразональность вида для условий области. Однако исследователи отмечают и более северное расположение дуба черешчатого [5].

Нужно отметить, что в населенных пунктах *Quercus robur* L. встречается в зеленых насаждениях различного пользования повсеместно, растет медленно, плодоносит и дает жизнеспособные плоды.

В рамках проводимого исследования по изучению видового состава и санитарно-гигиенического состояния зеленых насаждений, находящихся в антропогенной среде, в том числе изучены культуры дуба черешчатого, созданные на территории частично рекультивированного карьера. Одним из направлений исследований являлось определение успешности использования *Quercus robur* L. для решения задач восстановления нарушенных земель в условиях южной подзоны тайги.

Материалы и методы исследования

В ходе исследований применен метод подеревной инвентаризации насаждений, определены биометрические показатели растений. С помощью электронного штангенциркуля Matrix установлены морфометрические показатели желудей: длина, ширина. Рассчитан коэффициент формы как отношение длины к диаметру. Статистическая обработка результатов проведена в MS Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

В 1974 г. для решения задач по восстановлению нарушенных земель на территории частично рекультивированного карьера по добыче глины, ныне территория г. Грязовца (58°52′48″ с.ш., 40°15′08″ в.д.) Вологодской области, были созданы культуры дуба черешчатого. Насаждения созданы однолетними сеянцами, выращенными в питомнике Грязовецкого лесхоза. Общая площадь насаждения 3 га. Посадка проведена вручную под меч Колесова.

Рост и развитие изучаемых культур дуба черешчатого определяются достаточно суровыми естественными условиями южно-таежной подзоны. Климат умеренно континентальный с продолжительной холодной многоснежной зимой, короткой весной с неустойчивыми температурами, относительно коротким умеренно теплым увлажненным летом, продолжительной и ненастной осенью. Период с отрицательными температурами воздуха длится 160 дней, с положительными температурами +5 °С – 165 дней, выше +10 °С – 115 дней [6].

Общий рельеф местности равнинный с небольшими уклонами. В ходе изучения района расположения культур выявлены два участка, отличающиеся микрорельефом и условиями произрастания (освещенность, влажность почвы).

Почвы дерново-сильноподзолистые на покровной глине. Грунтовые воды залегают на глубине 2–2,5 м. Дуб черешчатый предъявляет высокие требования к почвенным условиям, хотя может расти на разнообразных по механическому составу и богатству почвах.

Схема закладки культур дуба черешчатого 2,0 м×1,3 м, общее количество высаженных растений 4000 шт. После закладки культур проводились агрономические уходы в течение трех лет: рыхление почвы, прополка, рубки ухода. В. Решетников и К. Сторожишина [7] пришли к выводу, что рост дуба черешчатого в возрасте старше 6 лет зависит не от обработки почвы, а от своевременности и интенсивности лесоводственных уходов. В 1982 г. выпавшие деревья заменялись саженцами ели, в 1999 г. – саженцами дуба черешчатого. К возрасту 39 лет насаждение имело состав 8Д2Е при полноте 0,6.

Живой напочвенный покров развит достаточно интенсивно. Общее проективное покрытие составляет 80 %.

Наиболее важными характеристиками ценопопуляции являются средние диаметр и высота деревьев [8]. Оценить успешность роста культур дуба на рекультивируемых землях можно, сравнив их с искусственно созданными культурами дуба, растущими в естественных почвенно-климатических условиях в парке «Чуглы».

Парк «Чуглы» расположен в Верховажском районе (подзона средней тайги), что определяет менее благоприятные условия для роста дуба черешчатого. Схема посадки 3×3 м. Рельеф территории неоднороден. Посадки дуба черешчатого располагаются на первой надпойменной террасе р. Кулой. Материнская порода залегает достаточно близко к поверхности земли и представлена суглинистыми моренными отложениями, переходящими в глину темно-коричневого цвета. Верхний плодородный слой имеет толщину 11 см. Почва дерново-слабоподзолистая. Грунтовые воды залегают близко от поверхности земли (0,5–1,7 м).

Отсутствие в настоящее время рубок ухода и высокая плотность посадки на участках рекультивированного карьера приводят к изреживанию деревьев и препятствуют их нормальному росту (табл. 1).

Деревья имеют неширокую крону, расположенную в верхней трети по высоте ствола. Нормально развитую крону имеют только деревья на границах участков 1 и 2.

Второй участок характеризуется наличием большего числа тонкомерных молодых деревьев и, как следствие, меньшими значениями средних показателей: диаметр, высота, годовые приросты по диаметру ствола и высоте. Средний диаметр стволов дуба черешчатого для наиболее молодых посадок парка «Чуглы» соответствует среднему диаметру на втором участке культур рекультивируемых земель. Средний годовой прирост по диаметру ствола выше для стволов, расположенных на втором участке, и несколько ниже для стволов первого участка. Средний годовой прирост по высоте ствола выше для условий Верховажского района. Этот факт свидетельствует о том, что в условиях, менее благоприятных по климатическим условиям, но более благоприятных с точки зрения плодородия почв, освещенности территории дуб черешчатый имеет лучшие биометрические показатели деревьев.

В ходе обследования культур на рекультивируемых землях выявлены деревья, относящиеся в основном ко 2 классу жизненного состояния (50,0% от всех учтенных стволов) (табл. 2).

В дубравах особенно часто наблюдаются морозобойные трещины деревьев. Повреждение этим пороком зависит от лесорастительных условий участка, полноты, структуры насаждений и индивидуальных особенностей деревьев. Степень повреждения возрастает с увеличением диаметра деревьев и снижается с повышением полноты древостоя [9]. В насаждениях морозобойные трещины встречаются в культурах в пределах 2,8–23,7% (табл. 3). Однако в наибольшей степени деревья на рекультивируемых землях подвержены механическим повреждениям, что объясняется расположением культур в городской черте.

Известно, что при росте на свободе дуб начинает плодоносить с 10–20 лет, в насаждениях – с 40–60 лет [10]. В 2014–2015 гг. желуди были обнаружены лишь на нескольких деревьях, расположенных на границах участков 1 и 2. На первом участке желуди собраны с деревьев диаметра 16,0–18,0 см, на втором участке – диаметром 14,0–16,0 см. Количество поврежденных желудей в целом по культурам дуба черешчатого (участки 1 и 2) составляет 4%. Полученные данные представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 1

Параметрические характеристики стволов дуба черешчатого для условий Вологодской области

Показатели	Культуры на рекультивируемых землях (г. Грязовец)		Парк «Чуглы», Верховажский р-н
	участок 1	участок 2	
Возраст, лет	39	39	28
Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см	16,5 ± 0,5	9,8 ± 0,5	9,8 ± 0,3
Средний годовой прирост по диаметру ствола, см	0,41	0,25	0,38
Диаметр кроны, м	2,4 ± 0,1	2,3 ± 0,1	2,8 ± 0,1
Высота ствола, м	13,8 ± 0,8	11,8 ± 0,6	10,6 ± 0,4
Средний годовой прирост по высоте ствола, м	0,35	0,30	0,41

Таблица 2

Классы санитарного состояния дуба черешчатого для условий Вологодской области, %

Участок	Категории состояния					
	1	2	3	4	5	6
парк «Чуглы»	74,0	22,6	–	–	–	3,4
участок 1	36,1	61,8	–	–	–	2,1
участок 2	49,1	39,6	–	–	–	11,3

Таблица 3

Выявленные пороки стволов дуба черешчатого для условий Вологодской области, %

Насаждение	Морозобойные трещины	Грибные поражения	Гниль	Механические повреждения	Дупло
участок 1	23,7	–	23,7	36,1	1,0
участок 2	2,8	–	1,9	38,7	0,9
«Чуглы»	8,8	1,5	4,9	–	2,4

Таблица 4

Характеристики желудей дуба черешчатого для условий Вологодской области

№ п/п	Характеристика	Участок 1	Участок 2
1	Количество, шт.	52	195
2	Длина, см	22,74 ± 0,42	23,73 ± 0,24
3	Диаметр, см	13,42 ± 0,25	13,20 ± 0,13
4	Масса желудя, г	2,23 ± 0,14	2,38 ± 0,07
	Масса 1000 штук (в пересчете), г	2225,96	2382,10
5	Фракции, %		
	мелкие	78,8	75,9
	средние	21,2	24,1
	крупные	–	–

Таблица 5

Распределение желудей по коэффициенту формы для условий Вологодской области

Участок	Распределение желудей по коэффициенту формы, %											
	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3
1	–	1,9	–	5,8	34,6	32,7	11,5	1,9	5,8	1,9	1,9	1,9
2	0,5	0,5	1,5	2,1	7,2	24,1	20,5	32,3	6,7	3,1	1,5	–

Условно желуди делят на 3 фракции: мелкие – с массой от 0,1 до 3,0 г; средние – от 3,1 до 6,0 г; крупные – от 6,1 до 9,0 г [9, 11]. Результаты обработки данных показывают: насаждения дуба черешчатого характеризуются наличием желудей мелкой фракции: 78,8% для участка 1 и 75,9% для участка 2. Крупные фракции отсутствуют в том и другом случае.

Преобладают желуди с коэффициентами формы 1,6–1,7 на участке 1 и 1,7–1,9 на участке 2. Редко встречаются желуди с коэффициентом формы 1,2–1,4 (очень широкие и короткие) и 2,2–2,3 (очень длинные и узкие).

Устойчивость к болезням оценивали по доле пораженных деревьев. В изучаемых культурах чаще всего встречается мучнистая роса листьев (*Microsphaera alphitoides* Griff. et Maubl.) – 63% случаев. Бурой пятнистостью (*Gloesporium quercinum* West.) листья поражены в меньшей степени. Учтено лишь 11,0% случаев. Лишайниками и мхами покрыты 86% стволов деревьев.

Таким образом, в результате проведенных исследований получены некоторые результаты, характеризующие параметрические показатели стволов и морфометрические признаки репродуктивных органов дуба черешчатого. Доля вклада в урожай на данном этапе развития культур в значительной степени определяется долей мелких желудей, крупные желуди в составе отсут-

ствуют. В целом данные о массе и форме желудей свидетельствуют о сохранении индивидуальных особенностей деревьев в созданных культурах дуба. Таким образом, *Quercus robur* L. может рассматриваться в качестве культуры для рекультивируемых земель. При использовании правильных агротехнических приемов и своевременных лесохозяйственных уходах рост дуба черешчатого на рекультивируемых землях в условиях подзоны южной тайги может быть достаточно успешным.

Список литературы

1. Сунгурова Н.Р. Культуры сосны обыкновенной (Pinus silvestris L.) на рекультивируемых землях / Н.Р. Сунгурова, Р.В. Сунгуров, С.Е. Страздаускас // Вестник КрасГАУ. – 2014. – № 11. – С. 170–173.

2. Махнев А.К. Ландшафтно-экологические и популяционные аспекты стратегии восстановления нарушенных земель / А.К. Махнев, Н.Е. Махнева // Сибирский экологический журнал. – 2010. – № 3. – С.453–459.

3. Карпухин Н.С. Концепция выбора целевых древесных растений при рекультивации земель, нарушенных открытыми разработками при освоении месторождений платины в Олюторском районе Камчатского края / Н.С. Карпухин, В.Ю. Нешатаев, М.В. Нешатаев, Л.Д. Штак // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 11. – С. 130–131.

4. Борисова Е.А. Инвазии древесных растений в природные сообщества Верхневолжского региона / Е.А. Борисова // Российский журнал биологических инвазий. – 2016. – Т. 9, № 1. – С. 24–30.

5. Добрынин А.П. Самые северные дубравы России / А.П. Добрынин, М.Г. Комиссарова. – Вологда: ЧГУ, 2012. – 188 с.

6. Агроклиматические ресурсы Вологодской области. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 192 с.

7. Решетников В.Ф. Смешанные культуры дуба на буреломно-ветровальной вырубке / В.Ф. Решетников, К.М. Сторожишина // Лесное и охотничье хозяйство. – 2015. – № 5. – С. 24–27.

8. Демаков Ю.П. Информативность морфометрических параметров деревьев, желудей и листьев дуба черешчатого (Quercus robur L.) в географических культурах // Ю.П. Демаков, В.Г. Краснов, С.В. Кириллов, М.И. Смышляева, А.В. Антропова // Вестник ПГТУ. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 3 (27). – С. 18–33.

9. Данилов М.Д. Некоторые особенности структуры популяций дуба черешчатого в условиях северо-восточной части его ареала / М.Д. Данилов, В.Д. Гурьев, П.Н. Федоров // Закономерности внутривидовой изменчивости лиственных древесных пород. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1975. – С. 13–17.

10. Булыгин Н.Е. Дендрология / Н.Е. Булыгин. – М.: Агропромиздат, 1985. – 156 с.

11. Кириллов С.В. Разнообразие дуба черешчатого по форме желудей в культурах Республики Марий Эл [Электронный ресурс] / С.В. Кириллов, А.С. Яковлев, В.Г. Краснов // Биологические науки / Ресурсоведение и интродукция растений. – Режим доступа: http://www.rusnauka.com/17_AVSN_2012/Biologia/4_113093.doc.htm (дата обращения: 31.03.2018).

References

1. Sungurova N.R. Kul`tury` sosny` oby`knovennoj (Pinus silvestris L.) na rekul`tiviruemy`x zemlyax / N.R. Sungurova, R.V. Sungurov, S.E. Strazdauskas // Vestnik KrasGAU. – 2014. – № 11. – pp. 170–173.

2. Maxnev A.K. Landshaftno-e`kologicheskie i populyacionny`e aspekty` strategii vosstanovleniya narushenny`x zemel` / A.K. Maxnev, N.E. Maxneva // Sibirskij e`kologicheskij zhurnal. – 2010. – № 3. – pp. 453–459.

3. Karpuxin N.S. Koncepciya vy`bora celevy`x drevesny`x rastenij pri rekul`tivacii zemel`, narushenny`x otkry`ty`mi razrabotkami pri osvoenii mestorozhdenij platiny` v Olyutorskom rajone Kamchatskogo kraya / N.S. Karpuxin, V.Yu. Neshataev, M.V. Neshataev, L.D. Shtak // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2012. – № 11. – pp. 130–131.

4. Borisova E.A. Invazii drevesny`x rastenij v prirodny`e soobshhestva Verxnevolzhskogo regiona / E.A. Borisova // Rossijskij zhurnal Biologicheskix invazij. – 2016. – T.9, № 1. – pp. 24–30.

5. Dobry`nin A.P. Samy`e severny`e dubravy` Rossii / A.P. Dobry`nin, M.G. Komissarova. – Vologda: ChGU, 2012. – 188 p.

6. Agroklimaticheskie resursy` Vologodskoj oblasti. – L.: Gidrometeoizdat, 1972. – 192 p.

7. Reshetnikov V.F. Smeshanny`e kul`tury` duba na burelomno-vetroval`noj vy`rubke / V.F. Reshetnikov, K.M. Storozhishina // Lesnoe i oxotnich`e xozyajstvo. – 2015. – № 5. – pp. 24–27.

8. Demakov Yu.P. Informativnost` morfometricheskix parametrov derev`ev, zheludej i list`ev duba chereshchatogo (Quercus robur L.) v geograficheskix kul`turax // Yu.P. Demakov, V.G. Krasnov, S.V. Kirillov, M.I. Smy`shlyaeva, A.V. Antropova // Vestnik PGTU. Seriya: Les. E`kologiya. Prirodopol`zovanie. – 2015. – № 3 (27). – pp. 18–33.

9. Danilov M.D. Nekotory`e osobennosti struktury` populyacij duba chereshchatogo v usloviyax severo-vostochnoj chasti ego areala / M.D. Danilov, V.D. Gur`ev, P.N. Fedorov // Zakonomer-nosti vnutrividovoj izmenchivosti listvenny`x drevesny`x porod. – Sverdlovsk: UNCz AN SSSR, 1975. – pp. 13–17.

10. Buly`gin N.E. Dendrologiya / N.E. Buly`gin. – M.: Agropromizdat, 1985. – 156 p.

11. Kirillov S.V. Raznoobrazie duba chereshchatogo po forme zheludej v kul`turax Respubliki Marij E`l [E`lektronny`j resurs] / S.V. Kirillov, A.S. Yakovlev, V.G. Krasnov // Biologiche-skie nauki / Resursovedenie i introdukciya rastenij. – Rezhim dostupa: http://www.rusnauka.com/17_AVSN_2012/Biologia/4_113093.doc.htm (data obrashheniya: 31.03.2018).

УДК 633.2:581.143.5(470.345)

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ОТЧУЖДЕНИЯ НА ОТРАСТАНИЕ МНОГОЛЕТНИХ ЗЛАКОВ УМЕРЕННОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ

Горчакова А.Ю.

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический институт им. М.Е. Евсевьева», Саранск, e-mail: goralfiya@yandex.ru

В статье рассматриваются вопросы отрастания злаков: влияние высоты среза на отрастание укороченных побегов, влияние высоты и частоты среза на плотность стеблестоя. При скашивании до наступления фазы цветения происходит наиболее активное отрастание. Чем выше срез травостоя, тем больше сохраняется листьев и запасных веществ в стерне, это способствует лучшему отрастанию отавы, более быстрому формированию ее урожая. В это время отава образуется как за счет развития уже срезанных побегов, так и из почек, трогающихся в рост из зоны кущения. При укосе в поздних сроках вегетации отавность очень низкая. После первого среза на разной высоте скашивания травостоя число отросших побегов на 100 срезанных составило от 136 до 240 побегов у райграса многоукосного и от 147 до 181 – у ежи сборной. Самые низкие показатели у обоих злаков после первого укоса отмечены при срезе травостоя на уровне почвы. При увеличении высоты среза наблюдается существенное увеличение плотности стеблестоя. Боковые побеги начинают развиваться позднее апикальных, наблюдаются они не на всех срезах. При высоте среза на уровне почвы и 5 см они не развиваются. При более высоких срезах суточный прирост побегов, появившихся из боковых почек, составляет от 0,94 до 1,74 см. Из зоны кущения формируется самое большое количество побегов. Их суточный прирост на разном уровне среза травостоя составляет от 0,91 до 1,67 см. При увеличении высоты среза происходит увеличение суточного прироста побегов, образовавшихся в зоне кущения.

Ключевые слова: Poaceae, отрастание, Lolium perenne L., Lolium multiflorum Lam., Dactylis glomerata L.

INFLUENCE OF CLIPPING HEIGHT ON GROWTH OF LONG-TERM CEREALS IN THE TEMPERATE ZONE OF THE REPUBLIC OF MORDOVIA

Gorchakova A.Yu.

Mordovian State Pedagogical Institute named after M.E. Evseviev, Saransk, e-mail: goralfiya@yandex.ru

The article deals with the issues of cereal growth: the influence of the clipping height on short shoots growth, the influence of cut height and frequency on the density of the stalk. Most actively shoots grow during mowing (browsing) in the early phases of vegetation before flowering. The higher the grass clipping height is, the more leaves and substitutes remain in the stubble field, which contribute to a better growth of the aftermath, a more rapid formation of its harvest. The aftermath in this period is quickly formed due to the intensive development of not only mown (browsed) shoots, but also newly emerging buds. When using plants in the late phases of vegetation, they grow slower and sometimes very poorly. After the first mowing at different clipping height of the grass stand, the number of grown shoots per 100 of mown ones is from 136 to 240 for Australian ryegrass and from 147 to 181 for cock's-foot grass. The lowest indices for both grasses after the first mowing are when the grass stand is cut at the soil level. When the clipping height is increased, a significant increase in the density of the stalk is observed. Off- shoots begin to develop later than apical and they are not observed at all cuts. When the clipping height is at the soil level and about 5 cm, they do not develop. When cuts are higher, the daily growth of shoots formed from the lateral buds ranges from 0.94 to 1.74 cm. A large number of shoots form from the tillering zone. Their daily growth at different levels of the cut of the grass stand is from 0.91 to 1.67 cm. With an increase in the cut height, there is an increase in the daily growth of shoots formed in the tillering zone.

Keywords: Poaceae, growth, Lolium perenne L., Lolium multiflorum Lam., Dactylis glomerata L.

В умеренной зоне распространены злаки (*Poaceae* Branh.; *Gramineae* Juss.) из триб Полевицевые, Овсовые, Овсяницевые, Ячменёвые, Канареечниковые [1]. Трибы Бородачовниковые (сорговые), Свинороевые или Хлорисовые, Маисовые, Просовые широко распространены в тропиках и субтропиках, а в умеренной зоне не представлены или представлены в основном однолетними формами. Многие злаки умеренной зоны являются многолетними, что обусловливается в значительной степени их широкой способностью к вегетативному возобновлению.

После скашивания или стравливания животными злаки отрастают, восстанавливают свою надземную часть. Подрастающая трава − отава, а свойство растений ее образовывать называется отавностью. Благодаря отавности растений можно в течение лета использовать сенокосы повторно, а пастбища многократно. На сенокосах и пастбищах отава в основном формируется за счет отрастания укороченных побегов или образования из почек новых побегов. Отрастание злаков зависит от их биологических особенностей, влияет также фаза вегетации во время скашивания (стравли-

вания), условия произрастания растений и степень обеспеченности растений запасными питательными веществами. Растения обладают различной способностью отрастать при скашивании или стравливании. Все это нужно учитывать при разработке способов рационального использования естественных сенокосов и пастбищ. Необходимо определять необходимые сроки, высоту скашивания и стравливания, не допустить низкое и частое стравливание, организовать соответствующий уход за естественными кормовыми угодьями, своевременно вносить удобрения и т.д.

Особенности вегетации злаков умеренной зоны изучены еще недостаточно [2]. Исследование роста этой группы злаков, которая отличается разнообразием жизненных форм и делает их во многих областях главной экономической и ботанической группой в урожае пастбищ, особенно интересно. Не достаточно данных характеристики и структуры отдельных типов в динамике их развития и по сезонам года [3]. Несмотря на большую практическую важность значения отрастания многолетних кормовых злаков, это не нашло в ботанической и сельскохозяйственной литературе должного отражения [4, 5].

Цель работы: изучение особенностей отрастания многолетних кормовых злаков умеренной зоны Республики Мордовия.

Материалы и методы исследования

Проводились полевые опыты на участках пастбищ в Государственном бюджетном образовательном учреждении Республики Мордовия дополнительного образования детей «Республиканский Центр дополнительного образования детей» (г. Саранск). В полевых опытных участках травостой срезали на высоте 0; 5; 10 и 15 см через каждые 30 дней. Определение новых побегов проводили на каждые 100 отросших побегов в 5–6-кратной повторности. Также определялся суточный прирост побегов отрастания у изучаемых видов, проводилось наблюдение за их вегетацией. Для изучения влияния высоты среза на отрастание изучаемых злаков растения срезали в возрасте двух месяцев, через двадцать дней определяли происхождение отросших побегов из надземных или подземных почек. Первый укос был произведен перед колошением, второй и последующие – при достижении растениями высоты 40–50 см. В опытах каждые 15 дней извлекались целые растения (до 10–15 экземпляров каждого вида). Растения описывались и материал фиксировался для более подробного изучения. Через определенное время после скашивания выкапывались растения для камеральной обработки, подсчитывалось число образовавшихся побегов и отмечались почки возобновления. Для эксперимента использовались важнейшие в хозяйственном отношении кормовые злаки: ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), плевел многоцветковый или райграс многоукосный (*Lolium multiflorum* Lam.), плевел многолетний или райграс английский, или райграс пастбищный (*Lolium perenne* L.).

Результаты исследования и их обсуждение

Высота скашивания (стравливания) травостоя злаков оказывает большое влияние на их отавность. В наших исследованиях многолетних злаков в Республике Мордовия было установлено, что влияние высоты среза травостоя злаков на их отавность осуществляется через изменение соотношения групп почек, которые принимают участие в формировании урожая. Это подтверждается результатами изучения влияния высоты среза на отрастание *Lolium multiflorum* (табл. 1).

Таблица 1

Влияние высоты среза на отрастание *Lolium multiflorum* (Республика Мордовия, 2011–2012 гг.)

Высота среза, см	Побеги, образованные из почек, ($\overline{X} \pm \delta$):	
	надземных	подземных
0	0 ± 0	100 ± 0
5	17,13 ± 0,17	82,87 ± 0,28
10	20,58 ± 0,06	79,42 ± 0,34
15	31,05 ± 0,04	68,95 ± 0,13

Как видно из табл. 1, при высоте скашивания на уровне почвы образование побегов райграса многоукосного идет практически за счет подземных побегов. При высоком отчуждении травостоя число побегов, сформированных из надземных побегов, увеличивается. При срезе на уровне 5 см на их долю приходится 17,12 %, а при срезе в 10 см – 20,59 % и при срезе на 15 см 31,05 %.

Высокий срез снижает роль подземных почек в восстановлении травостоя. При этом повышается участие боковых надземных почек. Высота скашивания во многом определяет, из каких групп почек форми-

руется отава райграса пастбищного. Для опыта брали сходные по развитию особи, которые срезали через два месяца после отрастания, а спустя четырнадцать дней определили число отросших побегов и из каких почек они образовались (табл. 2).

При низком срезе до 5 см побеги формируются из подземных почек. Повышение уровня среза меняет соотношение групп почек, которые участвуют в формировании отавы: снижается роль подземных и возрастает значение надземных.

Высота скашивания травостоя оказывает влияние на интенсивность суточного прироста, особенно в начальный период. Так, в полевых опытах с райграсом многоукосным и ежой сборной скашивание растений на различной высоте в фазе кущения привело к расхождению в скорости отрастания побегов (рис. 1, 2). Наибольший прирост побегов отмечен в вариантах с высотой скашивания в 8–10 см, у которых сохранились листья и были не повреждены апикальные почки. Побеги, удаленные на уровне почвы, не отрастали, так как их почки размещались над уровнем среза. Скорость суточного прироста злаков обусловлена как высотой отчуждения, так и температурным режимом и режимом влажности. Скорость суточного прироста определялась при отчуждении на высоте 4; 6; 8; 10 см.

У райграса многоукосного в течение исследуемого периода по разным вариантам суточный прирост составил от 0,6 до 2,3 см. На высоте скашивания в 4 см он составил от 0,9 до 2,3 см; на высоте среза в 6 см – от 1,0 до 2,0; на высоте среза 8 см – 0,8–1,9 см и на высоте среза в 10 см – 0,6–1,9 см. Отмечена скорость отрастания при срезе на высоте 4 см более высокая в первые два дня (1,7–1,8 см). В течение четырех последующих дней рост идет относительно равномерно (0,9–1,1 см). Далее наблюдается тенденция увеличения от 1,3 до 2,2 см к десятому дню.

При срезе на высоте в 8 см отрастание происходило почти сходно с предыдущим вариантом. Наибольший суточный прирост наблюдается в первые два и последние три дня наблюдений.

Таблица 2

Влияние высоты скашивания на отрастание *Lolium perenne*
(Республика Мордовия, 2011–2012 гг.)

Высота скашивания, см	Формирование отавы группами почек*, ($\overline{X} \pm \delta$)				
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й
на уровне почвы	–	–	3 ± 0,1	5,0 ± 0,2	95,0 ± 4,0
5	–	–	3,5 ± 0,2	6,3 ± 0,2	90,2 ± 4,0
8	12,2 ± 0,5	–	37,1 ± 1,5	6,3 ± 0,2	44,4 ± 2,2
10	8,9 ± 0,3	–	36,3 ± 1,5	25,4 ± 1,3	29,4 ± 1,1
12	10,4 ± 0,4	–	38,2 ± 1,7	47,9 ± 2,7	3,5 ± 0,2
15	11,6 ± 0,4	–	54,7 ± 1,2	30,8 ± 1,1	2,9 ± 0,1
30	18,0 ± 0,7	–	68,6 ± 3,2	9,8 ± 0,5	3,6 ± 0,2
50	20,0 ± 1,2	–	78,1 ± 4,1	1,9 ± 0,2	–

* Примечания: группы почек: 1) апикальные открытые растущие вегетативные почки надземных апо- и диагеотропных побегов (вегетативных укороченных, удлиненных) с невысокой емкостью и расположенных ниже уровня среза. После отчуждения травостоя отрастание идет за счет продолжения удлинения листьев, не закончивших рост к этому времени, а также формирования в конусе нарастания новых листьев. Эта группа включает первые два типа отрастания по Т.А. Работнову (1974) [6]; 2) боковые закрытые зрелые покоящиеся или растущие почки удлиненных фитомеров надземных диагеотропных побегов (столонов, корневищно-столоновидных), отличающиеся высокой емкостью; почки этой группы быстро переходят в рост и образуют новые структуры; 3) боковые закрытые зрелые или незрелые почки удлиненных фитомеров надземных апогеотропных побегов (генеративных, скрытогенеративных и удлиненных вегетативных), расположенные ниже уровня среза, раскрывающиеся после отчуждения травостоя и характеризующиеся невысокой емкостью. Эта группа включает третий тип отрастания по Т.А. Работнову (1974); 4) боковые закрытые зрелые или незрелые почки сближенных фитомеров зоны кущения удлиненных и укороченных побегов, выделяющиеся относительно низкой емкостью; 5) открытые или закрытые почки подземных корневищ (апикальные закрытые зрелые растущие и боковые закрытые зрелые покоящиеся), отличающиеся высокой емкостью, особенно апикальные. Почки четвертой и пятой групп составляют четвертый тип отрастания по Т.А. Работнову (1974). Первые три группы почек расположены в надземной части, две последние – в почве.

Несколько по-иному отрастание происходило при высоте среза в 10 см. В первый день прирост был незначительный – 0,7 см. В дальнейшем наблюдается увеличение прироста и становится относительно равномерным. Самый большой суточный прирост у многоукосного райграса наблюдается при высоте скашивания в 10 см.

У ежи сборной суточный прирост по всем вариантам был несколько выше по сравнению с райграсом многоукосным. При высоте среза в 4 см прирост составляет от 0,8 до 2,3 см. При высоте скашивания в 6 см прирост составил 0,9–2,3 см; при высоте в 8 см – 0,9–2,0 см и при срезе в 10 см 0,7–2,4 см. При высоте среза в 4 см суточный прирост отличается от трех следующих вариантов. В первые четыре дня идет более интенсивный рост. Затем наблюдается некоторое снижение и в последующие три дня опять начинает повышаться. При высоте среза 6–10 см существенной разницы в суточном приросте не отмечено. Наибольшие различия в скорости отрастания отавы наблюдались по вариантам в первые дни после среза. Результаты опыта указывают на высокое местоположение апикальной почки укороченного побега у ежи сборной. Наблюдается повышение суточного прироста отрастающего побега по мере удаления высоты среза от апекса.

Высота среза оказывает влияние на сроки раскрытия почек и суточный прирост образованных ими побегов. Это подтверждается результатами наших полевых опытов с райграсом многоукосным и ежой сборной, травостой скашивали на высоте 0; 5; 8; 10; 15; 30 см от поверхности почвы.

Почки надземных фитомеров раскрываются самыми первыми. Переход их в рост у райграса многоукосного отмечен менее чем через сутки после среза. Подземные почки трогались в рост только на третий или пятый день. Побеги, образованные почками отдельных групп, отличаются характером вегетации в начальный период по времени образования, суточному приросту, окраске, это связано, очевидно, с неодинаковой обеспеченностью их азотом и т.д. Первые побеги образуются из надземных почек. Однако при низком срезе до 12 см интенсивность суточного прироста таких побегов была меньше, чем тех, которые образовались из подземных почек. Такая картина наблюдается в течение первых двух-трех недель вегетации. Примерно через неделю после скашивания обеспечение питательными веществами молодых побегов, появившихся из разных почек, меняется: лучше обеспечиваются побеги, сформированные из подземных почек. Их суточный прирост резко увеличивается. Побеги надземного происхождения отличаются светло-зеленой окраской с видимыми признаками азотного голодания. А побеги подземных почек выделяются темно-зеленой окраской. С увеличением высоты скашивания господствующее положение приобретают побеги надземного происхождения, образующиеся в основном из боковых почек удлиненных фитомеров.

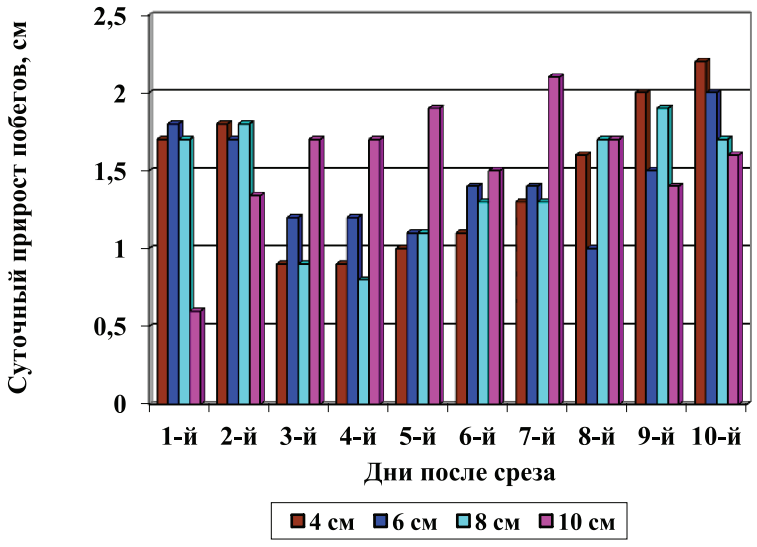


Рис. 1. Влияние высоты скашивания на отрастание укороченных побегов райграса многоукосного

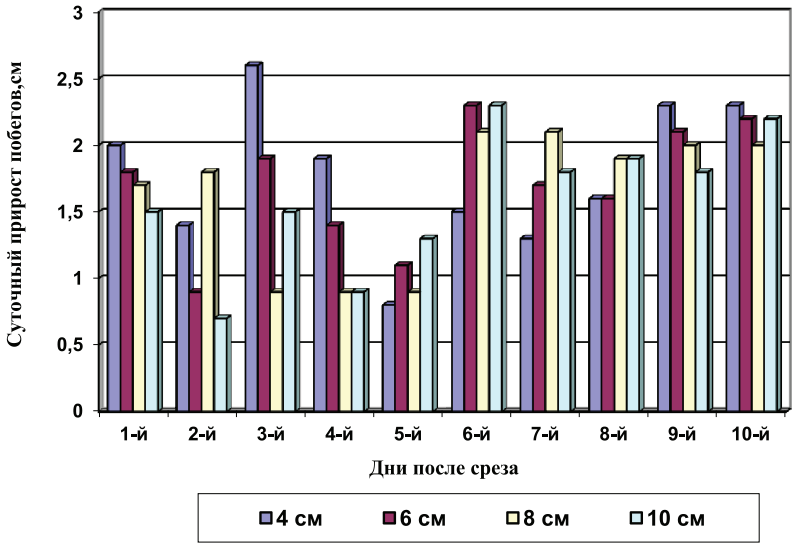


Рис. 2. Влияние высоты скашивания на отрастание укороченных побегов ежи сборной

Первыми после среза трогаются в рост у обоих злаков апикальные почки. У райграса многоукосного самый низкий суточный прирост апикальных побегов наблюдается на низких срезах, т.е. на уровне почвы – 1,11 см и на высоких срезах, т.е. на уровне 30 см. Прирост составил 1,09 см в сутки. На срезах в 5–15 см суточный прирост существенно не отличается, он варьирует в рамках 1,42–1,15 см в сутки.

Боковые побеги начинают развиваться позднее апикальных. Они наблюдаются не на всех срезах. При уровне среза на уровне почвы и 5 см они не развиваются. При более высоком скашивании суточный прирост побегов, образованных из боковых почек, составляет от 0,94 до 1,74 см.

Отмечено большое количество побегов, образующихся из зоны кущения. Их суточный прирост на разном уровне среза травостоя составляет от 0,91 до 1,67 см. При увеличении высоты среза наблюдается увеличение суточного прироста побегов, образовавшихся в зоне кущения.

Корневищные побеги развиваются в последнюю очередь и в очень незначительном количестве. Суточный прирост их на разной высоте отчуждения травостоя составил от 0,43 до 1,03 см. Суточный прирост корневищных побегов также увеличивался по мере увеличения высоты скашивания травостоя. У ежи сборной также первыми трогаются в рост апикальные побеги. Суточный прирост побегов на высоте отчуждения 0–15 см менялся в пределах 1,53–1,74 см. При высоком скашивании апикальные побеги растут очень медленно. Прирост их составляет всего 0,3 см в сутки. Ежа сборная боковых побегов практически не формирует. У этого вида очень хорошо развиваются побеги, образованные из зоны кущения. Суточный прирост этих побегов варьируется в рамках 1,13–1,83 см в сутки. С увеличением высоты скашивания травостоя суточный прирост побегов, формирующихся из зоны кущения, существенно повышается. Корневищные побеги у ежи сборной, как и у райграса многоукосного, развиваются в незначительном количестве и в самые поздние сроки. Суточный прирост таких побегов составил от 0,8 до 1,14 см.

Высота, частота среза влияют на количество формируемых побегов у отавы. Относительно постоянными показателями отрастания отличается вариант с высотой скашивания в 5 см. При срезе на высоте 10 и 15 см побегов отрастало больше, формирующихся в основном за счет надземных боковых. Они выделяются малой продуктивностью, низким и тонким стеблем с узкими и укороченными листьями. Образовавшиеся из подземных почек побеги отличались: были хорошо развитыми, с выровненным травостоем и высокой продуктивностью. Полученные данные показали, что после первого укоса на разной высоте отчуждения травостоя число отросших побегов на 100 срезанных составляет от 136 до 240 у райграса многоукосного, от 147 до 181 – у ежи сборной. Самые низкие показатели у обоих злаков отмечены после первого укоса при срезе травостоя на уровне по-

чвы. При увеличении высоты скашивания наблюдалось существенное увеличение плотности стеблестоя. После второго скашивания получились несколько иные показатели. У райграса многоукосного на разной высоте отчуждения формируется от 10,3 до 221,0 стеблей на 100 срезанных, а у ежи сборной – от 116,0 до 153,0. Причем самое большое количество побегов формируется на высоте среза 10 см у обоих злаков. Наименьшее количество побегов формируется на срезах на уровне почвы.

Выводы

Таким образом, отличительной чертой ежи сборной, райграса многоукосного и райграса пастбищного является их высокая способность к отрастанию за счет надземных почек апогеотропных побегов и формирования ими боковых структур, не имеющих своей корневой системы. Отрастание изучаемых злаков определяется особенностями их побегообразования и формирования отдельных групп почек. Высота среза влияет на динамику питательных веществ в запасающих органах, изменяет долевое участие отдельных групп почек в формировании отавы и интенсивность ее отрастания, что проявляется через изменение соотношения типов побегов в структуре особей. У изучаемых видов наибольшим приростом отличались побеги в вариантах с высотой отчуждения 8–10 см, у которых сохранились листья и не были повреждены апикальные почки. Побеги, отчужденные на уровне почвы, не отрастали, что связано с размещением их почек над уровнем среза. Наибольшие различия в скорости прироста отавы у изучаемых видов наблюдались по вариантам в первые дни после среза. Результаты опыта указывают: на высокое местоположение апикальной почки укороченного побега у изучаемых видов; на повышение суточного прироста отрастающего побега по мере удаления высоты среза от апекса. Укосы пастбищных злаков умеренной зоны Республики Мордовия наиболее оптимальны до наступления фазы колошения, а второй и последующие укосы – при достижении высоты растений 40–50 см.

Работа проводилась по договору на проведение научно-исследовательских работ между ФГБОУ ВО «Чувашский государственный педагогический университет им. И.Я. Яковлева» и ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический институт имени М.Е. Евсевьева» (*проект «Влияние ацетата свинца на морфофункциональные особенности органов мужской репродуктивной системы». Руководитель исследования – Н.А. Дуденкова*).

Список литературы

1. Цвелёв Н.Н. Заметки о злаках (Poaceae) / Н.Н. Цвелев // Новости систематики высших растений. – 2011. – Т. 43. – С. 45–56.

2. Горчакова А.Ю. Отрастание бореальных злаков в зависимости от высоты отчуждения / А.Ю. Горчакова // Кормопроизводство. – 2013. – № 3. – С. 16−18.

3. Зуева Г.А. Биоморфологические особенности овсяницы луговой при использовании в газонной культуре / Г.А. Зуева // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 5. – С. 38–44.

4. Серебрякова Т.И. Морфогенез побегов и эволюция жизненных форм злаков / Т.И. Серебрякова. – М.: Наука. – 1971. – 359 с.

5. Цвелев Н.Н. Обзор родов Deschampsia, Agrostis, Calamagrostis (Poaceae – Poeae) и система злаков флоры России / Н.Н. Цвелёв, Н.С. Пробатова // Комаровские чтения. – 2012. – Вып. LIX. – С. 7–75.

6. Работнов Т.А. Луговедение / Т.А. Работнов. – М.: Изд-во МГУ, 1974. – 384 с.

References

1. Czvelyov N.N. Zametki o zlakax (Poaceae) / N.N. Czvelev // Novosti sistematiki vy`sshix rastenij. – 2011. – T. 43. – pp. 45–56.

2. Gorchakova A.Yu. Otrastanie boreal`ny`x zlakov v zavisimosti ot vy`soty` otchuzhdeniya / A.Yu. Gorchakova // Kormoproizvodstvo. – 2013. – № 3. – pp. 16−18.

3. Zueva G.A. Biomorfologicheskie osobennosti ovsyanicy lugovoj pri ispol`zovanii v gazonnoj kul`ture / G.A. Zueva // Sibirskij vestnik sel`skoxozyajstvennoj nauki. – 2009. – № 5. – pp. 38–44.

4. Serebryakova T.I. Morfogenez pobegov i e`volyuciya zhiznenny`x form zlakov / T.I. Serebryakova. – M.: Nauka. – 1971. – 359 p.

5. Czvelev N.N. Obzor rodov Deschampsia, Agrostis, Calamagrostis (Poaceae – Poeae) i sistema zlakov flory` Rossii / N.N. Czvelëv, N.S. Probatova // Komarovskie chteniya. – 2012. – Vy`p. LIX. – pp. 7–75.

6. Rabotnov T.A. Lugovedenie / T.A. Rabotnov. – M.: Izdvo MGU, 1974. – 384 p.

УДК 631.445.25:631.461:631.821.1

ВЛИЯНИЕ ИЗВЕСТКОВАНИЯ НА ЧИСЛЕННОСТЬ ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКИХ ГРУПП МИКРООРГАНИЗМОВ В СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЕ

Зинченко М.К., Зинченко С.И.

ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», п. Новый, Владимирская область, e-mail: zinchenkosergei@mail.ru

На производственном поле в микрополевом опыте на серой лесной слабооподзоленной среднесуглинистой почве (г. Суздаль) проводились исследования по определению влияния различных доз извести на биогенность почвы. Известь вносили в количестве: 0,5; 1; 1,5 дозы, рассчитанной по гидролитической кислотности на естественном и минеральном ($N_{60}P_{60}K_{60}$) фоне. Почвенные образцы отбирали из слоя 0–20 см каждые 30 дней. В почве учитывалась: численность аммонифицирующих бактерий на мясо-пептонном агаре; бактерии, утилизирующие минеральные формы азота на крахмало-аммиачном агаре; количество диазотрофной группировки на среде Эшби; обсемененность азотобактером по методу Виноградского; численность микромицетов на среде Чапека; количество актиномицетов на среде Красильникова. Стимулирующее влияние на численность протеолитических, амилолитических и диазотрофных микроорганизмов оказала доза извести, рассчитанная по 1,5 г.к. на фоне минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$. На этом варианте отмечена максимальная численность микрофлоры – 25 млн КОЕ/1г почвы. Относительно контроля средняя численность аммонификаторов возросла в 2 раза, бактерий, использующих минеральный азот, в 1,7 раза, азотфиксаторов в 1,5 раза. Численность микромицетов снизилась в 2 раза на вариантах использования извести в дозе 1 г.к. и 1,5 г.к. по фону минеральных удобрений относительно контроля. Не выявлено положительной динамики и в численности актиномицетов. Использование извести в дозе 0,5 и 1 г.к. на естественном фоне не оказало влияния на количество бактериального пула, уменьшая при этом количество мицелиальных микроорганизмов. Самые высокие значения коэффициентов трансформации мортмассы в органическое вещество почвы (Пм) отмечены на вариантах применения полуторной дозы извести – 21,7 и 24,7 соответственно. Увеличение численности протеолитических, амиллолитических и диазотрофных микроорганизмов является подтверждением и объяснением высокой мобилизационной способности почв при известковании.

Ключевые слова: агроландшафты, серая лесная почва, известкование, количество микроорганизмов

LIMING INFLUENCE ON THE NUMBER OF ECOLOGICAL AND TROPHIC GROUPS OF MICROORGANISMS IN GREY FOREST SOIL

Zinchenko M.K., Zinchenko S.I.

Federal State Funded Research Institution «Upper Volga Federal Agrarian Research Center», Noviy, Vladimir Region, e-mail: zinchenkosergei@mail.ru

In production field in the course of microfield experiment on grey forest cryptopodzol middle loamy soils (Suzdal city), research to evaluate the influence of different doses of lime on biogenesity of soils was conducted. The following amounts of lime were introduced: 0.5; 1; 1.5 doses, calculated by hydrolytic acidity in natural and mineral ($N_{60}P_{60}K_{60}$) background. Soil samples were selected from the layer 0-20 cm every 30 days. The following soil characteristics were considered: ammonifying bacterial amount on beef-extract agar; bacteria utilizing mineral nitrogen on starch-and-ammonia agar; diazotrophy group amount in Ashby medium; azotobacter content on Vinogradsky method; micromycete amount in Czapek medium; actinomycetes amount in Krasilnikov medium. Lime dosing in 1.5 g.k. with mineral fertilizers $N_{60}P_{60}K_{60}$ had stimulating effect on the number of proteolytic, starch reducing, and diazotroph microorganisms. This variant was marked by the highest microflora abundance – 25 mln. CFU/gm soil. The average number of ammonifier has increased twofold, the number of bacteria using mineral nitrogen increased – in 1.7 times and diazotroph – in 1.5 times when compared to control numbers. The number of micromycetes has decreased twofold with the lime dose of 1 g.k. and 1.5 g.k. on the background of mineral fertilizers compared to control numbers. No positive dynamics in the number of actinomycetes has been found. The lime dose of 0.5 and 1g.k. on the natural background did not affect the amount of bacterial pool, while reducing the number of mycelial microorganisms. The highest mortmass transformation rate in soil organic matter (Pm) has been observed with sesquialteral lime dose in 21.7 and 24.7 respectively. The increase in the number of proteolytic, starch reducing, and diazotroph microorganisms confirms and explains the high soil mobilization capacity in liming.

Keywords: agricultural landscapes, grey forest soil, liming, number of microorganisms

В России из 50 млн га избыточно кислых почв сильно- и среднекислые занимают 25 млн га. Кислотность этих почв – генетическое свойство, связанное с климатом, условиями почвообразования на бескарбонатных почвообразующих породах [1]. Без оптимизации реакции среды в почве нельзя создать высокопродуктивное земледелие, решать продовольственную и экологическую проблемы.

Подкисление почв вызывает существенное изменение их свойств. Снижение значений водородного показателя – одна из главных причин низкого плодородия почв Верхневолжья и недостаточной эффективности удобрений.

Таблица 1

Основные агрохимические свойства серой лесной почвы перед закладкой опыта (слой 0–20)

Слой, см	Гумус, %	pH_{KCl}	$H_г$	S	$*P_2O_5$	$**K_2O$
			мг·экв/100г почвы		мг/кг почвы	
0–20	3,24	5,62	5,1	25,7	155,5	132,0

Примечание. $*P_2O_5$ определяли методом Кирсанова; $**K_2O$ – методом Масловой.

Важным мероприятием, позволяющим коренным образом улучшить свойства кислых почв, является известкование. Внесенная в почву известь преобразует ППК, снижает кислотность почвенного раствора [1].

Оптимальное для развития растений значение pH составляет для большинства сельскохозяйственных культур от 5,5 до 7,5. Оптимальные значения pH для большинства агрономически ценных групп микроорганизмов также колеблются в пределах от 6 до 7.

Еще Е.Н. Мишустин [2] отмечал, что известкование резко изменяет соотношение отдельных групп микроорганизмов почвы и активизирует деятельность ряда их видов, имеющих важное значение для улучшения почвенного плодородия. Помимо повышения общей биогенности, отмечается значительное увеличение числа бактерий и актиномицетов. Интенсивно начинают развиваться и нитрификаторы. Кальций, внесенный с известью, коагулирует почвенные коллоиды, улучшает структуру почвы и повышает ее водопрочность, в почве изменяются направленность и интенсивность биологических процессов [3].

До недавнего времени не практиковалось известкование почв, обладающих повышенной буферностью, к которым относятся серые лесные и черноземные почвы. В литературе встречается много противоречивых данных об эффективности их известкования и недостаточно сведений о влиянии мелиорации на состав, численность и активность почвенной микрофлоры [4–6].

В лаборатории микробиологии Владимирского НИИСХ проводятся многолетние исследования по влиянию агрогенной нагрузки (систем удобрений и приемов основной обработки) на биологические свойства серой лесной почвы в Опольной зоне Владимирской области [7–9]. Однако комплексного изучения влияния известковых материалов на биологическую активность серых лесных почв не проводилось.

Цель исследований: оценить влияние различных доз извести на удобренном и неудобренном фоне на показатели биогенности серой лесной почвы агроландшафтов.

Материалы и методы исследования

Для определения влияния известкования на биологические показатели серой лесной почвы в 2016 г. на производственном поле Владимирского НИИСХ (г. Суздаль) был заложен микрополевой опыт. Тип местности плакорный, соответствующий равнинным достаточно дренированным пространствам. Площадь делянки 4 м^2, трехкратная повторность. Почва серая лесная слабооподзоленная среднесуглинистая. Агрохимическая характеристика почвы представлена в табл. 1.

Известь вносили в количестве: 0,5; 1; 1,5 дозы, рассчитанной по гидролитической кислотности (7,6 т/га $CaCO_3$ – 1 г.к., $H_г$) на естественном и минеральном ($N_{60}P_{60}K_{60}$) фоне. Схема микрополевого опыта представлена в табл. 2. В качестве минеральных удобрений были использованы: суперфосфат двойной гранулированный, аммиачная селитра и хлорид калия. Известь и фосфорно-калийные удобрения в 2016 г. заделывали под осеннюю зяблевую обработку почвы. В 2016 г. на производственном поле возделывалась яровая пшеница, а в 2017 г. – овес.

Почвенные образцы отбирали из слоя 0–20 см каждые 30 дней в период с мая по сентябрь. Из трех точек составлялся средний образец для анализов. Количественный учет микроорганизмов проводили в свежих почвенных образцах. Численность жизнеспособных микроорганизмов различных эколого-трофических групп определяли стандартными методами путем посева соответствующих разведений на элективные питательные среды [10]. В почве учитывалась: численность аммонифицирующих бактерий на мясо-пептонном агаре (МПА) – популяция гетеротрофных бактерий, участвующих в переработке азота белков и белковых соединений; бактерии, утилизирующие минеральные формы азота на крахмало-аммиачном агаре (КАА); количество диазотрофной группировки на среде Эшби; обсеменен-

ность азотобактером по методу Виноградского; численность микромицетов на среде Чапека; количество актиномицетов на среде Красильникова.

Результаты исследования и их обсуждение

Функциональный подход к учету деятельности микрофлоры почвы складывается из индивидуального изучения количества и биологической активности каждой микробной группы, что имеет большое значение в комплексной оценке агроэкосистем. Установлено, что стимулирующее влияние на рост численности микроорганизмов оказала полуторная доза извести по фону минеральных удобрений. На этом варианте отмечена максимальная численность микрофлоры – 25 млн КОЕ/1г почвы (табл. 2). Она обусловлена активизацией процессов размножения протеолитических, амилолитических и азотфиксирующих групп микроорганизмов. Относительно контроля средняя численность аммонификаторов возросла в 2 раза, бактерий, использующих минеральный азот ,в 1,7 раза, азотфиксаторов в 1,5 раза.

Отрицательная зависимость выявлена по численности микромицетов, которая снизилась в 2 раза относительно контроля на вариантах использования извести в дозе 1 г.к. и 1,5 г.к. по фону минеральных удобрений. Использование извести в дозе 0,5 и 1 г.к. на естественном фоне не повлияло на количество бактериального пула, уменьшая при этом количество мицелиальных микроорганизмов.

Снижение численности микромицетов и актиномицетов на вариантах использования извести может ингибировать интенсивность минерализации трудногидролизуемых соединений органического углерода из органических остатков.

Проведен анализ родовой структуры почвенных микрогрибов. На вариантах использования извести в структуре микоценоза увеличилась в 4–5 раз доля микрогрибов рода *Trichoderma* и составила 35–42 %, при этом снизилось количество представителей рода *Penicillium* и *Fuzarium.* Преобладание грибов рода *Trichoderma* является позитивным фактором, так как они обладают антагонистической активностью к фитопатогенным формам грибов, играют важную экологическую роль в деструкции органических остатков и в круговороте углерода и азота, что может определять высокий гомеостатический уровень этих вариантов.

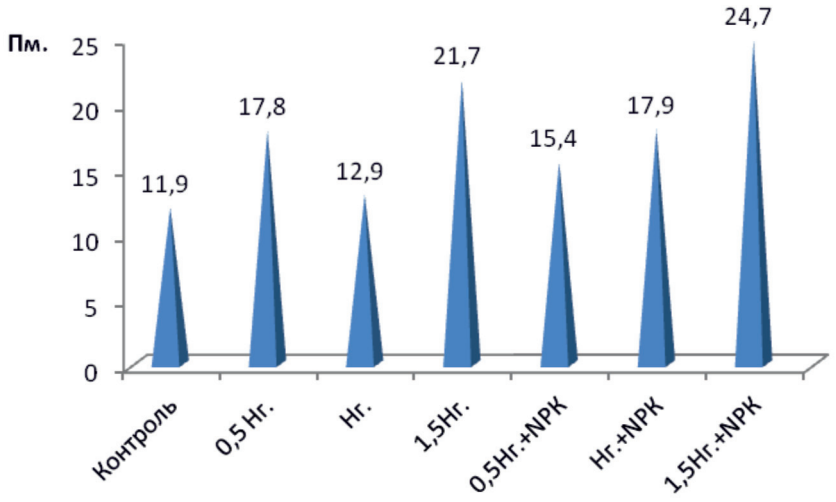
Четкой закономерности в численности актиномицетов по вариантам опыта выявить не удалось, однако количество актиномицетов контрольного варианта превышает их количество на фонах использования извести.

Хотя актиномицеты обладают слабой толерантностью к почвенной кислотности, применение извести привело к снижению их пула в серой лесной почве относительно контроля. Имеющиеся в литературе сведения о распространении актиномицетов на фонах использования известковых мелиорантов носят противоречивый характер [4, 6].

Таблица 2

Численность отдельных групп микроорганизмов в серой лесной почве в зависимости от доз извести, среднее за сезон

Вариант	Протеолитические (МПА), млн КОЕ/1г	Амилолитические (КАА), млн КОЕ/1г	Диазотрофы, млн КОЕ/1г	Актиномицеты, млн КОЕ/1г	Микромицеты, тыс. КОЕ/1г	Общее количество, млн КОЕ/1г
Контроль	5,6 ± 2,7	5,0 ± 2,89	2,4 ± 0,8	2,9 ± 1,5	27,6 ± 17,6	15,9
Известь $0{,}5Н_г$	6,8 ± 4,3	4,2 ± 0,7	2,4 ± 1,3	2,5 ± 1,0	19,9 ± 12,2	15,9
Известь $Н_г$	5,8 ± 2,7	4,7 ± 0,3	2,4 ± 0,7	2,2 ± 1,1	18,0 ± 9,5	15,2
Известь $1{,}5Н_г$	9,0 ± 5,0	6,4 ± 1,6	3,0 ± 1,4	2,0 ± 0,7	14,9 ± 3,2	20,4
Известь $0{,}5Н_г + N_{60}K_{60}P_{60}$	6,7 ± 2,7	5,3 ± 2,1	2,5 ± 1,1	2,0 ± 1,5	18,7 ± 4,9	16,5
Известь $Н_г + N_{60}K_{60}P_{60}$	7,9 ± 3,1	6,3 ± 3,0	3,2 ± 1,0	1,8 ± 0,8	13,3 ± 3,5	19,2
Известь $1{,}5Н_г + N_{60}K_{60}P_{60}$	10,7 ± 4,2	8,3 ± 1,8	3,6 ± 1,1	2,3 ± 0,4	13,7 ± 2,9	24,9



Средние значения коэффициента трансформации органического вещества почвы

Плотность заселения азотобактером (*Azotobacter chroococcum*) серой лесной почвы микрополевого опыта соответствовала высокой и очень высокой степени. Самый низкий процент обсемененности почвы несимбиотическим азотфиксатором определен на контрольном варианте – 59 %, что соответствует высокой степени обогащенности этим микроорганизмом. Использование извести в дозе 0,5 г.к. незначительно повысило плотность распространения азотфиксатора относительно контроля. Штаммы азотобактера более активно развивались на вариантах с дозой извести 1,0 г.к. и 1,5 г.к. Плотность заселения бактерией на этих вариантах была статистически выше ($НСР_{05}$ = 13,7), на уровне 80–90 %, и не зависела от фона использования минеральных удобрений. Этому способствовало дополнительное поступление в почву кальция и снижение кислотности почвенного раствора.

Увеличение численности протеолитических, амиллолитических и диазотрофных микроорганизмов является подтверждением и объяснением высокой мобилизационной способности почв при известковании. Доза извести, рассчитанная по 1,5 г.к. на фоне минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$, оказала самое стимулирующее влияние на численность почвенных микроорганизмов вышеперечисленных эколого-трофических групп.

Микробное сообщество почвы одновременно поддерживает два противоположных процесса: минерализацию органического вещества с высвобождением доступных форм элементов питания и накопление гумуса, который составляет основу неспецифического органического вещества почвы. Для того, чтобы сохранять и увеличивать плодородие почвы, необходимо знать направленность микробиологических процессов, протекающих в агроэкосистемах. Весьма информативными показателями для этих процессов являются коэффициенты минерализации (KmN) и коэффициент трансформации азота органических соединений. Они свидетельствуют о протекающих в почве процессах распада и выноса элементов питания в целом, так как фактически отражают направление энергетических потоков, обусловленных противоположными функциями почвенной микрофлоры.

Использование различных доз извести стабилизировало процессы иммобилизации почвенного азота, о чем свидетельствуют коэффициенты минерализации (Km = КАА/МПА) на уровне 0,61–0,80. В то же время на контрольном варианте отмечена высокая сезонная вариабельность этого показателя – от 0,58 до 2,0.

О глубине и интенсивности микробиологических превращений азотсодержащих соединений в почве судили по коэффициенту трансформации органического вещества $П_м$ = (МПА + КАА)х (МПА/КАА). Самые высокие значения коэффициента $П_м$ были получены на вариантах применения полуторной дозы извести – 21,7 и 24,7 соответственно (рисунок). Это является свидетельством того, что на этих фонах растительные остатки интенсивно трансформируются в органическое вещество почвы, а также характеризует структуру почвенного микробоценоза, которая определяет активность

микробиологических и биохимических процессов, как наиболее оптимальную для поддержания устойчивого равновесия в данных экосистемах. В 2 раза ниже активность этого процесса наблюдается на контрольном варианте – 11,9.

Заключение

Анализируя общее количество микроорганизмов, установлено, что стимулирующее влияние на рост численности микроорганизмов оказала полуторная доза извести по фону минеральных удобрений. На этом варианте отмечена максимальная численность микрофлоры – 25 млн КОЕ/1г почвы. Она обусловлена активизацией процессов размножения протеолитических, амилолитических и азотфиксирующих групп микроорганизмов. Относительно контроля средняя численность аммонификаторов возросла в 2 раза, бактерий, использующих минеральный азот, в 1,7 раза, азотфиксаторов в 1,5раза.

Плотность заселения серой лесной почвы азотобактером (*Azotobacter chroococcum*) на уровне 80–90 % отмечена при использовании извести в дозе 1,0 г.к. и 1,5 г.к. на естественном и удобренном фоне.

Вместе с тем отрицательная зависимость выявлена по численности микромицетов, которая снизилась в 2 раза на вариантах использования извести в дозе 1 г.к. и 1,5 г.к. по фону минеральных удобрений относительно контроля. Использование извести в дозе 0,5 и 1 г.к. на естественном фоне не повлияло на количество бактериального пула, уменьшая при этом количество мицелиальных микроорганизмов. Снижение численности микромицетов и актиномицетов на вариантах использования извести может ингибировать интенсивность минерализации трудногидролизуемых соединений органического углерода из органических остатков.

Увеличение численности протеолитических, амилолитических и диазотрофных микроорганизмов является подтверждением и объяснением высокой мобилизационной способности почв при известковании. Доза извести, рассчитанная по 1,5 г.к. на фоне минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$, оказала самое стимулирующее влияние на численность почвенных микроорганизмов вышеперечисленных эколого-трофических групп.

Список литературы

1. Окорков В.В. Теоретические основы химической мелиорации кислых почв / В.В. Окорков. – Иваново: ПресСто, 2016. – 332 с.

2. Мишустин Е.Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия / Е.Н. Мишустин. – М.: Колос, 1972. – 342 с.

3. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение / В.И. Кирюшин. – М.: Колос, 2010. – 686 с.

4. Яковлева Л.В. Экологические аспекты известкования дерново-подзолистых почв Северо-Запада России: дис. … докт. с.-х. наук. – Санкт-Петербург, 2009. – 374 с.

5. Биккинина Л.М.-Х. Способы известкования чернозема выщелоченного местной доломитовой мукой в условиях предволжской зоны Республики Татарстан: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – Казань, 2009. – 21 с.

6. Дегтярева И.А. Влияние различных способов заделки химмелиорантов на биологические свойства выщелоченного чернозема при возделывании яровой пшеницы / И.А. Дегтярева, Д.С. Дмитричева, Л.М.-Х. Биккинина // Фундаментальные исследования в области агроэкологии и химизации земледелия: сб. докл. Всероссийск. науч. конф. Татарского НИИ агрохимии и почвоведения (15–16 сентября, 2008 г.). – Казань: Центр инновационных технологий, 2008. – С. 29–33.

7. Науменко А.В. Плодородие луговой черноземовидной почвы и урожайность культур в зависимости от известкования на фоне длительного применения удобрений / А.В. Науменко // Вестник Алтайского аграрного университета. – 2010. – № 2 (64). – С. 35–40.

8. Зинченко М.К. Ферментативный потенциал агроландшафтов серой лесной почвы Владимирского ополья / М.К. Зинченко, С.И. Зинченко // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 1–8. – С. 1319–1323.

9. Зинченко М.К. Реакция почвенной микрофлоры серой лесной почвы на длительное применение разных по уровню интенсификации систем удобрения / М.К. Зинченко, Л.Г. Стоянова // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 2. – С. 21–24.

10. Теппер Е.З. Практикум по микробиологии / Е.З. Теппер, В.К. Шильникова, Г.И. Переверзева. – М.: Агропромиздат, 2004. – 238 с.

References

1. Okorkov V.V. Teoreticheskie osnovy` ximicheskoj melioracii kisly`x pochv / V.V. Okorkov. – Ivanovo: PresSto, 2016. – 332 p.

2. Mishustin E.N. Mikroorganizmy` i produktivnost` zemledeliya / E.N. Mishustin. – M.: Kolos, 1972. – 342 p.

3. Kiryushin V.I. Agronomicheskoe pochvovedenie / V.I. Kiryushin. – M.: Kolos, 2010. – 686 p.

4. Yakovleva L.V. E`kologicheskie aspekty` izvestkovaniya dernovo-podzolisty`x pochv Severo-Zapada Rossii: dis. … dokt. s.-x. nauk. – Sankt-Peterburg, 2009. – 374 p.

5. Bikkinina L.M.-X. Sposoby` izvestkovaniya chernozema vy`shhelochennogo mestnoj dolomitovoj mukoj v usloviyax predvolzhskoj zony` Respubliki Tatarstan: avtoref. dis. … kand. s.-x. nauk. – Kazan`, 2009. – 21 p.

6. Degtyareva I.A. Vliyanie razlichny`x sposobov zadelki ximmeliorantov na biologicheskie svojstva vy`shhelochennogo chernozema pri vozdely`vanii yarovoj pshenicy / I.A. Degtyareva, D.S. Dmitricheva, L.M.-X. Bikkinina // Fundamental`ny`e issledovaniya v oblasti agroe`kologii i ximizacii zemledeliya: sb. dokl. Vserossijsk. nauch. konf. Tatarskogo NII agroximii i pochvovedeniya (15–16 sentyabrya, 2008 g.). – Kazan`: Centr innovacionny`x texnologij, 2008. – pp. 29–33.

7. Naumenko A.V. Plodorodie lugovoj chernozemovidnoj pochvy` i urozhajnost` kul`tur v zavisimosti ot izvestkovaniya na fone dlitel`nogo primeneniya udobrenij / A.V. Naumenko // Vestnik Altajskogo agrarnogo universiteta. – 2010. – № 2 (64). – pp. 35–40.

8. Zinchenko M.K. Fermentativny`j potencial agrolandshaftov seroj lesnoj pochvy` Vladimirskogo opol`ya / M.K. Zinchenko, S.I. Zinchenko // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2015. – № 1–8. – pp. 1319–1323.

9. Zinchenko M.K. Reakciya pochvennoj mikroflory` seroj lesnoj pochvy` na dlitel`noe primenenie razny`x po urovnyu intensifikacii sistem udobreniya / M.K. Zinchenko, L.G. Stoyanova // Dostizheniya nauki i texniki APK. – 2016. – T. 30, № 2. – pp. 21–24.

10. Tepper E.Z. Praktikum po mikrobiologii / E.Z. Tepper, V.K. Shil`nikova, G.I. Pereverzeva. – M.: Agropromizdat, 2004. – 238 p.

УДК 631.527.53:633.15:631.559(571.13)

ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИИ ИНБРЕДНЫХ ЛИНИЙ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Ильин В.С., Логинова А.М., Гетц Г.В.

Сибирский филиал ФГБНУ Всероссийского научно-исследовательского института кукурузы, Омск, e-mail: sibmais@rambler.ru

Недостаток концентрированных кормов для животноводства ставит задачу по увеличению производства зерна кукурузы с початками восковой спелости, особенно в зонах с коротким вегетационным периодом. Выращивание кукурузы на зерно в условиях Западной Сибири возможно только благодаря внедрению раннеспелых гибридов. Новые гибриды должны быть не только раннеспелыми, но обладать ценными хозяйственными признаками и давать высокий урожай зерна. Родительскими формами для создания раннеспелых гибридов могут быть инбредные линии, выделенные в условиях Сибири. Изучение инбредных линий по основным хозяйственно полезным признакам, особенно по комбинационной способности, более полно раскрывает потенциальные возможности линий, что позволяет более эффективно использовать их в селекционных программах. В Сибирском филиале ВНИИ кукурузы работа по созданию инбредных линий ведется методом инцухта с последующим изучением и отбором ценных генетических источников. Одним из эффективных методов создания раннеспелых линий является отбор на раннее цветение. В статье представлены результаты изучения коллекции инбредных линий, созданных в филиале. В результате изучения выделены раннеспелые и ультраранеспелые линии. Приведены результаты морфобиометрического анализа инбредных линий и определено варьирование отдельных признаков. Для определения комбинационной способности линий использовали метод диаллельных скрещиваний, с последующим изучением полученных гибридных комбинаций. Результаты обработки полученных данных позволили выявить существенные различия между комбинациями по эффектам ОКС и вариансам СКС. Из изученных линий выделены генотипы, отличающиеся достоверно высокими эффектами ОКС по урожаю зерна. Для дальнейшей селекционной работы выделены линии – источники ценных признаков.

Ключевые слова: инбредная линия, раннеспелость, початок, всходы, цветение, комбинационная способность, гибридизация

EVALUATION OF THE COLLECTION INBRED MAIZE LINES UNDER THE CONDITIONS OF THE OMSK REGION

Ilin V.S., Loginova A.M., Getz G.V.

Siberian Branch, All-Russian Research Institute of Maize, Omsk, e-mail: sibmais@rambler.ru

The lack of concentrated feed for animal husbandry poses the task of increasing the corn grain production of wax ripeness ears, especially in areas with a short vegetation period. The cultivation of corn for grain in Western Siberia is possible only through the introduction of early maturing hybrids. New hybrids should not only be early ripening, but have valuable economic characteristics and give a high grain yield. Parental forms for the creation of early-maturing hybrids can be inbred lines, bred under Siberia conditions. The study of inbred lines on the main economic-useful traits, especially on combining ability, more fully reveals the potential possibilities of the lines, which makes it possible to use them more effectively in breeding programs. In the Siberian branch of the ARRSI of corn, the work on the creation of inbred lines is conducted by the method of inbreeding with the subsequent study and selection of valuable genetic sources. One of the effective methods for creating early ripening lines is selection for early flowering. The article presents the results of studying the collection of inbred lines created in the branch. Early and ultra-early maturing lines were identified as a result of the study. The results of morphobiometric analysis of inbred lines are given, and the variations of individual features are determined. To determine the combinational capacity of the lines, the method of diallelic crosses with the subsequent study of the received hybrid combinations was used. The processing effect of the obtained data made it possible to reveal significant differences between combinations on the effects of GCA and SCA variances. From the studied lines there were identified genotypes, which are distinguished by reliably high effects of GCA on the grain yield. For further breeding work, there are identified sources lines of valuable features.

Keywords: inbred line, early ripeness, maize cob, sprouts, flowering, combining ability, hybridization

Увеличение производства фуражного зерна кукурузы в значительной степени зависит от создания и внедрения в производство новых более продуктивных гибридов. Особое внимание уделяется созданию раннеспелых гибридов для получения зерна и полноценного корма в северных регионах. Однако создание таких гибридов сдерживается недостаточным количеством раннеспелых и ультраранеспелых инбредных линий. Созданию линий, приспособленных к климатическим условиям Западной Сибири, уделяется особое внимание и одним из эффективных методов является отбор на раннее цветение [1, 2].

Продолжительность вегетационного периода – варьирующий признак, зависящий от биологических особенностей линии и факторов внешней среды. Наибольшей изменчивостью отличается период от

всходов до цветения [3]. Немаловажное значение придается изучению морфологических признаков и биологических свойств инбредных линий и оценке их комбинационной способности. Комбинационная способность – генетически обусловленное свойство, которое наследуется как при самоопылении, так и при скрещивании, при этом основным критерием оценки служит урожай зерна гибридов. Результаты оценки комбинационной способности характеризуют самоопыленную линию как потенциальную родительскую форму при подборе родительских пар для скрещиваний. Это позволяет целенаправленно вести селекционный процесс и способствует получению высокогетерозисных гибридов [4, 5].

В Сибирском филиале ВНИИ кукурузы для создания новых гомозиготных линий используется стандартный метод, который основывается на проведении самоопыления растений кукурузы с одновременным отбором по комплексу хозяйственно полезных признаков. Такая работа проводится в течение 5–7 лет, пока самоопыленная линия не достигнет однородности по морфологическим признакам. После достижения гомозиготности линии присваивается буквенный индекс Ом и далее идет цифровой номер линии. Создание новых самоопыленных линий – это первый этап работы в получении хозяйственно ценных гибридов кукурузы. Второй важнейший этап – оценка линий по комплексу признаков.

Материалы и методы исследования

Научные исследования проведены в Сибирском филиале ВНИИ кукурузы в 2014–2016 гг., в соответствии с методикой постановки и проведения опытов [6]. В селекционном питомнике был заложен опыт по изучению коллекции инбредных линий кукурузы в количестве 20 образцов. В полевых условиях отмечались даты посева, появления всходов (50%), цветения початков (50%). Биометрические измерения включали определение высоты растений и высоты прикрепления початка на 10 растениях каждой линии, поражение пузырчатой головней определялось на естественном фоне путем подсчета пораженных растений. Вегетационный период определяли путем подсчета количества дней от появления 50% всходов до цветения початка 50% растений кукурузы. Урожайность линий изучалась в трехкратной повторности при густоте стояния 55–56 тыс. растений на га, площадь делянки 9,8 м^2. Комбинационная способность линий изучалась методом прямых диаллельных скрещиваний (по 10 линий в каждой схеме), с испытанием гибридного потомства по урожаю зерна. Оценку линий по ОКС и СКС проводили по методике В.Г. Вольфа и П.П. Литуна [7]. В лабораторных условиях был проведен анализ початков линий, для определения показателей элементов структуры урожая.

Результаты исследования и их обсуждение

Метеоусловия 2014–2016 гг. были различными, но типичными для зоны с резко континентальным климатом. 2014 г. характеризовался недобором тепла в июле, но теплым августом, при этом отмечен недобор осадков в летние месяцы. Условия 2015 г. были на уровне среднемноголетних значений по теплу и с небольшим превышением по осадкам. Очень благоприятным был 2016 г., наблюдалось превышение среднемноголетних норм по теплу и осадкам.

Продолжительность периода «всходы – цветение початка» наиболее полно характеризует линию по раннеспелости. На этот период вегетации наиболее сильно влияют температурные условия и количество влаги. В опыте были отмечены существенные различия по длине периода «всходы – цветение початка» по годам изучения. В наиболее холодном 2014 г. цветение наступило на 7–9 дней позднее, чем в 2015–2016 гг. По итогам трехлетнего изучения по продолжительности данного периода все линии были разделены на 3 группы спелости. Выделено 7 инбредных линий с очень ранним цветением початка, 10 раннеспелых линий и 3 среднеранних. Следует отметить, что большая часть изученных линий относится к раннеспелой группе (табл. 1).

В среднем за 3 года продолжительность периода «всходы – цветение початка» составила 49–55 дней, отклонение составило ±2,8 дней, 85% линий находится в пределах среднего значения (51,5 дн.) (табл. 2).

Наблюдения за высотой растений инбредных линий также показали, что изменение погодных условий в период наиболее активного роста сказывается на общей высоте растений. Так, в 2014 г. средняя высота растений составила – 160,8 см, в 2015 г. – 165,3 см, и в 2016 г. – 175,3 см. Размах варьирования в среднем за 3 года был в диапазоне 142–188 см. но в целом изменчивость незначительная. Коэффициент вариации (V = 7,72%), стандартное отклонение ±12,3 см. Максимальную высоту

имели линии – Ом 14, Ом 30, Ом 204, Ом 409, минимальную – Ом 28 и Ом 32. Варьирование признака «высота прикрепления початка» было в среднем за годы изучения в пределах средней изменчивости, коэффициент вариации (V = 16,7 %), среднее значение – 51,2 см. Менее половины инбредных линий (45 %) находится в интервале средних и выше средних значений данного признака. Наибольшие значения отмечены у линий: Ом 398, Ом 259, Ом 112, Ом 107, Ом 409. По урожаю зерна наблюдалась значительная изменчивость по годам изучения (V – 22,4 %). Урожай зерна инбредных линий варьировал от средних наименьших значений в 2014 г. – 2,8 т/га, до наибольших в 2016 – 5,0 т/га. Среднее значение за 3 года – 3,9 т/га. Величина $НСР_{095}$ для сравнения со средним урожаем по опыту составила 0,76 т/га. Выделены линии, у которых отклонение от

Таблица 1

Распределение линий по группам спелости по результатам изучения за 2014–2016 гг.

Группа спелости	Период всходы – цветение початка (дней)	Количество линий	Название линии
Очень ранняя	49–50	7	Ом 196, Ом14, Ом136, Ом30, Ом398, Ом107, Ом110
Раннеспелая	51–54	10	Ом32, Ом259, Ом112, Ом33, Ом109, Ом172, Ом401, Ом26, Ом28, Ом195
Среднеранняя	55–58	3	Ом 409, Ом204, Ом279

Таблица 2

Результаты изучения инбредных линий по хозяйственно полезным признакам за 2014–2016 гг.

Название линии	Период всходы – цветение початка, дней	Урожай зерна при 14 % влажности, т/га	Высота		Поражение пузырчатой головней, %
			Растений, см	Прикрепления початков, см	
Ом 196	49	4,82	170	50	0,4
Ом 14	49	*4,89*	188	47	*00*
Ом 110	50	2,83	155	34	0,3
Ом 30	50	4,52	185	55	1,4
Ом 107	50	3,51	162	62	1,5
Ом 136	50	4,41	162	46	0,2
Ом 398	50	4,85	171	68	0,7
Ом 172	51	4,78	165	46	1,4
Ом 259	51	3,80	163	47	3,6
Ом 112	51	5,01	171	68	00
Ом 195	51	3,22	163	45	4,1
Ом 109	51	2,91	147	39	0,2
Ом 28	52	2,91	142	42	4,9
Ом 26	52	3,03	161	48	2,5
Ом 32	52	2,94	149	55	2,8
Ом 401	53	3,42	168	55	00
Ом 33	53	5,35	181	58	5,9
Ом 279	55	2,84	170	49	3,4
Ом 204	55	3,81	187	60	2,6
Ом 409	55	4,18	182	70	00
Среднее	51,5	3,90	167,1	51,2	
$НСР_{095}$		0,76			
V%	5,54	22,4	7,72	16,7	
Ст. отклонение	±2,8	±0,8	±12,3	±10,3	

среднего урожая больше $НСР_{095}$ – Ом 33, Ом 112, Ом 172, Ом 14, Ом 398, Ом 196. Изучение инбредных линий по устойчивости к заболеванию пузырчатой головней показало, что большая часть линий (75%) относятся к слабопоражаемым. Из 20 изученных линий – 4 не имели поражения за годы изучения, 15 линий показали слабое поражение (от 0,22–4,89%) и 1 линия поражалась в средней степени >5,0%

Таблица 3

Результаты изучения инбредных линий кукурузы по отдельным структурным показателям за 2014–2016 гг.

Название линии	Подвид	Масса початка, г	Длина початка, см	Кол-во рядов зерен на початке, шт.	Кол-во зерен в ряду, шт.	Масса 1000 зерен, г
Ом 196	Кремнист.	98,8	14,2	12–14	23	252
Ом 14	Кремнист.	100,1	14,7	10–12	23	247
Ом 110	Кремнист.	67,5	13,8	12–14	23	177
Ом 30	Кремнист.	105,3	14,3	12–14	23	256
Ом 107	Кремнист.	68,3	12,3	14	25	235
Ом136	Кремнист.	102,8	14,8	12–14	22	277
Ом 398	Зубовид.	77,4	12,9	12–14	23	199
Ом172	Кремнист.	102,5	15,5	14–16	19	248
Ом 259	Кремнист.	85,4	14,4	12–14	26	198
Ом 112	Кремнист.	66,1	12,7	14	20	197
Ом 195	Кремнист.	82,1	12,4	12	19	211
Ом 109	Кремнист.	59,6	11,3	12–14	17	187
Ом 28	Кремнист.	55,7	12,5	10–12	18	185
Ом 26	Кремнист.	82,5	14,5	12–14	18	213
Ом 32	Кремнист.	58,7	11,3	12	17	187
Ом 401	Кремнист.	83,0	13,4	12–14	23	199
Ом 33	Кремнист.	82,6	14,7	12	20	250
Ом 279	Кремнист.	87,1	15,1	12–14	21	252
Ом 204	П/зубовид.	100,4	16,0	16	24	200
Ом 409	Кремнист.	82,6	14,8	12–14	26	182
Среднее		82,4	13,8	13,3	21,5	218
V%		12,8	10,9	8,7	15,28	13,8
Ст. отклонение (б)		± 4,8	± 1,51	± 1,34	± 3,28	± 28,9

Таблица 4

Результаты изучения комбинационной способности инбредных линий

Линия	Эффекты ОКС	Варианса СКС	Линия	Эффекты ОКС	Варианса СКС
Ом 196	3,01	80,87	Ом 204	2,50	8,95
Ом 30	0,86	93,39	Ом 401	1,52	12,93
Ом 110	–6,25	16,22	Ом 33	3,40	21,22
Ом 109	–5,15	18,39	Ом 26	–1,92	6,13
Ом 409	4,91	8,77	Ом 14	2,39	5,44
Ом 172	1,64	16,95	Ом 136	3,96	4,19
Ом 259	1,87	8,81	Ом 279	0,53	8,98
Ом 112	2,64	78,22	Ом 195	–4,16	8,09
Ом 28	–4,65	11,74	Ом 398	–3,59	32,74
Ом 107	1,12	44,13	Ом 32	–4,63	27,29
$НСР_{05}$	0,54	(сред = 37,74)		0,36	(сред = 13,60)
F факт	18,25	21,30		13,16	13,94

Таблица 5

Генетические источники хозяйственно полезных признаков коллекции линий кукурузы

Хозяйственно полезные признаки	Количество линий источников
Раннеспелость	7 – Ом 196, Ом 14, Ом 30, Ом 136, Ом 398, Ом 107, Ом 110
Комбинационная способность	5 – Ом 196, Ом 30, Ом 112, Ом 107, Ом 33
Высокоурожайные	6 – Ом 33, Ом 112, Ом 172, Ом 14, Ом 398, Ом 196
Высокорослые	5 – Ом 14, Ом 30, Ом 204, Ом 409
Высокое прикрепление початка	5 – Ом 398, Ом 112, Ом 107, Ом 409, Ом 259
Масса початка	4 – Ом 30, Ом 136, Ом 172, Ом 14
Длиннопочатковые	3 – Ом 172, Ом 204, Ом 279
Многорядные	1 – Ом 204
Устойчивость к пузырчатой головне	4 – Ом 14, Ом 112, Ом 401, Ом 409
(М 1000 зерен, г)	4 – Ом 136, Ом 30, Ом 279, Ом 33

Для получения высокогетерозисных гибридов необходимо учитывать и структурные особенности исходного материала: длина початка, масса початка, количество рядов зерен, количество зерен в ряду, масса 1000 зерен. Изучение этих признаков показало, между линиями имеются существенные различия. В табл. 3 представлены средние данные по структурным показателям коллекции инбредных линий за 2014–2016 гг.

По признаку «масса початка» размах варьирования составил от 55,7 до 105,3 г. Среднее значение – 82,4 г. Стандартное отклонение ±4,8 г, V = 12,8 %, коэффициент выравненности материала – 87,2 %. Наибольшие значения данного признака отмечены у линий: Ом 30, Ом 136, Ом 172 и Ом 14. По признаку «длина початка» 45 % линий находятся в интервале среднего значения – 13,8 см, отклонение составило ± 1,51 см. Выделены 3 линии с длиной початка ≥ 15,0 см: Ом 172, Ом 204, Ом 279. Количество рядов зерен на початке у большинства линий от 12 до 14 шт., степень изменчивости признака по годам была незначительная (V = 8,7 %). По данному признаку можно выделить линию Ом 204, имеющую 16 рядов. Признак «количество зерен в ряду» показал среднюю степень изменчивости (V = 15,28 %), варьирование было в диапазоне 17–26 шт., среднее значение составило 21,5 шт., наибольшее значение у линии Ом 259, Ом 409, Ом 107. Признак «масса 1000 зерен» находился в пределах средней изменчивости (V = 13,8 %). Наибольшее значение признака по годам изучения отмечено у линий Ом 136, Ом 30, Ом 279, Ом 33. Для определения селекционной ценности новых инбредных линий кукурузы, представляющих интерес для селекции новых гибридов, определялась их комбинационная способность. В 2015 г. были проведены прямые диаллельные скрещивания инбредных линий с последующим испытанием гибридного потомства. ОКС и СКС определялась по урожаю зерна полученных гибридов. В табл. 4 приведены результаты оценки общей комбинационной способности (ОКС) и специфической (СКС).

Анализ диаллельных гибридов по урожаю зерна показал достоверность различий между гибридами (Fфакт > Fтабл.), что позволило проанализировать различия по комбинационной способности линий. Выявлены высокие эффекты ОКС у линий: Ом 196, Ом 409, Ом 112, Ом 136, Ом 33, Ом 14. Для оценки СКС для каждой линии определялась варианса СКС. Сравнение линий по СКС проводили с её средним значением. Оценками СКС выше среднего значения характеризуются линии: Ом 196, Ом 30, Ом 112, Ом 107, Ом 398, Ом 32, Ом 33. Результаты изучения ОКС и СКС по урожаю зерна позволили выделить линии, показавшие высокие и средние эффекты ОКС и высокие варианс СКС. Данные линии пригодны для широкого использования в селекции высокогетерозисных гибридов: Ом 196, Ом 30, Ом 112, Ом 107, Ом 33. Линии Ом 136, Ом 14 и Ом 409 характеризуются высокой ОКС, но низкой СКС – эти линии также можно включать в скрещивания для получения высокоурожайных гибридов и сортов-популяций. Линии Ом 32, и Ом 398 имеют низкую ОКС, но высокую варианс СКС, эти линии можно использовать в селекционных программах, как родительские компоненты, но успех создания высокогетерозисных гибридов возможен при правильном подборе пар. Линии Ом 109, Ом 110, Ом 28, Ом 26, и Ом 195 в пределах данной группы показали низкие значения ОКС и СКС.

В результате проведенных исследований в 2014–2016 гг. дана оценка коллекции инбредных линий по проявлению хозяйственно полезных признаков.

Из коллекции выделено 15 линий, которые представляют интерес как генетические источники по 10 наиболее ценным хозяйственно полезным признакам. Использование данных линий в селекционных программах позволит оптимизировать селекционный процесс по созданию новых раннеспелых высокоурожайных гибридов (табл. 5).

Список литературы

1. Орлянский Н.А. Создание и изучение самоопыленных линий кукурузы при селекции на раннеспелость / Н.А. Орлянский, Н.А. Орлянская // Селекция. Семеноводство. Технология возделывания кукурузы: материалы науч. конф., посв. 20 лет ГНУ ВНИИ кукурузы. – Пятигорск: Изд-во ОАО «Кавказская здравница», 2009. – С. 63–65.

2. Орлянская Н.А. Результаты изучения новых самоопыленных линий кукурузы / Н.А. Орлянская // Селекция. Семеноводство. Технология возделывания кукурузы: материалы науч. конф., посв. 25-летию ГНУ ВНИИ кукурузы. – Пятигорск: Изд-во ОАО «Кавказская здравница», 2012. – С. 46–52.

3. Логинова А.М. Изучение новых инбредных линий кукурузы омской селекции / А.М. Логинова, С.В. Губин // Кукуруза и сорго. – 2012. – № 3. – С. 15–17.

4. Комбинационная способность новых среднеранних линий кукурузы / А.Ю. Слащев [и др.] // Кукуруза и сорго. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 16–20.

5. Супрунов А.И. Периодический отбор в популяциях кукурузы / А.И. Супрунов, М.А. Чуприна. – Краснодар: Изд-во ООО «Эдви», 2010. – С. 28–37.

6. Методические рекомендации по проведению полевых опытов с кукурузой. – Днепропетровск, 1980. – 54 с.

References

1. Orlyanskij N.A. Sozdanie i izuchenie samoopy`lenny`x linij kukuruzy` pri selekcii na rannespelost` / N.A. Orlyanskij, N.A. Orlyanskaya // Selekciya. Semenovodstvo. Texnologiya vozdely`vaniya kukuruzy`: materialy` nauch. konf., posv. 20 let GNU VNII kukuruzy`. – Pyatigorsk: Izd-vo OAO «Kavkazskaya zdravnicza», 2009. – pp. 63–65.

2. Orlyanskaya N.A. Rezul`taty` izucheniya novy`x samoopy`lenny`x linij kukuruzy` / N.A. Orlyanskaya // Selekciya. Semenovodstvo. Texnologiya vozdely`vaniya kukuruzy`: materialy` nauch. konf., posv. 25-letiyu GNU VNII kukuruzy`. – Pyatigorsk: Izd-vo OAO «Kavkazskaya zdravnicza», 2012. – pp. 46–52.

3. Loginova A.M. Izuchenie novy`x inbredny`x linij kukuruzy` omskoj selekcii / A.M. Loginova, S.V. Gubin // Kukuruza i sorgo. – 2012. – № 3. – pp. 15–17.

4. Kombinacionnaya sposobnost` novy`x srednerannix linij kukuruzy` / A.Yu. Slashhev [i dr.] // Kukuruza i sorgo. – 2015. – T. 1, № 1. – pp. 16–20.

5. Suprunov A.I. Periodicheskij otbor v populyaciyax kukuruzy` / A.I. Suprunov, M.A. Chuprina. – Krasnodar: Izd-vo OOO «E`dvi», 2010. – pp. 28–37.

6. Metodicheskie rekomendacii po provedeniyu polevy`x opy`tov s kukuruzoj. – Dnepropetrovsk, 1980. – 54 p.

УДК 631.527.5:633.15:61.559(470.34)

ПОДБОР РАННЕСПЕЛЫХ ГИБРИДОВ КУКУРУЗЫ ДЛЯ КОРМОВЫХ СЕВООБОРОТОВ В УСЛОВИЯХ ВОЛГО-ВЯТСКОГО РАЙОНА

[1]Соколова Е.А., [2]Мефодьев Г.А., [1]Свечников А.К.

[1]Марийский НИИСХ – филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Республика Марий Эл, п. Руэм, e-mail: via@mari-el.ru;

[2]ФГБОУ ВО «Чувашская государственная сельскохозяйственная академия», Чебоксары, e-mail: mega19630703@mail.ru

В статье приведены результаты сравнительной оценки трехлетних исследований 2015–2017 гг. продуктивности 11 гибридов кукурузы селекции Воронежского филиала ФГБНУ ВНИИК в условиях Республики Марий Эл. Данные статьи показывают преимущество использования кукурузы перед другими широко представленными зерновыми культурами в кормовых севооборотах при недостатке влаги в течение вегетационного периода. Тогда как в периоды избыточного увлажнения и низких температур увеличивается продолжительность вегетационного периода растений кукурузы. Длина вегетационного периода для раннеспелых гибридов из литературных источников составляет 90–100 дней, в условиях Республики Марий Эл при изучении нами гибридов кукурузы продолжительность периода составила 153–155 дней. Наиболее благоприятный для формирования зеленой массы и зерна гибридов оказался 2015 г., в этот год была получена максимальная урожайность по сравнению с остальными годами: сбор зеленой массы составил 45,8–69,0 т/га, урожайность зерна находилась в пределах 9,32–14,5 т/га. Трехлетнее изучение закономерности влияния агрометеорологических условий показало, что наименее благоприятным для роста и развития гибридов кукурузы оказался 2017 г. В условиях 2017 г. на период формирования зерна установилась холодная дождливая погода, что напрямую отразилось на сроках уборки и влажности зерна. В условиях вегетационного периода этого года зерно в початках не достигло уборочной спелости (44–81 %), в связи с чем уборка была осуществлена только на зеленую массу. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что в Республике Марий Эл возможно получение питательной зеленой массы и полноценного зерна кукурузы при использовании раннеспелых гибридов кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза, раннеспелые гибриды, ФАО, урожайность, зерно, зеленая масса

SELECTION OF EARLY MATURING MAIZE HYBRIDS FOR FODDER CROP ROTATIONS UNDER CONDITIONS OF THE VOLGA-VYATKA DISTRICT

[1]Sokolova E.A., [2]Mefodev G.A., [1]Svechnikov A.K.

[1]«Mari Research Institute of Agriculture» – branch FGBNU of Russian Federal scientific center of the North-East, Mari El Republic, Ruem, e-mail: via@mari-el.ru;

[2]Chuvash State Agricultural Academy, Cheboksary, e-mail: mega19630703@mail.ru

The article presents the results of a comparative evaluation of three years of research for 2015-2017 productivity of 11 maize hybrids breeding by the Voronezh branch of FGBNU VNIIK in the Republic of Mari El. The data shows the advantage of using maize over other widely represented crops in fodder crop rotations, lacking moisture during the growing season. Whereas, during the periods of excessive moisture and low temperatures, the duration of the growing season of maize plants increases. The length of the growing season for early-ripening hybrids according to literary sources is 90-100 days. Studying the maize hybrids under the Republic of Mari El conditions it was determined that the duration of the period was 153-155 days. The most favorable for the formation of green mass and grain hybrids was 2015. The maximum yield compared to other years was received this year: the collection of green mass was 45,8-69,0 t/ha, grain yield was in the range of 9,32-14,5 t/ha. Three-year studies of the regularity of the influence of agricultural meteorological conditions showed that the least favorable for the growth and development of maize hybrids was 2017. In this year cold rainy weather influenced the grain formation, which directly affected the terms of harvesting and moisture content in the grain. This year in vegetation period the cob grain didn`t reach harvest ripeness (44-81 %), so the harvesting was carried out only for green weight. The conducted research allows to draw a conclusion that it is possible to receive nutritious green weight and high-grade grain of corn in the Republic of Mari El using early maturing hybrids of maize.

Keywords: corn, early maturing hybrids, FAO, yield, grain, green mass

Кукуруза – одна из основных культур современного мирового земледелия. На продовольствие используется около 20 % зерна кукурузы, на технические цели – около 15 % и примерно две трети – на корм [1].

Эта высокопроизводительная культура за короткое время формирует больше органической массы, чем другие культурные растения [2, 3]. Высокой питательностью отличаются початки и стебли кукурузы. Убранная в фазе молочно-восковой спелости, она дает ценный силос, в 100 кг которого содержится около 40 кормовых единиц [4].

Однако при неблагоприятных внешних условиях, в частности ухудшении температурного, водного, светового и питательного режимов, снижается количество и качество урожая [3].

Благодаря засухоустойчивости кукуруза является надежной страховой культурой в годы неблагоприятные для озимых и яровых зерновых [5–7].

Несмотря на ряд преимуществ, кукуруза – теплолюбивая культура и очень часто главным лимитирующим фактором ее распространения на север является короткая продолжительность периода активной вегетации, т.е. скороспелость [8–10]. Скороспелые гибриды меньше реагируют на понижение температуры в период созревания зерна, чем более позднеспелые [11]. Таким образом, является перспективным изучение новых раннеспелых гибридов и сортов кукурузы в северных границах возделывания кукурузы.

Цель исследования: провести оценку продуктивности 11 раннеспелых гибридов в условиях Волго-Вятского района.

Материалы и методы исследования

Для исследования были выбраны 11 гибридов кукурузы селекции Воронежского филиала ФГБНУ ВНИИ кукурузы. Ниже в табл. 1 приведены названия гибридов с показателями ФАО. Значения ФАО гибридов кукурузы свидетельствуют об их принадлежности к группе раннеспелых: Каскад 166 АСВ – ФАО 170, Воронежский 160 СВ – ФАО 160, ВТГ 185-15 – ФАО 170, ВТГ 187-15 – ФАО 170, ВТГ 173-12 – ФАО 170, ВТГ 190-15 – ФАО 180, Воронежский 158 СВ – ФАО 170, ВТГ 195-15 – ФАО 190, Воронежский 197 СВ – ФАО 190, ВТГ 193-15 – ФАО 190, ВТГ 189-15 – ФАО 190.

Опыты по изучению урожайности гибридов кукурузы проводились в течение трех лет в опытном поле Марийского НИИСХ – филиале ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Норма высева семян кукурузы составила 80 тыс. шт. семян/га, расстояние между рядками 0,7 м. Общая площадь делянки – 12,6 м^2. Размещение делянок систематическое.

Известно, что лучшие почвы для кукурузы – легкие суглинистые, супесчаные и песчаные, оптимальное значение pH = 6,0–7,5, не пригодны кислые (pH ниже 5,0), склонные к заболачиванию и сильно засоленные. Оптимальными агрохимическими показателями почвы для возделывания кукурузы являются содержания гумуса – не менее 1,8%, подвижного фосфора и обменного калия – не менее 150 мг/кг почвы. Таким образом, агрохимические показатели почвы опытных участков в течение трёхлетних исследований были благоприятными для возделывания кукурузы и получения качественного силоса и зерна.

Почва опытных участков дерново-подзолистая среднесуглинистая, что характерно для центральной зоны Республики Марий Эл. Структура пластинчато-комковато-пылевидная, пронизанная корнями растений.

Таблица 1

Агрохимические показатели почвы опытного участка

Наименование показателя	Год исследования		
	2015 г.	2016 г.	2017 г.
Содержание гумуса,%	2,6	2,3	2,1
Содержание P_2O_5, мг/кг почвы	342,5	412,5	453,8
Содержание K_2O, мг/кг почвы	185,5	187,5	187,7
pH, ед.	5,5	2,3	5,5

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 2 приведены результаты продуктивности зеленой массы и зерна гибридов кукурузы за 2015–2017 гг. исследований. Погодные условия этих лет были очень различны, что сильно отразилось на продуктивности кукурузы.

Вегетационный период 2015 г. был удовлетворительным для роста и развития кукурузы. Выпадение осадков и температура воздуха в период интенсивного роста и цветения кукурузы были оптимальными по сравнению со среднемноголетними значениями данных показателей. Посев кукурузы произведен 14 мая, полные всходы на опыте отмечены 26–27 мая.

В июле среднесуточная температура воздуха в среднем за 3 декады составила 17 °С, что ниже на 1,4 °С по сравнению с многолетними данными.

В период учета продуктивности зеленой массы стояла теплая сухая погода, что положительно сказалось на сборе сухой массы (13,1–17,7 т/га). На момент учёта зерновой продуктивности установилась дождливая прохладная погода, что заметно отразилось на уборочной влажности зерна (36–57%).

В целом, благодаря достаточной влажности почвы с конца весны, в августе и повышенным температурам воздуха в сентябре зерно кукурузы достигло уборочной спелости.

По итогам 2015 г. лидером по сбору зеленой массы стал гибрид Воронежский 158 СВ – 69,0 т/га. Стоит также отметить, что он включен в список рекомендованных к использованию на территории Республики Марий Эл.

По сбору сухой массы стоит выделить гибрид ВТГ 193-15, набравший 17,7 т/га, при сборе зеленой массы 59,6 т/га. Наибольший сбор кормовых единиц получен гибридом ВТГ 173-12 – 17,5 тыс. к.е/га, что превышает значения по опыту на 6,9–27,0%. По результатам 2015 г. максимальная зерновая урожайность по опыту получена гибридами ВТГ 195-15 и ВТГ 189-15 (11,5 т/га).

Учет урожая зеленой массы изучаемых гибридов на силос был проведен 15 сентября. На момент уборки растения большинства гибридов достигли молочно-восковой спелости зерна. Зерно в початках в состоянии молочно-восковой спелости и растительная масса на момент уборки были отличным источником сырья для закладки на силос.

Учет урожая зерна испытуемых гибридов кукурузы проведен 15 октября. На момент уборки установилась пасмурная погода, что сильно отразилась на уборочной влажности зерна.

Температура воздуха и осадки вегетационного периода 2016 г. распределялись по территории очень неравномерно. В большую часть мая наблюдалась теплая погода. Осадки были редкими и в основном небольшими.

Посев семян кукурузы проводился 11 мая. Появление всходов в процентном отношении более 10% отмечено на отдельных гибридах с 23 мая, более 50% – с 24 мая. Выход полных всходов на поверхность почвы произошел 25 мая.

Учет урожая зеленой массы гибридов (ФАО 140-180) на силос был проведен 29 августа (гибриды кукурузы с 1 по 14 включительно). На момент уборки растения большинства гибридов достигли молочно-восковой спелости зерна. Зерно в початках в состоянии молочно-восковой спелости и растительная масса на момент уборки были отличным источником сырья для закладки на силос. Уборка остальных гибридов ФАО 190-220 была произведена 6 сентября.

Учет урожая зерна испытуемых гибридов кукурузы проведен 7 октября. Установившаяся теплая погода в первой декаде октября способствовала более быстрому созреванию зерна. На момент уборки установилась прохладная погода без осадков, что положительно сказалось на уборочной влажности зерна (29–36%).

Как видно по результатам 2016 г., наибольшее количество зеленой массы получено гибридом ВТГ 189-15 – 39,2 т/га. По сбору сухой массы максимальное значение у гибрида ВТГ 193-15 – 11,8 т/га. Наибольший сбор кормовых единиц составил у гибрида ВТГ 185-15 – 10,2 тыс. к.е/га. Благодаря установившейся теплой погоде в период уборки, зерно быстро теряло влажность. При этом максимальная урожайность зерна получена на Каскаде 166 АСВ – 9,78 т/га. Стоит отметить, что по сравнению с вегетационным периодом 2015 г., в связи с недостатком влаги в период роста, сбор зеленой массы был на 43,2–45,6% ниже, чем в 2016 г.

Весна 2017 г. была затяжная и холодная с частыми осадками. Погодные условия мая в основном благоприятствовали качественному посеву культур на опыте, но преобладавшая пониженная температура мешала их росту и развитию. Посев семян кукурузы проводился 17 мая. Появление единичных всходов отмечено на отдельных гибридах 2 июня, более 50% – 5 июня. Появление полных всходов зафиксировано 12 июня (на 26 день после посева).

В третьей декаде мая наблюдалась неустойчивая, преимущественно холодная погода с заморозками в конце декады.

В большую часть первой декады июня наблюдалась прохладная для данного времени погода с осадками разной интенсивности. В третьей декаде июня наблюдалась умеренно холодная для этого времени погода с осадками в большую ее часть.

Июль характеризовался неустойчивой по температурному режиму погодой и неравномерным распределением осадков. Агрометеорологические условия для роста и развития сельскохозяйственных культур были удовлетворительными из-за избыточной влагообеспеченности.

В первой декаде августа наблюдалась теплая погода с недобором осадков. В третьей декаде августа преобладала теплая, в первой половине аномально жаркая погода, с похолоданием в конце декады.

В сентябре наблюдалась неустойчивая по температурному режиму погода с осадками. Средняя температура воздуха за вторую декаду оказалась на 4–5 °С выше средних многолетних значений. В третьей декаде сентября наблюдалась преимущественно прохладная погода. В большую часть декады было сухо, дожди выпадали в основном во второй половине декады.

Октябрь отличился холодной погодой в первой половине месяца и достаточно теплой во второй. Средняя за декаду температура воздуха оказалась на 0,5–1 °С выше средних многолетних значений. В большую часть месяца было сухо, дожди выпадали преимущественно во второй половине декады и распределялись по территории республики неравномерно.

Учет урожая зеленой массы гибридов на силос был проведен 20 сентября. На момент уборки (100 дней после всходов) растения большинства гибридов достигли молочной спелости зерна, на единичных гибридах отмечено начало восковой спелости.

В этом году учет зеленой массы кукурузы проведен раньше предполагаемого оптимального срока, несмотря на то, что зерно в початках большинства гибридов находилось в состоянии молочной спелости, что указывает на неготовность зеленой массы для закладки силоса. Преждевременная уборка была проведена в связи с предстоящими дождями и большой вероятностью наступления осенних заморозков. В связи со сложившимися погодными условиями 2017 г. зерно гибридов кукурузы не достигло уборочной влажности. По этой причине учет зерна в этом году не проводился.

Таблица 2

Показатели продуктивности зеленой массы и зерновой урожайности за период 2015–2017 гг.

Гибриды	Сбор зеленой массы, т/га	Сбор сухой массы, т/га	Сбор к.е., тыс. к.е/га	Урожайность зерна станд. влаж., т/га	Влажность зерна, %
	2015 г.				
1. Каскад 166 АСВ	51,7	14,5	12,9	9,32	57,0
2. Воронежский 160 СВ	45,8	14,3	14,3	9,77	39,0
3. ВТГ 185-15	52,5	16,9	16,3	14,5	50,0
4. ВТГ 187-15	46,7	13,1	12,8	10,7	38,0
5. ВТГ 173-12	50,5	17,3	17,5	11,0	49,0
6. ВТГ 190-15	47,1	16,1	14,5	11,0	39,0
7. Воронежский 158 СВ	69,0	16,4	15,1	10,5	36,0
8. ВТГ 195-15	50,8	15,2	15,3	11,5	43,0
9. Воронежский 197 СВ	57,2	15,2	14,6	10,4	45,0
10. ВТГ 193-15	59,6	17,7	16,2	11,4	41,0
11. ВТГ 189-15	59,7	17,5	15,1	11,5	40,0
	2016 г.				
1. Каскад 166 АСВ	25,1	10,0	8,3	9,78	30,0
2. Воронежский 160 СВ	24,9	8,9	7,7	6,29	31,0
3. ВТГ 185-15	29,2	11,1	10,2	8,87	33,0
4. ВТГ 187-15	30,4	10,0	8,2	7,38	32,0
5. ВТГ 173-12	30,8	10,3	9,2	6,03	29,0
6. ВТГ 190-15	30,2	8,6	8,1	7,31	31,0
7. Воронежский 158 СВ	31,6	9,1	6,9	7,11	32,0
8. ВТГ 195-15	35,6	11,3	9,9	6,64	36,0
9. Воронежский 197 СВ	33,9	10,2	8,3	8,25	34,0
10. ВТГ 193-15	38,2	11,8	9,8	8,06	35,0
11. ВТГ 189-15	39,2	11,6	10,1	5,87	34,0
	2017 г.				
1. Каскад 166 АСВ	34,2	6,12	4,3	–	44,0
2. Воронежский 160 СВ	32,6	8,13	6,9	–	55,0
3. ВТГ 185-15	46,2	9,32	7,1	–	57,0
4. ВТГ 187-15	55,2	13,4	10,7	–	64,0
5. ВТГ 173-12	54,4	11,3	8,1	–	53,0
6. ВТГ 190-15	50,7	11,5	10,2	–	57,0
7. Воронежский 158 СВ	51,3	10,9	8,4	–	70,0
8. ВТГ 195-15	47,9	11,4	9,1	–	81,0
9. Воронежский 197 СВ	42,4	8,67	6,1	–	61,0
10. ВТГ 193-15	35,3	7,92	6,2	–	66,0
11. ВТГ 189-15	50,3	12,2	9,4	–	65,0
$НСР_{05}$	6,5	5,3	3,9	3,2	12,0

В целом вегетационный период 2017 г. был вполне благоприятным для роста, формирования зеленой массы и неблагоприятным для развития растений и формирования зерна кукурузы. По табличным данным 2017 г. видно, что по сбору зеленой массы лидером оказался гибрид ВТГ 187-15 – 55,2 т/га, что на 40,9 % превышает значение урожайности зеленой массы гибрида Воронежский 160 СВ. Стоит отметить, что гибрид Воронежский 160 СВ при значении ФАО 160, по всем трем годам набрал минимальное количество зеленой массы среди всех гибридов.

Наибольший сбор кормовых единиц получен гибридом ВТГ 187-15 – 10,7 тыс. к.е/га. Стоит также отметить, что по результатам 2017 г. гибрид ВТГ 187-15 был лидером не только по сбору кормовых единиц, но и по сбору и зеленой, и сухой массы.

Выводы

Полученные данные за три года исследований демонстрируют, несмотря на различные погодные условия, возможность возделывания кукурузы как на зеленую массу, так и на фуражное зерно. За период 2015–2017 гг. в результате проведения сравнительной оценки по продуктивности выделялись разные гибриды, причем независимо от значения ФАО. Стоит отметить, что наиболее сильное отрицательное влияние на рост и развитие растений кукурузы оказывают длительные пониженные температуры воздуха, в то время как устойчивая теплая, иногда даже жаркая погода не оказывает негативного влияния на кукурузу.

Список литературы

1. Мадякин Е.В. Характеристика гибридов кукурузы по продуктивности зерна и адаптивной способности в условиях недостаточного увлажнения / Е.В. Мадякин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015 – Т. 17, № 4 (3). – С. 588–591.

2. Соколова Е.А. Изучение продуктивности гибридов кукурузы в условиях 2017 года: материалы международной научно-практической конференции. – Киров, 2018. – С. 312–313.

3. Семина С.А. Условия возделывания и продуктивность кукурузы / С.А. Семина, А.С. Палийчук, И.В. Гаврюшина // Нива Поволжья. – 2016. – № 4 (41). – С. 63–69.

4. Потапова А.П. Роль кукурузы в решении проблем энерго- и ресурсосбережения / А.П. Потапова // Научно-практические основы энерго- и ресурсосбережения в адаптивно-ландшафтных системах земледелия Центрального Черноземья: материалы заседания совета по земледелию Центрально-Черноземной зоны Отделения земледелия Россельхозакадемии. – Воронеж: Истоки, 2010. – С. 52–54.

5. Годулян И. С. Кукуруза в севооборотах / И.С. Годулян. – Киев: Урожай, 1977. – 104 с.

6. Кириллов Н.А. Первый опыт возделывания кукурузы на зерно в Республике Марий Эл / Н.А. Кириллов, Е.А. Соколова, В.М. Изместьев // Аграрная Россия. – 2017. – № 3.– С. 23–25.

7. Гангур В.В. Продуктивность кукурузы на зерно в разноротационных севооборотах левобережной лесостепи Украины / В.В. Гангур // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 2. – С. 92–95.

8. Орлянский Н.А. Кукуруза на зерно и силос: практические рекомендации / Н.А. Орлянский. – Воронеж, 2013. – 42 с.

9. Соколова Е.А. Формирование урожая зерна кукурузы в условиях Республики Марий Эл / Е.А. Соколова, В.М. Изментьев, Н.А. Кириллов, Г.А. Мефодьев // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2017. – № 3 (48). – С. 12–18.

10. Елисеев С.Л. Вызревание зерна кукурузы в северных районах кукурузосеяния / С.Л. Елисеев, А.С. Елисеев // Пермский аграрный вестник. – 2015. – № 1 (9). – С. 11–18.

11. Ying Y. Response of maize leaf photosynthesis to low temperature during the grain – filling period // Field crops research. 2000. Т. 68. № 2. P. 87–96.

References

1. Madyakin E.V. Xarakteristika gibridov kukuruzy` po produktivnosti zerna i adaptivnoj sposobnosti v usloviyax nedostatochnogo uvlazhneniya / E.V. Madyakin // Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk. – 2015 – T. 17, № 4 (3). – pp. 588–591.

2. Sokolova E.A. Izuchenie produktivnosti gibridov kukuruzy` v usloviyax 2017 goda: materialy` mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Kirov, 2018. – pp. 312–313.

3. Semina S.A. Usloviya vozdely`vaniya i produktivnost` kukuruzy` / S.A. Semina, A.S. Palijchuk, I.V. Gavryushina // Niva Povolzh`ya. – 2016. – № 4 (41). – pp. 63–69.

4. Potapova A.P. Rol` kukuruzy` v reshenii problem e`nergo- i resursosberezheniya / A.P. Potapova // Nauchno-prakticheskie osnovy` e`nergo- i resursosberezheniya v adaptivno-landshaftny`x sistemax zemledeliya Central`nogo Chernozem`ya: materialy` zasedaniya soveta po zemledeliyu Central`no-Chernozemnoj zony` Otdeleniya zemledeliya Rossel`xozakademii. – Voronezh: Istoki, 2010. – pp. 52–54.

5. Godulyan I. S. Kukuruza v sevooborotax / I.S. Godulyan. – Kiev: Urozhaj, 1977. – 104 p.

6. Kirillov N.A. Pervy`j opy`t vozdely`vaniya kukuruzy` na zerno v Respublike Marij E`l / N.A. Kirillov, E.A. Sokolova, V.M. Izmest`ev // Agrarnaya Rossiya. – 2017. – № 3. – pp. 23–25.

7. Gangur V.V. Produktivnost` kukuruzy` na zerno v raznorotacionny`x sevooborotax levoberezhnoj lesostepi Ukrainy` / V.V. Gangur // Vestnik Belorusskoj gosudarstvennoj sel`skoxozyajstvennoj akademii. – 2017. – № 2. – pp. 92–95.

8. Orlyanskij N.A. Kukuruza na zerno i silos: prakticheskie rekomendacii / N.A. Orlyanskij. – Voronezh, 2013. – 42 p.

9. Sokolova E.A. Formirovanie urozhaya zerna kukuruzy` v usloviyax Respubliki Marij E`l / E.A. Sokolova, V.M. Izment`ev, N.A. Kirillov, G.A. Mefod`ev // Vestnik Buryatskoj gosudarstvennoj sel`skoxozyajstvennoj akademii im. V.R. Filippova. – 2017. – № 3 (48). – pp. 12–18.

10. Eliseev S.L. Vy`zrevanie zerna kukuruzy` v severny`x rajonax kukuruzoseyaniya / S.L. Eliseev, A.S. Eliseev // Permskij agrarny`j vestnik. – 2015. – № 1 (9). – pp. 11–18.

11. Ying Y. Response of maize leaf photosynthesis to low temperature during the grain – filling period // Field crops research. 2000. T. 68. № 2. pp. 87–96.

УДК 631.811:631.82:631.461.5:633.31/37

УСОВЕРШЕНСТВОВАННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОБОБОВЫХ КУЛЬТУР

Тедеева А.А., Хохоева Н.Т., Тедеева В.В.

Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного сельского хозяйства – Филиал ФГБУН Федерального научного центра «Владикавказский научный центр Российской академии наук», РСО-Алания, с. Михайловское, e-mail: hohoska@mail.ru

В статье приведены экспериментальные данные о влиянии минеральных удобрений и бактериального препарата на особенности формирования симбиотического и фотосинтетического аппарата зернобобовых культур и их продуктивность в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа. Минеральные удобрения и биопрепарат ризоторфин оказали существенное влияние на количество и массу активных клубеньков за счет улучшения условий их жизнедеятельности. Применение ризоторфина как отдельно, так и совместно с фосфорно-калийными удобрениями стимулировало образование клубеньков на всех опытных вариантах. Наибольшее количество активных клубеньков на корнях зернобобовых формировалось в фазу образования бобов. Растения сои в среднем по вариантам образовывали активных клубеньков на 44,5% больше, чем растения фасоли. Количество фиксированного атмосферного азота зависело не только от числа и массы активных клубеньков, но и от продолжительности функционирования симбиотического аппарата. Внесение фосфорно-калийных удобрений и инокуляция семян штаммом активных ризобий создают более благоприятные условия для бобово-ризобиального симбиоза у изучаемых культур и обеспечивают наиболее активную фиксацию растениями азота из воздуха. Количество сформировавшихся бобов на растениях изучаемых культур варьирует в широких пределах в зависимости от изучаемых факторов. Прибавка урожая от применения ризоторфина на неудобренном фоне составила относительно контрольного варианта: на сое – 0,31 т/га, на фасоли – 0,23 т/га, в посевах чины посевной – 0,33 т/га; на фоне $P_{30}K_{30}$ – 0,38; 0,37 и 0,55 т/га; на фоне $P_{45}K_{45}$ – на 0,6; 0,52 и 0,67 т/га соответственно.

Ключевые слова: ризоторфин, минеральные удобрения, соя, фасоль, чина, клубеньки, продуктивность

ADVANCED ELEMENTS OF TECHNOLOGY FOR LEGUMINOUS CROPS CULTIVATION

Tedeeva A.A., Khokhoeva N.T., Tedeeva V.V.

The North Caucasian Research Institute of Mountain and Submontane Agriculture – the Branch of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Republic of North Ossetia-Alania, Mikhaylovskoye, e-mail: hohoska@mail.ru

The article presents experimental data on the effect of mineral fertilizers and bacterial preparations on the formation of symbiotic and photosynthetic apparatus of leguminous crops and their productivity in the foothills of the Central Caucasus. Mineral fertilizers and biological product risotorphine had a significant impact on the number and weight of active nodules by improving their living conditions. The use of risotorphine both separately and in conjunction with phosphorus-potassium fertilizers stimulated the formation of nodules in all experimental variants. The greatest number of active nodules on the roots of legumes was formed in the phase of beans formation. Soybean plants on average formed active nodules by 44,5% more than bean plants. The amount of fixed atmospheric nitrogen depended not only on the number and mass of active nodules, but also on the duration of the symbiotic apparatus. The introduction of phosphorus-potassium fertilizers and inoculation of seeds with a strain of active rhizobia creates more favorable conditions for bean-rhizobial symbiosis in the studied crops and provides the most active fixation of nitrogen by plants from the air. The number of formed beans on the plants of the studied crops varies widely on the studied factors. The increase in yield using RIZOTORFIN and without use of fertilizers was in comparison with control group: soy – 0,31 t/ha, beans – 0,23 t/ha, lathyrus – 0,33 t/ha; with the use of $P_{30}K_{30}$: 0,38; 0,37 and 0,55 t/ha, respectively; and with the use of $P_{45}K_{45}$: 0,6; 0,52 and 0,67 t/ha, respectively.

Keywords: risotorphine, fertilizers, soya, beans, lathyrus, nodules, productivity

В современных экономических условиях все большее значение приобретает внедрение в производство ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Расширение ассортимента и повышение в структуре посевных площадей доли бобовых культур является одним из факторов снижения энергозатрат, так как при этом экономятся энергоемкие азотные удобрения и получение кормового и пищевого белка не столь затратно [1, 2].

Хорошей альтернативой применению азотных удобрений может служить инокуляция семян зернобобовых штаммами клубеньковых бактерий, которые стимулируют азотфиксирующую деятельность этих культур [3, 4].

Лидирующее место в мире среди зернобобовых культур по посевным площадям занимают соя и фасоль. Их основным компонентом является высококачественный белок, который по полноценности, раство-

римости и усвояемости принято считать эталоном растительного белка [5].

Перспективной зернобобовой культурой является также чина посевная, которая имеет ряд преимуществ перед остальными зернобобовыми культурами: высокая продуктивность, как зерна, так и зеленой массы, устойчивость к неблагоприятным факторам внешней среды, вредителям и болезням. Медленное нарастание клетчатки в зеленой массе делает эту культуру незаменимой по продолжительности использования в зеленом конвейере [6].

В связи с этим целью наших исследований является изучение влияния различных доз минеральных удобрений и бактериального препарата ризоторфин на особенности продукционного процесса агроценоза зернобобовых культур (соя, фасоль, чина) в условиях предгорной зоны Центрального Кавказа.

Впервые в условиях предгорий Центрального Кавказа изучено совместное влияние минеральных удобрений и бактериального препарата ризоторфин на симбиотическую активность и продуктивность сои и фасоли, а также нетрадиционной для этой зоны культуры – чины посевной.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2014–2016 гг. на опытном поле СКНИИГПСХ ВНЦ РАН, в лесостепной зоне, на выщелоченных черноземах. Из-за малой мощности плодородного слоя и близкого залегания галечника весенний продуктивный запас влаги не превышает 90–110 мм, а летом при отсутствии дождей часто пересыхает почва, что вызывает временное увядание растений. Климат умеренно теплый, со среднегодовой температурой воздуха 8–10 °С, сумма температур за вегетационный период 2800–3200 °С. В годы проведения исследований погодные условия незначительно отличались от среднемноголетних и в целом были благоприятны для возделывания зернобобовых культур.

Повторность опытов трехкратная. Расположение делянок – рендомизированное. Учетная площадь делянки – 20–27 м^2.

Калийные удобрения вносились осенью – перед вспашкой, фосфорные – под предпосевную культивацию. Обработка ризоторфином (штамм 645 б) осуществлялась непосредственно перед посевом.

Количество клубеньков и их сырую массу определяли по основным фазам роста и развития по методу Г.С. Посыпанова, статистическую обработку данных проводили по Б.А. Доспехову [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Исследованиями, проведенными с зернобобовыми культурами, было выявлено, что продуктивность посевов обеспечивается, прежде всего, дружными всходами и высокой выживаемостью растений к уборке. Основное значение для обеспечения данных показателей имеет полевая всхожесть, которая является важным показателем качества семян.

В наших исследованиях она изменялась в зависимости от нормы фосфорно-калийных удобрений и бактериального препарата. Выявлено, что на посевах фасоли колебания всхожести более выражены, чем на посевах сои и чины. Всхожесть семян исследуемых культур была наименьшей в контрольных вариантах – от 68,5 до 73,2 %, а наибольшей – при совместном применении минеральных удобрений и ризоторфина – 86,4–91,5 %.

Использование минеральных удобрений и бактериального препарата положительно влияло на выживаемость растений к уборке, как в посевах сои, так и фасоли, и чины. Так, на вариантах $P_{30}K_{30}$+рт и $P_{45}K_{45}$+рт выживаемость растений сои увеличилась на 3,9; 4,7 %, фасоли – на 3,3; 4,0 %, чины – 3,5–4,4 % по сравнению с контрольными вариантами. Повышение выживаемости растений на удобренных вариантах связано с оптимизацией питательного режима посева.

Минеральные удобрения и биопрепарат ризоторфин оказали существенное влияние на количество и массу активных клубеньков за счет улучшения условий их жизнедеятельности. Применение ризоторфина как отдельно, так и совместно с фосфорно-калийными удобрениями стимулировало образование клубеньков на всех опытных вариантах.

На вариантах с инокуляцией семян ризоторфином, как на фоне фосфорно-калийных удобрений, так и без них, клубеньки появлялись на 3–7 дней раньше по сравнению с вариантами без инокуляции семян. Внесение фосфорно-калийных удобрений на продолжительность симбиоза не влияло. Ризоторфин также на 2 дня увеличивал общую продолжительность симбиоза.

Как выявлено нашими исследованиями, наибольшее количество активных клубеньков на корнях зернобобовых формировалось в фазу образования бобов (рис. 1).

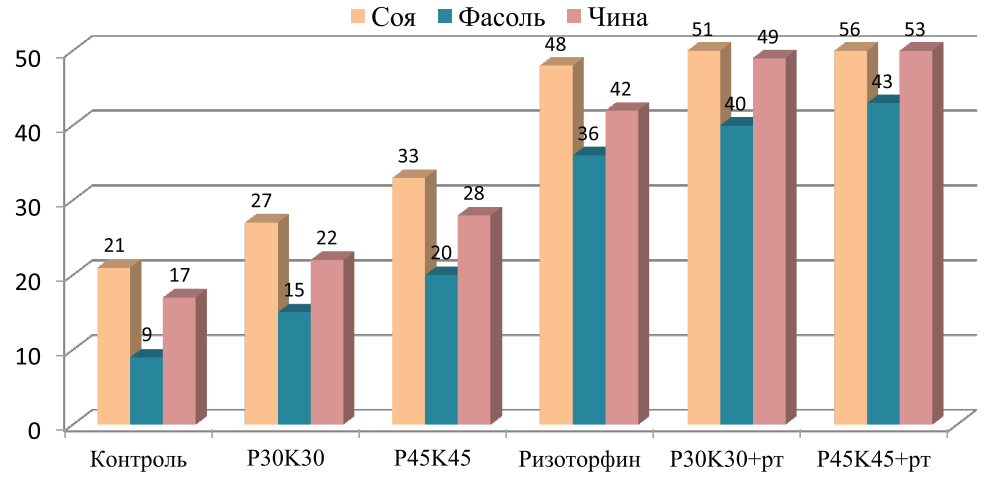


Рис. 1. Влияние минеральных удобрений и ризоторфина на количество клубеньков на растениях зернобобовых культур, шт/растение

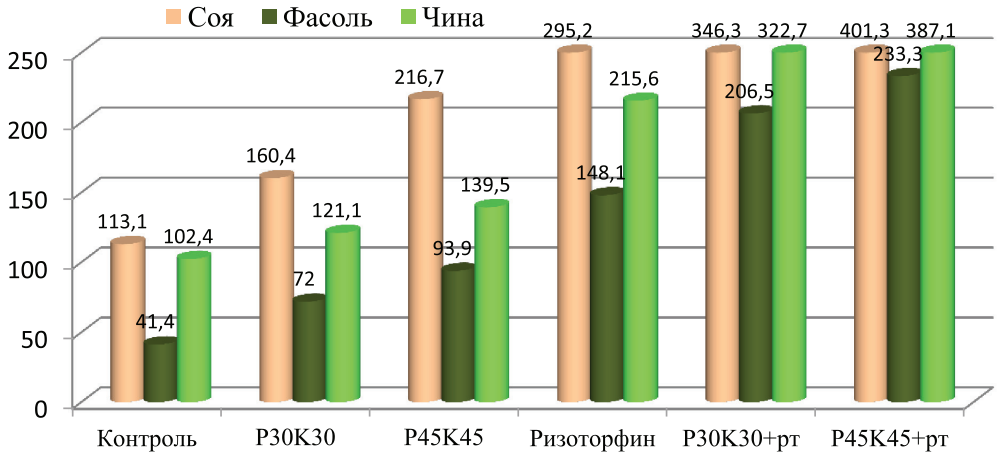


Рис. 2. Масса активных клубеньков на растениях зернобобовых культур в зависимости от минеральных удобрений и ризоторфина, мг/растение

Растения сои в среднем по вариантам образовывали активных клубеньков на 44,5% больше, чем растения фасоли. Также клубеньки на корнях сои превосходили по массе клубеньки фасоли. Так, например, наибольшее количество активных клубеньков на корнях сои формировалось при инокуляции семян на фоне внесения фосфорно-калийных удобрений и превосходило количество клубеньков на том же варианте посевов фасоли в 1,3 раза. Аналогичная тенденция прослеживается и на других вариантах.

Инокуляция семян и применение минеральных удобрений оказывают положительное влияние на величину симбиотического аппарата зернобобовых культур, значительно увеличивая массу клубеньков во все фазы роста и развития (рис. 2).

Так, на варианте $P_{45}K_{45}$+рт масса активных клубеньков в среднем на 1 растение фасоли составила 243 мг, что на 192 мг выше контрольного варианта. Такое увеличение объясняется благоприятными условиями для бобово-ризобиального симбиоза, созданными инокуляцией и внесением фосфорно-калийных удобрений.

Количество фиксированного атмосферного азота зависит не только от числа и массы активных клубеньков, но и от продолжительности функционирования симбиотического аппарата [5, 6]. Активный симбиотический потенциал (АСП) объединяет эти критерии. Величина АСП в нашем опыте сильно зависела как от внесения удобрений, так и от предпосевной инокуляции семян ризоторфином. Так как масса активных клубень-

ков на корнях сои на всех вариантах была значительно больше, чем у фасоли, так же как и продолжительность их функционирования, то величина АСП посевов сои также была выше на всех опытных вариантах. Так, например, на варианте с применением ризоторфина на посевах сои АСП за вегетацию составил 5561 кг·дней/га, а на посевах фасоли – лишь 3238 кг·дней/га. Исследования показали, что величина АСП увеличивалась по фазам роста, достигая максимума в период цветения – образования бобов, затем наблюдалось его снижение. Наиболее эффективным был вариант с совместным применением удобрений и ризоторфина. Инокуляция семян обеспечивала увеличение АСП на 16,6–28,7% относительно фонового внесения фосфорно-калийных удобрений.

Таким образом, можно заключить, что внесение фосфорно-калийных удобрений и инокуляция семян штаммом активных ризобий создают более благоприятные условия для бобово-ризобиального симбиоза у изучаемых культур и обеспечивают наиболее активную фиксацию растениями азота из воздуха. Следовательно, симбиотический аппарат сои развит в большей степени, и, благодаря этому, посевы сои способны более активно фиксировать атмосферный азот, чем посевы фасоли и чины.

Важную роль в процессе фотосинтетической деятельности сельскохозяйственных культур играет площадь листьев. Количество поглощаемой посевом солнечной энергии зависит как от величины сформировавшейся ассимиляционной поверхности, так и от времени ее активного функционирования. Площадь листовой поверхности растений зернобобовых культур непосредственно влияет на их продуктивность. Поэтому важно создать такие условия для агрофитоценоза, при которых посевы формировали бы оптимальную площадь листьев как можно раньше, для максимального поглощения солнечной энергии. Этого можно достичь, в частности, обеспечив оптимальную густоту стояния растений. Изреженные посевы потребляют недостаточное количество солнечной энергии, в то время как в загущенных посевах интенсивность фотосинтеза снижается из-за взаимной затененности листьев и усиления процессов дыхания. Таким образом, густота посевов зернобобовых культур должна способствовать лучшей освещенности фотосинтетического аппарата листьев [8].

Большое влияние на процесс формирования ассимиляционного аппарата сои, фасоли и чины посевной оказывают минеральные удобрения (рис. 3).

Максимальная площадь листьев сои на вариантах с внесением $P_{30}K_{30}$ и $P_{45}K_{45}$ колебалась в пределах 45,7–46,8 тыс. м^2/га. Как показывают полученные нами данные, инокуляция семян активными штаммами ризобий не оказала столь значимого влияния на процессы нарастания листовой поверхности. Максимальные значения данного показателя, как на сое, так и на фасоли и чине, получены при сочетании изучаемых вариантов: совместная обработка семян ризоторфином и внесение удобрений способствовало повышению площади ассимиляционной поверхности изучаемых культур на 12,8–42,1% по сравнению с контролем.

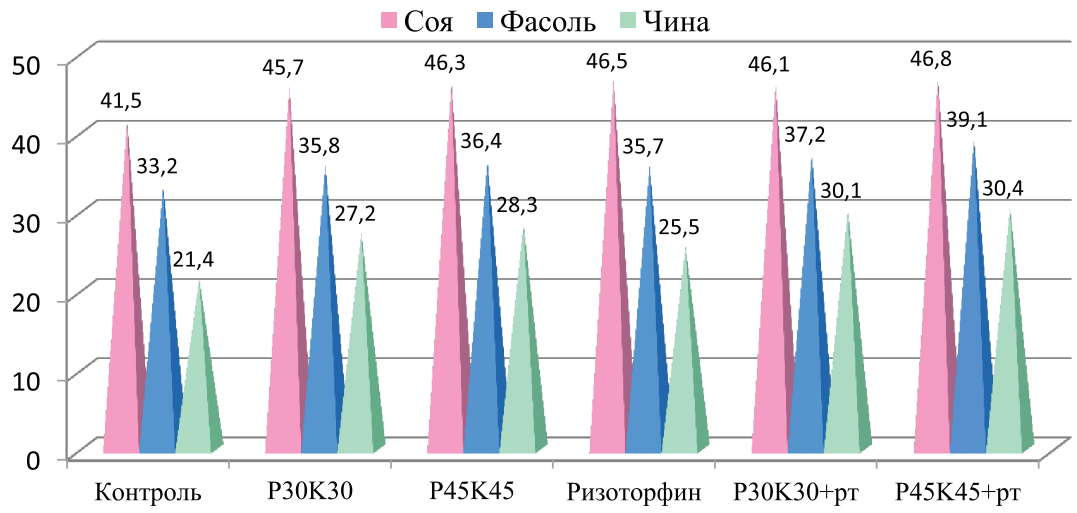


Рис. 3. Влияние минеральных удобрений и ризоторфина на размеры листовой поверхности зернобобовых культур, тыс. м^2/га

Важными показателями при оценке фотосинтетической деятельности сельскохозяйственных культур являются фотосинтетический потенциал (ФП) и чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ). Как показывают результаты исследований, внесение фосфорно-калийных удобрений способствовало увеличению величины ФП изучаемых культур за вегетацию на 10,7–31,2 % по сравнению с контрольными вариантами.

Чистая продуктивность фотосинтеза растений зернобобовых культур достигала максимальных значений к фазе интенсивного плодообразования и составила 2,16–4,47 г/м^2·дн. в среднем по вариантам. В дальнейшем ЧПФ обеих изучаемых культур уменьшалась, что связано с нарастанием листовой поверхности, в результате которого происходит взаимозатенение растений. Наибольшая прибавка этого показателя относительно контроля происходит на вариантах с инокуляцией семян на фоне удобрений.

В результате исследований выявлена тесная корреляционная связь между продуктивностью и площадью ассимиляционной поверхности зернобобовых культур (в среднем по трем культурам) как на вариантах с внесением фосфорно-калийных удобрений (r = 0,99), так и при инокуляции ризоторфином (r = 0,97) и при совместном применении препарата на фоне $P_{45}K_{45}$ (r = 0,98).

Продуктивность зернобобовых культур зависит как от количества растений, сохранившихся к уборке, так и количества бобов на растении и их массы. Количество сформировавшихся бобов на растениях изучаемых культур варьирует в широких пределах в зависимости от изучаемых факторов – 8,3–49,9 шт/растение. Наилучший результат был получен на вариантах с ризоторфином на фоне $P_{45}K_{45}$ – 12,9 у чины посевной, 10,6 у фасоли, 49,9 шт/растение у сои (таблица).

Влияние уровня минерального питания на продуктивность и структуру урожая зернобобовых культур

Вариант опыта	Количество, шт/раст.		Масса 1000 зерен, г	Урожай зерна, т/га
	бобов	семян		
Соя (сорт Гринфи)				
Контроль	39,3	82,5	175,6	2,16
$P_{30}K_{30}$	42,8	98,4	177,3	2,33
$P_{45}K_{45}$	47,2	113,3	181,2	2,50
Ризоторфин	44,4	110,6	178,8	2,47
$P_{30}K_{30}$ + рт	47,7	120,7	180,5	2,54
$P_{45}K_{45}$ + рт	49,9	126,7	183,0	2,76
$НСР_{05}$				0,09
Фасоль (сорт Оран)				
Контроль	8,3	29,9	204,0	1,95
$P_{30}K_{30}$	8,7	31,3	215,3	2,14
$P_{45}K_{45}$	9,1	33,7	218,1	2,25
Ризоторфин (рт)	9,3	34,4	216,8	2,18
$P_{30}K_{30}$ + рт	10,1	38,5	220,2	2,32
$P_{45}K_{45}$ + рт	10,6	40,7	226,4	2,47
$НСР_{05}$				0,05
Чина (сорт Мраморная)				
Контроль	10,3	22,3	192,6	1,78
$P_{30}K_{30}$	11,2	25,4	204,9	2,03
$P_{45}K_{45}$	11,9	29,3	221,6	2,16
Ризоторфин (рт)	11,6	28,6	213,0	2,11
$P_{30}K_{30}$ + рт	12,3	30,7	230,2	2,33
$P_{45}K_{45}$ + рт	12,9	32,8	233,6	2,45
$НСР_{05}$				0,06

Число бобов на растении также увеличивалось с повышением дозы фосфорно-калийного удобрения без использования инокулянта – у сои на 20,1 %, у фасоли – на 9,6 %, у чины – на 15,5 %.

Масса 1000 семян – более стабильный показатель, который незначительно меняется в зависимости от исследуемых вариантов.

Элементы структуры урожайности определяют величину урожая исследуемых культур. Биологическая урожайность сои, фасоли и чины, как и большинства других сельскохозяйственных культур, определяется числом растений на единице площади, но не менее важную роль также играет индивидуальная продуктивность растений.

Как показали исследования, только рациональное сочетание изучаемых агроприемов при оптимальном сочетании всех элементов структуры урожайности позволяет получить высокую урожайность изучаемых культур. Как видно из данных таблицы, соя обладает большей потенциальной продуктивностью, чем фасоль и чина. Урожайность сои колебалась в зависимости от действия минеральных удобрений и бактериального препарата. На вариантах с совместным внесением минеральных удобрений и бактериального препарата получена наибольшая прибавка урожая не только в сравнении с неудобренными вариантами, но и с фоновым внесением фосфорно-калийных удобрений.

Прибавка урожая от применения ризоторфина на неудобренном фоне составила относительно контрольного варианта на сое – 0,31 т/га, на фасоли – 0,23 т/га, в посевах чины посевной – 0,33 т/га; на фоне $P_{30}K_{30}$ – 0,38; 0,37 и 0,55т/га; на фоне $P_{45}K_{45}$ – на 0,6; 0,52 и 0,67 т/га соответственно.

Таким образом, в условиях предгорий Центрального Кавказа наиболее эффективной была обработка семян зернобобовых культур ризоторфином на фоне внесения фосфорно-калийных удобрений в дозе 45 кг д.в/га.

Список литературы

1. Зернобобовые культуры как резерв ликвидации белкового дефицита в питании / М.Т. Березова [и др.] // Вестник МАНЭБ. – 2009. – Т. 14, № 5. – С. 109–113.

2. Солдатов Э.Д. Микробиологические препараты для восстановления деградированных горных фитоценозов / Э.Д. Солдатов, И.Э. Солдатова, Б.А. Абаева // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – № 1. – С. 66–67.

3. Минеральные вещества зернобобовых культур, их содержание в семенах и экологическая роль в организме человека / А.В. Персаева [и др.] // Вестник МАНЭБ. – 2009. – Т. 14, № 5. – С. 143–146.

4. Березова Е.Ф. Применение бактериальных удобрений / Е.Ф. Березова, В.П. Подъяпольская. – М: Изд. Министерство с.-х. РСФСР, 1962. – 66 с.

5. Албегов Р.Б. Сортовая изменчивость роста сои в предгорной лесостепной зоне Республики Северная Осетия – Алания / Р.Б. Албегов // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2013. – Т. 50, № 2. – С. 322–325.

6. Пимонов К.И. Удобрение чины посевной на черноземе обыкновенном в зоне неустойчивого увлажнения / К.И. Пимонов, А.Ф. Шелудяков, Н.В. Лопаева // Зерновое хозяйство России. – 2012. – № 2. – С. 65–73.

7. Адиньяев Э.Д. Учебно-методическое руководство по проведению исследований в агрономии / Э.Д Адиньяев, А.А. Абаев, Н.Л. Адаев. – Владикавказ, 2013. – 652 с.

8. Нечаева Е.Х. Симбиотическая активность зернобобовых культур в зависимости от уровня минерального питания в условиях лесостепи Среднего Поволжья / Е.Х. Нечаева, Н.В. Васина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2011. – № 4. – С. 12–15.

References

1. Zernobobovy`e kul`tury` kak rezerv likvidacii belkovogo deficita v pitanii / M.T. Berezova [i dr.] // Vestnik MANE`B. – 2009. – T. 14, № 5. – pp. 109–113.

2. Soldatov E`.D. Mikrobiologicheskie preparaty` dlya vosstanovleniya degradirovanny`x gorny`x fitocenozov / E`.D. Soldatov, I.E`. Soldatova, B.A. Abaeva // Vestnik Rossijskoj akademii sel`skoxozyajstvenny`x nauk. – 2010. – № 1. – pp. 66–67.

3. Mineral`ny`e veshhestva zernobobovy`x kul`tur, ix soderzhanie v semenax i e`kologicheskaya rol` v organizme cheloveka / A.V. Persaeva [i dr.] // Vestnik MANE`B. – 2009. – T. 14, № 5. – pp. 143–146.

4. Berezova E.F. Primenenie bakterial`ny`x udobrenij / E.F. Berezova, V.P. Pod``yapol`skaya. – M: Izd. Ministerstvo s.-x. RSFSR, 1962. – 66 p.

5. Albegov R.B. Sortovaya izmenchivost` rosta soi v predgornoj lesostepnoj zone Respubliki Severnaya Osetiya – Alaniya / R.B. Albegov // Izvestiya Gorskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – T. 50, № 2. – pp. 322–325.

6. Pimonov K.I. Udobrenie chiny` posevnoj na chernozeme oby`knovennom v zone neustojchivogo uvlazhneniya / K.I. Pimonov, A.F. Sheludyakov, N.V. Lopaeva // Zernovoe xozyajstvo Rossii. – 2012. – № 2. – pp. 65–73.

7. Adin`yaev E`.D. Uchebno-metodicheskoe rukovodstvo po provedeniyu issledovanij v agronomii / E`.D Adin`yaev, A.A. Abaev, N.L. Adaev. – Vladikavkaz, 2013. – 652 p.

8. Nechaeva E.X. Simbioticheskaya aktivnost` zernobobovy`x kul`tur v zavisimosti ot urovnya mineral`nogo pitaniya v usloviyax lesostepi Srednego Povolzh`ya / E.X. Nechaeva, N.V. Vasina // Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel`skoxozyajstvennoj akademii. – 2011. – № 4. – pp. 12–15.

УДК 633.491:631.543.2:631.559

ВЛИЯНИЕ ШИРИНЫ МЕЖДУРЯДИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ ЗДОРОВОГО КАРТОФЕЛЯ

[1]Уромова И.П., [2]Штырлина О.В., [1]Васюкова Е.А., [1]Логинова Т.А.

[1]ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: uromova2012@yandex.ru;
[2]МБОУ «Лицей № 8», Нижний Новгород, e-mail: nniosrd@yandex.ru

В полевых условиях изучали две схемы посадки – 90х18 см и 70х24 см, имеющие одинаковую густоту. Целью исследования являлось выявление оптимальной ширины междурядий для получения качественных семян оздоровленного картофеля сорта Ред Скарлетт зарубежной селекции (класс – суперсуперэлита), полученного из апикальной меристемы с высоким коэффициентом размножения в условиях центральной части Нижегородской области на дерново-подзолистой почве с высоким уровнем грунтовых вод. В результате проведенных полевых опытов было установлено, что при расширении междурядий происходит увеличение биометрических показателей (высоты растений – на 9,0%, количества клубней в кусте – на 25,6%, массы ботвы – на 6,1%); физиологических показателей в фазу цветения (площади листовой поверхности – на 10,8%, продуктивности фотосинтеза – на 22,0%, активности фермента пероксидазы – на 11,0%); распространенности и развития фитофтороза на ботве – на 54,1–41,6%; пораженности клубней болезнями (фитофторозом – на 56,5%, мокрой гнилью – на 47,7%, сухой гнилью – на 33,4%). В итоге был получен максимальный валовый урожай (33,7 т/га), урожай здорового картофеля (32,8 т/га) и наибольший коэффициент размножения (6,4 шт/растение) на схеме посадки 90х18 см. Полученные данные объясняются тем, что растения картофеля растут и развиваются лучше на широких междурядьях, что связано с агроэкологической обстановкой как в посадках картофеля, так и в почве. Данные изменения в итоге приводят к снижению фитопатогенной нагрузки и повышению урожайности. Полученные результаты позволяют считать, что в данных условиях целесообразно возделывать картофель с междурядьями 90х18 см в условиях Нижегородской области.

Ключевые слова: междурядья, схема посадки, ассимиляционная поверхность листьев, продуктивность фотосинтеза, урожайность, валовая урожайность, фитофтороз

THE INFLUENCE OF ROW-SPACING WIDTH ON THE YIELD OF HEALTHY POTATOES

[1]Uromova I.P., [2]Shtyrlina O.V., [1]Vasyukova E.A., [1]Loginova T.A.

[1]Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: uromova2012@yandex.ru;
[2]Lyceum school № 8, Nizhny Novgorod, e-mail: nniosrd@yandex.ru

In the field, two landing patterns were studied – 90x18 cm and 70x24 cm, having the same density (60 thousand plantings). The aim of the study was to identify the optimum row spacing for obtaining quality seeds of the Red Scarlett healthy potato, of foreign breeding (super-superelite class) obtained from the apical meristem with a high multiplication factor in the central part of the Nizhny Novgorod region on soddy-podzolic soil with a high groundwater level. As a result of the field experiments, it was found that with the expansion of the rows, biometric indices increase (plant heights – by 9.0%, the number of tubers in the bush – by 25.6%, the weight of the tops – by 6.1%); physiological parameters in the flowering phase (leaf area – by 10.8%, photosynthesis productivity – 22.0%, peroxidase enzyme activity – 11.0%); prevalence and development of late blight on the tops – by 54.1-41.6%; tuber damage caused by diseases (Phytophthorosis – by 56.5%, wet rot – by 47.7%, dry rot – by 33.4%). As a result, the maximum gross yield was achieved (33.7 t / ha), the yield of healthy potatoes (32.8 t / ha) and the highest multiplication factor (6.4 pc / plant) in the 90x18 cm planting scheme. The data obtained are explained by the fact that the potato plants grow and develop better on broad aisles, which is associated with agroecological conditions in both potato plantings and in the soil. These changes eventually lead to a decrease in the phytopathogenic load and an increase in yield. The obtained results allow to consider that under the Nizhny Novgorod region conditions it is expedient to cultivate potatoes with inter-rows of 90x18 cm.

Keywords: aisle, planting scheme, assimilation surface of leaves, photosynthesis productivity, yield, gross yield, phytophtoroze

Продовольственная безопасность и экономическая независимость России в современных условиях зависят прежде всего от уровня интенсификации земледелия, его способности удовлетворять потребности населения в продуктах питания и технологии безвирусного картофелеводства в оздоровленном картофеле [1–3]. Одной из главных задач в системе картофелеводства является получение урожая здоровых клубней. Существует достаточно много агротехнических, агрохимических и фитосанитарных способов повышения качества урожая и увеличения доли товарного картофеля в общей массе урожая. Это может быть оптимизация сочетания фосфорно-калийных удобрений на общем унавоженном фоне почвы, своевременная внекорневая обработка растений микроэлементами (в первую очередь бором), защита кустов от фитофтороза, альтернариоза, вертициллезного увядания, гнилей и мучнистой росы. Кроме того,

культура картофеля весьма требовательна к агротехнике. Поэтому одним из важнейших факторов повышения продуктивности сортов картофеля являются агротехнические приемы, одним из которых является ширина междурядий [4, 5].

Среди ученых нет единого мнения о том, какие междурядья являются оптимальными [4]. Отсутствие данного суждения можно объяснить тем, что выбор междурядий во многом зависит от поставленных целей и почвенно-климатических условий.

Почвенно-климатические условия Волго-Вятского региона способствуют выращиванию картофеля на схемах посадки с широкими междурядьями, что в большей степени связано с агроклиматическими условиями, которые отличаются высоким стоянием грунтовых вод, что вызывает перенасыщение пахотных почв влагой, особенно в период созревания клубней и уборки урожая. Это особенно неблагоприятно сказывается на узких междурядьях (70 см). Поэтому для улучшения условий роста и развития растений картофеля мы в опыте использовали две схемы (90х18 см, 70х24 см) с одинаковой густотой посадки (60 тыс/га).

Цель и задачи исследования: целью нашего исследования является выявление оптимальной ширины междурядий для получения высококачественного урожая семенного картофеля. Для этого необходимо решить следующие задачи:

1) изучить влияние ширины междурядий на биометрические показатели растений картофеля;

2) изучить влияние ширины междурядий на физиологические показатели растений картофеля;

3) изучить влияние ширины междурядий на распространенность болезней на ботве и клубнях картофеля;

4) изучить влияние ширины междурядий на урожайность и коэффициент размножения картофеля.

Материалы и методы исследования

Полевые опыты проводились на экспериментальной площадке НПП «Элитхоз» (д. Филипповка) в 2014–2016 гг.

Характеристика почвы опытного участка: дерново-подзолистая, среднесуглинистая, содержание гумуса составляет 1,6–1,8 %, фосфора и калия – 30 и 20 мг на 100 г почвы, соответственно, pH составляет 5,6–5,7. Обменную кислотность почвы определяли потенциометрическим методом (ГОСТ 26483-85), содержание гумуса – спектрофотометрическим методом по Тюрину (ГОСТ 26213-91), содержание подвижных соединений фосфора – спектрофотометрическим методом, а калия – методом пламенной фотометрии по Кирсанову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26207-91).

Посадка производилась вручную 25–27 мая с использованием районированного сорта Ред Скарлетт. Закладку, наблюдения и камеральную обработку результатов полевого опыта проводили в соответствии с методическими указаниями [6, 7]. Общая площадь делянки в варианте с шириной междурядий 90 см составляет 72 м^2, учетная – 36 м^2, на схеме посадки 70х4 см – 56 и 28 м^2 соответственно. Опыт был заложен в трехкратной повторности.

В течении вегетации определяли всхожесть, биометрические показатели (высота растений, масса ботвы, количество стеблей), ассимиляционную поверхность листьев весовым методом с помощью высечек, продуктивность фотосинтеза, распространенность и развитие фитофтороза на ботве, распространенность болезней на клубнях картофеля, урожайность и коэффициент размножения. Учет проводили по общепринятым методикам [7, 8]. Аналитические работы проводились в научно-образовательной лаборатории «Биотехнология» кафедры БХиБХО НГПУ им. К. Минина.

Фитосанитарный уход за посадками в течение вегетационного сезона включал: опрыскивание против колорадского жука и грибных болезней. Использовали следующие препараты: Актара, Престиж, Ридомил Голд и Ширлан.

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что ширина междурядий существенно влияет на урожайность, особенно здорового картофеля, и его коэффициент размножения. Картофель, в основном возделывают на узких междурядьях 70 см [9]. Однако на посадках с расширенными междурядьями создаются более качественные условия для развития растений, которые способны сформировать максимальную урожайность сорта, за счет повышения биологической устойчивости к патогенам [10, 11]. Есть и противоположные мнения [12] по увеличению ширины междурядий, что способствует еще большей актуальности данной проблемы.

Исследования показали, что ширина междурядий практически не влияла на

всхожесть картофеля. Однако последующие фазы развития (бутонизация, цветение) картофеля на схеме 90х18 см опережали стандартные междурядья (70х24 см) в среднем на 3–4 дня, в зависимости от климатических факторов. Растения на широких междурядьях отличались более развитой вегетативной массой, а это в процессе онтогенеза приводило к увеличению биометрических показателей, что особенно важно в начале развития (табл. 1).

Расширение междурядий способствует удлинению растений на 9,0 %, по сравнению с растениями на узких междурядьях (70 см). Одновременно с этим отмечался и рост числа основных стеблей в кусте на широких междурядьях (на 25,6 %), по сравнению с узкими (70 см). Все это способствует более мощному развитию вегетативной массы. Таким образом, масса ботвы на схеме 90х18 возросла на 6,1 % по сравнению со схемой посадки 70х24 см. Это закономерно, так как фазы вегетации на схеме с широкими междурядьями опережали те же стадии на узких междурядьях, и это определяло более быстрое развитие растений в дальнейшем.

Из приведенных данных следует, что изучаемый агротехнический прием оказал положительное влияние на биометрические показатели куста картофеля.

Важными физиолого-биохимическими признаками в растительном организме являются ассимиляционная листовая поверхность, продуктивность фотосинтеза и активность пероксидазы (табл. 2).

Формирование ассимиляционной площади листьев картофеля также зависит от ширины междурядий. Так, данный показатель на междурядьях 90 см был выше на 2,4 тыс. м^2/га, по отношению к схеме посадки с узкими междурядьями. Данная тенденция на широких междурядьях по годам эксперимента изменялась незначительно.

Известно, что чем больше ассимиляционная поверхность листьев, тем полнее растения используют солнечную радиацию, что в дальнейшем способствует большему накоплению урожая. Продуктивность фотосинтеза – один из важнейших физиологических показателей, от которого в прямой зависимости находится урожайность картофеля [13]. В процессе роста и развития картофеля суточная продуктивность фотосинтеза усиливалась на обеих схемах посадки и достигла своего максимума в фазу цветения. В большей степени продуктивность фотосинтеза увеличилась на широких междурядьях – в 1,2 раза, по сравнению с узкими (70 см).

Перед уборкой продуктивность фотосинтеза резко снизилась – в большей степени (в 1,8 раза) по сравнению с теми же вариантами предыдущей фенофазы на широких междурядьях. Это свидетельствует об усилении транспорта продуктов фотосинтеза из листьев в клубни за равный временной период (табл. 2).

Таблица 1

Влияние ширины междурядий на биометрические показатели картофеля сорта Ред Скарлетт (в среднем за 2014–2016 гг.)

Схема посадки, см	Количество стеблей, шт/куст	Масса ботвы		Высота растений, см
		т/га	г/куст	
70х24	4,3	14,8	247	54,2
90х18	5,4	15,7	261	59,1
$НСР_{05}$	*0,8*	*1,7*	*34,3*	*12,1*

Таблица 2

Влияние ширины междурядий на физиологические показатели картофеля сорта Ред Скарлетт (в среднем за 2014–2016 гг.)

Схема посадки, см	Ассимиляционная поверхность листьев		Продуктивность фотосинтеза, г/м^2 сутки				Активность пероксидазы, отн. ед.
	тыс.м^2/га	м^2/куст	всходы	бутонизация	цветение	перед уборкой	
70х24	22,2	0,37	3,4	4,3	5,9	3,7	107,9
90х18	24,6	0,41	4,1	5,0	7,2	4,0	119,8
$НСР_{05}$	–	*0,10*	*0,9*	*1,1*	*1,1*	*0,8*	*9,7*

Пероксидаза является одним из наиболее распространенных ферментных белков, активно участвующих в окислительно-восстановительных реакциях в клетках растительного организма, так как он присутствует в хлоропластах, которые участвуют в процессе фотосинтеза. Существует мнение [13], что фермент пероксидаза изменяет свою концентрацию в клетках под влиянием различных фитопатогенов. Максимальная активность данного фермента была зафиксирована на широких междурядьях (на 11,0%), по сравнению с узкими (70 см).

Исследования показали, что наиболее вредоносным заболеванием картофеля является фитофтороз (*Phytophthora iinfestans (Mont) de Bary*), проявление которого отмечается в период смыкания ботвы при повышении влажности воздуха.

Рядом авторов [14, 15] отмечена более высокая устойчивость растений картофеля к поражению фитопатогенным грибом *Phytophthora infestans* на схеме посадки с широкими междурядьями в результате меньшей концентрации влаги в массе куста вследствие лучшей продуваемости.

Учет болезней в фазу цветения показал, что пораженность ботвы и клубней нового урожая была неодинаковой в зависимости от агротехнического приема возделывания картофеля (табл. 3).

В процессе наблюдений за проявлением болезней было установлено, что распространенность и развитие фитофтороза на ботве более существенно зависит от ширины междурядий и лишь незначительно от агрометеоусловий. Минимальные распространенность и развитие фитофтороза были установлены на схеме посадки с широкими междурядьями – на 54,1–41,6% меньше, чем на схеме посадки со стандартными междурядьями.

Полученные данные дают основание полагать, что растения на схеме посадки с узкими междурядьями, начиная с фазы начала бутонизации, более интенсивно смыкаются ботвой, что способствует накоплению в массе куста влаги, а это является наиболее благоприятным моментом для внедрения патогена и развития болезни. Подтверждением данного аргумента являются данные более ранних опытов по данной тематике [9].

Результаты клубневого анализа подтвердили данные, полученные во время вегетации при проведении фитопатологического учета.

Распространенность болезней на клубнях на схеме посадки с узкими междурядьями была максимальной. На схеме посадки с междурядьями 90 см было зафиксировано снижение распространенности болезней, которые в дальнейшем при хранении вызывают гнили различного рода, в 2,1 раза, по сравнению со схемой посадки с узкими междурядьями (70 см).

Основной показатель эффективности агротехнического приема – валовая урожайность и урожайность здорового картофеля. Широкие междурядья оказали положительное влияние на урожайность, особенно здорового картофеля (за вычетом% больных клубней) и количественный выход клубней (табл. 4).

Таблица 3

Влияние ширины междурядий на распространенность болезней на ботве и клубнях картофеля сорта Ред Скарлетт (в среднем за 2014–2016 гг.)

Схема посадки, см	Ботва		Клубни		
	фитофтороз		фитофтороз, %	сухая гниль, %	парша обыкновенная, %
	распространенность, %	развитие, %			
70х24	13,7	10,1	3,9	2,1	0,6
90х18	6,3	5,9	1,7	1,1	0,4
$НСР_{05}$	*2,3*	*1,9*	*0,7*	*0,4*	*0,1*

Таблица 4

Влияние ширины междурядий на урожайность картофеля сорта Ред Скарлетт (в среднем за 2014–2016 гг.)

Схема посадки, см	Урожайность, т/га		Коэффициент размножения, шт/растение
	валовая	здорового картофеля	
70х24	27,8	26,1	5,1
90х18	33,7	32,8	6,4
$НСР_{05}$	*2,7*	–	*1,3*

Прибавка урожая и количества клубней с одного куста была отмечена на схеме 90х18 см. В этом варианте достоверная прибавка валовой урожайности к контролю составила 5,9 т/га и 1,3 штук по количеству клубней под кустом. В этой связи необходимо отметить, что на схеме посадки с междурядьями 90 см процент пораженных клубней после уборки урожая был меньше в 2,1 раза, по сравнению со схемой посадки с междурядьями 70 см, поэтому разница в урожайности увеличивается еще на 4,4%. По величине урожайности и коэффициенту размножения, что особенно важно в семеноводстве, наиболее оптимальной является схема посадки 90х18 см.

Полученные данные можно объяснить тем, что растения картофеля растут и развиваются лучше на широких междурядьях, что связано с агроэкологической обстановкой как в посадках картофеля, так и в почве. Меняется температурный режим, влажность воздуха и почвы, аэрация почвы, видовой состав сорной растительности. Все это оказывает влияние на растения и фитопатогены [13, 15]. В конечном итоге эти изменения отражаются на росте растений, распространенности и развитии болезней на ботве и клубнях и урожайности.

Выводы

При расширении междурядий увеличилась высота растений (на 9,0%), масса ботвы (на 6,1%), количество стеблей в кусте (на 25,6%), ассимиляционная поверхность листьев (на 10,8%), продуктивность фотосинтеза (22,0%) и активность пероксидазы (на 11,0%). В то же время широкие междурядья способствуют снижению распространенности и развития фитофтороза на ботве картофеля на 54,1–41,6% и пораженности клубней – на 53,4%, и в итоге произошло увеличение валовой урожайности на 21,2%, а урожайность здорового картофеля увеличилась на 25,6%.

Список литературы

1. Романова И.Н. Схема посадки зависит от цели использования продукции / И.Н. Романова, И.А. Карамулина // Картофель и овощи. – 2008. – № 2. – С. 11.

2. Уромова И.П. Влияние ширины междурядий на урожай и качество картофеля / И.П. Уромова, Н.Н. Копосова, А.В. Козлов // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 2–3.; URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23854 (дата обращения: 20.07.2018).

3. Козлов А.В. Экологическая оценка влияния диатомита на фитоценоз и состояние почвенно-биотического комплекса светло-серой лесной легкосуглинистой почвы: дис. … канд. биол. наук: 03.02.08 / Российский государственный аграрный университет. – Нижний Новгород: НГСХА, 2013. – 182 с.

4. Васильев А.А. Как увеличить урожай новых сортов картофеля / А.А. Васильев // Картофель и овощи. – 2009. – № 7. – С. 9–10.

5. Козлов А.В. Влияние высококремнистых пород на структуру, численность и ферментативную активность целлюлозосапротрофного микробного пула дерново-подзолистой почвы в условиях выращивания озимой пшеницы и картофеля / А.В. Козлов, А.Х. Куликова // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2016. – № 1 (33). – С. 56–65.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: ИД «Альянс», 2011. – 352 с.

7. Андрюшин Н.А. Методика исследований по культуре картофеля / Н.А. Андрюшин, Н.С. Бацанов. – М.: НИИКХ, 1967. – 263 с.

8. Паламарчук М.В. Выбирайте оптимальные схемы посадки / М.В. Паламарчук, Ю.П. Логинов / Картофель и овощи. – 2008. – № 2. – С. 10.

9. Уромова И.П. Влияние ширины междурядий посадки картофеля на вредные, полезные организмы и эффективность защитных мероприятий: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. – М.: ВНИИКХ, 1994. – 24 с.

10. Скрябин А.А. Влияние ширины междурядья и нормы посадки на урожайность раннеспелого картофеля сорта Удача в Предуралье / А.А. Скрябин // Таврический научный обозреватель. – 2017. – № 3–1 (20). – С. 94–96.

11. Садовникова Е.В. Оптимальные ширина междурядий и густота посадки картофеля / Е.В. Садовникова, Г.А. Ганзин // Картофель и овощи. – 2005. – № 1. – С. 13–14.

12. Касимова Н.З. Урожайность и качество клубней картофеля разных групп спелости в зависимости от приемов технологии выращивания в условиях Среднего Урала / Н.З. Касимова, С.К. Мингалев, В.Р. Лаптев // Аграрный вестник Урала. – 2010. – № 5 (71). – С. 41–44.

13. Гречушников А.И. Влияние активности пероксидазы на устойчивость картофеля к фитофторозу / А.И. Гречушников // Сельскохозяйственная биология. – 1973. – Т. 8, № 5. – С. 22.

14. Ивенин В.В. Основные элементы технологии интенсивного выращивания раннего картофеля / В.В. Ивенин, А.В. Ивенин, С.П. Тихонов, А.М. Магомедкасумов // Картофель и овощи. – 2012. – № 4. – С. 3–4.

15. Козлов А.В. Физиологическое значение кремния в онтогенезе культурных растений и при их защите от фитопатогенов / А.В. Козлов, И.П. Уромова, Е.А. Фролов, К.Ю. Мозолева // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 1.; URL: http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=12227 (дата обращения: 20.07.2018).

References

1. Romanova I.N. Sxema posadki zavisit ot celi ispol`zovaniya produkcii / I.N. Romanova, I.A. Karamulina // Kartofel` i ovoshhi. – 2008. – № 2. – pp. 11.

2. Uromova I.P. Vliyanie shiriny` mezhduryadij na urozhaj i kachestvo kartofelya / I.P. Uromova, N.N. Koposova, A.V. Kozlov // Sovremenny`e problemy` nauki i obrazovaniya. – 2015. – № 2–3.; URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=23854 (data obrashheniya: 20.07.2018).

3. Kozlov A.V. E`kologicheskaya ocenka vliyaniya diatomita na fitocenoz i sostoyanie pochvenno-bioticheskogo kompleksa svetlo-seroj lesnoj legkosuglinistoj pochvy`: dis. … kand. biol. nauk: 03.02.08 / Rossijskij gosudarstvenny`j agrarny`j universitet. – Nizhnij Novgorod: NGSXA, 2013. – 182 p.

4. Vasil`ev A.A. Kak uvelichit` urozhaj novy`x sortov kartofelya / A.A. Vasil`ev // Kartofel` i ovoshhi. – 2009. – № 7. – pp. 9–10.

5. Kozlov A.V. Vliyanie vy`sokokremnisty`x porod na strukturu, chislennost` i fermentativnuyu aktivnost` cellyulozosaprotrofnogo mikrobnogo pula dernovo-podzolistoj

pochvy` v usloviyax vy`rashhivaniya ozimoj pshenicy i kartofelya / A.V. Kozlov, A.X. Kulikova // Vestnik Ul`yanovskoj gosudarstvennoj sel`skoxozyajstvennoj akademii. – 2016. – № 1 (33). – pp. 56–65.

6. Dospexov B.A. Metodika polevogo opy`ta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul`tatov issledovanij). – M.: ID «Al`yans», 2011. – 352 p.

7. Andryushin N.A. Metodika issledovanij po kul`ture kartofelya / N.A. Andryushin, N.S. Baczanov. – M.: NIIKX, 1967. – 263 p.

8. Palamarchuk M.V. Vy`birajte optimal`ny`e sxemy` posadki / M.V. Palamarchuk, Yu.P. Loginov / Kartofel` i ovoshhi. – 2008. – № 2. – pp. 10.

9. Uromova I.P. Vliyanie shiriny` mezhduryadij posadki kartofelya na vredny`e, polezny`e orga-nizmy` i e`ffektivnost` zashhitny`x meropriyatij: avtoref. dis. … kand. s.-x. nauk. – M.: VNIIKX, 1994. – 24 p.

10. Skryabin A.A. Vliyanie shiriny` mezhduryad`ya i normy` posadki na urozhajnost` rannespelogo kartofelya sorta Udacha v Predural`e / A.A. Skryabin // Tavricheskij nauchny`j obozrevatel`. – 2017. – № 3–1 (20). – pp. 94–96.

11. Sadovnikova E.V. Optimal`ny`e shirina mezhduryadij i gustota posadki kartofelya / E.V. Sa-dovnikova, G.A. Ganzin // Kartofel` i ovoshhi. – 2005. – № 1. – pp. 13–14.

12. Kasimova N.Z. Urozhajnost` i kachestvo klubnej kartofelya razny`x grupp spelosti v zavisimosti ot priemov texnologii vy`rashhivaniya v usloviyax Srednego Urala / N.Z. Kasimova, S.K. Mingalev, V.R. Laptev // Agrarny`j vestnik Urala. – 2010. – № 5 (71). – pp. 41–44.

13. Grechushnikov A.I. Vliyanie aktivnosti peroksidazy` na ustojchivost` kartofelya k fitoftorozu / A.I. Grechushnikov // Sel`skoxozyajstvennaya biologiya. – 1973. – T. 8, № 5. – pp. 22.

14. Ivenin V.V. Osnovny`e e`lementy` texnologii intensivnogo vy`rashhivaniya rannego kartofe-lya / V.V. Ivenin, A.V. Ivenin, S.P. Tixonov, A.M. Magomedkasumov // Kartofel` i ovoshhi. – 2012. – № 4. – pp. 3–4.

15. Kozlov A.V. Fiziologicheskoe znachenie kremniya v ontogeneze kul`turny`x rastenij i pri ix zashhite ot fitopatogenov / A.V. Kozlov, I.P. Uromova, E.A. Frolov, K.Yu. Mozoleva // Mezhdunarodny`j studencheskij nauchny`j vestnik. – 2015. – № 1.; URL: http://www.eduherald.ru/ru/article/view?id=12227 (data obrashheniya: 20.07.2018).

УДК 632.51:633.2+582.998.2:581.524.1

АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКОЕ ВЛИЯНИЕ ВАСИЛЬКА СИНЕГО (CENTAUREA CYANUS L.) НА КОРМОВЫЕ ЗЛАКИ

Чегодаева Н.Д., Маскаева Т.А., Лабутина М.В.

ФГБОУ ВО «Мордовский государственный педагогический институт им. М.Е. Евсевьева», Саранск, e-mail: masckaeva.tania@yandex.ru

Василек синий (Centaurea cyanus L.) как сорняк на территории Мордовии имеет очень широкое распространение, чему способствуют большая семенная продуктивность и высокая конкурентоспособность растения. В статье приведены результаты исследования аллелопатического влияния различных концентраций водных вытяжек Centaurea cyanus L. на энергию прорастания, всхожесть, рост корешков и проростков Festuca pratensis Huds., Loliym multiflorum L. Исследования показали, что органы C. cyanus L. обладают высокой аллелопатической активностью. Вытяжки из всех органов растения ингибируют показатели начального роста уже при малых (1:100) концентрациях. В вытяжках с концентрацией 1:10 ранние ростовые показатели тест-объектов угнетаются более чем на 50%. При максимальной концентрации вытяжек энергия прорастания семян овсяницы луговой угнетается на 91,1% и на 85,1% у райграса однолетнего. Всхожесть семян соответственно угнетается на 53,9% и 88,3%. Наблюдается сильное подавление начального роста корешков и проростков. Рост корешков овсяницы луговой при концентрации 1:10 остается на уровне 23,9% от контроля, у райграса однолетнего – 33,9%. Рост проростков овсяницы луговой остается на уровне 21,6% от контроля, райграса однолетнего – 24,5%. Наиболее высокая аллелопатическая активность характерна для листьев и стеблей василька синего. Одной из причин широкого распространения C. cyanus L. является высокая аллелопатическая активность сорняка. Его присутствие в посевах кормовых злаков будет влиять на их рост и развитие и в конечном итоге на показатели будущего урожая.

Ключевые слова: сорные растения, кормовые злаки, ранние ростовые показатели, аллелопатия, биологически активные вещества

INFLUENCE OF CORNFLOWER BLUE (CENTAUREA CYANUS L.) IN FORAGE LEGUMES

Chegodaeva N.D., Maskaeva T.A., Labutina M.V.

Mordovian State Pedagogical Institut named after M.E. Evsev'ev, Saransk, e-mail: masckaeva.tania@yandex.ru

Cornflower blue (Centaurea cyanus L.) as a weed at the territory of Mordovia has a very wide distribution which is facilitated by a large seed productivity and high competitiveness of the plant. The article presents the results of the study of allelopathic effect of different concentrations of aqueous extracts of Centaurea cyanus L. on the energy of germination, germination, growth of roots and seedlings of Festuca pratensis Huds., Loliym multiflorum L. Studies have shown that the organs of C. cyanus L. have high allelopathic activity. Extracts from all organs of the plant inhibit the initial growth already at low (1:100) concentrations. In hoods with a concentration of 1:10 early growth rates of test objects are suppressed by more than 50%. At the maximum concentration of extracts, the energy of germination of seeds of meadow oatmeal is inhibited by 91.1% and 85.1% in the annual ryegrass. Seed germination, respectively, is oppressed by 53.9% and 88.3%. There is a strong suppression of the initial growth of roots and seedlings. The growth of roots of meadow oatmeal at a concentration of 1:10 remains at the level of 23.9% of the control, at the annual ryegrass-33.9%. The growth of meadow oatmeal seedlings remains at the level of 21.6% of the control, the annual raygras-24.5%. The highest allelopathic activity is characteristic of the leaves and stems of blue cornflower. One of the reasons for the wide spread of C. cyanus L. is the high allelopathic activity of the weed. Its presence in the forage crops will affect their growth and development and ultimately the performance of the future crop.

Keywords: weeds, forage crops, early growth rates, allelopathy, bioactive substances

Между растениями, совместно произрастающими в экосистемах, создаются постоянные конкурентные отношения, в том числе и химическая конкуренция за счет выработки определенных химических веществ. Каждый вид растений выделяет определенную группу физиологически активных веществ. Сорные растения, длительное время произрастающие на определенных территориях, имеют более широкую приспособленность к условиям среды. Совместное произрастание сорняков и культурных растений чаще всего приводит к подавлению последних [1, с. 379]. Кроме того, обладая определенной аллелопатической активностью, за счет своих выделений и отмерших остатков, сорняки создают не самые благоприятные условия для формирования урожая сельскохозяйственных культур. Аллелопатическое взаимовлияние совместно произрастающих сорных и культурных растений приводит часто к ограничению возможности повышения урожайности сельскохозяйственных культур [2, с. 107]. На территории Мордовии василек синий (*Centaurea cyanus* L.) как сорняк встречается достаточно часто в посевах раз-

ных культур. Широкое распространение сорняка обусловлено высокой плодовитостью и конкурентоспособностью растения [3, с. 371; 4, с. 5845].

Цель исследования: изучение влияния водных вытяжек растений василька синего разной концентрации на энергию прорастания, всхожесть семян и ранние ростовые показатели кормовых злаков.

Материалы и методы исследования

Аллелопатическое влияние василька синего (*C. cyanus* L.) оценивалось методом биотестов [5, с. 47]. Тест-объектами явились семена кормовых злаков: овсяницы луговой (*Festuca pratensis* Huds.), райграса однолетнего (*Loliym multiflorum* L.).

Для выявления аллелопатической активности рассматривалось влияние на тест-объекты суточных водных вытяжек из вегетативных и генеративных органов василька синего в концентрации: 1:100, 1:50, 1:10. Для приготовления водных вытяжек использовалась сухая масса из отдельных органов растения. Семена исследуемых культур, предварительно продезинфицированные в растворе марганцовокислого калия, размещали на полоски фильтровальной бумаги с подложенным слоем стерильного бинта. Полоски сворачивали, нижний край помещали в сосуд с водными вытяжками из разных органов и определенной концентрации. Контрольные образцы помещали в сосуд с дистиллированной водой. Для поддержания постоянной влажности в контрольные образцы добавлялась вода, в тестируемые – вытяжки соответствующей концентрации. Проращивание производилось при комнатной температуре (23–25 °С). Все опыты закладывались в трехкратной повторности.

В качестве критериев оценки аллелопатической активности василька синего рассматривалось влияние водных вытяжек на энергию прорастания, всхожесть семян, раннее развитие корешков и проростков. Определение энергия прорастания и всхожести производилось в соответствии с ГОСТ 12038-84. Ранние ростовые показатели определялась методом морфофизиологической оценки проростков. Биометрические показатели снимали у объектов 4-дневного возраста, у которых измеряли длину корешков и проростков, и выражали в процентах к длине контрольных, которые принимали за 100 %. Статистическая обработка данных проводилась по Б.А. Доспехову [2, с. 160].

Результаты исследования и их обсуждение

Энергия прорастания семян кормовых злаков в водных вытяжках из разных органов василька синего изменяется следующим образом (табл. 1).

На контроле энергия прорастания овсяницы луговой достигала 80,1 %, райграса однолетнего – 84,1 %. Уже при низких концентрациях водных вытяжек василька синего энергия прорастания семян кормовых злаков подавляется. При концентрации 1:100 энергия прорастания овсяницы луговой в вытяжках разных органов угнетается на 1,8–13,5 %, а растением в целом на 7,9 %. У райграса однолетнего, соответственно, на 2,9–8,5 % в вытяжках разных органов и на 5,0 % растением в целом.

При концентрации вытяжек 1:50 энергия прорастания исследуемых растений угнетается ещё в большей степени в вытяжках из всех органов василька синего. У овсяницы луговой энергия прорастания семян в вытяжках данной концентрации остается на уровне 49,6–63,2 % от контроля, т.е. угнетается на 36,8–50,4 %, а суммарно растением на 43,3 %. У райграса однолетнего она остается на уровне 78,4–58,0 % от контроля. Угнетение разными органами составляет 21,6–41,9 %, а растением суммарно 32,7 %.

Таблица 1

Влияние водных вытяжек *Centaurea cyanus* L. на энергию прорастания семян кормовых злаков, %

Растения	Концентрация вытяжек	Контроль	Водные вытяжки из:				Растение
			корней	стеблей	листьев	соцветий	
Овсяница луговая	1:100	80,1	78,7 ± 0,46	74,3 ± 0,69	72,9 ± 0,33	69,3 ± 0,28	73,8 ± 2,70
	1:50		44,4 ± 1,26	39,7 ± 0,83	50,6 ± 0,86	46,8 ± 0,73	45,4 ± 3,33
	1:10		8,2 ± 0,88	5,8 ± 1,09	6,9 ± 1,06	7,6 ± 0,79	7,1 ± 0.78
Райграс однолетний	1:100	84,1	81,6 ± 0,93	79,8 ± 1,09	76,9 ± 0,83	81,3 ± 0,56	79,9 ± 1,55
	1:50		65,9 ± 0,94	48,8 ± 0,78	55,2 ± 0,99	56,4 ± 0,53	56,5 ± ,66
	1:10		17,1 ± 1,09	8,7 ± 0,82	9,8 ± 0,61	14,6 ± 0,82	12,5 ± 3,30

Таблица 2

Влияние водных вытяжек *Centaurea cyanus* L. на всхожесть семян кормовых злаков, %

Растения	Концентрация вытяжек	Контроль	Водные вытяжки из:				Растение
			корней	стеблей	листьев	соцветий	
Овсяница луговая	1:100	86,4	83,2 ± 0,39	80,2 ± 0,36	81,7 ± 0,41	82,7 ± 0,59	81,9 ± 1,00
	1:50		52,6 ± 1,21	48,9 ± 0,91	58,3 ± 0,88	61,7 ± 0,82	55,4 ± 4,63
	1:10		10,3 ± 0,88	11,8 ± 0,74	9,8 ± 1,06	8,4 ± 1,09	10,1 ± 0,98
Райграс однолетний	1:100	91,2	90,6 ± 0,26	89,8 ± 1,09	89,2 ± 0,88	88,5 ± 0,52	89,5 ± 0,67
	1:50		72,3 ± 0,99	54,2 ± 0,79	51,3 ± 0,57	63,5 ± 0,92	60,3 ± 7,58
	1:10		49,1 ± 1,27	39,4 ± 1,03	35,7 ± 1,08	44,0 ± 1,18	42,0 ± 4,50

При увеличении концентрации вытяжек до 1:10 энергия прорастания семян исследуемых тест-объектов сводится к минимуму. Водные вытяжки из разных органов василька синего действуют неоднородно. Максимальную агрессивность проявляют вытяжки из стеблей и листьев. При данной концентрации вытяжек энергия прорастания остается на уровне 7,2–10,2 % от контроля у овсяницы луговой и 10,6–20,3 % у райграса однолетнего, т.е. угнетение достигает до 89,8–92,8 % у овсяницы и 79,7–89,4 % у райграса в вытяжках разных органов. Суммарно наблюдается угнетение энергии прорастания растением василька синего на 91,1 % у овсяницы луговой и 85,1 % райграса однолетнего.

Аналогичное влияние оказывают водные вытяжки из разных органов василька синего на всхожесть семян кормовых злаков. Вытяжки из всех органов василька оказывают ингибирующее действие на всхожесть семян, при повышении концентрации водных вытяжек их действие существенно усиливается (табл. 2).

На контроле всхожесть семян овсяницы луговой составила 86,4 %, райграса однолетнего – 91,2 %. Уже при концентрации водных вытяжек 1:100 отмечается подавление всхожести семян исследуемых злаков. При данной концентрации вытяжек всхожесть семян овсяницы луговой составляет 92,8–96,3 % от контроля, райграса однолетнего 97,0– 99,3 % от контроля, т.е. угнетение всхожести семян в водных вытяжках разных органов василька у овсяницы составляет 3,7–7,1 %, райграса однолетнего – 0,7–2,0 %. Суммарно растением василька соответственно 5,1 % у овсяницы и 1,8 % у райграса.

При концентрации водных вытяжек 1:50 всхожесть семян тест-объектов ингибируется еще в большей степени. У овсяницы луговой всхожесть семян остается на уровне 56,6– 71,4 % от контроля, т.е. угнетается на 28,6–43,4 %, а растением в целом на 35,9 %. Аналогичная картина наблюдается и у райграса однолетнего, всхожесть которого в вытяжках разных органов остается на уровне 56,2–79,3 % от контроля. Подавление всхожести доходит до 20,7–43,8 %, а суммарно растением до 33,8 %. Наибольшую всхожесть семена обоих тест-объектов сохраняют в вытяжках из корней и соцветий василька синего.

Водные вытяжки василька синего при максимальной концентрации угнетают всхожесть семян исследуемых злаков очень существенно. В вытяжках из разных органов василька у овсяницы луговой сводится к минимуму и остается на уровне 8,4–11,8 %, что соответствует 9,7–13,6 % от контроля. В целом растением подавление всхожести при максимальной концентрации вытяжек достигает 88,3 %. Семена райграса однолетнего оказываются более стойкими к аллелопатическому действию василька синего. При максимальной концентрации вытяжек всхожесть семян райграса остается на уровне 35,7–49,1 %, что составляет 39,1–53,8 % от контроля. Угнетение всхожести семян разными органами василька достигает 46,2–60,9 %, растением в целом – 53,9 %. Максимальную аллелопатическую активность проявляют водные вытяжки стеблей и листьев.

В онтогенезе растений период прорастания семян является одним из самых важных и сложных этапов. В данный период в семенах происходит интенсивный обмен веществ. Запасные вещества переходят в усвояемую для зародыша семени форму. Активность ферментов и строго координированное протекание биохимических реакций может быть нарушено не только действием факторов среды, но и содержанием в почве биологически активных веществ, накапливающихся в результате жизнедеятельности растений, произрастающих на месте прорастания семян. От силы началь-

ного роста зависит дальнейшее развитие наземных и подземных органов растений и, в конечном итоге, продуктивность кормовых культур.

Водные вытяжки разных органов василька синего оказывают существенное влияние на ранние ростовые показатели кормовых злаков. Уже при малых концентрациях наблюдается их угнетение. Вытяжки практически из всех органов василька синего оказывают влияние на рост и развитие корешков исследуемых растений (табл. 3).

У овсяницы луговой длина 4-дневных корешков на контроле достигала 2,3 см. Уже при концентрации 1:100 в водных вытяжках разных органов отмечается ингибирование роста корешков исследуемых злаков. При данной концентрации вытяжек длина корешков овсяницы луговой была на уровне 1,8–2,0 см, что составляет 79,1–87,4% от контроля. В вытяжках разных органов василька синего ингибирование роста корешков достигает 12,6–20,9%, а растением в целом 16,0%. Длина корешков контрольных образцов райграса однолетнего 7,2 см. В вытяжках аналогичной концентрации она достигала 5,7–6,9 см, что соответствует 95,0–80,4% от контроля. Рост корешков угнетается на 5,0–19,6%, а суммарно растением на 12,8%. Все это указывает на то, что водные вытяжки василька синего уже при малых концентрациях оказывают существенное аллелопатическое влияние на рост корешков исследуемых злаков, что будет отражаться на дальнейшем развитии растений.

С повышением концентрации водных вытяжек отмечается еще большее ингибирование роста корешков исследуемых растений. Так, при концентрации 1:50 в вытяжках разных органов василька рост корешков овсяницы луговой угнетается на 33,0–45,2% и на 41,3% суммарно растением. Рост корешков райграса однолетнего подавляется на 33,1–49,6%, а в целом растением на 41,5%.

Показатели роста корешков при максимальной концентрации водных вытяжек сводятся к минимуму. У овсяницы луговой длина корешков – 0,35–0,73 см, что составляет 15,2–31,7% от контроля. Суммарно растением василька синего рост корешков овсяницы подавляется более чем на три четверти, т.е. на 76,1%. Рост корешков райграса однолетнего подавляется несколько в меньшей степени. Длина корешков при максимальной концентрации вытяжек остается на уровне 2,1–3,0 см, что соответствует 29,3–41,0% от контроля. Суммарно растением подавление роста корешков райграса достигает 66,1%. При максимальной концентрации вытяжек рост корешков остается на уровне 33,9% от контроля, что подчеркивает сильное аллелопатическое действие растений василька синего.

Полученные результаты указывают на то, что под влиянием водных вытяжек василька синего на ранних этапах развития рост корешков исследуемых растений очень сильно ингибируется, что, несомненно, будет отражаться на закладке их корневой системы.

Формирование надземных органов растений во многом определяется силой начального роста проростков. Ингибирование роста проростков тест-объектов наблюдается уже при малых концентрациях водных вытяжек василька синего (табл. 4).

Длина проростков овсяницы луговой на контроле составляла 1,02 см. При концентрации 1:100 длина проростков овсяницы в водных вытяжках разных органов василька 0,71–0,92 см, что меньше контроля на 9,8–30,4%. Наиболее выраженное аллелопатическое действие оказывает вытяжка из листьев василька синего. Суммарно растением при данной концентрации вытяжек подавление роста проростков овсяницы луговой достигает 20,6%. В росте проростков райграса многолетнего при данной концентрации вытяжек наблюдается аналогичная картина, но степень аллелопатического воздействия несколько ниже. На контроле длина проростков райграса однолетнего достигает 4,89 см. В вытяжках из разных органов длина проростков райграса многолетнего 4,02–4,61 см, что меньше контроля на 5,7–17,8%. Ингибирование роста проростков суммарно растением составляет 12,7%. Наиболее агрессивными оказываются вытяжки из листьев.

Повышение концентрации водных вытяжек до 1:50 приводит к существенному подавлению роста проростков как по отношению к контролю, так и по отношению к предыдущему варианту. Рост проростков овсяницы луговой в вытяжках из разных органов василька ингибируется на 32,4–52,9%. Максимальное подавление начального роста проростков исследуемых растений наблюдается в вытяжках из листьев, в меньшей степени это действие выражено в вытяжках из корней. Суммарно растением василька угнетение роста проростков достигает 42,2%. На проростки райграса однолетнего действие вытяжек более выражено. Вытяжки разных органов ингибируют рост проростков на 35,6–54%, а суммарно растение – на 45,6%.

Таблица 3

Влияние водных вытяжек *Centaurea cyanus* L. на рост корешков кормовых злаков, см

Растения	Концентрация вытяжек	Контроль	Водные вытяжки из:				Растение
			корней	стеблей	листьев	соцветий	
Овсяница луговая	1:100	2,3	2,01 ± 0,96	1,96 ± 0,81	1,82 ± 0,71	1,86 ± 0,78	1,91 ± 0,07
	1:50		1,54 ± 0,53	1,31 ± 0,48	1,26 ± 0,38	1,28 ± 0,43	1,35 ± 0,10
	1:10		0,73 ± 0,18	0,71 ± 0,14	0,35 ± 0,11	0,41 ± 0,12	0,55 ± 0,17
Райграс однолетний	1:100	7,2	6,89 ± 0,84	6,77 ± 0,93	5,79 ± 2,13	5,67 ± 0,98	6,28 ± 0,55
	1:50		3,63 ± 0,90	3,77 ± 0,56	4,63 ± 0,32	4,82 ± 0,66	4,21 ± 0,51
	1:10		2,47 ± 0,62	2,11 ± 0,42	2,24 ± 0,46	2,95 ± 0,35	2,44 ± 0,27

Таблица 4

Влияние водных вытяжек *Centaurea cyanus* L. на рост проростков кормовых злаков, см

Растения	Концентрация вытяжек	Контроль	Водные вытяжки из:				Растение
			корней	стеблей	листьев	соцветий	
Овсяница луговая	1:100	1,02	0,86 ± 0,12	0,92 ± 0,16	0,71 ± 0,10	0,73 ± 0,11	0,81 ± 0,09
	1:50		0,69 ± 0,47	0,62 ± 0,30	0,48 ± 0,18	0,56 ± 0,24	0,59 ± 0,07
	1:10		0,23 ± 0,06	0,26 ± 0,08	0,17 ± 0,04	0,21 ± 0,07	0,22 ± 0,03
Райграс однолетний	1:100	4,89	4,61 ± 0,81	4,31 ± 1,44	4,02 ± 0,61	4,13 ± 0,58	4,27 ± 0,19
	1:50		3,15 ± 0,95	2,71 ± 0,36	2,25 ± 0,65	2,53 ± 0,58	2,66 ± 0,27
	1:10		1,31 ± 1,07	1,13 ± 0,38	1,07 ± 0,11	1,28 ± 1,69	1,20 ± 0,10

Рост проростков исследуемых растений при концентрации вытяжек 1:10 ингибируется очень сильно. У овсяницы луговой длина проростков составляет всего 1,07–1,31 см, что меньше контроля на 77,4–83,3 %. Угнетение суммарно растением достигает 78,4 %, т.е. рост проростков остается на уровне 21,6 % от контроля. Действие вытяжек василька синего на рост проростков райграса однолетнего при данной концентрации аналогично. Так, в вытяжках из разных органов он подавляется на 73,2–78,1 %, а суммарно растением на 75,5 %, т.е. остается на уровне 24,5 % от контроля, что говорит о сильном аллелопатическом действии растений василька синего. По всем исследуемым показателям отмечается наиболее сильное аллелопатическое действие водных вытяжек из листьев и стеблей василька синего.

Заключение

Установлено, что вытяжки из всех органов василька синего *C. cyanus* L. обладают очень сильной аллелопатической активностью. В водных вытяжках наблюдается угнетение энергии прорастания и всхожести семян овсяницы луговой и райграса однолетнего, подавление начального роста корешков и проростков кормовых злаков. Наиболее высокой аллелопатической активностью обладают листья и стебли сорняка.

Отмечено, что ингибирование ранних ростовых показателей кормовых злаков водорастворимыми веществами органов *C. cyanus* L. зависит от их концентрации. В вытяжках максимальной концентрации ранние ростовые показатели угнетаются более чем на 50 %, что в дальнейшем будет отражаться на росте и развитии кормовых злаков и формировании будущего урожая.

Следовательно, одной из причин широкого распространения *C. cyanus* L. является высокая аллелопатическая активность сорняка.

Список литературы

1. Власова О.И. Выявление аллелопатических свойств сорных растений в условиях длительного стационарного опыта зоны достаточного увлажнения / О.И. Власова, И.А. Вольтерс, Л.В. Трубачева // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5.; URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=6990 (дата обращения: 13.07.2018).

2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.

3. Медведева Л.М. Аллелопатические свойства Helianthus annuus L. / Л.М. Медведева, В.Н. Косова // АПК России. – 2013. – Т. 63. – С. 107–110.

4. Милевская И.А. Аллелопатическая активность василька синего в посевах озимого рапса: влияние способов основной обработки почвы на засоренность / И.А. Милевская // Реферативный журнал. – 2015. – № 2. – С. 371–372.

5. Чегодаева Н.Д. Аллелопатическое влияние борщевика сосновского (Heracleum sosnovscyi Manden) на культурные растения / Н.Д. Чегодаева, Т.А. Маскаева, М.В. Лабутина // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2–26. – С. 5845–5849.

6. Гродзинский А.М. Аллелопатия в жизни растений и их сообществ / А.М. Гродзинский. – К.: Научная Думка, 2013. – 198 с.

References

1. Vlasova O.I. Vy`yavlenie allelopaticheskix svojstv sorny`x rastenij v usloviyax dlitel`nogo stacionarnogo opy`ta zony` dostatochnogo uvlazhneniya / O.I. Vlasova, I.A. Vol`ters, L.V. Trubacheva // Sovremenny`e problemy` nauki i obrazovaniya. – 2012. – № 5.; URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=6990 (data obrashheniya: 13.07.2018).

2. Dospexov B.A. Metodika polevogo opy`ta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul`tatov issledovanij) / B.A. Dospexov. – M.: Agropromizdat, 1985. – 351 p.

3. Medvedeva L.M. Allelopaticheskie svojstva Helianthus annuus L. / L.M. Medvedeva, V.N. Kosova // APK Rossii. – 2013. – T. 63. – pp. 107–110.

4. Milevskaya I.A. Allelopaticheskaya aktivnost` vasil`ka sinego v posevax ozimogo rapsa: vliyanie sposobov osnovnoj obrabotki pochvy` na zasorennost` / I.A. Milevskaya // Referativny`j zhurnal. – 2015. – № 2. – pp. 371–372.

5. Chegodaeva N.D. Allelopaticheskoe vliyanie borshhevika sosnovskogo (Heracleum sosnovscyi Manden) na kul`turny`e rasteniya / N.D. Chegodaeva, T.A. Maskaeva, M.V. Labutina // Fundamental`ny`e issledovaniya. – 2015. – № 2–26. – pp. 5845–5849.

6. Grodzinskij A.M. Allelopatiya v zhizni rastenij i ix soobshhestv / A.M. Grodzinskij. – K.: Nauchnaya Dumka, 2013. – 198 p.

УДК 550.8.05(470.54-25)

ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОКРУЖАЮЩИЕ ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ТОРГОВОГО ЦЕНТРА «ПАССАЖ», Г. ЕКАТЕРИНБУРГ)

Абатурова И.В., Савинцев И.А., Стороженко Л.А., Корчак С.А.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный горный университет», Екатеринбург, e-mail: gingeo@mail.ru

В районах точечной застройки у изыскателей и проектировщиков возникает необходимость еще на стадиях проекта дать прогноз развития инженерно-геологических процессов и учесть их влияние на уже сформированные природно-технические системы. Анализ инженерно-геологических условий проектируемого сооружения позволил установить, что в его пределах получили развитие следующие геологические процессы: выветривание, трещиноватость, подтопление, изменение динамического режима подземных вод, что в свою очередь обуславливает развитие процессов суффозионного выноса, проседания и обрушения земной поверхности. Процесс выветривания в пределах изучаемой площадки развит повсеместно и приводит к формированию специфических грунтов – элювия, характеризующегося неоднородностью строения и физико-механических свойств. Выполнено изучение и оценка процесса выветривания для установления закономерностей распространения элювиальных грунтов, вертикальной зональности, изменения физико-механических свойств грунтов, в пределах выделенных инженерно-геологических зон, а также прогноз возможных сценариев поведения их при техногенном воздействии. Элювиальные образования представлены двумя основными видами выветривания: физическим и химическим, с преобладанием первого. В вертикальном профиле кор выветривания выделены обломочная и трещинная зоны, граница между которыми имеет неровный характер. На основе комплексной оценки строения, состава и свойств пород, а также степени проработки процессом выветривания в массиве пород выделены 5 классов устойчивости. Спрогнозирована возможность проявления суффозионных процессов в естественных условиях и их активизации при изменении гидродинамического режима.

Ключевые слова: прогноз развития инженерно-геологических процессов, анализ инженерно-геологических условий, влияние на здания и сооружения, прогноз устойчивости массива, выветривание, суффозия

FORECAST FOR THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING-GEOLOGICAL PROCESSES AND THEIR INFLUENCE ON THE SURROUNDING BUILDINGS (FOR EXAMPLE SHOPPING CENTRE PASSAGE EKATERINBURG)

Abaturova I.V., Savintsev I.A., Storozhenko L.A., Korchak S.A.

Ural State Mining University, Ekaterinburg, e-mail: gingeo@mail.ru

In regions of pointed building researchers and designers have a need on project stages to give the forecast of development of engineering-geological processes and to consider their influence on already created natural and technical systems. The analysis of engineering-geological conditions of the projected construction allowed to set that in its limits the following geological processes gained development: aeration, cracking, flooding, change of the dynamic mode of underground waters that in turn causes development of processes of suffozionny carrying out, a flash and the collapse of the land surface. Process of aeration within the studied site is developed everywhere and leads to formation of specific soil – an elyuviya, the structure which is characterized non-uniformity and physicomechanical properties. The study and process evaluation of aeration for establishment of regularities of distribution of eluvial soil, vertical zonality, change of physicomechanical properties of soil, within the selected engineering-geological zones, and also the forecast of possible scenarios of their behavior is executed in case of technogenic influence. Eluvial educations are provided by two main types of aeration physical and chemical with dominance of the first. In a vertical profile of box of aeration detrital and fracture zones between which boundary has inconsequential character are selected. On the basis of complex assessment of a structure, composition and properties of breeds and also study levels are selected with process of aeration in an array of breeds 5 classes of stability. The possibility of manifestation of suffozionny processes under natural conditions, and their activization in case of change of the hydrodynamic mode is predicted.

Keywords: forecast of development of engineering-geological processes, analysis of engineering-geological conditions, influence on buildings and constructions, forecast of stability of the massif, aeration, suffosion

В последние годы в городе бурно развивается строительство с элементами точечной застройки. И здесь изыскателям и проектировщикам приходится сталкиваться с особыми условиями, так как предполагаемое строительство будет осуществляться во вновь сформированной и существующей уже десятки лет природно-технической системе. Поэтому и возникает необходимость еще на стадиях проекта дать прогноз развития инженерно-геологических процессов и учесть их влияние на уже сформированные природно-технические системы. Любой проект требует тщательного и внима-

тельного подхода. Принятие обоснованных и верных проектных решений возможно лишь после тщательного изучения инженерно-геологических условий, их прогноза, построения инженерно-геологической модели и разработки системы геодинамического мониторинга [1].

Цель исследования: прогноз развития и влияния инженерно-геологических процессов на окружающие здания и сооружения.

Материалы и методы исследования

В административном отношении торговый центр «Пассаж» находится в квартале ул. Вайнера – пр. Ленина – пер. Банковский – пер. Театральный в Ленинском районе г. Екатеринбурга.

В геоморфологическом отношении участок располагается в пределах погребенной под насыпными грунтами аккумулятивной террасы р. Исеть и водораздельной части коренного склона. Площадка расположена в центральной исторической части города.

В геологическом отношении (Б.И. Кузнецов) исследуемая площадка приурочена к Балтымскому габбровому массиву, контактирующему с метаморфическими породами силурийского возраста. Площадка характеризуется неглубоким залеганием кровли скальных грунтов. В пределах исследованного разреза коренные породы не представляют собой единый однородный массив, а в силу процессов физического и химического выветривания он разбит трещинами на системы блоков. По степени выветрелости габбровые породы подразделяются на сильновыветрелые, выветрелые и слабовыветрелые с развитием активной трещиноватости.

Площадка расположена в зоне прохождения второстепенных ветвей тектонического разлома с системой мелких тектонических трещин, которые могут проявлять некоторую активность на современном этапе (рис. 1). Территории исследованного участка присуща современная геодинамическая подвижность.

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория расположена в пределах Восточно-Уральской гидрогеологической области групп бассейнов коровых вод, выделяемых в составе провинции Большеуральского сложного бассейна корово-блоковых вод. Региональным развитием здесь пользуются подземные воды с трехчленным строением разреза водовмещающих коллекторов по типу проницаемости: поровым, трещинным и трещинно-жильным.

На исследуемой площадке трещинная и трещинно-жильная водоносные зоны образуют горизонт подземных коровых вод, приуроченный к трещиноватой зоне регионального выветривания коренных пород, гидравлически связанный с бассейном р. Исеть и ее притоков.

Рис. 1 Фрагмент геотектонической карты листа О-41-110А (г. Екатеринбург)

Режим грунтовых вод полностью отражает условия их питания. Самый низкий уровень вод наблюдается в конце зимнего периода (март), высший – в конце апреля – начале мая в долинах рек и в июле-августе – на склонах и крутых возвышенностях. Амплитуда колебания уровней в долинах рек 1,0–1,5 м, на склонах водоразделов и на самих водоразделах – 1,5–5,0 м и более [2].

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ инженерно-геологических условий проектируемого сооружения позволил установить, что в его пределах получили развитие следующие геологические процессы: выветривание, трещиноватость, подтопление, изменение динамического режима подземных вод, что в свою очередь обуславливает развитие процессов суффозионного выноса, проседания и обрушения земной поверхности [3].

Процесс выветривания приводит к формированию специфических грунтов – элювия, характеризующегося неоднородностью строения и физико-механических свойств. Наличие в строении разреза основания проектируемого сооружения элювиальных грунтов может привести к росту значений величин вертикальных и горизонтальных осадок земной поверхности и, как следствие, к формированию обрушений в бортах котлована.

Целью изучения и оценки процесса выветривания на объекте является установление закономерностей распространения элювиальных грунтов, вертикальной зональности, изменения физико-механических свойств грунтов, в пределах выделенных инженерно-геологических зон, а также прогноз возможных сценариев поведения их при техногенном воздействии [4]. Процесс выветривания в пределах изучаемой площадки развит повсеместно. Продуктами выветривания являются элювиальные грунты (ИГЭ-2, ИГЭ-3, ИГЭ-4, ИГЭ-5, ИГЭ-6), образовавшиеся по меланократовому габбро. Сформировавшиеся коры выветривания древние (eMz), площадные.

Элювиальные образования представлены двумя основными видами выветривания: физическим и химическим, с преобладанием первого. В вертикальном профиле кор выветривания выделены следующие зоны: обломочная, представленная щебенистыми грунтами габбро зеленовато-бурого, зеленого цвета. Щебень малопрочный, ломается руками, по массе и поверхности интенсивно ожелезнен. Заполнителем является супесь пылеватая с содержанием 15–40 %. Мощность вскрытых пород 0,4–2,5 м; трещинная, представлена габбро меланократовым различной степени трещиноватости и выветрелости. До глубины 7,0 м порода интенсивно трещиноватая. Трещины открытые. Выделяется два типа заполнителя трещин: супесчаный, приводящий к ослаблению массива пород; кварцевый в виде прожилков мощностью от 0,5–0,8 см (укрепляющий массив).

Кроме того, по поверхностям трещин развиты гидроокислы железа, хлориты. Ниже глубины 7,0–9,0 м интенсивность трещиноватости уменьшается, вместе с этим уменьшается и количество гидроокислов железа.

Обследование стенок котлована (рис. 2) показало, что в пределах северной стенки на глубине 3,0–3,5 м прослеживается система крутопадающих трещин с падением на юг. Наличие таких трещин разбивает массив на блоки размером до 20–30 см. Поверхности трещин ожелезнены и могут являться поверхностями ослабления [5].

Закономерности распространения элювиальных грунтов хорошо видны в северной и западной стенках котлована (рис. 3). Граница между обломочной и трещинной зонами имеет неровный характер с формированием карманов, выполненных рухляком.

В нашем случае влияние процесса выветривания может рассматриваться по двум различным сценариям развития негативных последствий.

Элювиальные грунты будут слагать стенки котлована. В первом случае при вскрытии котлована грунты обломочной зоны и рухляки могут потерять устойчивость. В этом случае на таких участках возможно образование обрушений и осыпей. При нарушении устойчивости пород трещинной зоны возможно образование обрушений.

Во втором случае при долгом простаивании котлована в открытом виде длительное время может произойти потеря прочности, что приведет к снижению несущей способности грунтов. Степень трещиноватости с глубины 9,0 м резко уменьшается.

Возможными зонами развития инженерно-геологических процессов будут являться участки залегания: техногенных грунтов (ИГЭ-1); щебенистых грунтов (ИГЭ-2); сильновыветрелых скальных грунтов (ИГЭ-3); сильнотрещиноватых скальных грунтов (ИГЭ-4).

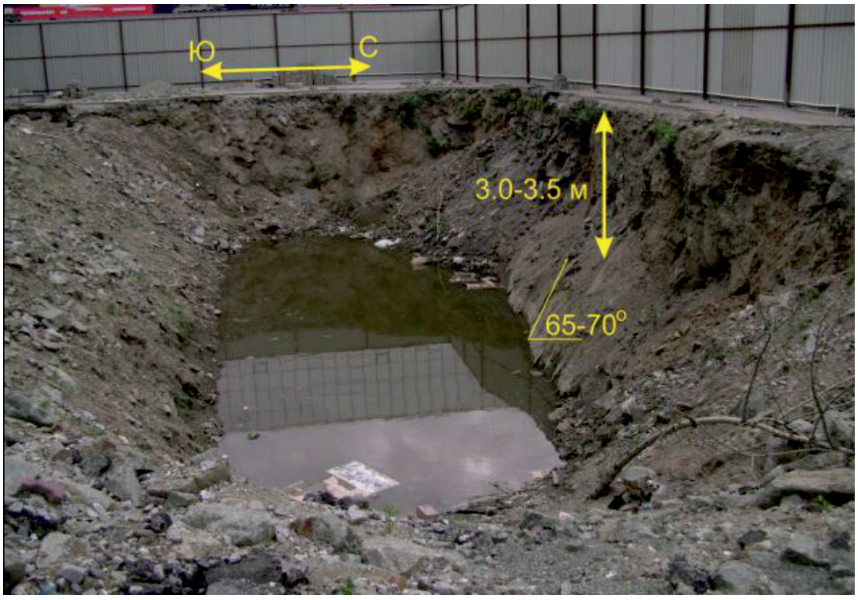


Рис. 2. Общий вид котлована

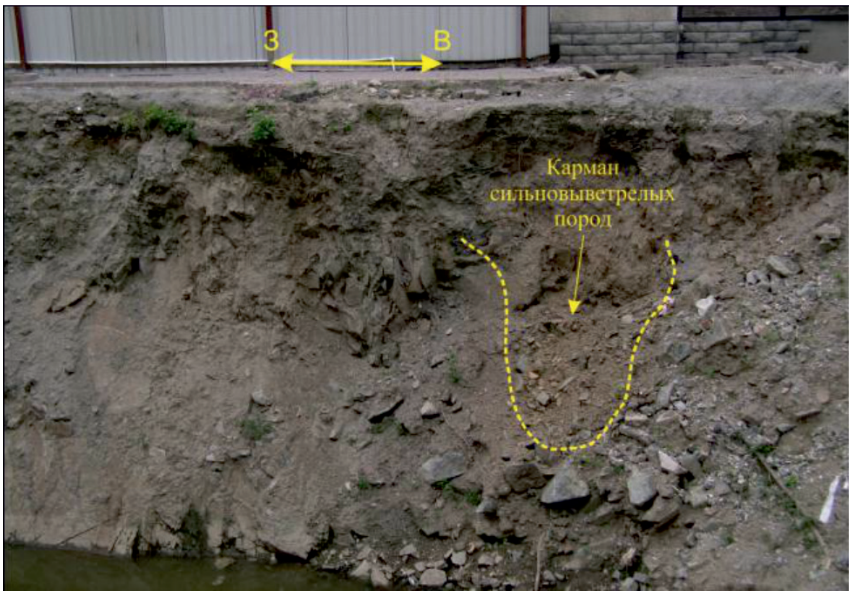


Рис. 3. Неравномерный характер залегания кровли скальных грунтов в пределах северной стенки котлована

Логическим завершением изучения и оценки степени выветривания и характера трещиноватости массива пород является оценка его устойчивости и прогноз развития опасных и неблагоприятных инженерно-геологических процессов.

Прогноз устойчивости массива пород слагающего борта котлована выполнен на основании многопараметрической классификации Н.С. Булычева. Однако, ввиду неполноты данных о характере и степени трещиноватости массива пород основания проектируемого объекта, по ряду параметров, входящих в интегральную оценку устойчивости, был задействован метод аналогий. На основе комплексной оценки строения, состава и свойств пород, а также степени проработки процессом выветривания в массиве пород выделены 5 классов устойчивости.

Устойчивые породы (I–II класс) представлены габбро средней прочности

(ИГЭ-5) и прочными (ИГЭ-6), слабовыветрелыми. Опасные геологические процессы в породах данного класса не прогнозируются. Породы средней устойчивости (III класс) представлены малопрочным габбро (ИГЭ-4), выветрелым. В породах данного класса возможно сползание блоков, осыпей. Неустойчивые породы (IV класс) сложены габбро пониженной прочности, сильновыветрелым (ИГЭ-3) – рухляк. В породах данного класса возможно сползание блоков, обрушения. Весьма неустойчивые породы (V класс) представлены щебенистыми грунтами по габбро (ИГЭ-2), с супесчаным заполнителем от 15 до 40% и насыпным грунтом (ИГЭ-1). Порода неустойчивая – при вскрытии котлованом будут отмечаться осыпи, а при замачивании бортов возможно развитие оплывин.

Трещиноватость пород и неоднозначный характер её проявления привели к неоднородности и анизотропности массива пород и невозможности перенесения лабораторных значений показателей физико-механических свойств на массив без учета «масштабного» эффекта, проявление которого выражается в уменьшении средних значений прочностных свойств с увеличением объёма исследуемых пород. Для однородных, слаботрещиноватых пород эти изменения носят незначительный характер, а для сильнотрещиноватых необходим учет влияния «масштабного эффекта» [6].

Ориентировочные углы заложения бортов котлована на глубину вскрытия до 16 м приведены в таблице.

Анализ гидрогеологических условий и моделирование динамики уровня грунтовых вод в процессе сооружения котлована установили, что на локальных участках возможна активизация процессов суффозионного выноса [7].

Проявление суффозии приведёт к формированию участков разуплотнения в щебенистых грунтах в результате механического выноса мелкодисперсных частиц при организации строительного водопонижения в момент проходки котлована и эксплуатации здания «Пассажа».

Для оценки способности грунтов противостоять поровой суффозии использовались разработки ВНИИГ имени Б.Б. Веденеева, Н.М. Бочкова, В.С. Истоминой. Согласно этим методикам потоком подземных вод выносятся наиболее мелкие фракции (< 0,05 мм). При этом устойчивость грунтов сохраняется, если их количество не превышает 5% массы грунта [5].

Кроме того, установлено, что суффозия развивается преимущественно в грунтах с коэффициентом неоднородности (K_d) гранулометрического состава более 20, и при наличии гидравлического градиента более 0,3. Крайне редко суффозии подвержены грунты с коэффициентом неоднородности гранулометрического состава 3–20 и гидравлическим градиентом 0,3–1 [5]. Анализ неоднородности гранулометрического состава щебенистых грунтов площадки строительства установил, что они в большинстве своем (ИГЭ-2) являются крайне неустойчивыми, так как $K_d > 20$. Дресвяный грунт относится к категориям суффозионно-устойчивого и суффозионно-неустойчивого (K_d = 6,0–28,6).

Выводы

Наличие элювиальных грунтов, являющихся продуктами выветривания, требует тщательного изучения ввиду возможности появления негативных последствий.

Наиболее подвержены развитию инженерно-геологических процессов – щебенистый грунт габбро (ИГЭ-2), с супесчаным заполнителем и насыпной грунт (ИГЭ-1). Они являются весьма неустойчивыми и имеют наименьший угол заложения бортов проектируемого котлована.

Ориентировочные углы наклона стенок проектируемого котлована на глубину отработки 16 м

Характеристика горных пород	Мощность вскрываемых пород, м	Пространственная ориентация стенок котлована		
		Северная стенка	Южная стенка	Западная и восточная стенка
Весьма неустойчивые (V класс)	<3,5	До 45	До 45	До 45
Неустойчивые (IV класс)	<1,0	60–62	71–74	67–70
Средней устойчивости (III класс)	< 2,0	65–68	73–76	71–74
Устойчивые (I–II класс)	< 11,5	67–70	78–81	73–76

Установленные значения гидравлических градиентов (0,001–0,011) свидетельствуют о невозможности проявления, как в естественных условиях, так и при повышении уровня грунтовых вод, процессов суффозии, так как их значения значительно меньше начальных условий развития суффозии. Это указывает на невозможность проявления механической суффозии при строительном водопонижении в момент проходки котлована.

Список литературы

1. Абатурова И.В. Проблемы получения геологической информации при проведении инженерно-геологических изысканий / И.В. Абатурова, Л.А. Стороженко, И.А. Королёва, И.Г. Петрова // 13th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2017. Extended Abstracts, 32369. DOI: 10.3997/2214-4609.201700376.

2. Факторы инженерно-геологических условий города Екатеринбурга / О.Н. Грязнов [и др.] // Известия Уральского государственного горного университета. – 2015. – № 3 (39). – С. 5–20.

3. Дубейковский С.Г. Инженерно-геологические условия высотного строительства в г. Екатеринбурге / С.Г. Дубейковский, О.Н. Овечкина // Инженерная геология. – 2011. – № 4. – С. 32–41.

4. Stille H., Palmstrom A. Ground behaviour and rock mass composition in underground excavations // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2008. – Т. 23, № 1. – С. 46–64.

5. Овечкина О.Н. Оценка и прогноз изменения состояния геологической среды при техногенном воздействии зданий высотной конструкции в пределах города Екатеринбурга: дис. ... канд. геол.-минерал. наук – Екатеринбург: УГГУ, 2013. – 159 с.

6. Численное моделирование строительства зданий с фундаментами глубокого заложения в условиях плотной городской застройки / А.Н. Власов [и др.] // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 2. – С. 170–179.

7. Jiang H. 31. Influence of High Precision SAR on the Research of Hydrogeology and Engineering Geology // Boletín Técnico. – 2017. – Т. 55, № 20. – С. 223–229.

References

1. Abaturova I.V. Problemy` polucheniya geologicheskoj informacii pri provedenii inzhenerno-geologicheskix izy`skanij / I.V. Abaturova, L.A. Storozhenko, I.A. Korolyova, I.G. Petrova // 13th Conference and Exhibition Engineering Geophysics 2017. Extended Abstracts, 32369. DOI: 10.3997/2214-4609.201700376.

2. Faktory` inzhenerno-geologicheskix uslovij goroda Ekaterinburga / O.N. Gryaznov [i dr.] // Izvestiya Ural`skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. – 2015. – № 3 (39). – pp. 5–20.

3. Dubejkovskij S.G. Inzhenerno-geologicheskie usloviya vy`sotnogo stroitel`stva v g. Ekaterinburge / S.G. Dubejkovskij, O.N. Ovechkina // Inzhenernaya geologiya. – 2011. – № 4. – pp. 32–41.

4. Stille H., Palmstrom A. Ground behaviour and rock mass composition in underground excavations // Tunnelling and Underground Space Technology. – 2008. – T. 23, № 1. – pp. 46–64.

5. Ovechkina O.N. Ocenka i prognoz izmeneniya sostoyaniya geologicheskoj sredy` pri texnogennom vozdejstvii zdanij vy`sotnoj konstrukcii v predelax goroda Ekaterinburga: dis. ... kand. geol.-mineral. nauk – Ekaterinburg: UGGU, 2013. – 159 p.

6. Chislennoe modelirovanie stroitel`stva zdanij s fundamentami glubokogo zalozheniya v usloviyax plotnoj gorodskoj zastrojki / A.N. Vlasov [i dr.] // Vestnik Permskogo nacional`nogo issledovatel`skogo politexnicheskogo universiteta. Stroitel`stvo i arxitektura. – 2014. – № 2. – pp. 170–179.

7. Jiang H. 31. Influence of High Precision SAR on the Research of Hydrogeology and Engineering Geology // Boletín Técnico. – 2017. – T. 55, № 20. – pp. 223–229.

УДК 550.34:622.831

СОСТОЯНИЕ ПОРОД У ЗАБОЕВ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫЕМКИ НА ОСНОВЕ ПОВОРОТНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

[1]Бейсембаев К.М., [1]Нокина Ж.Н., [2]Телиман И.В., [1]Абдугалиева Г.Б.

[1]Карагандинский государственный технический университет, Караганда, e-mail: kakim08@mail.ru;
[2]Уральский государственный технический университет, Екатеринбург, e-mail: kakim08@mail.ru

Начиная с конца 1980 гг. шахты в развитых странах, где в основном применялась технология длинных лав, закрываются. Лавы эффективны при выемке пластов с идеальными горногеологическими условиями, которые заканчиваются. Под действием техногенной деятельности человека происходит тектоническая разбалансировка недр, и ранее безопасные нарушения в забоях теперь существенно сдерживают работы. Создается опасность газодинамических явлений в шахтах. Новые технологии базируются на основе короткозабойных систем и камерной выемки, основным элементом которых является поворотный конвейер, способный существенно улучшить организацию работ и транспортирование твердых минералов по криволинейным выработкам. Большое влияние в этих технологиях уделяется состоянию горного массива. Способности управлять массивом и особенно при преодолении нарушенных зон способствуют разрабатываемые гибкие транспортные системы, обеспечивающие и сокращение монтажных работ. На основе таких технологических и технических систем решаются и вопросы комплексного использования сырья и выработок. Проанализированы элементы методики расчета таких систем с учетом особенностей дифференциации призабойной зоны на блоки, воспринимающие опорное давление. Газоугольный пласт в нетронутом массиве состоит из частичик с дифудирующим между ними газом под давлением и находится в состоянии готовом к движению. При наличии в недрах забоя (обнажения) газ в этой зоне выдавливается, подвижность пласта уменьшается, вертикальная деформация и трение увеличиваются, и она сдерживает давление подвижной части. Уточнены схемные представления о механике процессов приводящих к формоизменению и как результат – к резким изменениям нагрузки на забой и возможности инициации динамических явлений, приведены ссылки на других авторов, где выдвинутые предположения о нестационарности массива у забоя, возможности формоизменений и бифуркации получили подтверждение.

Ключевые слова: структура, недра, горный удар, нарушение, поворотный конвейер, камера, формоизменение, бифуркация

CONDITION OF BREEDS AT FACES B ECOLOGICALLY SAFE TECHNOLOGIES OF DREDGING ON THE BASIS OF ROTARY CONVEYORS

[1]Beysembaev K.M., [1]Nokina Zh.N., [2]Teliman I.V., [1]Abdugalieva G.B.

[1]Karaganda State Technical University, Karaganda, e-mail: kakim08@mail.ru;
[2]Ural State Technical University, Ekaterinburg, e-mail: kakim08@mail.ru

Since the end of 80 years of the mine in the developed countries where the technology of the lengthiest lavas was generally applied, are closed. Lavas are effective during the work in layers with ideal mining-and-geological conditions, and they come to an end. Under the influence of technogenic activity of the person there is a development of earlier safe violations in faces. And now they significantly constrain works. The danger of the gasdynamic phenomena in mines is created. New technologies are created on the basis of short faces and chamber dredging which basic element is the rotary conveyor capable essentially to improve technologies of works and transportation of solid minerals on curvilinear developments. Gas and coal layer in the untouched massif consists of parts with gas, difudiruyushchy between them, under pressure and is in a state ready to driving. In the presence in a subsoil of a face (exposure) gas in this zone is squeezed out, the mobility of layer decreases, vertical deformation and a sliding friction increase, and it constrains pressure of the relative frame part. Circuit ideas of mechanics of the processes leading to forming and as result – to jumps of load of a face and possibilities of initiation of the dynamic phenomena, references to other authors where the made assumptions of a massif not stationarity at a face, possibilities of formings and a bifurcation received confirmation are given are specified.

Keywords: structure, subsoil, mountain blow, violation, rotary conveyor, camera, forming, bifurcation

Недра Земли в зонах техногенной деятельности человека в результате отработки твердых жидких и газообразных ископаемых представляют собой изрезанные до глубин 300–5000 м участки. Например, глубина некоторых карьеров доходит до 300 м, а горные работы с проведением выработок для вентиляции и транспортирования минералов, оконтуривающих столбы для сплошной выемки, затрагивают площади 200*1500 м при использовании технологии лав. В этих районах образуются провалы и заболачивание земной поверхности, часто с химических составом, не пригодным для рыбного хозяйства и эффективной сельскохозяйственной деятельности. Кроме того существующие методики расчета не учитывают особенности формирования призабойной зоны, а технологические схемы не адаптированы к условиям геологической нарушенности и тектонической разбалансировки недр.

Цель исследования: изыскание и уточнение механизмов формирования системы пород у забоев, анализ и разработка элементов новых технологических и конструктивных решений для создания возможности извлечения дополнительных доходов за счет сопутствующих выемке факторов: вторичное использование выработок, попутного газа, формирование новых запасов минералов из потерь полезного ископаемого и вносимых компонентов. Это позволит выстроить логистическую цепочку комплексного использования минерального сырья (КИМС) и недр, определяющую ресурсосберегающую экологически безопасную наукоемкую технологию.

Материалы и методы исследования

Работа базируется на системном и статистическом анализе полученных ранее шахтных данных, теоретических и вычислительных результатах на базе российского и казахстанского институтов проблем комплексного использования недр [1], где, учитывая энергетику обрушения консолей расслаивающихся пород при очистной выемке, были поставлены и проведены исследования проявления горного давления, множественности состояния недр, влияния больших сдвижений на территории, и формоизменение горного массива. Применен анализ на основе конечноэлементного моделирования, теоретических и экспериментальных исследований других авторов.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования на шахтах [2] показывают повышенное раскрытие в зонах очистных работ разрывных нарушений, которые раньше не оказывали влияния на состояние лав, а ныне при разбалансировке недр могут проявляться в виде горных ударов (ГУ) и газо-динамических явлений [2]. Опыт таких исследований на основе статистической обработки геологических и геофизических данных приведен также в [3, 4]. В работах С.Б. Стажевского при исследовании сыпучих материалов показано, что происходит их разбиение на систему блоков, движение которых по линиям скольжения и есть основной процесс деформирования. Близкий механизм горного удара в блочной среде предложен М.А. Садовским за счет разрядки накопленной потенциальной энергии в виде переупаковки системы.

Установлено, что линии скольжения, исходя из методик фотомоделирования, представляют собой изостаты главных напряжений и в твердых минералах они близки к траекториям разрушения. Выбор такой траектории для пород может быть сделан из анализа в её окрестности растягивающих напряжений, поскольку предел прочности на растяжение в ~ 10 раз меньше предела на сжатие. Возрастание нарушенности при техногенной деятельности человека объясняется интенсификацией движения флюидов вдоль плоскостей сдвижения, когда размокание пород приводит к усилению блочной и слоевой дифференциации недр, перераспределению потенциальной энергии в кинетическую при движении очистных забоев. Чем больше длина лавы, тем вероятнее проявление негативных факторов, с резкой ассиметрией нагружения забоев и выработок. Исследования ИПКОН НАН РК, а затем и в КарГТУ нагружения в таких средах очистных забоев, обосновывают возможный бифуркационный характер обрушений горных пород [5], когда протекающие формоизменения освобождают связи в системе слоев и та практически мгновенно занимает новое деформационное состояние с выделением огромной энергии при волнообразной деформации системы. В строительных конструкциях, особенно оболочного и стержневого типа, это приводит к мгновенным разрушениям. В подземных сооружениях они могут инициировать внезапные ГУ и выбросы. Этому способствует и специфическое состояние горных пород, прошедших предельные нагружения, а также и явление дезинтеграции, которое можно уже рассчитать [6]. В сложных системах происходит дифференциация на группы из небольших элементов, входящих в большие системы, например, пакета слоев пород, непосредственно примыкающих к забою и взаимодействующих с крепью и пролетов вышележащих слоев, образующих различные системы, например, своды для сводообразующих пород или протяженные, периодически обрушающиеся консоли, или плавно опускающиеся на обрушенные породы [7, 8]. В них формоизменения протекают неравномерно без видимого порядка при переходе из группы в группу и внутри групп, а сами группы с приближением к зоне горных работ, по размерам уменьшаются. Их разрядка может происходить случайно, сопровождаясь малыми ударами. Совокупность малых ударов в свою очередь подготавливают к бифуркации удаленные большие участки, энергия которых во много раз больше. Малые же участки играют роль своеобразных буферов. Динамические явления в таких систе-

мах описываются сложными уравнениями, составление которых затруднено многофакторностью параметров. Но и статические решения позволяют дать предварительную оценку явления, показать зоны, где нагрузка резко увеличится не только за счет возникающего рычага при освобождении от лишних связей пролета, но и за счет возможности высвобождения накопленной упругой энергии деформации другими напряженными пролетами при их совместном действии через оставшиеся связи. При этом, не смотря на используемые линейные решения метода конечных элементов (МКЭ) и его частных видов, полученные данные говорят о высоких реализующихся энергиях. Они еще более увеличатся при переходе к динамическим решениям, учитывающим ускорения смещающихся пролетов. Поэтому идентификация ГУ в первом приближении может опираться, на упрощенные расчеты, но они эффективны при работе в системе с обратной связью в горном массиве, когда можно снимать импульсы из массива, сравнивая с расчетными данными.

Внезапное динамическое нагружение получает массив у выработки сразу на большом протяжении в глубину пласта, и если произошла потеря равновесия, и возникло его скольжение, то, соответственно, в движение приходят все разрыхленные массы, получившие удар сразу по всей длине и, соответственно, сразу же перемещающиеся в сторону обнажения. Бифуркационная природа обрушений, судя по [9–10], получила теоретическое доообоснование с экспериментальным подтверждением и в других источниках.

таблице, рассматривается в рамках точности до порядка, поскольку опыт и изучение явления показывают, что выброс, как и ГУ, происходит при наложении нескольких факторов, а мы освещаем основной. Процесс изменения деформационной формы напряженных слоев кровли над крепью в выделенном объеме, например, если имеется пакет слоев, а выше него рассматривается полуплоскость – т.е. малодеформируемый объект (принятая в теории упругости схема взаимодействия) происходит после достижения некоторой критического для данной системы освобождения от связи (отслоения) между участками самих слоев и слоя с полуплоскостью. До этого они сопровождаются плавным изменением напряженного состояния в зоне, например, над пластом, а после – скачком напряжений. Выделенную энергию Еб можно разделить на основные составляющие:

$$Еб = Еп + Ев, \quad (1)$$

где Еп – энергия продолжения деформирования пласта перед забоем, с выполнением его переупаковки;
Ев – энергия продолжения деформации остальной части зоны опорного давления, где повышающееся скачком давление газа расширяет дисковые трещины и переводит систему в подвижное состояние, так что оно подготовлено к выбросу.

Для угля, содержащего метан CH_4, происходит образование ячеистой структуры с диффундирующим газом в пространстве между ячейками [7]. Это снижает трение между центральными более плотными частичками. Схемы такого массива раз-

Энергия ГУ

№ п/п	Показатель	Энергия удара Е, Дж	Характер обрушения пород
1	Слабый ГУ	От 10^4 до 10^5 3	Сводообразование
2	Сильный ГУ	10^5 до 10^6	Периодические обрушения кровли и особенно первичные посадки
3	Очень сильный ГУ	10^5 до 10^6	Комплексные осадки

В таблице с учетом данных [4] дана приближенная энергетическая характеристика ГУ с дифференциацией по типам схем обрушений, для которых расчетные методы определения напряжений, деформаций и энергии отработаны [2, 7, 8]. Приближённо сравним баланс энергии выброса, определяемой из условия перемещения разрыхленного массива с энергетикой, выделяющейся при бифуркации плит над выработкой. Баланс, судя по

личны и, в частности, исходят из наличия системных дисковых трещин с зонами пластического деформирования у их концов, которые могут пересекаться (по С.А. Христиановичу) (рис. 1, а). Эти пластические зоны проницаемы для газа, и поэтому структура зоны может «дышать». Заполненные газом трещины (или поры) с начального момента формирования месторождения составляют структуру газо-угольного пла-

ста с некоторым модулем упругости, но, подходя к обнажению пласта, они в результате потери газа смыкаются, а деформация этого участка скачком увеличивается (модуль уменьшается). Следовательно, в результате перераспределения сил горного давления его пик смещается в глубину, но вместе с тем коэффициент трения частичек, расположенных ближе к открытой поверхности забоя, увеличивается (рис. 1, б). Поэтому у груди забоя образуется «пробка», материал которой малоподвижен. И она сдерживает подвижную часть массива. По другим представлениям наряду с дискообразными трещинами в угольном пласте на такую картину накладывается стуктура близкая к сети углеродных нанотрубок «d» естественного происхождения, которые также заполнены газом, но их объем в силу межмолекулярного сцепления газа внутри трубки (или капилляра) в меньшей степени реагирует на приближение к поверхности забоя, что может повлиять на стационарность системы. И сделать её менее прогнозируемой. Существует и математическая абстракция, позволяющая описать переходные состояния у забоя за счет скачкообразного изменения модуля упругости от зоны к зоне, при этом процессы в структуре рассматриваются как переупаковка [3, 7], изменяющая свою плотность скачками в зависимости от степени сжатия объема. Расчет таких систем исходит из предварительно заполняемой матрицы (по экспериментальным данным), описывающей значение модулей в зависимости от геометрии областей, действующего давления и коэффициентов трения на контактах. Исходя из рассчитываемого предварительного давления для продолжения расчета выбирается величина следующего модуля. Переупаковка может исходить из специфического строения пород (рис. 1, в), когда блочные смещения по линиям скольжения в этих зонах способны неоднократно переходить от одной устойчивости к другой, меняя молекулярное взаимодействие по схеме порядок – хаос – порядок. В этом случае при сдвиге в некотором положении расстояние между частичками увеличивается и связи нарушаются, но при последующем скольжении достигается соединение с другими соседними частичками, и возникают новые связи при изменившейся плотности (об этом сообщала группа во ВНИМИ С.В. Кузнецова в конце 1980-х, начале 1990 гг.).

В работах И.Л. Этингера указывается, что энергия выброса может превышать расчетные значения. А они обычно исходят из энергии деформации массива под действием горного давления. То есть необходим дополнительный источник энергии. Расчеты на основе статических решений, указывающих на многократное возрастание напряжений над пластом при формоизменении системы, позволяют такой источник указать. В то же время изучение статистики энергетики выбросов показывает, что ее величину следует рассматривать как нестационарную – она для одних и тех же сечений выработки и давлений на привыработочную зону может резко отличаться. Причем отличия по различным данным могут составлять более 1 порядка, что подтверждает необходимость создания расширенных моделей, в том числе и для систем с активными средами, например с развитой тектоникой. Как известно, в таких условиях развязываются процессы самоорганизации и в зависимости от их уровня и величин параметров активных сред выделяемая энергетика может быть различной. Здесь стрелка показывает возможность

$$\text{Еб} + \text{Ед} = \text{Еп} + \text{Ев} \qquad (2)$$

инициации процесса самоорганизации, вызванного процессами в левой части.

Таким образом, традиционные технологии представляют весьма большие опасности развязываний газодинамических процессов и их учет вызвал значительное подорожание добычи угля на рубеже конца 1980-х гг., приведя к тому, что сопротивление механизированных крепей для безопасной выемки увеличилось не менее чем в 3 раза, а вес секции шириной до 1,5 м достиг 15–20 тс. Поэтому в последние годы получила развитие открытая добыча. Но она приводит к прямому поступлению в атмосферу газов и излучений с огромных площадей, обнаженных горными работами недр. Так, в Казахстане произошло сокращение подземной добычи, и из 26 осталось 8 шахт. В результате были открыты угольные разрезы (в Карагандинской области это Шубаркульский угольный разрез и др., что на время позволило республике справиться с задачами обновления экономики.

Анализ ИПКОН НАН РК показал, что следует изыскать новые гибкие технологии на основе подходов КИМС, и поэтому были предложены камерные и скважинные технологии, последние успешно внедрены при разработке нефти и газа и могут применяться и при добыче твердых минералов. Например, посредством скважин производится гидроразрыв пласта, и нагнетаются

химические компоненты для диспергирования (разрушения горного массива). Но пока они дороги и не всегда эффективны. Технологии камерной выемки (рис. 2) напоминают скважинные, и уже в 1980-х гг. прошли промышленные испытания автоматизированные агрегаты. Они обслуживались человеком, на основных выработках, а затем производили выемку камер на проектную длину до 100 м в автоматизированном варианте, в том числе и с контролем положения агрегата в пласте. Например, система Тентек, испытанная на ш. Тентекская в Караганде в 1980 гг.

Важным критерием сравнения технологий является время крепления выработок на 1 м забоя.

Для лавной технологии:

$$T_{л} = n_{л}*Q_{р}*2\pi r_{р}*L + m_{л}*Q_{дп}*2\pi r_{дп} + t_{пз}. \quad (3)$$

Для короткозабойной технологии:

$$T_{к} = t_{д} + t_{п} + n_{к}*2\pi r_{к}*L_{к} + t_{пзк}. \quad (4)$$

Здесь r, $r_{к}$, $r_{дп}$ – радиусы поршней цилиндров распора сравниваемых крепей и домкратов передвижения;

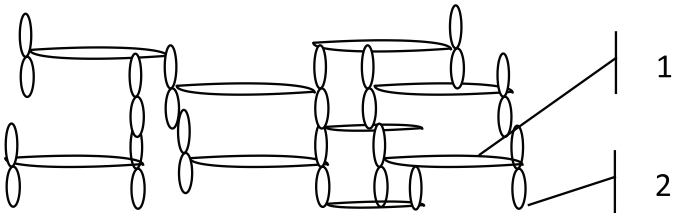
$Q_{р}$, $Q_{дп}$ – производительность подачи рабочей жидкости в гидроприёмники распора и передвижения;

$n_{л}$, $m_{д}$ – количество гидроприёмников для распора и передвижения в лаве;

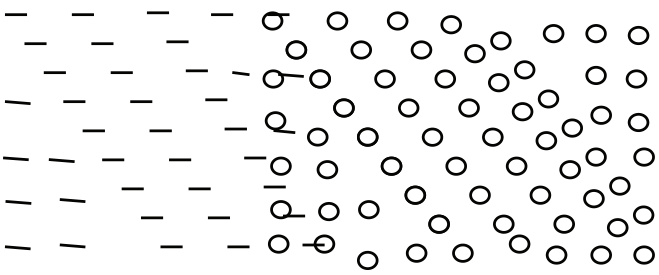
$L_{л}$, $L_{к}$ – ход гидроприёмников распора и передвижения в лаве и камере;

$t_{пзл}$, $t_{пзк}$ – время подготовительно-заключительных операций в лаве и камере при креплении кровли;

$t_{д} + t_{п}$ – время доставки крепи в зону крепления и время подъёма к кровле.

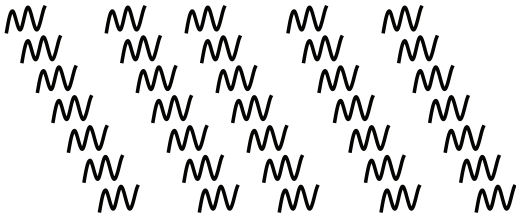


а)



б)

в)



г)

Рис. 1. Особенности структуры зоны опорного давления пластов с фильтрационными каналами: а – по Христиановичу С.А. (1 – трещины; 2 – пластические зоны у концов трещин); б – пробка (слева) и дисковые трещины с газом (справа); в – структура кристаллических пород; г – системы с сетью углеродных нанотрубок и бахромчатых «мицел» в угле пронизывающих пласт

Анализ выражений для лавной технологии показывает, что для автоматизированных систем сократить длительность операций, представленных выделенными членами в выражении (3), сложнее, что может увеличить общее время крепления в несколько раз по сравнению с камерными. Лавные технологий будут изменяться, переходя на сокращение длины лав до 50–20 м за счет использования автоматизированных систем разворота забоя (рис. 3). Но важным моментом в создании эффективных и безопасных систем добычи является наличие совместных организационных структур: университетов и предприятий, в том числе и на международном уровне (корпоративные образовательно-производственные центры) с совместной лабораторной и научной базой. При этом разработка форм совместной кооперации является, важной, хотя и трудной задачей современности, что и было одной из специфических задач институтов ИПКОН.

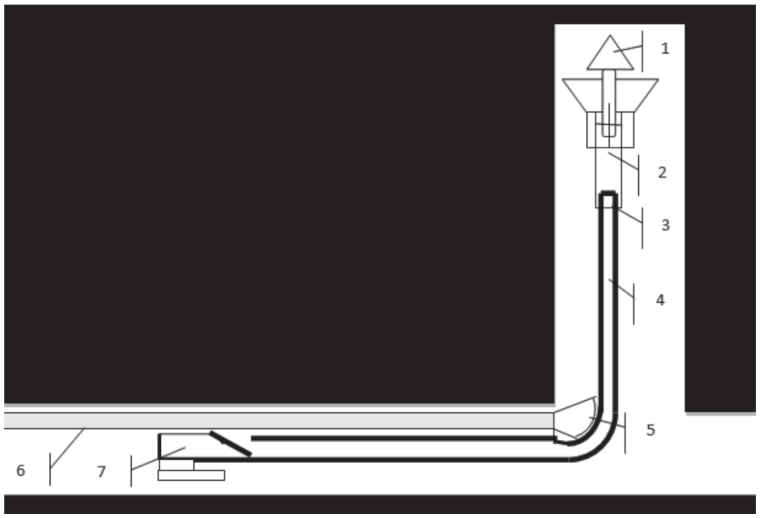


Рис. 2. Камерная выемка: 1 – комбайн; 2 – перегрузчик; 3 – зона перегрузки; 4 – ПК; 5 – направляющие; 6 – штековый конвейер; 7 – привод и зона разгрузки

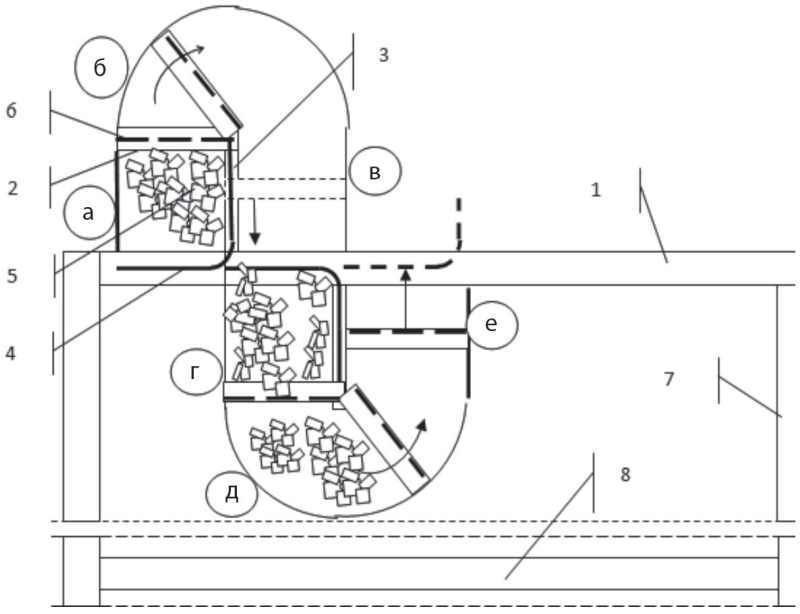


Рис. 3. Схема работ с поворотами забоя: а, б, в, г, д, е – зоны поворота; 1 – основная выработка; 2 – короткий забой с комбайном; 3 – транспортная выработка; 4 – ПК; 5 – обрушение кровли; 6 – забойный конвейер; 7 – штреки между столбами; 8 – выработка соседнего столба

Указанные системы эффективны при наличии самопередвигающихся поворотных конвейеров (ПК) и мобильных роботизированных крепей. И в этом случае металлоемкость работ уменьшится до 3 раз. Отпадет необходимость монтажно-демонтажных работ. На выработках впереди зоны очистных работ будут установлены современные автоматизированные буровые станки для контроля и управления состояния массива и предотвращения газодинамических явлений. Задачи создания систем прогнозирующего и управляющего программного обеспечения были поставлены МОН РК и НАН РК еще в 1990-е гг. При этом исходили из того, что точность прогнозирования состояния забоя и боковых пород из-за повышения их сплошности возрастет. Ныне это подтверждают расчеты, выполненные на основе метода конечных элементов (МКЭ), что приведет к улучшению режимов управления на основе обратной связи [7, 8]. Все элементы этих технологий, хотя и по отдельности, прошли промышленные испытания, показали работоспособность и для них получены практические рекомендации по совершенствованию.

Заключение

Учет состояния газоугольного пласта и его дифференциации у забоя позволяет уточнить модели и схемные представления о механике процессов, приводящих к формоизменению. Обновленные технологические схемы с поворотным конвейером обеспечивают экологически безопасную короткозабойную выемку, а их расчет на основе МКЭ дает возможность учитывать особенности архитектуры выработок, зоны поворота, схемы обрушення пород, полости от предыдущей выемки и др. Предложенная технология позволяет отрабатывать сложноизвлекаемые твердые минералы при начальных затратах в ~ 3 раза меньших, чем при использовании лав, и вовлечь в добычу забалансовые запасы.

Работа выполнена по программе МОН РК AP05134441 «Разработка, изготовление и испытание новой конструкции поворотного узла конвейера с поворотом грузопотока на угол до 90 градусов в плоскости почвы выработки для систем забойной выемки и криволинейных выработок».

Список литературы

1. Трубецкой К.Н. Геоэкология освоения недр и экогеотехнологии разработки месторождений / К.Н. Трубецкой, Ю.П. Галченко. – М.: ООО «Научтехлитиздат», 2015. – 360 с.

2. Бейсембаев К.М. Исследование особенностей состояния горных пород в недрах / К.М. Бейсембаев, С.С. Жетесов, М.Н. Шманов // Комплексное использование минерального сырья. – 2009. – № 3. – С. 3–11.

3. Садовский М.А. Деформирование геофизической среды и сейсмический процесс / М.А. Садовский, Л. Г. Болховитинов, В.Ф. Писаренко. – М.: Наука, 1987. – 100 с.

4. Шемякин Е.И. К вопросу о классификации горных ударов / Е.И. Шемякин, М.В. Курленя, Г.И. Кулаков // ФТПРПИ. – 1986. – № 5. – С. 3–11.

5. Физические и информационные аспекты формоизменения сооружений / К.М. Бейсембаев [и др.] // Вестник КарГУ им. Е.А. Букетова. Серия Физика. – 2006. – № 2 (42). – С. 53–62.

6. Зональная дезинтеграция вокруг очистных выработок / М. Ройтер [и др.] // ФТПРПИ. – 2015. – № 2. – С. 46–52.

7. Исследование состояния горного массива при подвигании лавы / К.М. Бейсембаев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2013. – № 3. – С. 69–76.

8. Beysembayev K.M., Reshetnikova O.S., Nokina Zn.N., Teliman I.V., Asmagambet D.K. New technologies of mining stratal minerals and their computation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Simulation and automation of production engeenering, March 2018, Vol. 327, no. 327, pp. 1–7. DOI: 10ю1088/1757-899X/327/2/02/2012.

9. Мельников Н.Н. Техногенные геодинамические процессы при освоении нефтегазовых месторождений шельфа Баренцева моря / Н.Н. Мельников, А.И. Калашник, Н.А. Калашник // Вестник МГТУ. – 2009. – Т. 12, № 4. – С. 601–608.

10. Калашник А.И. Геодинамические аспекты освоения Штокмановского месторождения / А.И. Калашник, Н.А. Калашник // Газовая промышленность. – 2009. – № 12. – С. 36–40.

References

1. Trubeczkoj K.N. Geoe`kologiya osvoeniya nedr i e`kogeotexnologii razrabotki mestorozhdenij / K.N. Trubeczkoj, Yu.P. Galchenko. – M.: OOO «Nauchtexlitizdat», 2015. – 360 p.

2. Bejsembaev K.M. Issledovanie osobennostej sostoyaniya gorny`x porod v nedrax / K.M. Bejsembaev, S.S. Zhetesov, M.N. Shmanov // Kompleksnoe ispol`zovanie mineral`nogo sy`r`ya. – 2009. – № 3. – pp. 3–11.

3. Sadovskij M.A. Deformirovanie geofizicheskoj sredy` i sejsmicheskij process / M.A. Sadovskij, L.G. Bolxovitinov, V.F. Pisarenko. – M.: Nauka, 1987. – 100 p.

4. Shemyakin E.I. K voprosu o klassifikacii gorny`x udarov / E.I. Shemyakin, M.V. Kurlenya, G.I. Kulakov // FTPRPI. – 1986. – № 5. – pp. 3–11.

5. Fizicheskie i informacionny`e aspekty` formoizmeneniya sooruzhenij / K.M. Bejsembaev [i dr.] // Vestnik KarGU im. E.A. Buketova. Seriya Fizika. – 2006. – № 2 (42). – pp. 53–62.

6. Zonal`naya dezintegraciya vokrug ochistny`x vy`rabotok / M. Rojter [i dr.] // FTPRPI. – 2015. – № 2. – pp. 46–52.

7. Issledovanie sostoyaniya gornogo massiva pri podvigan-ii lavy` / K.M. Bejsembaev [i dr.] // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Gorny`j zhurnal. – 2013. – № 3. – pp. 69–76.

8. Beysembayev K.M., Reshetnikova O.S., Nokina Zn.N., Teliman I.V., Asmagambet D.K. New technologies of mining stratal minerals and their computation. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Simulation and automation of production engeenering, March 2018, Vol. 327, no. 327, pp. 1–7. DOI: 10yu1088/1757-899X/327/2/02/2012.

9. Mel`nikov N.N. Texnogenny`e geodinamicheskie processy` pri osvoenii neftegazovy`x mestorozhdenij shel`fa Barenceva morya / N.N. Mel`nikov, A.I. Kalashnik, N.A. Kalashnik // Vestnik MGTU. – 2009. – T. 12, № 4. – pp. 601–608.

10. Kalashnik A.I. Geodinamicheskie aspekty` osvoeniya Shtokmanovskogo mestorozhdeniya / A.I. Kalashnik, N.A. Kalashnik // Gazovaya promy`shlennost`. – 2009. – № 12. – pp. 36–40.

УДК 911.2

ПРОГНОЗ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЕОСИСТЕМ СЕВЕРНОГО ПРИОЛЬХОНЬЯ

Бибаева А.Ю.

ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: pav_a86@mail.ru

Для современных географических исследований в аспекте охраны и оптимизации природной среды важным направлением является изучение, оценка и прогноз изменений геосистемной структуры территории под воздействием внешних факторов. Современная тенденция климатических изменений в северном полушарии сопровождается увеличением числа случаев экстремальных погодных явлений; для территории Прибайкалья характерны засухи. Последний фактор усугубляет пирогенную обстановку в регионе. В изменяющихся условиях фонового воздействия геосистем регионального уровня пирогенный фактор выступает в роли катализатора преобразования геосистем. 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. Исследование направлено на выявление и картографирование динамических и структурных преобразований геосистем северного Приольхонья (западное побережье оз. Байкал), подверженных пирогенному воздействию. Пространственный анализ распространения гарей и горельников производился на основе данных дистанционного зондирования Земли Landsat 8 (OLI) в среде ГИС. Источником информации о породном составе древостоя послужили лесотаксационные материалы. Выделены группы фаций на территории северного Приольхонья, подверженные деструктивному воздействию пирогенного фактора в период с 2014 по 2015 гг. Прогнозируется длительная деградация лесорастительных условий с затяжной стадией восстановления, замещение на части ареала коренных темнохвойных лесов светлохвойными, а лиственнично-сосновых остепненных лесов, преимущественно по южным склонам, – степными сообществами. В высокогорной части Приморского хребта уничтожение огнем кедровостланниковых сообществ способствует широкому распространению каменных россыпей (курумов).

Ключевые слова: пирогенный фактор, динамика геосистем, трансформация, физико-географические процессы, Приольхонье

GEOSYSTEM TRANSFORMATIONS FORECAST OF THE NORTHERN PRIOLKHONYE

Bibaeva A.Yu.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: pav_a86@mail.ru

Studying, assessment and forecast of changes in the geosystem structure of the territory under the influence of external factors are important parth of modern geographical research in the aspect of protection and optimization of the natural environment. The current trend of climatic changes in the northern hemisphere is accompanied by an increase in the number of cases of extreme weather events; droughts are typical for Baikal region. The latter factor enhances the pyrogenic situation in the region. In the changing conditions of the regional geosystems background impact, the pyrogenic factor acts as a catalyst for the transformation of geosystems. The most significant negative consequences affect the unique geosystems of the Olkhon region, which territory fully belong to the catchment area of the Lake Baikal and its central ecological zone. The research is aimed at identifying and mapping the dynamic and structural transformations of northern Priolhonye geosystems (the western coast of Lake Baikal), influenced by pyrogenic factor. Spatial analysis of the burnt territories location was carried out on the basis of remote sensing data Landsat 8 (OLI) in the GIS. The source of information on the species of the forest stand was forest cover maps. Groups of facies in the territory of northern Priolhonye, influenced by destructive pyrogenic factor in the period 2014 – 2015 years were exposed. Long-term degradation of forest-growing conditions with a long renewal stage, replacement of dark-coniferous forests by light-coniferous forests, and larch-pine steppe forests, mainly in the southern slopes, by steppe communities on a part of the range of their habitats are predicted. In the highland part of the Primorsky Range, the cedar-walled communities destructed by fireare will be replaced by stone placers (kurums).

Keywords: pyrogenic factor, in the dynamics of geosystems, transformation, physiographic processes, Priolkhonye

Проблема сохранения уникальных геосистем и рационального природопользования в границах центральной экологической зоны оз. Байкал остро обсуждается на самом высоком – федеральном уровне власти. На большей части Прибайкалья функционирует расширенная система особо охраняемых природных территорий (заказников, заповедников, национальных парков), призванных сохранить первозданность и разнообразие неповторимых ландшафтных и пейзажных комплексов уникального региона.

Современная тенденция потепления климата северного полушария сопровождается рядом негативных следствий, связанных с увеличением числа случаев экстремальных погодных явлений, обусловленных атмосферными блокированиями и нарушением западного переноса [1]. Для территории Прибайкалья участились случаи экстремальных засух, сопровождаемых устойчивым ростом годовых температур воздуха и снижением годовых величин сумм осадков [2].

На фоне происходящих климатических изменений усиливаются последствия воздействия природных и антропогенных факторов на геосистемную структуру территории, выраженные в увеличении длительности восстановительной динамики (восстановления вертикальных и латеральных связей), а в ряде случав – в разрушении инвариантной структуры и трансформации геосистем.

Вопросы оценки и прогноза изменений геосистемной структуры территории под воздействием внешних факторов для целей управления рациональным природопользованием региона является основой современных географических исследований.

Территория исследования. Территория исследования – Приольхонье – расположена в средней части западного побережья оз. Байкал, непосредственно напротив о. Ольхон. Район является репрезентативным в отношении основного деструктивного фактора трансформации геосистем и включает территории технического участка № 2 (колхоз «20-го съезда КПСС») Бугульдейского участкового лесничества, Сарминской дачи Ольхонского участкового лесничества Иркутской области и Онгуренского лесничества Прибайкальского государственного природного национального парка.

Геосистемная организация района исследования определяется его положением в Байкало-Джугджурской физико-географической области. Климатические условия формируются в значительной степени под влиянием местных физико-географических факторов, прежде всего орографии и водной массы озера, обусловливающих проявление барьерно-теневого, аридно-котловинного и подгорного эффектов.

Приморский хребет, образующий западный борт Байкальской котловины, оказывает значительное влияние на формирование мезоклиматических условий в этой части котловины и определяет парагенетическое развитие и существование уникального сочетания контрастных по природным режимам таежных и степных геосистем, являющихся характерной особенностью данной территории.

Материалы и методы исследования

Одним из ведущих факторов преобразующей динамики геосистем района являются пожары. Согласно схеме пирологического районирования Прибайкалья [3] леса Приольхонья относятся к категории с повышенной потенциальной горимостью, обеспечиваемой благоприятными климатическими и лесорастительными условиями. Это ухудшает пожарную обстановку в регионе. Так, только в 2014–2015 гг. зарегистрированы значительные площади (более 200 км^2), пройденные растительными пожарами разной интенсивности [4].

Для выявления территорий, подверженных пирогенному фактору, вычисления площадей гарей использовались разновременные космические снимки Landsat 8 (OLI) в период с 2000 г. Преимущество отдавалось снимкам осеннего сезона во временном промежутке – с окончания пожароопасного периода до начала формирования снежного покрова (конец сентября – начало октября) и уровнем облачности менее 20%; при их отсутствии применялись весенние снимки следующего года в период после схода снежного покрова (начало июня).

Источником информации о породном составе древостоя, подверженного горению в указанный период, послужили лесотаксационные материалы М 1:25 000 Министерства лесного комплекса Иркутской области и Прибайкальского государственного природного национального парка. Информация о геосистемной структуре исследуемой территории получена по карте «Ландшафты юга Восточной Сибири» (1977 г.). Наложение контуров гарей на карту породного состава и ландшафтную карту производилось в среде ГИС.

Прогнозные исследования преобразований геосистем Северного Приольхонья после пирогенного воздействия производились с использованием опубликованных материалов по изучению динамических изменений компонентов геосистем: сукцессионных серий биогеоценозов (А.В. Белов, В.Н. Моложников, Н.С. Гамова [5] и др.), структурного изменения почвенного покрова [6], эволюционного развития геосистем [7], с использованием карты растительности юга Восточной Сибири под редакцией А.В. Белова (1971), а также планов лесонасаждений Министерства лесного комплекса Иркутской области и Прибайкальского государственного природного национального парка.

Результаты исследования и их обсуждение

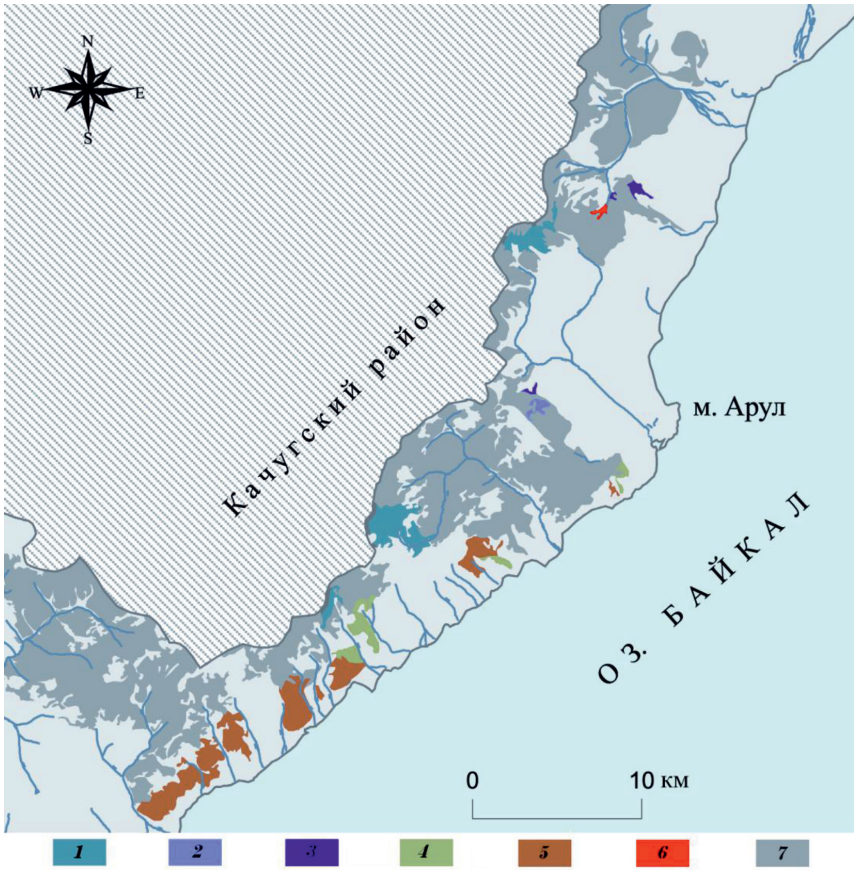
Пирогенный фактор вызывает динамические преобразования природных комплексов, связанные с изменениями всех компонентов. При этом восстановительная

динамика геосистем определяется процессами самоорганизации в условиях изменяющегося климата и по этой причине может также идти в направлении коренной трансформации со сменой инварианта (рисунок, таблица).

После прохождения пожара компоненты геосистем испытывают разную степень изменения. При низовых пожарах в первую очередь деструктивному воздействию подвержены нижние ярусы растительности, главным образом напочвенный покров, продолжительность восстановления которых различна в разных типах лесов. Так, на гарях в зеленомошных типах леса мхи и лишайники погибают не только от огневого, но и от теплового воздействия при пожарах любой интенсивности [8], а первоначальное формирование напочвенного покрова происходит спустя 2–3 года и более [9].

Значительная часть территории Приольхонья, подверженной пирогенному воздействию, приходится на геосистемы подгольцовые кедровостланиковые и темнохвойных горнотаежных кедровых лесов (таблица).

Группы фаций на водоразделах и пологих склонах мохово-лишайниковые местами олуговелые (пустошные) в сочетании с зарослями кедрового стланика, находящиеся в зоне активного морозного выветривания, после прохождения пожаров на части ареала замещаются глыбовыми россыпями. Уничтожение растительного покрова, главным образом кедрового стланика, сдерживающего водную эрозию, приводит к активизации процессов смыва маломощных почв и выноса мелкозема. На выположенных поверхностях происходит медленное (по данным В.Н. Моложникова, до 80–100 лет) восстановление кедровостланиковых биогеоценозов. На участках с многолетнемерзлыми грунтами в результате увеличения поступления солнечной радиации к подстилающей поверхности развиваются процессы заболачивания, затрудняющие возобновление кедрового стланика.



Прогноз преобразования геосистем северного Приольхонья после пирогенного воздействия 2014–2015 гг.: 1–6 – трансформация структуры геосистем (таблица); 7 – восстановительная динамика

Прогноз преобразования геосистем северного Приольхонья и развития комплекса физико-географических процессов после пирогенного воздействия (по [10])

№ п/п	Геосистемы, подверженные влиянию пирогенного фактора	Производные геосистемы	Физико-географические процессы
1	Водоразделы и пологие склоны мохово-лишайниковые местами олуговелые (пустошные) в сочетании с зарослями кедрового стланика	Длительное восстановление лишайникового покрова – 20–50 лет, кедровостланикового покрова – более 80 лет. Восстановление через заросли ольхи кустарниковой и березки Миддендорфа. На части ареала возможно замещение курумами	Деградация многолетней мерзлоты; усиление процессов выноса мелкозема, солифлюкции, заболачивания; интенсификация курумообразования
2	Склоновые кедровые кустарниково-зеленомошные (рододендрон золотистый) местами с баданом	Восстановление через кедр. В условиях усиления засушливости климата региона на части ареала возможна смена на лиственничные и сосновые	Гибель древостоев; усиление эрозионных процессов и солифлюкции, смыв напочвенного покрова и мелкозема, формирование ветровалов в сторону оз. Байкал преобладающими северо-западными ветрами
3	Склоновые лиственнично-кедровые чернично-мелкотравно-зеленомошные	Восстановление через сосново-лиственничное сообщество чернично-зеленомошной группы. В условиях усиления засушливости климата региона на части ареала возможна смена на сосново-лиственничные	В верхних частях по долинам рек таяние многолетней мерзлоты и усиление процессов заболачивания. Усиление эрозионных процессов и солифлюкции, смыв напочвенного покрова и мелкозема
4	Пологие склоны южных экспозиций лиственнично-сосновые рододендровые остепненные	Затяжная стадия восстановления через степные сообщества; на части ареала смена степными разнотравно-злаковыми сообществами	Интенсивный ветровой снос (дефляция) и смыв мелкозема, усиление эрозии при ливневых осадках редкой повторяемости, местами обнажение коренных пород на выпуклых и наветренных склонах, процессы остепнения
5	Крутые склоны сосново-лиственничные редкостойные в сочетании со степными полынными низкотравными литофильными степями часто в сочетании с мелкодерновинно-злаковыми группировками	Затяжная стадия восстановления по березовой серии либо смена на степные мелкодерновинно-злаковые литофильные	Иссушение почв, развитие круглогодичного ветрового и связанного с ним аблювиального сноса, снижение мощности почвенного покрова вплоть до обнажения коренных пород, остепнение, обрушение одиночных глыб. Транзитные процессы, мало зависимые от изменения местных условий, будут идти по-прежнему
6	Водосборные понижения кедрово-пихтовые чернично-травяно-зеленомошные	Замена на кедровое сообщество через сукцессионную смену мелколиственных пород (тополь, осина)	Усиление транзитных процессов

Для геосистем темнохвойных лесов, чувствительных к действию пирогенного фактора, характерно усыхание и отмирание древостоя. Стадии сукцессионного восстановления климаксового сообщества часто проходят через смену пород. Воздействие огня на группы фаций водосборных понижений кедрово-пихтовых чернично-травяно-зеленомошных лесов обусловливает выпадение из состава биоценоза пихты в силу ее высокой чувствительности к пожарам и узкой экологической приспособленности, что сопровождается разрушением структуры геосистем и формированием на их месте кедровых лесов зеленомошной группы через сукцессионную смену мелколиственными породами (тополь, осина).

Отличительной особенностью восстановления кедровых лесов является его тесная связь с деятельностью кедровки, прячущей семена только под моховой покров. По этой причине восстановление кедра возобновляется только после появления мохового покрова [11]. Восстановление групп фаций склоновых кедровых кустарниково-кашкарниковых (рододендрон золотистый) зеленомошных лесов идет без смены эдификатора. Однако в условиях усиления засушливости климата региона на нижней границе ареала распространения кедровых лесов по южным склонам возможна их смена на группы фаций лиственничных и сосновых лесов (таблица). Изреживание древостоев создает

условия для ветровалов уцелевших от пожара деревьев в юго-восточном направлении под действием ветра «горная». Активизируются экзогенные процессы, связанные со смывом маломощной почвы.

Процесс восстановления структурной организации групп фаций склоновых лиственнично-кедровых чернично-мелкотравно-зеленомошных лесов сопровождается сменой лесообразующей породы и протекает через стадию формирования сосново-лиственничного сообщества чернично-зеленомошной группы, которое в изменяющихся условиях фонового воздействия геосистем регионального уровня на части ареала могут сохраняться без восстановления темнохвойного элемента. В верхних частях по долинам рек таяние многолетней мерзлоты приводит к усилению процессов заболачивания и деградации лесорастительных условий, на склонах активизируются эрозионные процессы.

Деструктивное воздействие пирогенного фактора на геосистемы пологих склонов южных экспозиций лиственнично-сосновых рододендровых остепненных лесов обусловливает развитие затяжной стадии восстановления через степные сообщества. Преобразование групп фаций сосново-лиственничных редкостойных лесов в сочетании со степными полынными низкотравными литофильными и мелкодерновинно-злаковыми степями на крутых склонах в прибрежной части оз. Байкал при воздействии огня средней и высокой интенсивности сопровождается усыханием древостоя и развитием на их месте мелкодерновинно-злаковых литофильных степей.

Таким образом, динамические преобразования структуры геосистем северного Приольхонья, наметившиеся в условиях региональных изменений гидротермических условий, усиливаются благодаря пирогенному фактору. Прогнозируется длительная деградация лесорастительных условий с затяжной стадией восстановления, замещение на части ареала коренных темнохвойных лесов светлохвойными, а лиственнично-сосновых остепненных лесов, преимущественно по южным склонам, – степными сообществами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-05-00902.

Список литературы

1. Антохина О.Ю. Влияние атмосферного блокирования на пространственное распределение атмосферных осадков над Евразией в летний период / О.Ю. Антохина, П.Н. Антохин, Ю.В. Мартынова // Enviromis 2016. – 2016. – С. 368–371.

2. Тенденции гидроклиматических изменений на Байкальской природной территории / Е.В. Максютова [и др.] // География и природные ресурсы. – 2012. – № 4. – С. 72–80.

3. Софронов М.А. Пирологическая характеристика растительности бассейна озера Байкал / М.А. Софронов, В.Ф. Анропов, А.В. Волокитина // География и природные ресурсы. – 1999. – № 2. – С. 52–58.

4. Бибаева А.Ю. Анализ пирогенного воздействия на геосистемы Приольхонья по материалам космической съемки / А.Ю. Бибаева // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 12–2. – С. 347–351.

5. Гамова Н.С. Пирогенные смены лесной растительности центральной части Хамар-Дабана (южное Прибайкалье) / Н.С. Гамова // Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии. – 2014. – № 13. – С. 55–59.

6. Краснощеков Ю.Н. Трансформация серогумусовых почв сосновых лесов под влиянием пожаров в юго-западном Прибайкалье / Ю.Н. Краснощеков // Лесоведение. – 2011. – № 2. – С. 3–12.

7. Безрукова Е.В. Изменение природной среды Приольхонья в среднем-позднем голоцене / Е.В. Безрукова, П.П. Летунова // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Геоархеология. Этнология. Антропология. – 2012. – № 1. – С. 91–105.

8. Ковалева Н.М. Восстановление напочвенного покрова после низовых пожаров в среднетаежных сосняках / Н.М. Ковалева, Г.А. Иванова, Е.А. Кукавская // Лесоведение. – 2011. – № 5. – С. 30–35.

9. Софронов М.А. Методика пирологического обследования и описания лесных участков, пройденных пожарами / М.А. Софронов, А.В. Волокитина. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 71 с.

10. Агафонов Б.П. Распространение и прогноз физико-географических процессов в Байкальской впадине / Б.П. Агафонов // Динамика Байкальской впадины. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 59–138.

11. Попов Л.В. Южнотаежные леса Средней Сибири / Л.В. Попов. – Иркутск: Издательство Иркутского университета, 1982. – 330 с.

References

1. Antoxina O.Yu. Vliyanie atmosfernogo blokirovaniya na prostranstvennoe raspredelenie atmosferny`x osadkov nad Evraziej v letnij period / O.Yu. Antoxina, P.N. Antoxin, Yu.V. Marty`nova // Enviromis 2016. – 2016. – pp. 368–371.

2. Tendencii gidroklimaticheskix izmenenij na Bajkal`skoj prirodnoj territorii / E.V. Maksyutova [i dr.] // Geografiya i prirodny`e resursy`. – 2012. – № 4. – pp. 72–80.

3. Sofronov M.A. Pirologicheskaya xarakteristika rastitel`nosti bassejna ozera Bajkal / M.A. Sofronov, V.F. Anropov, A.V. Volokitina // Geografiya i prirodny`e resursy`. – 1999. – № 2. – pp. 52–58.

4. Bibaeva A.Yu. Analiz pirogennogo vozdejstviya na geosictemy` Priol`xon`ya po materialam kosmicheskoj s``emki / A.Yu. Bibaeva // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2016. – № 12–2. – pp. 347–351.

5. Gamova N.S. Pirogenny`e smeny` lesnoj rastitel`nosti central`noj chasti Xamar-Dabana (yuzhnoe Pribajkal`e) / N.S. Gamova // Problemy` botaniki Yuzhnoj Sibiri i Mongolii. – 2014. – № 13. – pp. 55–59.

6. Krasnoshhekov Yu.N. Transformaciya serogumusovy`x pochv sosnovy`x lesov pod vliyaniem pozharov v yugo-zapadnom Pribajkal`e / Yu.N. Krasnoshhekov // Lesovedenie. – 2011. – № 2. – pp. 3–12.

7. Bezrukova E.V. Izmenenie prirodnoj sredy` Priol`xon`ya v srednem-pozdnem golocene / E.V. Bezrukova, P.P. Letunova // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geoarxeologiya. E`tnologiya. Antropologiya. – 2012. – № 1. – pp. 91–105.

8. Kovaleva N.M. Vosstanovlenie napochvennogo pokrova posle nizovy`x pozharov v srednetaezhny`x sosnyakax / N.M. Kovaleva, G.A. Ivanova, E.A. Kukavskaya // Lesovedenie. – 2011. – № 5. – pp. 30–35.

9. Sofronov M.A. Metodika pirologicheskogo obsledovaniya i opisaniya lesny`x uchastkov, projdenny`x pozharami / M.A. Sofronov, A.V. Volokitina. – Krasnoyarsk: Institut lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN, 2007. – 71 p.

10. Agafonov B.P. Rasprostranenie i prognoz fiziko-geograficheskix processov v Bajkal`skoj vpadine / B.P. Agafonov // Dinamika Bajkal`skoj vpadiny`. – Novosibirsk: Nauka, 1975. – pp. 59–138.

11. Popov L.V. Yuzhnotaezhny`e lesa Srednej Sibiri / L.V. Popov. – Irkutsk: Izdatel`stvo Irkutskogo universiteta, 1982. – 330 p.

УДК 550.3:004.94

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ВУКТЫЛЬСКОЙ ПЛОЩАДИ ПРИ ПОМОЩИ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Вельтистова О.М., Мотрюк Е.Н.

ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта, e-mail: kmotryuk@yandex.ru

В работе рассматривается применение технологии структурно-плотностного моделирования, основанной на решении обратных задач геофизики по комплексу геолого-геофизических данных, для изучения сложнопостроенной территории Верхнепечорской впадины, в частности Вуктыльской площади. В ходе исследований были использованы сейсмические профили, геолого-геофизические разрезы, гравиметрические карты, данные о плотностных характеристиках пород основных нефтегазоносных комплексов. Основным элементом интерпретации являлось решение обратной задачи гравиразведки в классе распределения плотностей, где ключевая роль отводилась виду критерия оптимальности, который обеспечивает возможность выделения плотностных неоднородностей. В статье описаны типы и особенности выбора значений критерия оптимальности, связанные с неоднозначностью и наличием имеющейся геолого-геофизической информации. Динамическое построение начальных приближений производилось посредством созданного в ФГБОУ ВО УГТУ программного модуля Playground с использованием решения прямых задач. Полноценное плоское геолого-геофизическое моделирование осуществлялось разработанным там же комплексом GeoVIP. Особенностью полученных при моделировании геоплотностных разрезов является то, что они удовлетворяют с заданной степенью точности наблюдаемому гравитационному полю, т.е. характеризуют физическую составляющую геологической среды, а не являются отражением изучения различных преобразований потенциальных полей, поэтому могут быть использованы для выделения областей с различными петрофизическими характеристиками. В пределах исследуемых литологических комплексов Вуктыльской площади были выделены области, различные по своим петрофизическим характеристикам, обусловленные литофациальными изменениями и связанные с рифообразованием, отмечены зоны рифовых построек доманико-турнейского возраста. Показано, что применение новых технологий и программного обеспечения в решении задач интегрированной интерпретации геолого-геофизических данных позволяет обнаруживать и выделять перспективные территории с целью поиска залежей углеводородов.

Ключевые слова: технология структурно-плотностного моделирования, Вуктыльская площадь, обратные задачи гравиразведки, критерий оптимальности, рифовые постройки

MODELING OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT OF VUKTYLSKAYA SQUARE USING MODERN COMPUTER TECHNOLOGIES

Veltistova O.M., Motryuk E.N.

Ukhta State Technical University, Ukhta, e-mail: kmotryuk@yandex.ru

Interaction in the field of geological and geophysical data, to study the complex area of the Upper Pechora Basin, in particular, Vuktylskaya Square. Seismic profiles, geological and geophysical sections, gravimetric maps, data on the density characteristics of rocks of the main oil and gas bearing complexes were used during the research. The main element of the interpretation was the solution of the inverse gravity problem in the class of density distribution, where a key role was assigned to the type of optimality criterion that provides the possibility of isolating density inhomogeneities. The article considers the types and features of the choice of the criterion of optimality associated with ambiguity and the availability of available geological and geophysical information. Dynamic construction of initial approximations was carried out by means of the Playground software module created in the State Educational Establishment «The USTU» using the solution of direct problems. A full-scale flat geological and geophysical modeling was carried out by the GeoVIP complex developed there. The peculiarity of the geo-density cuts obtained during the simulation is that they satisfy with a given degree of accuracy the observed gravitational field, i.e. characterize the physical component of the geological environment, and do not reflect the study of various transformations of potential fields, so they can be used to identify areas with different petrophysical characteristics. Within the investigated lithological complexes of the Vuktylylskaya area, regions differing in their petrophysical characteristics due to lithofacial changes and associated with reef formation have been identified, zones of reef structures of the Dominican-Turney age have been noted. It is shown that the use of new technologies and software in solving problems of integrated interpretation of geological and geophysical data makes it possible to discover and allocate promising areas for the purpose of searching for hydrocarbon deposits.

Keywords: technology of structural-density modeling, Vuktylskaya square, inverse problems of gravity prospecting, criterion of optimality, reef constructions

Статья посвящена применению современных программных комплексов для решения задач моделирования геологической среды сложнопостроенной территории Верхнепечорской впадины, в частности Вуктыльской площади, по комплексу геолого-геофизических данных.

Цель исследования: в пределах Вуктыльской площади при помощи геоплотностного моделирования на основе ком-

плексного подхода к интерпретации данных гравиразведки и сейсморазведки выделить области, различные по своим петрофизическим характеристикам и связанные с рифообразованием.

Материалы и методы исследования

Для изучения сложнопостроенных тектонических территорий требуется применение современных информационных систем, комплексов программ и технологий [1]. Наиболее точно отражают физическую природу геологической среды и соответствуют наблюдаемым полям модели, построенные на основе критериального подхода к инверсии геофизических полей. На основе обратных задач геофизики в УГТУ под руководством профессора А.И. Кобрунова разработана технология структурно-плотностного моделирования [2, 3], которая используется для построения геолого-геофизических моделей с целью решения задач прогноза и поиска запасов УВ. Она является базой для методики, использующей системный анализ геолого-геофизической информации, где построение плотностной модели сложнопостроенных и слабоизученных сред происходит с заданной степенью точности наблюдаемому гравитационному полю. Для построения начальных приближений, служащих основой для последующего решения задачи инверсии данных гравиразведки, используется программный модуль Playground [4]. Полноценное плоское и пространственное геолого-геофизическое моделирование обеспечивает комплекс программных модулей GeoVIP [5]. Вся имеющаяся априорная информация о физико-геологической модели среды при решении задач инверсии находит отражение в интегрированных критериях оптимальности. Ядро метода составляет оптимизация параметра при условии, что полученное решение должно соответствовать интерпретируемому полю с определенной точностью. В качестве альтернативы предлагается критерий, содержащий в качестве функционала функцию принадлежности распределенных параметров [3, 6], отражающей максимальную энтропию представления данных (происходит учет меры доверия к имеющимся значениям параметра). Данный подход к интерпретации геолого-геофизических данных обеспечивает возможность изучения сложных моделей, осуществления прогноза и изучения локальных неоднородностей, связанных с рифогенными постройками, зонами разуплотнения, повышенной трещиноватостью.

Процесс моделирования включает в себя решение прямых и обратных задач гравиразведки. Формирование начального приближения физико-геологических моделей выполняется по сейсмическим данным, результатам анализа плотностей, слагающих выделенные комплексы и результатам исследования керна. Обратная задача гравиразведки в классе распределения плотностей состоит в нахождении модели среды по соответствующей модели физического поля (гравитационного).

Прямая задача гравиметрии состоит в нахождении вертикальной производной гравитационного потенциала $u_z(x_0, z_0)$, где точка (x_0) регистрируется на поверхности в $E_+ (z > 0)$ с уравнением $z_0 = (x_0)$ для плотностной модели, задана следующим соотношением между $u_z(x_0, z_0)$ и $\sigma(x, z)$:

$$A\left(\sigma\left(x,z\right)\right)= u_z\left(x_0, z_0 = \psi\left(x_0\right)\right)= 2\iint\limits_S \frac{\gamma\sigma\left(z-\psi(x_0)\right)dxdz}{\left[\left(x-x_0\right)^2+\left(z-\psi(x_0)\right)^2\right]}, \quad (1)$$

где $\gamma = 6{,}67408(31)\cdot 10^{-11}$ м$^3\cdot$с$^{-2}\cdot$кг$^{-1}$ (поле в миллигалах, расстояния в метрах, плотность в г/см^3) – гравитационная постоянная.

Для построения плотностной модели геологической среды решение обратной задачи гравиразведки может быть представлено в форме

$$J\left[\sigma\left(v\right)\right]= J(\sigma,\sigma^0)= \left\|F(\sigma-\sigma^0)\right\|_x = \int\limits_V \left|F(\sigma(v)-\sigma^0(v))\right|^2 dv = \int\limits_V \frac{\left[\sigma\left(v\right)-\sigma^0\left(v\right)\right]^2}{\tau^2\left(v\right)}dv \to \min,$$

$$A(\sigma)= u,$$

$$\sigma \in X, u \in U. \quad (2)$$

Критерий оптимальности выражен функционалом J, σ^0 – начальное приближение, σ – искомый элемент, принадлежащий некоторому функциональному пространству X, u – физическое поле, принадлежащее пространству U, величина $\tau'(v) = 1/\tau(v)$ имеет смысл априорной оценки среднеквадратического уклонения искомого решения от заданного к нему нулевого приближения [2]. Значения весового множителя варьируются в пределах от 0 до 1. Например, в пределах территории, достаточно разбуренной поисковыми скважинами, параметр критерия оптимальности берется близким к 0, а по мере удаления от таких мест – к 1. Используемый критерий оптимальности позволяет учитывать задаваемую величину отклонения параметра плотности от начального приближения, а также дает возможность вводить разную степень варьирования изучаемого параметра, в частности, в пределах изучаемого комплекса пород, согласно имеющейся априорной информации [7].

Неопределенность, нечеткость параметра $\sigma(v)$, который требуется восстановить, позволяет представить его как нечеткую величину [6] и полностью характеризуется своей функцией принадлежности $0 \le \mu(\sigma) \le 1$, имеющей смысл меры достоверности, что позволяет оценить количественно достоверность данных, и поэтому может использоваться для формирования критерия отбора наилучшего решения $J[\sigma(v)]$, который в (2) может быть определен так:

$$J\left[\sigma(v)\right] = \left\|\mu\left(\sigma(v)\right)\right\|_X = \min_{v \in V} \mu\left(\sigma(v)\right) \to \max,$$

$$X = C^0(V). \qquad (3)$$

Смысл критерия оптимальности (3) заключается в таком подборе $\sigma(v)$, для которого минимальное значение достоверности по пространственным координатам было бы максимальным.

В настоящее время нефтегазовые кампании проявляют интерес к изучению строения складчато-надвиговых зон Верхнепечорской впадины с целью выявления новых тектонических блоков пород, связанных с ловушками углеводородов. В связи с этим в статье рассматривалось применение технологии к моделированию геологической среды Вуктыльской площади, расположенной в ее пределах (рис. 1). Выделенные по данным сейсморазведочных работ в северо-восточной части впадины рифогенные постройки являются первоочередными объектами для дальнейших исследований [8].

При применении вычислительных экспериментов были использованы сейсмические профили, геолого-геофизические разрезы, гравиметрические карты, данные о плотностных характеристиках пород основных нефтегазоносных комплексов.

Верхнепечорская впадина относится к южному окончанию северного сегмента Предуральского краевого прогиба Тимано-Печорской плиты и является структурой первого порядка [9]. В тектоническом плане впадина приурочена к краевой части Тимано-Печорской плиты. По морфологии локальных структур она разделяется на внешнюю, осевую и внутреннюю зоны, отличающиеся разной степенью влияния уральского складкообразования. Границы впадины на северо-востоке проходят по Печоро-Кожвинской зоне разломов, которая ограничивает с юго-запада Печоро-Кожвинский мегавал. Южным ограничением впадины является Полюдово-Колчимская структурная зона, разделяющая Соликамскую и Верхнепечорскую впадины. С востока ограничена главным Западно-Уральском надвигом, прослеженным в виде серии кулисообразно расположенных нарушений. Западная (внешняя) зона впадины выделяется как Печоро-Илычская моноклиналь – структура второго порядка. В осевой части впадины расположена Южно-Вуктыльская синклиналь. Внутренняя приуральская зона Верхнепечорской впадины осложнена серией высокоамплитудных надвигов и характеризуется чешуйчато-надвиговым строением. Складки и надвиги внутренней зоны Верхнепечорской впадины в плане образуют линейную систему дислокаций, выпуклую к западу.

К внутренней части впадины относится Вуктыльская тектоническая пластина – крупный дизпликат (аллохтон), меридионально ориентированный и сорванный по некомпетентным верхнедевонским отложениям. В структурном плане по нижним горизонтам осадочного чехла и по кровле фундамента этой пластине соответствует пологая моноклиналь, погружающаяся в сторону Среднепечорского поперечного поднятия. Западнее, согласно принятой схеме тектонического районирования, выделена Печоро-Илычская моноклиналь, структурные планы которой, по поддоманиковым, наддоманиковым, нижнекаменноугольным и пермским отложениям значительно отличаются, что связано с наличием палеоподнятий в среднедевонское время и предджьерским размывом, формированием рифовых банок, одиночных и барьерных рифов в позднедевонское время и с глубоким предвизейским размывом.

Рис. 1. Выкопировка из «Картосхемы Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции»; тектоническая схема

Условные обозначения к рис. 1

Тектонические элементы
– 1 порядка
– 2 порядка
– границы национальных парков, заповедников

Месторождения
– нефтяные
– газовые
– газоконденсатные

Скважины
– глубокие
– Структуры выявленные

Профили
– расчётные
– отработанные РС

Тектонические элементы
$Н_1$ – Верхнепечорская впадина; $Н_{1-1}$ – Вуктыльская тектоническая пластина; $Н_{1-2}$ – Печоро-Ильчская моноклиналь

Исследуемая территория Верхнепечорской впадины представляет собой полосу пониженных значений гравитационного поля. Напряжённость поля в ней обратно пропорциональна мощности верхнего терригенного комплекса из-за его аномально низкой плотности по отношению к остальной части разреза. Эта плотность непостоянна в разрезе, она увеличивается с глубиной, вследствие уплотнения песчано-глинистой толщи от 2,45 г/см^3 в западной части прогиба до 2,60–2,65 г/см^3 в наиболее прогнутой. Подстилающие породы карбонатного комплекса имеют плотности от 2,65 до 2,76 г/см^3 и меняются в зависимости от принадлежности к различным литоло-фациальным зонам, связанными с рифообразованиями. Величина перепада плотности на границе терригенных и карбонатных пород составляет от 0,12 до 0,15 г/см^3, поэтому поведение этой поверхности влияет на формирование локальных аномалий гравитационного поля. Плотностные неоднородности в виде атоллов, депрессионных областей в составе верхнедевонских отложений в аномальном поле не находят отображение, но хорошо видны при моделировании разреза при решении обратных задач гравиразведки в классе распределения плотностей.

Следующей границей, влияющей на формирование гравитационного поля, является фундамент. Его гипсометрия и разнородный состав, представленный основными и ультраосновными породами, подтверждается бурением скважин 1-Динью, 1-З. Дутово.

Результаты исследования и их обсуждение

При проведении моделирования расчетные профили были выбраны в пределах западной части Печоро-Илычской моноклинали и восточного бота Вуктыльской тектонической пластины, совмещены с сейсмическими профилями 7710-02 и 11087-30 (рис. 1–3). Формирование начального приближения было проведено по сейсмическим разрезам. Поскольку на гравитационное поле оказывают влияние все комплексы горных пород, слагающие осадочный чехол, при решении обратной задачи для каждого из слоев были подобраны свои критерии оптимальности в зависимости от имеющейся информации.

Для верхней части осадочного чехла, наиболее хорошо изученной бурением и включающей терригенные отложения верхнего и нижнего отделов пермской системы, критерий оптимальности составил 0,35–0,4. Результат решения обратной задачи гравиразведки показал, что распределение плотностных характеристик здесь колеблется от 2,48 до 2,51 г/см^3 (рис. 2, 3). Карбонатная часть разреза, включающая отложения нижней перми, карбона, девона, представляет поисковый интерес с точки зрения рифообразования [10]. Для него характерна латеральная изменчивость литологического состава, а следовательно, и плотностных характеристик, поэтому критерий оптимальности варьировался от 0,65 до 0,8. Как видно из рис. 3, расчетные значения плотности составили для рифов 2,67–2,70 г/см^3, для депрессионных осадков – 2,59–2,62 г/см^3.

Нижняя терригенно-карбонатная часть осадочного чехла, представленная отложениями силура и ордовика, не отличается разнообразием плотностных характеристик, ввиду однотипности состава отложений и глубинного фактора, влияющего на большие значения плотностей. Критерий оптимальности здесь составил 0,7–0,8. В результате решения значения плотностей лежат в пределах от 2,70 до 2,74 г/см^3.

Породы фундамента, так же как и рельеф его поверхности, значительно влияют на формирование гравитационного поля Верхнепечорской впадины. Вследствие этого, в зависимости от известного и предполагаемого состава пород (для этого были использованы не только петрофизические данные бурения скважин, но и материалы магнитометрических съемок), критерий оптимальности был выбран 0,8–0,9. Расчетные плотности – 2,76–2,85 г/см^3.

В целом, по результатам проведенных исследований, отмечается хорошее соответствие наблюденного и рассчитанного полей. Невязка по профилю 7710-02 составила 1,15 мГал, по профилю 11087-30 – 1,8 мГал. Как видно из рис. 3, максимальные значения гравитационного поля до 9 мГал в западной части профиля обусловлены породами фундамента и его составом. Вуктыльский надвиг слабо отображается в аномальном поле. Уменьшение поля силы тяжести до минус 12 мГал в восточном направлении обусловлено увеличением мощности терригенной толщи и изменением гипсометрии фундамента.

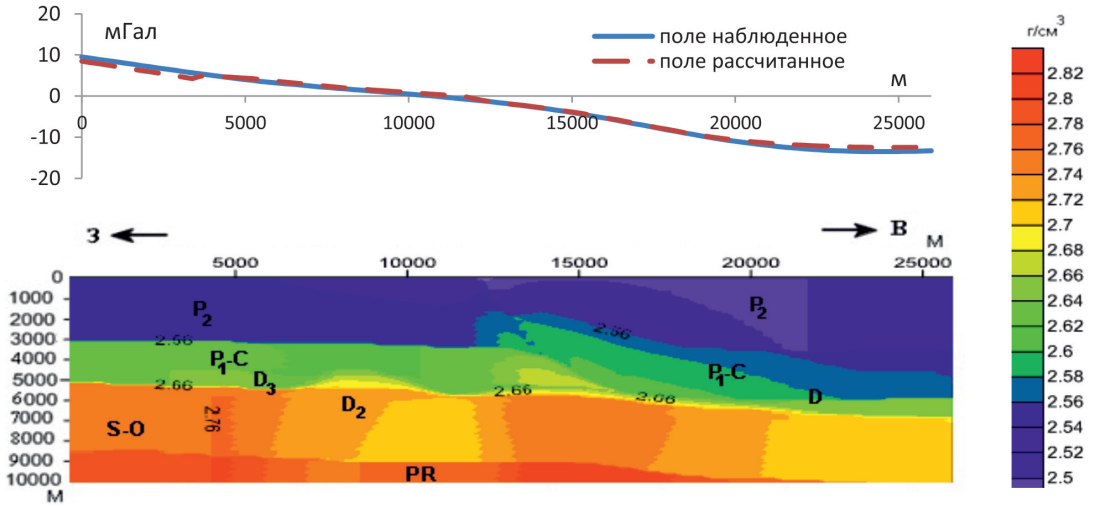


Рис. 2. Решение обратной плотностной задачи гравиразведки. Геоплотностная модель по линии вдоль профиля 7710-02. Невязка 1,15 мГал

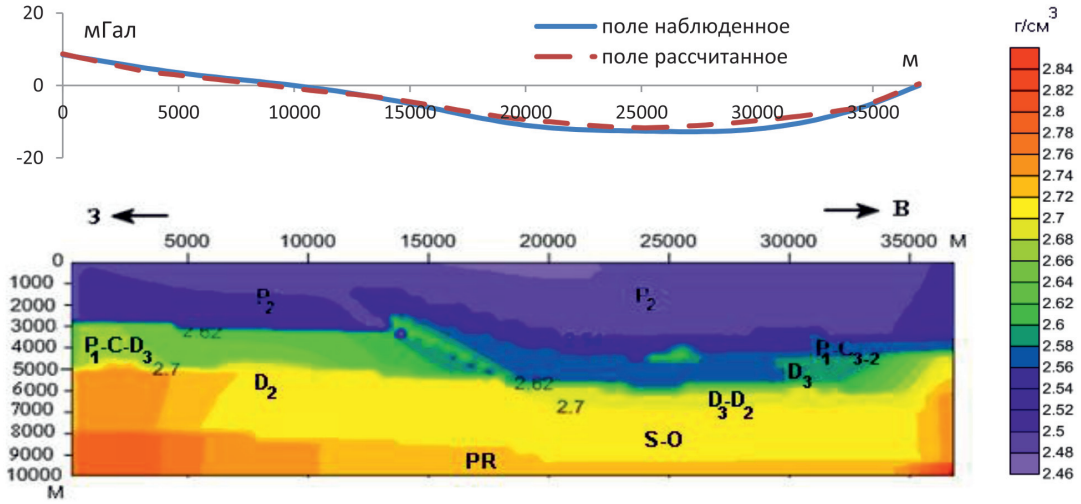


Рис. 3. Решение обратной плотностной задачи гравиразведки. Геоплотностная модель по линии вдоль профиля 11087-30. Невязка 1,8 мГал

Заключение

Было проведено опробование разработанной технологии структурно-плотностного моделирования на основе инверсии гравитационного поля для выделения зон, различных по своим петрофизическим характеристикам, обусловленных литофациальными изменениями и связанных с рифообразованием. При анализировании полученных геоплотностных моделей отмечены зоны рифовых построек доманиково-турнейского возраста: по профилю 11087-30 в пределах пикетов 6000–10000, 24000–26000; по профилю 7710-02 – 7000–11000 с плотностями 2,67–2,71 г/см^3.

Применение новых технологий и программного обеспечения в решении задач интегрированной интерпретации геолого-геофизических данных позволит расширить перспективные территории с целью поиска залежей углеводородов. Результаты применения интегрированной интерпретации данных сейсморазведки и гравиразведки, основанной на решении обратных задач в рамках критериального подхода, позволяют рекомендовать ее для решения задач выявления перспективных в нефтегазовом отношении объектов.

Список литературы

1. Вельтистова О.М. Современные отечественные программные комплексы интерпретации гравимагнитных данных / О.М. Вельтистова, Е.Н. Мотрюк // Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2013. – № 3 (15) – С. 70–80.

2. Кобрунов А.И. Математические методы моделирования в прикладной геофизике. Избранные главы / А.И. Кобрунов // Учебное пособие. Часть 2. Системный анализ и моделирование в условиях неопределенности. – Ухта: УГТУ, 2014. – 154 с.

3. Кобрунов А.И. Математические основы системного анализа геолого-геофизических данных / А.И. Кобрунов // Геофизический журнал. – 2012. – № 3. – С. 22–31.

4. Куделин С.Г. Технология интегрированного физико-геологического моделирования на основе системной инверсии / С.Г. Куделин, М.И. Барабанов, А.И. Кобрунов // Труды Российского государственного университета нефти и газа имени И.М. Губкина. – 2012. – № 4/269. – С. 13–21.

5. Кобрунов А.И. Программный комплекс создания и поддержки геолого-геофизических моделей среды «GeoVIP» и его функциональные возможности / А.И. Кобрунов, С.Г. Куделин, М.И. Барабанов // Новые технологии в газовой отрасли: опыт и преемственность: II Научно-практическая молодёжная конференция (Москва, 6–7 октября 2010 г.). – М., 2010. – С. 18.

6. Кобрунов А.И. Использование функций принадлежности параметров модели и критерии оптимальности при решении обратных задач гравиметрии / А.И. Кобрунов, Е.Н. Мотрюк // Успехи современной науки и образования. – 2017. – Т. 5, № 2. – С. 196–201.

7. Мотрюк Е.Н. Моделирование геологических структур на основе комплекса геолого-геофизических данных / Е.Н. Мотрюк, О.М. Вельтистова // Вопросы теории и практики геологической интерпретации геофизических полей: материалы Международного семинара им. Д.Г. Успенского (Казань, 22–26 января 2018 г.). – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – С. 42–43.

8. Данилов В.Н. Перспективы восполнения сырьевой базы Вуктыльского нефтегазоконденсатного месторождения / В.Н. Данилов // Вести газовой науки: Проблемы ресурсного обеспечивания газодобывающих регионов России. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2016. – № 1 (25). – С. 72–85.

9. Прищепа О.М. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской провинции / О.М. Прищепа, В.И. Богацкий, В.Н. Макаревич [и др.] // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2011. – Т. 6, № 4. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/40_pdf (дата обращения: 17.06.2018).

10. Богданов Б.П. Карбонатные постройки перми-карбона севера Тимано-Печорской провинции и их свойства / Б.П. Богданов, Ю.С. Кузьменко // Нефтегазовая геология.

Теория и практика. – 2014. – Т. 9, № 3. URL: http://www.ngtp.ru/rub/11/38_pdf (дата обращения: 17.06.2018).

References

1. Vel`tistova O.M. Sovremenny`e otechestvenny`e programmny`e kompleksy` interpretacii gravimagnitny`x danny`x / O.M. Vel`tistova, E.N. Motryuk // Izvestiya Komi nauchnogo centra UrO RAN. – 2013. – № 3 (15) – pp. 70–80.

2. Kobrunov A.I. Matematicheskie metody` modelirovaniya v prikladnoj geofizike. Izbranny`e glavy` / A.I. Kobrunov // Uchebnoe posobie. Chast` 2. Sistemny`j analiz i modeli-rovanie v usloviyax neopredelennosti. – Uxta: UGTU, 2014. – 154 p.

3. Kobrunov A.I. Matematicheskie osnovy` sistemnogo analiza geologo-geofizicheskix danny`x / A.I. Kobrunov // Geofizicheskij zhurnal. – 2012. – № 3. – pp. 22–31.

4. Kudelin S.G. Texnologiya integrirovannogo fiziko-geologicheskogo modelirovaniya na osnove sistemnoj inversii / S.G. Kudelin, M.I. Barabanov, A.I. Kobrunov // Trudy` Rossijskogo gosudarstvennogo universiteta nefti i gaza imeni I.M. Gubkina. – 2012. – № 4/269. – pp. 13–21.

5. Kobrunov A.I. Programmny`j kompleks sozdaniya i podderzhki geologo-geofizicheskix mode-lej sredy` «GeoVIP» i ego funkcional`ny`e vozmozhnosti / A.I. Kobrunov, S.G. Kudelin, M.I. Barabanov // Novy`e texnologii v gazovoj otrasli: opy`t i preemstvennost`: II Nauchno-prakticheskaya molodyozhnaya konferenciya «» (Moskva, 6–7 oktyabrya 2010 g.).– M., 2010. – pp. 18.

6. Kobrunov A.I. Ispol`zovanie funkcij prinadlezhnosti parametrov modeli i kriterii optimal`nosti pri reshenii obratny`x zadach gravimetrii / A.I. Kobrunov, E.N. Motryuk // Uspexi sovremennoj nauki i obrazovaniya. – 2017. – T. 5, № 2. – pp. 196–201.

7. Motryuk E.N. Modelirovanie geologicheskix struktur na osnove kompleksa geologo-geofizicheskix danny`x / E.N. Motryuk, O.M. Vel`tistova // Voprosy` teorii i praktiki geo-logicheskoj interpretacii geofizicheskix polej: materialy` Mezhdunarodnogo seminara im. D.G. Uspenskogo (Kazan`, 22–26 yanvarya 2018 g.). – Kazan`: Izd-vo Kazan. un-ta, 2018. – pp. 42–43.

8. Danilov V.N. Perspektivy` vospolneniya sy`r`evoj bazy` Vukty`l`skogo neftegazokondensat-nogo mestorozhdeniya / V.N. Danilov // Vesti gazovoj nauki: Problemy` resursnogo obespechi-vaniya gazodoby`vayushhix regionov Rossii. – M.: Gazprom VNIIGAZ, 2016. – № 1 (25). – pp. 72–85.

9. Prishhepa O.M. Novy`e predstavleniya o tektonicheskom i neftegazogeologicheskom rajoniro-vanii Timano-Pechorskoj provincii / O.M. Prishhepa, V.I. Bogaczkij, V.N. Makarevich [i dr.] // Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika. – 2011. – T. 6, № 4. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/40_pdf (data obrashheniya: 17.06.2018).

10. Bogdanov B.P. Karbonatny`e postrojki permi-karbona severa Timano-Pechorskoj provincii i ix svojstva / B.P. Bogdanov, Yu.S. Kuz`menko // Neftegazovaya geologiya. Teoriya i prakti-ka. – 2014. – T. 9, № 3. URL: http://www.ngtp.ru/rub/11/38_pdf (data obrashheniya: 17.06.2018).

УДК 504.06:622.32(571.53+571.56)

ВОПРОСЫ УТИЛИЗАЦИИ БУРОВЫХ ОТХОДОВ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ В ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ И РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

Горбунова О.И., Каницкая Л.В.

ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет», Иркутск, e-mail: olgavaliko@mail.ru

В работе проведен краткий анализ состояния ресурсно-сырьевой базы нефтегазодобывающего сектора на территории Иркутской области и Республики Саха (Якутия). В этих регионах происходит становление новой нефтегазоносной провинции. Отмечено, что эксплуатация месторождений нефти и газа на территории этих регионов характеризуется сложными природно-климатичесими условиями и отсутствием инфраструктуры. Это влияет на технологические и эколого-экономические показатели деятельности компаний. Одна из наиболее актуальных и острых экологических задач, возникающих при добыче нефти и газа, – это утилизация буровых растворов. Дана характеристика методов утилизации буровых шламов при добыче нефти и газа, реализуемых на территории Иркутской области и Республики Саха (Якутия). Рассмотрен и проанализирован метод захоронения отходов бурения в шламовые амбары. Определены объемы образующихся буровых отходов для ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча» и ООО «Иркутская нефтяная компания», приведены сведения о месторасположении и количестве шламовых амбаров на территориях добычи нефти и газа. Анализ ситуации позволяет утверждать, что нагрузка на уязвимые природные системы будет интенсивно возрастать с развитием нефтегазодобывающего комплекса на территории Иркутской области и Республики Саха (Якутия). В качестве альтернативного, экологически приемлемого метода утилизации шламовых отходов предложен метод закачки в пласт.

Ключевые слова: Иркутская область, Республика Саха (Якутия), ресурсная база, нефтегазодобывающие компании, утилизация буровых растворов, шламовые амбары, метод закачки в пласт

THE ISSUES OF UTILIZATION OF DRILLING WASTES OF OIL AND GAS INDUSTRY IN THE IRKUTSK REGION AND THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA)

Gorbunova O.I., Kanitskaya L.V.

Baikal State University, Irkutsk, e-mail: olgavaliko@mail.ru

The paper presents a brief analysis of the state of the resource base of the oil and gas sector in the Irkutsk region and the Republic of Sakha (Yakutia). In these regions, there is the formation of a new oil and gas province. It is noted that the operation of oil and gas fields in these regions is characterized by complex climatic conditions and lack of infrastructure. This affects the technological and environmental-economic performance of companies. One of the most urgent and acute environmental problems arising from oil and gas production is utilization of drilling fluids. The characteristic of methods of utilization of drilling slurries at oil and gas production realized in the territory of Irkutsk region and the Republic of Sakha (Yakutia) is given. The method of burial of drilling wastes into sludge barns is analyzed. The volumes of drilling waste generated for LLC «Taas-Yuryakh Neftegazodobycha» and LLC «Irkutsk Oil Company» are determined, and information is given on the location and quantity of slurry barns in the oil and gas production areas. Analysis of the situation makes it possible to assert that the load on vulnerable natural systems will intensively increase with the development of the oil and gas production complex in the territory of the Irkutsk region and the Republic of Sakha (Yakutia). As an alternative environmentally acceptable method of utilization of slime waste, a method of injecting them into the reservoir is proposed.

Keywords: Irkutsk region, Republic of Sakha (Yakutia), resource base, oil and gas company, utilization of drilling wastes, slurry pits, injection method into the reservoir

В последние 10 лет в нефтедобывающем комплексе России наблюдается ситуация, которая характеризуется смещением традиционных для нашей страны центров добычи углеводородного сырья на восток страны. Это обусловлено формированием новой ресурсно-сырьевой базы благодаря интенсивному введению в разработку и промышленное освоение крупных месторождений нефти и газа Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия). Именно в этих регионах происходит освоение новой нефтегазоносной провинции, а Якутия в ближайшей перспективе может войти в число главных регионов России, участвующих в экспорте углеводородного сырья на рынок стран Азиатско-Тихоокеанского региона, ввиду богатства значительными нефтегазовыми ресурсами [1].

Развитие нефтегазодобычи в этих регионах обеспечивает прирост запасов и объемов добычи углеводородного сырья, а также имеет ключевое значение в компенсации падающего уровня добычи нефти на старых месторождениях традиционных нефтедобывающих регионов Европейской части страны и Западной Сибири [2].

Интенсификация работ по разведке и добыче нефти и газа приводит к усилению негативной нагрузки на окружающую среду. Характер техногенного воздействия зависит от размера и сложности проекта,

от стадии процесса эксплуатации месторождения, состояния и чувствительности природных экосистем и эффективности методов планирования предотвращения загрязнения, снижения последствий и контроля. В России 30% всех твердых промышленных отходов приходится именно на нефтегазодобывающий сектор экономики, при этом объемы отходов при добыче нефти ежегодно возрастают [3]. Автор статьи [3] приводит данные о том, что при фактических показателях годовой добычи нефти в России, объем образования нефтеотходов составляет порядка 10 млн т.

Цель исследования: выявить ситуацию в сфере обращения с отходами компаний, эксплуатирующих нефтегазовые месторождения в Иркутской области и Республике Саха (Якутия).

Материалы и методы исследования

Материалы исследований охватывают период с 2008 г., когда произошел запуск магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» (ВСТО) и был введен в эксплуатацию нефтепорт в Козьмино, по 2017 г. В этот период наблюдается рост добычи нефти в Сибирском федеральном округе. Использован метод сравнительного количественного анализа ресурсно-сырьевой базы углеводородов Иркутской области и Республики Саха (Якутия) и проведен анализ методов обращения с буровыми отходами.

Результаты исследования и их обсуждение

Динамика изменения добычи нефти в Сибирском федеральном округе характеризуется увеличением показателя с 14 млн т в 2008 г. до 51,7 млн т в 2016 г., что составило порядка 9% от всей добычи нефти в России.

По разведанным запасам нефти, газа и газового конденсата Иркутская область является одним из крупнейших регионов Российской Федерации. На территории области расположено более трех десятков месторождений углеводородного сырья, наиболее крупные из которых Ковыктинское газоконденсатное и Верхнечонское нефтегазоконденсатное месторождения. За период 2016–2017 гг. в Иркутской области открыты Верхнеичерское нефтегазоконденсатное месторождение с извлекаемыми запасами нефти 11,4 млн т, газа – 52,6 млрд м^3, Гораздинское и Вятшинское нефтяные месторождения с запасами нефти в 26,1 млн т и 18,9 млн т, соответственно. В общей же сложности по состоянию на 1 января 2017 г. открыто 38 месторождений нефти, газа и конденсата [4]. Поэтому Иркутскую область следует рассматривать как один из основных регионов Восточной Сибири, из месторождений которой планируются массовые поставки нефти и природного газа на экспорт в страны Азиатско-Тихоокеанского региона (АТР) в результате подключения к системе нефтепровода ВСТО и газопровода «Сила Сибири».

К основным компаниям, осуществляющим деятельность по добыче и переработке нефти и газа в Иркутской области, относят: АО «Верхнечонскнефтегаз» (ПАО «Роснефть»), ООО «Иркутская нефтяная компания» (ООО «ИНК»), ЗАО «НК «Дулисьма» и ООО «Газпром добыча Иркутск» (ПАО «Газпром»). В табл. 1 представлена динамика объемов добычи углеводородного сырья в Иркутской области за период 2012–2016 гг.

Авторы [6] утверждают, что увеличение добычи нефти в регионах Сибири связано в первую очередь с развитием деятельности независимых региональных нефтяных компаний, которые обеспечили подключение разрабатываемых месторождений к системе «ВСТО». ООО «Иркутская нефтяная компания» является одним из крупнейших независимых производителей углеводородного сырья в России, осуществляющим свою деятельность на месторождениях и лицензионных участках недр в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия). По результатам 2017 г. компания вышла на уровень добычи 8,6 млн т нефти и газового конденсата, что на 12% выше результата 2017 г. и более чем на 50% показателя 2015 г. [7].

В свою очередь, Республика Саха (Якутия) также обладает значительными нефтегазовыми ресурсами и рассматривается как новая база добычи углеводородов на предстоящие 20 лет. Авторы работы [8] приводят данные по извлекаемым ресурсам нефти Республики Саха (Якутия), которые составляют 546 млн т, и по извлекаемым ресурсам природного газа – 2 716 млрд м^3. В данной статье также отмечается, что количественные характеристики начальных суммарных ресурсов нефти и газа имеют относительно невысокую степень разведанности: по нефти – 9,07%, по газу – 12,7%.

А.М. Соромотин [9] приводит перечень действующих месторождений углеводородного сырья на территории Республики Саха (Якутия). Таких месторождений в настоящий момент 34, из них 7 нефтегазоконденсатных, 10 газоконденсатных, 2 га-

зонефтяных, 9 газовых, 4 нефтегазовых и 2 нефтяных месторождения. Данные по объемам добычи углеводородов в Республике приведены в табл. 2. К компаниям – недропользователям действующих месторождений нефти и газа на территории Республики относят: АО «Сургутнефтегаз, АО «ЯТЭК», АО «Ирелях нефть», ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча», ПАО «Газпром», АО «Сахатранснефтегаз», ООО «Ленск-Газ», ООО «Газпромнефть-Ангара», ООО «Иркутская нефтяная компания». К наиболее разведанным месторождениям на территории Республики относят Ирелях ское и Среднеботуобинское нефтегазовые месторождения.

Следует отметить, что освоение и эксплуатация месторождений нефти и газа на территории Иркутской области и Республики Саха (Якутия) характеризуется особыми условиями, влияющими на технологические и эколого-экономические показатели деятельности компаний. Специфика для нефтегазодобывающих компаний заключается в том, что регионы добычи находятся в северных районах со сложными геологическими, климатическими условиями, неразвитыми транспортной инфраструктурой и инфраструктурой по реализации природоохранных технологий.

Разведка и добыча нефти и газа приводят к негативным последствиям для окружающей среды. Характер такого воздействия зависит от размера и сложности проекта, от стадии процесса эксплуатации месторождения, состояния и чувствительности природных экосистем и эффективности методов планирования предотвращения загрязнения, снижения последствий и контроля.

Эти обстоятельства сказываются не только на показателях экономической эффективности, но и обусловливают жесткие требования к экологическим аспектам деятельности добывающих компаний. Многочисленные экологические проблемы, с которыми сталкивается нефтегазовая промышленность, проявляются как на локальном, так и на глобальном уровне. К ним относят: загрязнение атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, что приводит к деградации экосистем и снижению биоразнообразия.

Одна из наиболее актуальных экологических проблем, возникающих на этапах геологоразведки, обустройства и освоения месторождения, – это утилизация буровых растворов. Современные требования экологического законодательства и новые нормы регулирования воздействия на окружающую природную среду, а также применение новых технологических решений в сложных условиях бурения ставят нефтедобывающие компании перед решением задачи утилизации отработанных буровых растворов и других отходов нефтегазодобычи.

Таблица 1

Динамика объемов добычи нефти, газа и конденсата в Иркутской области в 2012–2016 гг. [4, 5]

Год	Нефть, тыс. т	Газ, млн м^3	Конденсат, тыс. т
2012	9 923,0	2 465,0	164,0
2013	11 096,0	3 317,0	324,0
2014	13 026,0	3 521,6	170,0
2015	15 205,0	4 123,0	225,0
2016	17 715,0	5 077,0	323,0
Прирост 2016 г. к 2012 г., раз	1,79	2,06	1,97

Таблица 2

Динамика объемов добычи нефти и газа в Республике Саха (Якутия) в 2012–2016 гг.*

Год	Нефть, тыс. т	Газ, млн м^3
2012	6 713,7	1 980,5
2013	7 552,3	1 998,9
2014	8 721,9	2 043,3
2015	9 455,0	1 955,6
2016	10 101,4	2 010,9
Прирост 2016 г. к 2012 г., раз	1,5	1,02

Примечание. *Составлено авторами на основании данных электронного ресурса: https://minprom.sakha.gov.ru/news/front/view/id/2712009.

При освоении месторождений и их эксплуатации образуются следующие типы отходов: отработанные буровые растворы, куски породы при бурении, промысловые воды, осадки из сепаратора и донный осадок, а также отходы бурения скважин: буровые сточные воды, отработанный буровой раствор, буровой шлам. Следует отметить, что объемы бурового шлама и отработанных буровых растворов существенно превышают количественные показатели других отходов, образующихся при нефтегазодобыче.

Практически до конца XX века задача утилизации образующихся буровых растворов и буровых шламов не решалась должным образом. При осуществлении бурения на морском шельфе компаниям было проще и дешевле сливать эти отходы в море. В условиях бурения на суше, как правило, реализовывался вариант захоронения буровых отходов [10].

В настоящее время для российских нефтегазодобывающих компаний способы обращения с буровым шламом условно можно разделить на два типа: вывоз бурового шлама за территорию буровых работ (размещение на полигоне, переработка для последующего использования) и размещение бурового шлама на территории бурения (захоронение в шламовых амбарах, закачка отходов в принимающие пласты).

Вывоз и размещение буровых отходов на полигоне – самый простой по оформлению и экономическому обоснованию способ, но зачастую расположенные на территории районов нефтегазодобычи действующие, лицензированные полигоны для захоронения твердых бытовых и промышленных отходов не предназначены для захоронения такого типа отхода, как отходы при добыче нефти и газа. Таким образом, для размещения отходов нефтегазодобычи необходимо строительство нового полигона, что является нецелесообразным, ввиду экономической и экологической невыгодности. Это повлечет дополнительное изъятие земель лесного фонда и приведет к неизбежным негативным последствиям для биоразнообразия таежных экосистем, а также к деградации естественного растительного покрова.

Если рассматривать способ захоронения отходов бурения в шламовые амбары, то данный способ обращения с отходами является самым простым и предполагает большой риск поступления загрязняющих веществ из бурового шлама в сопредельные среды. Шламовые амбары являются постоянными источниками негативного воздействия на окружающую среду за счет фильтрации и утечки жидких отходов. В большинстве случаев добывающие компании так и не производят должной рекультивации шламовых амбаров, что усугубляет и без того негативное воздействие на природные среды.

Например, для компании ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча», являющейся дочерней структурой ПАО «НК «Роснефть» и разрабатывающей несколько месторождений в Мирнинском районе Республики Саха (Якутия), общий объем захороненных отходов от эксплуатации 47 скважин в 2016 г. составил 50 854 м^3, при ежегодной добыче нефти всего 1 млн т [11]. На территории эксплуатируемых месторождений размещено 6 шламовых амбаров, которые привели к изъятию из лесного фонда 2,92 га земель.

Следует отметить, что при наращивании объемов разведки и добычи нефтегазового сырья использование метода размещения буровых отходов в шламовых амбарах на территории Республики Саха (Якутия) приведет к изъятию еще больших площадей и без того скудного лесного фонда. Рост строительства шламовых амбаров нефтегазовых компаний Мирнинского района приведет к неконтролируемым последствиям и, скорее всего, к невозможности полной утилизации отходов и рекультивации шламовых амбаров.

В настоящее время нефтегазодобывающими компаниями, как правило, реализуется способ размещения буровых отходов в шламовых амбарах как наиболее приемлемый и экономически целесообразный способ обращения с отходами. Но при оценке эффективности использования данной технологии необходимо подчеркнуть, что при растущем объеме буровых отходов амбарный способ размещения потребует строительства новых шламонакопителей. В свою очередь, эксплуатация шламовых амбаров требует от компаний ежегодных расходов на их обслуживание, а после истечения срока эксплуатации необходимо проведение дорогостоящих мероприятий по их рекультивации. Также, чтобы компенсировать экологический ущерб от размещения буровых отходов в шламонакопителях, компаниям необходимо вносить платежи за размещение отходов.

Для ООО «ИНК», разрабатывающей месторождения в Иркутской области и Республике Саха, общее количество шламовых амбаров – 33, на территории п. Верхнемарково (Иркутская область) этих амбаров расположено 30, в п. Непа Якутии – 3. Эти объекты зарегистрированы в период с 2014 по 2017 гг. [12] (табл. 3).

Таблица 3

Общие сведения о шламовых амбарах на территории районов нефтегазодобычи Иркутской области

Компания	Количество шламовых амбаров	Нефтегазоконденсатные месторождения	Месторасположение на территории Иркутской области
ООО «ИНК»	30	Марковское	п. Верхнемарково, Усть-Кутский район
	3	Даниловское	п. Непа, Катангский район
ЗАО НК «Дулисьма»	19	Дулисьминское	п. Подволошино, Катангский район
АО «Верхнечонскнефтегаз»	13	Верхнечонское	п. Преображенка, Катангский район
ОАО «Сургутнефтегаз»	4	Талаканское	п. Гаженка, Катангский район,
ОАО «Газпромгеологоразведка»	3	Ковыктинское	с. Чикан, с. Коношаново, с. Грузновка, Жигаловский район
Общее количество шламовых амбаров	72		

Количество буровых отходов, образующихся при бурении одной скважины, для ООО «ИНК» согласно «Инструкции по охране окружающей среды при строительстве скважин на нефть и газ на суше», (РД-39-133-94) в среднем составляет более 300 т бурового шлама. Фонд скважин в 2015 г. в данной компании – 129 шт., таким образом, объем образующихся буровых отходов уже на тот период составлял 38,805 тыс. т. В качестве природоохранных мероприятий, реализованных в 2016 г. ООО «ИНК», рассматривались проекты строительства гидроизолированных шламовых амбаров для размещения отходов бурения на Даниловском и Ярактинском НГК месторождениях. В 2017 г. была поставлена задача разработки проектной документации на технологию «Переработка бурового шлама в грунт, выполняющий функции почвообразующей породы».

Отчетность в сфере экологических показателей российских компаний, добывающих углеводородное сырье, не всегда позволяет объективно проанализировать методы обращения с буровыми отходами на территории разрабатываемого месторождения. Особенно это касается независимых региональных компаний, экологические отчеты которых не раскрывают информацию в сфере обращения с отходами.

В настоящее время в качестве одной из наиболее экологически безопасных практик утилизации буровых отходов нефте- и газодобычи в мире рассматривается технология закачки в пласт отходов бурения. Данный способ утилизации буровых отходов позволяет исключить размещение и хранение отходов в наземных хранилищах, а следовательно, должен привести к минимизации негативного воздействия на окружающую природную среду. Несмотря на очевидные экологические выгоды, данный метод обладает специфическими особенностями, а именно: требует строгого соблюдения нормативов по отношению к конкретной геологической среде и длительного цикла проектно-изыскательских работ. Тем не менее применение технологии закачки в пласт буровых отходов следует рассматривать как перспективное направление, учитывая имеющийся накопленный опыт практического использования метода обратной закачки в подземные горизонты жидких отходов горно-обогатительных компаний в сложных геологических условиях Якутии и северных районов Иркутской области [13, 14].

В Республике Саха (Якутия) более 25 лет метод обратной закачки в геологические пласты успешно применяется для утилизации дренажных рассолов при разработке месторождений алмазов в Удачнинском ГОКе АК «АЛРОСА». В процессе эксплуатации трубки «Удачная» проблема обводнения карьеров дренажными рассолами была решена путем применения метода захоронения этих отходов в толще многолетнемерзлых пород [14]. В работе [14] авторы моделируют ситуацию закачки минерализованных отходов карьера «Юбилейный» Айхальского ГОКа в благоприятные геологические структуры с целью обеспечения экологической безопасности на всех стадиях применения данного способа утилизации. Минимизация экологического ущерба является ключевой задачей, так как закачка

рассолов в подземные горизонты, особенно в условиях северных территорий, способна привести к нарушению мерзлотного режима подземной гидросферы и, соответственно, к разрушению естественного экологического баланса.

Поэтому одно из главных требований для применения метода закачки отходов в пласт состоит в наличии принимающего пласта и водоупорных пластов над и под ним. Нефтегазовым компаниям, которые разрабатывают месторождения в районах со сложными геологическими и климатическими условиями, необходимо анализировать опыт применения данной практики в смежных областях деятельности, чтобы оценить перспективность внедрения технологии закачки отходов бурения в геологические пласты.

В качестве примера следует рассмотреть опыт нефтяной компании ПАО «НК «Роснефть» в сфере обращения с отходами, которая нацелена на создание новых кластеров нефтегазодобычи на базе месторождений Восточной Сибири. В 2017 г. ПАО НК «Роснефть» приступила к опытно-промышленной эксплуатации комплекса по переработке отходов бурения методом закачки в пласт на территории Ханты-Мансийского автономного округа, производительность комплекса составит 140 тыс. м^3 в год. В результате применения технологии буровой шлам и отработанные растворы бурения в виде пульпы будут закачиваться в изолированные пласты, что позволит исключить проникновение в водоносные горизонты. Согласно данным экологических отчетов компании в 2015 г. образовано 3 186 тыс. т бурового шлама, а в 2017 г. – 4 676 тыс. т, но за период 2015–2017 гг. ни одной тонны бурового шлама не обезврежено и не переработано [15]. Поэтому в сложившейся ситуации наращивания темпов освоения ресурсной базы углеводородного сырья Восточной Сибири и Республики Саха (Якутия) необходимо осуществлять переход от распространенных, но экологически небезопасных практик по утилизации буровых отходов к технологическим решениям, отличающимся оптимальной стоимостью и минимизацией экологических рисков.

Заключение

Анализ отчетов о выполнении природоохранных и социальных мероприятий нефтегазодобывающих компаний Иркутской области и Республики Саха (Якутия) показал, что компании не предоставляют информацию об объемах рекультивации полигонов, содержащих шламовые отходы. Это дает основание утверждать, что нагрузка на уязвимые природные системы северных территорий будет только возрастать с развитием нефтегазодобывающего комплекса.

Таким образом, исследование ситуации с утилизацией буровых отходов нефтегазодобычи на территории Иркутской области и Республики Саха (Якутия) показало, что необходимо применять новые методы обращения с отходами бурения, которые позволят устранить ущерб природным комплексам. Одним из перспективных методов захоронения буровых отходов является метод закачки их в пласт. В суровых природно-климатических условиях при производстве круглогодичных буровых работ обратная закачка в пласт может стать единственным экологически приемлемым способом утилизации буровых отходов при условии выполнения всего цикла проектно-изыскательских работ и соблюдения нормативов по отношению к конкретной геологической среде.

Список литературы

1. Тараканов М.А. Развитие нефтегазового комплекса смежных территорий (Иркутской области и республики Саха (Якутии)) / М.А. Тараканов, А.Ф. Манжигеев // Известия Байкальского государственного университета. – 2007. – № 6. – С. 55–60.

2. Давыдова Г.В. Влияние жизненного цикла нефтедобывающей отрасли на стратегические альтернативы ее развития / Г.В. Давыдова, О.С. Козлова // Baikal Research Journal. – 2016. – Т. 7, № 5. URL: http://brj-bguep.ru/reader/article.aspx?id=20916 (дата обращения: 05.07.2018). DOI: 10.17150/2411-6262.2016.7(5).7.

3. Жилинская Я.А. Классификация отходов нефтегазодобычи и обоснование критериев выбора технологий обращения с отходами / Я.А. Жилинская, С.В. Устенко // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2016. – № 4. – С. 25–30.

4. Новиков А.В. Характеристика месторождений нефти, газа и конденсата в Иркутской области / А.В. Новиков, Е.Ю. Богомолова, И.С. Кородюк // Известия Байкальского государственного университета. – 2017. – Т. 27, № 4. – С. 459–467.

5. Жаркова Е.В. Нефтегазодобывающий комплекс Иркутской области: развитие и проблемы / Е.В. Жаркова // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2016. – Т. 11, № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/22_2016.pdf (дата обращения: 06.07.2018).

6. Эдер Л.В. Нефтяная промышленность Сибирского Федерального округа на этапе смены парадигмы развития / Л.В. Эдер, И.В. Филимонова, В.Ю. Немов, И.В. Проворная // Институциональная трансформация экономики: пространство и время: сб. тр. V Междунар. науч. конф. (Кемерово, 24–27 мая 2017 г.): в 2-х томах. – Кемерово: Изд-во Кемеровского гос. университета, 2017. – Т. 2. – С. 139–145.

7. О компании – ИНК. URL: http://irkutskoil.ru/about/ (дата обращения: 16.06.2018).

8. Варламова А.С. Региональные проблемы развития нефтегазовой отрасли (на примере Республики Саха (Якутия)) / А.С. Варламова, Е.В. Данилова // Националь-

ная ассоциация ученых. Экономические науки. – 2015. – № 11 (7). – С. 95.

9. Соромотин А.М. Нефтегазовые ресурсы Якутии: состояние, перспективы использования / А.М. Соромотин // Вестник СВФУ. – 2014. – Т. 11, № 6. – С. 17–20.

10. Geehan T., Gilmour A., Guo Q. The cutting edge in drilling-waste management // MI SAWCO, Houston, Texas, USA. – 2007. URL: https://www.slb.com/~/media/files/resources/oilfield_review/ors06/win06/p54_67.pdf (дата обращения: 20.06.2018).

11. Официальный сайт ООО «Таас-Юрях Нефтегазодобыча». URL: https://tyngd.ru (дата обращения: 24.06.2018).

12. Государственный реестр объектов размещения отходов. Иркутская область. URL: http://clevereco.ru/groro/irkutskaja-oblast?sort=code.desc (дата обращения: 28.06.2018).

13. Леонов С.Б. Гидроминеральное сырье и проблемы его переработки / С.Б. Леонов, Е.В. Зелинская, О.И. Горбунова. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 1999. – 120 с.

14. Дроздов А.В. Оценка благоприятных участков для захоронения дренажных рассолов карьера «Юбилейный» в криогенных толщах / А.В. Дроздов, А.И. Мельников// Успехи современного естествознания. – 2015. – № 12. – С. 107–114.

15. Отчет в области устойчивого развития ПАО «НК «Роснефть» 2017. URL: https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/RN_SR2018_rus_web_1.pdf (дата обращения: 05.07.2018).

References

1. Tarakanov M.A. Razvitie neftegazovogo kompleksa smezhny`x territorij (Irkutskoj oblasti i respubliki Saxa (Yakutii)) / M.A. Tarakanov, A.F. Manzhigeev // Izvestiya Bajkal`skogo gosudarstvennogo universiteta. – 2007. – № 6. – P. 55–60.

2. Davy`dova G.V. Vliyanie zhiznennogo cikla neftedoby`vayushhej otrasli na strategicheskie al`ternativy` ee razvitiya / G.V. Davy`dova, O.S. Kozlova // Baikal Research Journal. – 2016. – T. 7, № 5. URL: http://brj-bguep.ru/reader/article.aspx?id=20916 (data obrashheniya: 05.07.2018). DOI: 10.17150/2411-6262.2016.7(5).7.

3. Zhilinskaya Ya.A. Klassifikaciya otxodov neftegazodoby`chi i obosnovanie kriteriev vy`bora texnologij obrashheniya s otxodami / Ya.A. Zhilinskaya, S.V. Ustenko // Transport. Transportny`e sooruzheniya. E`kologiya. – 2016. – № 4. – P. 25–30.

4. Novikov A.V. Xarakteristika mestorozhdenij nefti, gaza i kondensata v Irkutskoj oblasti / A.V. Novikov, E.Yu. Bogomolova, I.S. Korodyuk // Izvestiya Bajkal`skogo gosudarstvennogo universiteta. – 2017. – T. 27, № 4. – P. 459–467.

5. Zharkova E.V. Neftegazodoby`vayushhij kompleks Irkutskoj oblasti: razvitie i problemy` / E.V. Zharkova // Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika. – 2016. – T. 11, № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/22_2016.pdf (data obrashheniya: 06.07.2018).

6. E`der L.V. Neftyanaya promy`shlennost` Sibirskogo Federal`nogo okruga na e`tape smeny` paradigmy` razvitiya / L.V. E`der, I.V. Filimonova, V.Yu. Nemov, I.V. Provornaya // Institucional`naya transformaciya e`konomiki: prostranstvo i vremya: sb. tr. V Mezhdunar. nauch. konf. (Kemerovo, 24–27 maya 2017 g.): v 2-x tomax. – Kemerovo: Izd-vo Kemerovskogo gos. universiteta, 2017. – T. 2. – P. 139–145.

7. O kompanii – INK. URL: http://irkutskoil.ru/about/ (data obrashheniya: 16.06.2018).

8. Varlamova A.S. Regional`ny`e problemy` razvitiya neftegazovoj otrasli (na primere Respubliki Saxa (Yakutiya)) / A.S. Varlamova, E.V. Danilova // Nacional`naya associaciya ucheny`x. E`konomicheskie nauki. – 2015. – № 11 (7). – P. 95.

9. Soromotin A.M. Neftegazovy`e resursy` Yakutii: sostoyanie, perspektivy` ispol`zovaniya / A.M. Soromotin // Vestnik SVFU. – 2014. – T. 11, № 6. – P. 17–20.

10. Geehan T., Gilmour A., Guo Q. The cutting edge in drilling-waste management // MI SAWCO, Houston, Texas, USA. – 2007. URL: https://www.slb.com/~/media/files/resources/oilfield_review/ors06/win06/p54_67.pdf (data obrashheniya: 20.06.2018).

11. Oficial`ny`j sajt OOO «Taas-Yuryax Neftegazodoby`cha». URL: https://tyngd.ru (data obrashheniya: 24.06.2018).

12. Gosudarstvenny`j reestr ob``ektov razmeshheniya otxodov. Irkutskaya oblast`. URL: http://clevereco.ru/groro/irkutskaja-oblast?sort=code.desc (data obrashheniya: 28.06.2018).

13. Leonov S.B. Gidromineral`noe sy`r`e i problemy` ego pererabotki / S.B. Leonov, E.V. Zelinskaya, O.I. Gorbunova. – Irkutsk: Izd-vo IrGTU, 1999. – 120 p.

14. Drozdov A.V. Ocenka blagopriyatny`x uchastkov dlya zaxoroneniya drenazhny`x rassolov kar`era «Yubilejny`j» v kriogenny`x tolshhax / A.V. Drozdov, A.I. Mel`nikov// Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2015. – № 12. – P. 107–114.

15. Otchet v oblasti ustojchivogo razvitiya PAO «NK «Rosneft`» 2017. URL: https://www.rosneft.ru/upload/site1/document_file/RN_SR2018_rus_web_1.pdf (data obrashheniya: 05.07.2018).

УДК 551.46:681.88

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОРАЗРЕШАЮЩЕЙ ГИДРОАКУСТИКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ ЗАГЛУШЕННЫХ ПОДВОДНЫХ СКВАЖИН

[1]Дмитревский Н.Н., [1]Ананьев Р.А., [1]Мелузов А.А., [2]Шабалин Н.В., [2]Ремизова Д.М.

[1]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: nnd2008@rambler.ru;
[2]ООО «Центр морских исследований» МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

В последние десятилетия в нашей стране широко проводятся морские изыскания, направленные на поиск нефтяных и газовых месторождений в шельфовых зонах прилегающих морей и океанов. Методика изысканий предусматривает в том числе бурение большого числа разведочных скважин. При этом только некоторые из пробуренных разведочных скважин подтверждают наличие в указанных точках перспективных с точки зрения последующего использования залежей углеводородов. Перед изыскателями встал вопрос о дальнейшей судьбе таких скважин с точки зрения минимизации их вредного воздействия на окружающую среду. Одновременно возникает вопрос о каталогизации всех пробуренных разведочных скважин. В основном это связано с тем, что многие скважины были пробурены несколько десятилетий тому назад, при этом общий уровень геодезического обеспечения в то время не позволял определять координаты этих объектов с необходимой точностью. В статье рассматриваются результаты акустического зондирования морского дна в районах расположения заглушенных подводных скважин в шельфовой зоне морей и океанов с целью их обнаружения. Обсуждаются возможности использования различных типов высокоразрешающей гидроакустической аппаратуры для наиболее эффективного обнаружения, идентификации и картирования указанных объектов. Описываются приборный состав и основные технические параметры судового приборного комплекса, предназначенного для решения указанных выше задач и состоящего из низкочастотного эхолота-профилографа, многолучевого эхолота и гидролокатора бокового обзора. Анализируется методика проведения измерений в натурных условиях. Приведены практические результаты, полученные авторами в шельфовой зоне северных морей и Каспийского моря. Отмечено, что точная верификация интересующих нас объектов возможна, в ряде случаев, только при условии дополнительного использования подводных управляемых аппаратов или водолазного обследования.

Ключевые слова: гидроакустика, скважина, поиск, идентификация, гидролокатор, многолучевой эхолот

APPLICATION OF THE HIGH RESOLUTION UNDERWATER ACOUSTICS FOR DEFINITION OF POSITION OF THE MUFFLED UNDERWATER WELLS

[1]Dmitrevskiy N.N., [1]Ananev R.A., [1]Meluzov A.A., [2]Shabalin N.V., [2]Remizova D.M.

[1]P.P. Shirshov Institute of Oceanology, RAS, Moscow, e-mail: nnd2008@rambler.ru;
[2]Limited Liability Company «Lomonosov Moscow State University Marine Research Center», Moscow

In recent decades marine researches are widely conducted in our country aimed at finding oil and gas deposits in offshore areas. Survey methodology envisages, in particular, the drilling of a large number of exploration wells. However, only some of the drilled exploratory wells confirm the presence of hydrocarbon deposits promising from the point of view of subsequent use at these points. Before the prospectors, the question arose about the further fate of such wells in terms of minimizing their harmful impact on the environment. At the same time, the question arises of cataloging all the drilled exploratory wells. Basically, this is due to the fact that many wells were drilled several decades ago, while the overall level of geodetic support at that time did not allow to determine the coordinates of these objects with the necessary accuracy. The article deals with the results of acoustic sounding of the seabed in the areas of location of submerged wells in the offshore zone of the seas and oceans in order to detect them. The possibilities of using different types of high-resolution hydroacoustic equipment for the most efficient detection, identification and mapping of these objects are discussed. Describe the instrument structure and main technical parameters of the ship and instrument package, designed to solve the above problems, and consists of low-frequency profiler, multi-beam echo sounder and side-scan sonar are described. The techniques of measurements in natural conditions ares analyzed. It is noted that accurate verification of the objects of interest is possible, in some cases, only under the condition of additional use of underwater remote operated vehicles or diving inspection.

Keywords: hydroacoustics, well, search, identification, sonar, multy-beam echosounder

В последние десятилетия в нашей стране в широком объёме проводятся морские изыскания, направленные на поиск перспективных нефтяных и газовых месторождений в шельфовых зонах прилегающих морей и океанов. Верификация возможных месторождений проводилась путем пробного бурения до глубин предполагаемого залегания нефти или газа.

При этом только некоторые из пробуренных разведочных скважин подтвердили наличие в указанных точках перспективных с точки зрения последующего использования залежей углеводородов. Многие скважины не подтвердили наличия месторождений с достаточными эксплуатационными параметрами, и перед изыскателями встал вопрос о дальнейшей судьбе таких скважин

с точки зрения минимизации их вредного воздействия на окружающую среду. Одним из главных компонентов вредного влияния является «высачивание» из пробуренной скважины нефти или газа, либо водного раствора, содержащего в себе некоторое количество указанных веществ. Наиболее эффективным и распространенным методом борьбы с отмеченным явлением являлась заливка внутреннего ствола скважины и околоскважинного пространства специальными цементирующими растворами, обеспечивающими достаточную степень герметизации.

В последнее время значительно ужесточились требования к проведению подобных изысканий [1], были приняты нормативные документы о проведении периодического мониторинга заглушенных скважин на предмет определения возможного «высачивания» из них углеводородов за счет естественного старения заглушающих материалов или возможных допущенных нарушений технологии работ при их использовании.

Естественно, при этом возник вопрос о каталогизации всех пробуренных разведочных скважин с указанием их точных координат. При всей очевидности и простоте вопроса в процессе его решения возникли определённые трудности. Многие скважины были пробурены несколько десятилетий тому назад, при этом общий уровень геодезического обеспечения в то время не позволял определять координаты этих объектов с необходимой точностью. Некоторые скважины, не доведенные до конца в процессе разведочного бурения, например, в связи с поломкой бурового инструмента, просто бросались и не документировались надлежащим образом, при этом их местоположение известно только приблизительно.

Таким образом, вопрос поиска и определения координат ранее заглушенных скважин приобретает самостоятельное значение, перспективным для решения подобных задач представляется использование дистанционных (главным образом – гидроакустических) методов исследований, описанию которых и посвящена настоящая статья.

Материалы и методы исследования

Эффективное обнаружение законсервированных и, во многих случаях, погребенных под слоем осадков устьев скважин гидроакустическими методами возможно по ряду классификационных признаков.

Наиболее очевидными из них являются отчетливо выраженные на дне следы проведения бурения и консервации скважины (выход конца буровой колонны из дна, следы механического заглушивания конца буровой колонны, следы установки защитного каркаса или защитной бетонной плиты над выходом трубы и т.п.). Одним из самых эффективных методов обнаружения такого рода классификационных признаков является высокочастотная гидролокация бокового обзора [2]. Использование гидролокаторов бокового обзора (ГБО) возможно в двух основных режимах: буксировка на кабеле за судном или жесткая установка рабочего тела непосредственно на судне-носителе. Каждый из указанных методов имеет свои преимущества и недостатки, их использование обуславливается конкретными условиями проведения исследований. При достаточно большой глубине акватории (сотни метров) преимущество следует отдать первому методу, так как только он может обеспечить прохождение буксируемого тела ГБО в непосредственной близости от исследуемого объекта, что необходимо для его уверенной индикации. Но при этом требуется дополнительный метод и, соответственно, аппаратура (обычно это гидроакустическая навигационная система) для определения абсолютного положения гидролокатора в пространстве. Любые гидроакустические навигационные системы, как с короткой, так и с длинной базой, требуют предварительных калибровок, квалифицированного обслуживания и дополнительных затрат времени. Вместе с тем при глубинах менее 100 м разрешающая способность и дальность действия ГБО, установленных непосредственно на судне, всё ещё позволяют обнаруживать исследуемые объекты, и на первое место выходит простота и скорость выполнения работ. Судно с жестко установленным на нём рабочим телом ГБО обладает существенно большей маневренностью, а главное, при этом отсутствует необходимость использования независимой гидроакустической навигационной системы, так как координаты рабочего тела ГБО с точностью до фиксированных офсетов совпадают с координатами судна-носителя. При современном уровне навигационного обеспечения эти координаты определяются с точностью до первых десятков сантиметров.

Следует иметь в виду, что в условиях малых глубин на шельфе гидродинамические процессы могут активно воздействовать

на дно акваторий, способствуя развитию аккумулятивных и эрозионных процессов и миграции русловых наносов [3]. При этом в ряде случаев всего за несколько месяцев может существенно изменяться рельеф поверхности дна, а большинство механических признаков наличия устья скважины просто оказываются погребенными под слоем осадков. Практика показывает, что при этом часто имеет место локальное изменение глубины в районе выхода скважины в виде углубления (кратера) или небольшого холма, образовавшихся при заносе устья скважины осадками. Подобного рода признаки достаточно легко определяются с помощью современных высокочастотных многолучевых эхолотов, обеспечивающих широкую полосу перекрытия по дну и высокую точность измерения глубины.

Кроме того, свидетельством наличия ранее пробуренной скважины может являться локальное нарушение структуры поддонного слоя садков, образовавшееся в процессе проведения бурения. По нашей оценке, наиболее перспективным для выявления подобных признаков является использование узколучевых параметрических эхолотов-профилографов. При этом, вместе с рядом очевидных преимуществ (высокое разрешение, хорошее проникновение в грунт, компактность конструкции), при проведении поисковых работ имеет место один существенный недостаток: узкий луч профилографа засвечивает на дне пятно малого радиуса (первые единицы метров). Это существенно затрудняет и удлиняет процесс поиска скважины. На практике сейсмопрофилограф применяется обычно в качестве последнего завершающего прибора для окончательной идентификации предполагаемого места расположения скважины, ранее обнаруженного другими методами.

Различные по природе и происхождению классификационные признаки почти всегда требуют комплексирования различных методов исследований и соответственно раздельного или совместного использования разной гидроакустической аппаратуры с целью достижения наиболее эффективных результатов.

Авторами накоплен большой опыт проведения подобного рода работ, на результатах которого мы ниже остановимся. При работах использовалась следующая аппаратура.

Гидролокатор бокового обзора ДГБО «Гидра 250/500» производства НИИ им. Тихомирова, Россия, позволял получать визуализированную акустическую картину морского дна с достаточно высоким разрешением, что делало возможным обнаружение скважин и других следов проведения бурения и консервации на исследовательском полигоне при их характерных размерах в единицы метров. Прибор состоит из бортового блока управления, блока приема, и забортной опускаемой антенны.

Многолучевой эхолот WASSP WMB-3250 производства WASSP Limited, Новая Зеландия, являлся законченной системой получения данных о батиметрии и водной толще для глубин до 300 м и позволял проводить измерения с точностью, соответствующей международному гидрографическому стандарту IHO Order 1a. Эхолот совместим с профессиональным гидрографическим программным обеспечением Hypack, Qinsy и т.д. Эхолот состоит из блока приема-передачи BTxR, процессора и приемо-передающей антенны.

Эхолот-профилограф SES-2000 Standard производства немецкой фирмы «Innomar Technologie GmbH» позволял производить зондирование слоя осадков на дне до глубин порядка единиц, а иногда и десятков метров (в зависимости от геологических условий). Прибор состоял из блока управления и приемо-передающей антенны. В приборе в результате ряда технических решений реализуются: достаточно низкая частота излучения (4–15 кГц), обеспечивающая хорошее проникновение зондирующего сигнала в грунт; высокая частота следования импульсов, что повышает достоверность распознавания объектов малых размеров; узкая диаграмма направленности излучаемого низкочастотного сигнала, что значительно повышает пространственное разрешение метода; а также возможность одновременного использования высокочастотного канала эхолота для получения точной батиметрической информации, а низкочастотного – для проникновения в верхнюю осадочную толщу.

Подробные технические параметры всех использовавшихся приборов приведены в работе [4].

Применительно к особенностям выполняемых работ была разработана система крепления приемо-излучающих антенн аппаратуры на судне. Антенны ГБО и многолучевого эхолота обычно устанавливались на одну поворачивающуюся в вертикальной плоскости штангу, которая позволяла легко переходить из походного положения в рабочее. Штанга крепилась с правого борта на главной палубе в районе миделя судна.

В рабочем положении штанга опускалась вертикально вниз, обеспечивая заглубление антенн приборов на глубину осадки судна. Таким образом, обеспечивалась работа ГБО и многолучевого эхолота в оба борта. Одновременная работа двух антенн, расположенных практически в одном и том же месте, позволила взаимно дополнить информативность каждого из используемых методов, а также расширить возможности интерпретации получаемых данных. Приемо-излучающая антенна эхолота-профилографа крепилась на штанге с левого борта, ее конструкция также позволяла быстро переходить из походного положения в рабочее.

Методика работы с комплексом гидроакустического оборудования предусматривала движение судна вдоль исследовательских галсов с одновременной записью информации всех или части используемых приборов на твердые носители и выводом текущего изображения на экраны соответствующих мониторов. Скорость движения судна составляла величину до 5 узлов и ограничивалась в первую очередь механическими параметрами крепления штанги к борту судна. В процессе работы в реальном масштабе времени фиксировались все представляющие интерес подводные объекты, при последующей обработке осуществлялась их полная пространственная и временная привязка.

Работы обычно проводились в следующей последовательности:

– вокруг предполагаемой точки расположения скважины строился прямоугольный полигон;

– судно с многолучевым эхолотом и ГБО отрабатывало полигон по сетке параллельных равноотстоящих галсов. Расстояние между галсами составляло не более двух глубин под килем, что обеспечило полное перекрытие обследуемой площади. Основные съёмочные галсы пересекались секущими галсами. После этого в местах, представляющих возможный интерес, проводилась съемка эхолотом-профилографом. Все параметры съёмки сохранялись для их дальнейшей обработки и контроля;

– при наличии в какой-либо точке одного или нескольких указанных выше признаков наличия устьев скважин или других техногенных объектов, точки выделялись и проводилась съемка окрестностей указанной точки подводными аппаратами либо водолазами.

Следует отметить, что при всей очевидной эффективности гидроакустических методов поиска подводных объектов они практически никогда не позволяют точно установить физическую природу исследуемых объектов. Единственным надежным классификационным признаком объекта, разыскиваемого гидроакустическими методами, является его геометрическая форма. Однако в используемом диапазоне частот идентификация предмета по его форме возможна практически в двух случаях: мы точно знаем, что мы ищем, а разыскиваемый предмет имеет достаточно большие размеры (пять, шесть метров и более), и форма его характерна и узнаваема (затонувшее судно или самолет, лежащий на дне якорь и т.п.). Во всех остальных случаях отличить металлический предмет от деревянного, сферический от кубического, естественный от искусственного представляется весьма затруднительным, а зачастую и невозможным. Поэтому заключительная идентификация обнаруженных гидроакустическими методами объектов путем их обследования водолазами или подводными аппаратами является абсолютно необходимым элементом поисковых работ [5].

Результаты исследования и их обсуждение

Ниже приведены два примера, иллюстрирующие необходимость применения визуальных методов для окончательной идентификации подводных объектов, обнаруженных гидроакустическими способами. На рис. 1 приведены изображения подводного объекта, полученные с помощью МЛЭ (слева) и ГБО (в центре). Идентификация указанного объекта с помощью водолазного обследования показала, что он является торчащей из дна обсадной трубой заглушенной скважины. Последующий проход судна точно над обнаруженным объектом позволил получить изображение обсадной трубы с помощью высокочастотного узколучевого канала SES-2000 (на рис. 1, справа). На рис. 2 приведено изображение объекта, который по внешним признакам был схож с рис. 1, однако по факту после проведения водолазного обследования этот объект оказался несколькими лежащими рядом предметами техногенного происхождения.

Как было сказано ранее, идентификация обнаруженных объектов может быть существенно облегчена при наличии априорных знаний об их природе. В качестве примера приведем гидролокационное изображение верхней части скважин, заглушивание которых по имевшейся информации

было осуществлено путем заливки верхней части скважины бетонной подушкой толщиной порядка 20 см и диаметром около 15 м. Соответствующие изображения приведены на рис. 3, причем левый рисунок соответствует заглушке, лежащей на песчаном участке дна и не занесенной осадками, а правый – частично занесенной заглушке на илистом дне.

Априорная информация о конструкции заглушивающих устройств на верхней части скважин позволяет иногда предсказать некие новые идентификационные признаки наличия скважин. Например, наличие указанных выше бетонных плит диаметром порядка 15 м и толщиной 20 см дает основание предположить, что при проходе над такой скважиной узколучевого эхолота-профилографа под плитой возникнет зона тени, отчетливо выделяющаяся на фоне слоистой структуры осадков. Сказанное иллюстрируется рис. 4, где приведены эхограммы параметрического эхолота-профилографа SES-2000, причем правая часть картинки относится к случаю прохождения судна над заглушенной скважиной, устье которой расположено на глубине 455 м, где использование другой аппаратуры представлялось проблематичным. Отчетливо видна зона тени под скважинами, визуально нарушающая слоистую структуру осадков.

Выводы

В настоящей статье описана методика и представлены результаты натурных экспериментов, выполненных в акваториях Каспийского моря и морей Северного Ледовитого океана по исследованию возможностей использования высокоразрешающей гидроакустической аппаратуры для обнаружения положения заглушенных разведочных скважин на дне акваторий.

Несмотря на ряд ограничений и трудностей, использование высокоразрешающей гидроакустики является в настоящее время весьма эффективным методом, позволяющим решать поставленные задачи со вполне приемлемой для практических задач точностью, даже при условии частичного или полного засыпания оголовья скважин слоем грунта.

Следует отметить, что специфика гидроакустических измерений в большинстве случаев позволяет достаточно оперативно определять и позиционировать на дне объекты различной природы, однако точная их идентификация возможна, в большинстве случаев, только при условии финальной верификации обнаруженного объекта с помощью подводных управляемых аппаратов или водолазного обследования.

Рис. 1. Изображение, полученное МЛЭ (слева), ГБО (в центре) и узколучевым эхолотом (справа), торчащей из дна обсадной трубы заглушенной скважины

Рис. 2. Изображение нескольких техногенных объектов на дне, полученное МЛЭ (слева) и ГБО (справа)

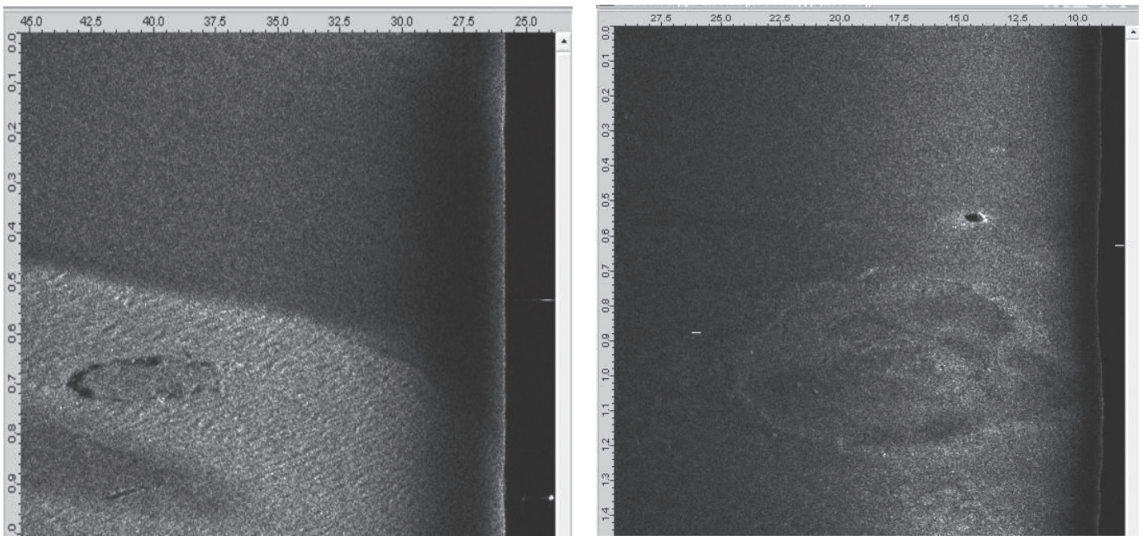


Рис. 3. Гидролокационные изображения бетонных плит, заглушающих скважины на песчаном (слева) и зашленном (справа) участках дна. На правом рисунке рядом с плитой видны несколько техногенных объектов

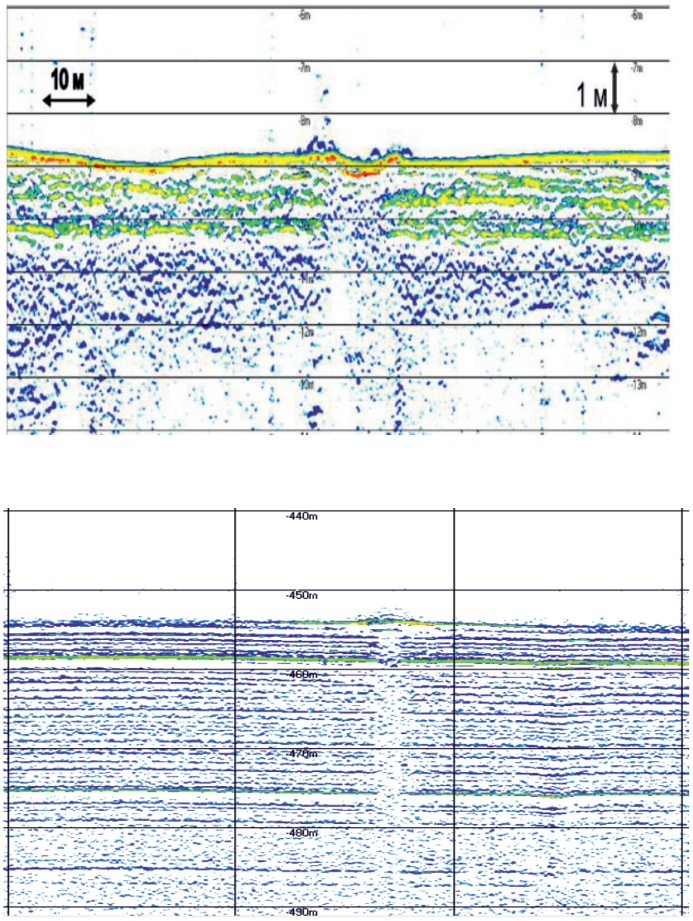


Рис. 4. Эхограммы эхолота-профилографа SES-2000, полученные при прохождении судна над скважинами, заглушенными с помощью бетонных плит (эффект затенения)

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0005).

Список литературы

1. Локтев А.С. Нормативное регулирование инженерно-геологических изысканий при освоении нефтегазовых ресурсов на российском шельфе / А.С. Локтев, В.Н. Хоштария, М.Ю. Токарев // Научно-технический сборник Вести газовой науки. – 2017. – № 4 (32). – С. 144–149.

2. Колесниченко В.В. Гидрофизический мониторинг мелководных районов в целях обеспечения экологической безопасности / В.В. Колесниченко, В.Б. Митько // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2009. – Т. 95, № 6. – С. 61–65.

3. Морфолитодинамика берегов и дна Байдарацкой губы на трассе перехода магистральными газопроводами / А.М. Камалов [и др.] // Криосфера Земли. – 2006. – Т. 10, № 3. – С. 3–14.

4. Использование сейсмоакустического комплекса для исследования верхней осадочной толщи и рельефа морского дна в Восточной Арктике / Н.Н. Дмитриевский [и др.] // Океанология. – 2013. – Т. 53, № 3. – С. 412–417.

5. Караев Р.Н. Подводно-технические работы на Каспийском шельфе / Р.Н. Караев // Морские интеллектуальные технологии. – 2010. – № 2. – С. 46–54.

References

1. Loktev A.S. Normativnoe regulirovanie inzhenerno-geologicheskix izy`skanij pri osvoenii neftegazovy`x resursov na rossijskom shel`fe / A.S. Loktev, V.N. Xoshtariya, M.Yu. Tokarev // Nauchno-texnicheskij sbornik Vesti gazovoj nauki. – 2017. – № 4 (32). – pp. 144–149.

2. Kolesnichenko V.V. Gidrofizicheskij monitoring melkovodny`x rajonov v celyax obespecheniya e`kologicheskoj bezopasnosti / V.V. Kolesnichenko, V.B. Mit`ko // Izvestiya Yuzhnogo federal`nogo universiteta. Texnicheskie nauki. – 2009. – T. 95, № 6. – pp. 61–65.

3. Morfolitodinamika beregov i dna Bajdaraczkoj guby` na trasse perexoda magistral`ny`mi gazoprovodami / A.M. Kamalov [i dr.] // Kriosfera Zemli. – 2006. – T. 10, № 3. – pp. 3–14.

4. Ispol`zovanie sejsmoakusticheskogo kompleksa dlya issledovaniya verxnej osadochnoj tolshhi i rel`efa morskogo dna v Vostochnoj Arktike / N.N. Dmitrievskij [i dr.] // Okeanologiya. – 2013. – T. 53, № 3. – pp. 412–417.

5. Karaev R.N. Podvodno-texnicheskie raboty` na Kaspijskom shel`fe / R.N. Karaev // Morskie intellektual`ny`e texnologii. – 2010. – № 2. – pp. 46–54.

УДК 665.6:614.84

АНАЛИЗ МЕТОДИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ ПРИ «БОЛЬШИХ ДЫХАНИЯХ»

Елизарьев А.Н., Гапонов В.М., Юсупов Т.Р., Тараканов Д.А., Тараканов Дм.А.

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», Уфа, e-mail: vitalikgapon@mail.ru

Использование устаревших технологий хранения нефтепродуктов несет потенциальную опасность для населения и территории, особенно в условиях ЧС. При эксплуатации объектов хранения вследствие больших и малых дыханий в атмосферу могут выделяться токсичные и легковоспламеняющиеся вещества, что приводит к риску возникновения пожаровзрывоопасных ситуаций. В этой связи особую актуальность приобретает исследование существующих методических подходов к оценке пожарной опасности объектов хранения нефтепродуктов для населения и территории при «больших дыханиях», а также количественная и качественная оценка возможности образования пожара и/или взрыва. В данной статье рассмотрены качественные и количественные потери, определяющие угрозу возникновения пожарной и пожаровзрывоопасной ситуации при наличии источника зажигания; метод построения «дерева событий» на основе стандарта ГОСТ 54145-2010, который с учетом вероятности может дать количественную оценку возможности пожара и/или взрыва. А также рассмотрены четыре методики количественной оценки объемов выдоха больших дыханий. При анализе выявлен ряд особенностей учета входных параметров, влияющих на величину большого дыхания. Проведен сравнительный анализ результатов расчетов по выбранным методическим подходам, с помощью которых выявляется предварительная оценка величины «больших дыханий», которая может служить основой защитных мероприятий. Также проведен анализ влияния входных данных на результаты расчетов в программе «TANKS Emissions Estimation Software». Исходя из результатов сравнительного анализа выделили более точные методики, что позволяет повысить эффективность планирования превентивных мероприятий с точки зрения обеспечения промышленной и пожарной безопасности.

Ключевые слова: большие дыхания, нефтепродукты, пожаровзрывоопасные ситуации, сравнительный анализ, резервуарные парки, качественная и количественная оценка

ANALYSIS OF METHODOLOGICAL APPROACHES TO FIRE HAZARD ASSESSMENT FOR RESERVOIR PARKS WITH STRONG BREATHING

Elizarev A.N., Gaponov V.M., Yusupov T.R., Tarakanov D.A., Tarakanov Dm.A.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, e-mail: vitalikgapon@mail.ru

The use of obsolete oil storage technologies poses a potential danger for the population and the territory, especially in conditions of emergencies. When operating objects of storage due to strong and weak breathings, toxic and flammable substances can be released into the atmosphere, which leads to a risk of fire and explosion hazard situations. In this connection, the study of existing methodological approaches to assessing the fire hazard of oil products storage facilities for the population and territory with «strong breathing», as well as a quantitative and qualitative assessment of the possibility of the formation of a fire and / or explosion, becomes especially urgent. In this article, we consider the qualitative and quantitative losses that determine the threat of fire, and fire and explosion hazard situations in the presence of an ignition source; method of constructing an «event tree» based on the GOST 54145-2010 standard, which, given the probability, can give a quantitative estimate of the possibility of a fire and / or explosion. Four methods for quantifying the volume of expiration of strong breathing were also examined. The analysis revealed a number of peculiarities of accounting for input parameters that affect the magnitude of strong breathing. A comparative analysis of the results of calculations based on the selected methodological approaches, with the help of which preliminary estimation of the magnitude of «strong breathing», which can serve as the basis for protective measures, is revealed. The analysis of the influence of input data on the results of calculations in the program «TANKS Emissions Estimation Software» was also conducted. Based on the results of the comparative analysis, more precise methods have been identified, which makes it possible to increase the effectiveness of planning preventive measures in terms of ensuring industrial and fire safety.

Keywords: strong breathing, oil products, fire and explosion hazards, comparative analysis, reservoir parks, qualitative and quantitative assessment

Использование устаревших технологий хранения нефтепродуктов несет потенциальную опасность для населения и территории, особенно в условиях ЧС. При эксплуатации объектов хранения вследствие больших и малых дыханий в атмосферу могут выделяться токсичные и/или легковоспламеняющиеся вещества, что приводит к загрязнению окружающей среды углеводородами и их соединениями, а также несет риск возникновения пожаровзрывоопасных ситуаций [1].

В этой связи особую актуальность приобретает исследование существующих методических подходов к оценке пожарной опасности объектов хранения нефтепродуктов для населения и территории при «больших дыханиях», а также количественная и качественная оценка возможности образования пожара и/или взрыва.

Основная доля потерь (табл. 1) от испарения на протяжении всего пути нефтепродуктов от заводов до потребителей, на самих заводах и движения нефти от промысла до нефтеперерабатывающих заводов приходится на резервуары (0,02 – при транспорте и хранении на нефтебазах и нефтепродуктопроводах нефти и нефтепродуктов; 0,035 – на нефтеперерабатывающих заводах; 0,04 – безвозвратные потери на нефтепромыслах).

Таблица 1

Потери нефтепродуктов и нефти [2]

Источники потерь	Потери, %
В резервуарах	64,8
В том числе:	
От «больших дыханий»	54,0
От выдуваний	4,6
От газового сифона	0,9
При зачистке	5,3
В насосных станциях	2,3
С канализационными стоками	7,5
В линейной части	23,5
В том числе:	
От утечек	22,3
От аварий	1,2
При наливе железнодорожных цистерн	1,84

Сокращение нормативных и сверхнормативных потерь остается одной из постоянных проблем в области транспорта и хранения нефти. В данном направлении была проделана существенная работа, но размеры потерь достаточно велики. Сложный путь транспортировки и хранения, перевалки и распределения проходят нефть и нефтепродукты. Ориентировочно можно считать, что нефтепродукты подвергаются более чем двадцати перевалкам до непосредственного применения (0,75 – потери от испарения; 0,25 – потери от аварий и утечек) [2].

На резервуарные парки приходилось до 0,7 потерь в системе Госкомнефтепродукта в начале 1970-х гг., причем от испарения при «больших» и «малых» дыханиях около 0,65.

При наливе нефти и нефтепродуктов в цистерны в Великобритании потери от испарения оцениваются в размере 0,4/0,6% и достигают 120000 т в год. Существуют установки регенерации паров, но путем охлаждения, адсорбции либо конденсации они малоэффективны. Создаются наиболее совершенные, новые методы с применением фильтрования через углеродную насадку. Американские подобные установки уже позволяют регенерировать до 0,95, однако результативны только лишь при высокой оборачиваемости резервуаров и концентрации углеводородов в паровоздушной смеси более 0,35 [2].

Различные мероприятия, проведенные для снижения потерь, дают положительный эффект. Но по официальным данным заметно, что они еще достаточно велики. Таким образом, только за один месяц естественная убыль нефти составила из отчета Сургутского РНПУ 3370 т [2].

Качественные и количественные потери имеют не только экономическую оценку, но и определяют потенциальную угрозу возникновения пожарной и пожаровзрывоопасной ситуации при наличии источника зажигания.

Для тушения пожаров и устранения аварий на объектах хранения нефти и нефтепродуктов требуется привлечение большого количества сил и средств, так как такие ЧС характеризуются затяжным характером и обширной площадью развития горения. От нескольких часов до нескольких суток может потребоваться для полной ликвидации горения. Подобные пожары в определенных случаях могут привести к человеческим жертвам. Установлено, что горение нефтепродуктов, хранящихся в резервуаре, может сопровождаться мощным тепловым излучением в окружающую среду, а высота светящейся части пламени составлять 1–2 диаметра горящего резервуара. При пожарах на таких объектах горение сопровождается выбросами горящей жидкости и взрывами, а также может распространяться с очень большой скоростью. Основными непосредственными (техническими) причинами пожаров [3] являются: воспламенение смеси паров нефтепродукта с воздухом от источников зажигания различной природы (0,76), ремонтные работы (резка металла, очистные, сварочные работы и др.) (0,14). В то же время согласно сведениям СЭУ ФПС ИПЛ [3] основными источниками зажигания являются: разряд статического электричества (0,151), фрикционные искры (0,145), нагретые до высоких температур детали оборудования, узлы и поверхности (0,128), пирофорные отложения (0,128), электрические искры (0,108), при проведении сварочных работ раскаленные частицы металла (искры) (0,099), тепловые проявления аварийного режима работы электрооборудования (0,085), открытое пламя (0,085).

Одним из инструментов количественного анализа возможного развития ЧС является на основе стандарта ГОСТ 54145-2010 метод

построения «дерева событий», который с учетом вероятности может дать количественную оценку возможности пожара и/или взрыва [4].

На рис. 1 приведен пример локальной разгерметизации резервуара с бензином в виде дерева событий [5].

Из рис. 1 видно, что качественную и количественную оценку степени опасности ЧС в полной мере провести невозможно, так как в дереве событий не анализируются процессы взаимодействия разлива нефтепродуктов с окружающей средой, которые определяются множеством неучтенных факторов. Наличие и статистика зажигания определяется на основе статистических данных с учетом вероятностной природы.

Анализ отечественных и зарубежных источников показал, что на сегодняшний день отсутствует единая методологическая база по количественной оценке объемов больших дыханий, которые несут угрозу возникновения пожаров при наличии источника зажигания.

Среди наиболее используемых можно выделить четыре методики количественной оценки объемов выдоха больших дыханий [6…10]. При анализе данных методических подходов выявлен ряд особенностей учета входных параметров, влияющих на величину большого дыхания. Результаты анализа учитываемых параметров в виде входных данных (исходных данных) представлены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что методика [6] учитывает изменение величины выброса в зависимости от марки бензина, что обуславливается различием давлений насыщенных паров различных марок. Также данная методика учитывает зависимость объемов выброса от времени года, в соответствии со среднемесячной температурой воздуха, определяющей температуру нефтепродуктов. В то же время методика не учитывает данные особенности наливных операций, а учет влияния температуры окружающей среды используется только при расчете плотности нефтепродуктов, что определенно влияет на результат расчетов. Полученный результат не противоречит аналогичным исследованиям больших дыханий на резервуарах АЗС [12], а при учете степени износа резервуаров с помощью различных подходов – позволит оценить потенциальные экологические и пожарные риски.

Методика [7] также учитывает 7 из 12 возможных входных параметров, однако данная методика учитывает изменение давления, температуры, концентрации паров нефтепродуктов при изменении объема газового пространства резервуара.

Методика [8] не учитывает объем газового пространства резервуара, плотность паров нефтепродуктов, а также интенсивность испарения, что приводит к снижению точности результатов расчета.

В методике [9] не отражается зависимость объемов выбросов от марки бензина, а также данная методика не учитывает динамику слива/налива топлива, что приводит к искажениям результатов при расчете.

Рис. 1. Локальная разгерметизация резервуара с бензином – пример дерева событий

Таблица 2

Результаты анализа входных данных [11]

Входные данные (исходные данные)		Методика				
		[6]	[7]	[8]	[9]	[10]
1	Объем закачиваемого нефтепродукта (н/пр), м^3	+	–	+	+	+
2	Время налива, мин	–	–	+	–	-
3	Концентрация паров н/пр в выбросах, об.%, г/м^3	+	+	+	+	+
4	Плотность жидкой фазы н/пр, кг/м^3	–	–	+	–	+
5	Плотность паров н/пр, кг/м^3	+	+	–	+	+
6	Объем газового пространства, м^3	+	+	–	+	+
7	Ср. температура н/пр, °С, К	+	+	–	+	+
8	Атмосферное давление, Па	+	+	–	–	+
9	Парциальное давление паровоздушной смеси, Па	+	+	–	–	+
10	Ср. мес. температура газового пространства внутри резервуара, °С, К	–	+	–	–	+
11	Характеристики дыхательного клапана	+	–	–	–	+
12	Характеристика окраски резервуара	–	–	–	–	+
Количество учитываемых входных параметров		8	7	4	5	11

Методика [10] учитывает 11 из 12 возможных входных параметров, что является наибольшим числом среди рассмотренных методик.

Для сравнительного анализа результатов расчетов по выбранным методическим подходам использованы единые исходные данные. По результатам расчетов получены следующие величины (табл. 3).

Таблица 3

Результаты расчетов по методикам [6…10]

Методика	Результат расчета, кг	Δ,%
[6]	16 886,80	+36,50%
[7]	10 607,00	–14,25%
[8]	8 428,00	–31,87%
[9]	8 222,18	–33,50%
[10]	12 370,56	–

Учитывая оперативность расчета по методике [10], а также то, что в ней учитывается наибольшее количество входных параметров – расчеты по ней взяты за основу. Из табл. 2 видно, что результаты расчетов объема большого дыхания могут отличаться от эталонного как в большую (методика [6]), так и в меньшую (методики [7…9]) сторону (рис. 2). Так, предварительная оценка величины «больших дыханий» может служить основой защитных мероприятий.

При анализе влияния входных данных на результаты расчетов в программе «*TANKS Emissions Estimation Software*» [10], выявлено, что наиболее целесообразно использовать белый цвет для окраски резервуара, а использование понтона приводит к снижению потерь нефти от большого дыхания на 73%, что может положительно отразиться на состоянии окружающей среды, а с экономической точки зрения приведет к уменьшению потерь дорогостоящих легких фракций.

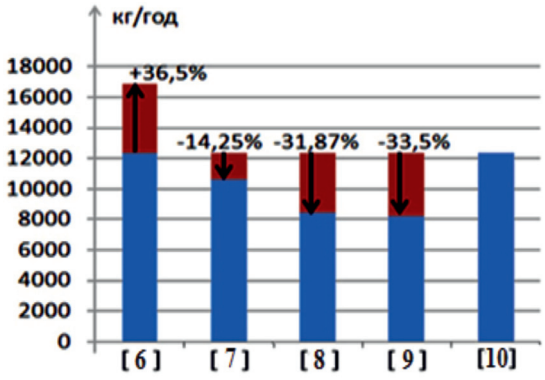


Рис. 2. Сравнительный анализ результатов расчетов по методикам [6…10]

По результатам анализа видно, что для определения величины выбросов паров нефти и нефтепродуктов при большом дыхании целесообразнее использовать методики [6, 7, 10], так как в них учитывается наибольшее число входных параметров, что существенно повышает их точность. Учитывая, что пары нефти и нефтепродуктов обладают способностью взрываться и гореть, точность расчета позволит повысить эффективность планирования пре-

вентивных мероприятий с точки зрения обеспечения промышленной и пожарной безопасности.

Список литературы

1. Развитие методических основ оценки риска ЧС в резервуарных парках с использованием методов системного анализа / С.Г. Аксенов [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 2. – С. 131–136.

2. Потери нефти и нефтепродуктов при эксплуатации резервуарных парков. URL: https://gazovikneft.ru/articles/poteri (дата обращения: 12.05.2018).

3. Анализ практики экспертного исследования пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов. URL: https://cyberleninka.ru/article/v/analiz-praktiki-ekspertnogo-issledovaniya-pozharov-na-obektah-hraneniya-nefti-i-nefteproduktov (дата обращения: 21.05.2018).

4. ГОСТ 54145-2010 «Менеджмент рисков. Руководство по применению организационных мер безопасности и оценки рисков. Общая методология». URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54145-2010/ (дата обращения: 24.05.2018).

5. Елизарьев А.Н. Прогнозирование разливов нефтепродуктов при железнодорожных авариях / А.Н. Елизарьев, Т.Р. Юсупов, Е.Н. Елизарьева // Бюллетень результатов научных исследований. – СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2016. – № 3–4. – С. 28–35.

6. Тугунов П.И. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов: учеб. пособие для вузов / П.И. Тугунов, В.Ф. Новоселов, А.А. Коршак, А.М. Шаммазов. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. – 685 с.

7. РД 153-39-019–97. Методические указания по определению технологических потерь нефти на предприятиях нефтяных компаний РФ. URL: http://www.gostrf.com/normadata/1/4293854/4293854457.pdf/ (дата обращения: 25.05.2018).

8. Методика по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров: Госкомэкология России от 01.01.1998. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200003683/ (дата обращения: 25.05.2018).

9. Бунчук В.А. Технология химии нефти и газа / В.А. Бунчук. – М.: Недра, 1977. – 220 с.

10. United States Environmental Protection Agency // TANKS Emissions Estimation Software [Программное обеспечение], URL: https://www3.epa.gov/ttnchie1/software/tanks/ (дата обращения: 15.05.2018).

11. Елизарьева Е.Н. Сравнительный анализ методических подходов оценки загрязнения атмосферы в результате «больших дыханий» / Е.Н. Елизарьева, В.В. Акшенцев, Т.Р. Юсупов // Техносферная и экологическая безопасность на транспорте (ТЭБТРАНС-2016): материалы V Юбилейной Международной научно-практической конференции (Санкт-Петербург, 26–28 октября 2016 г.). – СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2016. – С. 70–75.

12. Красногорская Н.Н. Повышение уровня экологической безопасности функционирования объектов автотранспортной инфраструктуры / Н.Н. Красногорская, А.Н. Елизарьев, Р.Г. Ахтямов. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2011. – 186 с.

References

1. Razvitie metodicheskix osnov ocenki riska ChS v rezervuarny`x parkax s ispol`zovaniem metodov sistemnogo analiza / S.G. Aksenov [i dr.] // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2016. – № 2. – pp. 131–136.

2. Poteri nefti i nefteproduktov pri e`kspluatacii rezervuarny`x parkov. URL: https://gazovikneft.ru/articles/poteri (data obrashheniya: 12.05.2018).

3. Analiz praktiki e`kspertnogo issledovaniya pozharov na ob``ektax xraneniya nefti i nefteproduktov. URL: https://cyberleninka.ru/article/v/analiz-praktiki-ekspertnogo-issledovaniya-pozharov-na-obektah-hraneniya-nefti-i-nefteproduktov (data obrashheniya: 21.05.2018).

4. GOST 54145-2010 «Menedzhment riskov. Rukovodstvo po primeneniyu organizacionny`x mer bezopasnosti i ocenki riskov. Obshhaya metodologiya». URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-r-54145-2010/ (data obrashheniya: 24.05.2018).

5. Elizar`ev A.N. Prognozirovanie razlivov nefteproduktov pri zheleznodorozhny`x avariyax / A.N. Elizar`ev, T.R. Yusupov, E.N. Elizar`eva // Byulleten` rezul`tatov nauchny`x issledovanij. – SPb.: Peterburgskij gosudarstvenny`j universitet putej soobshheniya Imperatora Aleksandra I, 2016. – № 3–4. – pp. 28–35.

6. Tugunov P.I. Tipovy`e raschety` pri proektirovanii i e`kspluatacii neftebaz i nefteprovodov: ucheb. posobie dlya vuzov / P.I. Tugunov, V.F. Novoselov, A.A. Korshak, A.M. Shammazov. – Ufa: DizajnPoligrafServis, 2006. – 685 p.

7. RD 153-39-019–97. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu texnologicheskix poter` nefti na predpriyatiyax neftyany`x kompanij RF. URL: http://www.gostrf.com/normadata/1/4293854/4293854457.pdf/ (data obrashheniya: 25.05.2018).

8. Metodika po opredeleniyu vy`brosov zagryaznyayushhix veshhestv v atmosferu iz rezervuarov: Goskome`kologiya Rossii ot 01.01.1998. URL: http://docs.cntd.ru/document/1200003683/ (data obrashheniya: 25.05.2018).

9. Bunchuk V.A. Texnologiya ximii nefti i gaza / V.A. Bunchuk. – M.: Nedra, 1977. – 220 s.

10. United States Environmental Protection Agency // TANKS Emissions Estimation Software [Programmnoe obespechenie], URL: https://www3.epa.gov/ttnchie1/software/tanks/ (data obrashheniya: 15.05.2018).

11. Elizar`eva E.N. Sravnitel`ny`j analiz metodicheskix podxodov ocenki zagryazneniya atmosfery` v rezul`tate «bol`shix dy`xanij» / E.N. Elizar`eva, V.V. Akshencev, T.R. Yusupov // Texnosfernaya i e`kologicheskaya bezopasnost` na transporte (TE`BTRANS-2016): materialy` V Yubilejnoj Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (Sankt-Peterburg, 26–28 oktyabrya 2016 g.). – SPb.: FGBOU VO PGUPS, 2016. – pp. 70–75.

12. Krasnogorskaya N.N. Povy`shenie urovnya e`kologicheskoj bezopasnosti funkcionirovaniya ob``ektov avtotransportnoj infrastruktury` / N.N. Krasnogorskaya, A.N. Elizar`ev, R.G. Axtyamov. – SPb.: Izd-vo SPbGPU, 2011. – 186 p.

УДК 551.89(571.1)

ДИСКУССИОННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ПАЛЕОГЕОГРАФИИ ПЛЕЙСТОЦЕНА ЛЕДНИКОВЫХ ОБЛАСТЕЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

[1,2]Зыкин В.С., [1]Зыкина В.С.

[1]ФГБУН «Институт геологии и минералогии СО РАН им В.С. Соболева», Новосибирск, e-mail: zykin@igm.nsc.ru;

[2]ФГАОУ ВО «Новосибирский национальный исследовательский государственный университет», Новосибирск

В статье обсуждаются основные дискуссионные проблемы палеогеографии плейстоцена ледниковых областей Западной Сибири. На основании данных о строении, литологической характеристике и геоморфологическом положении четвертичных отложений, полученных в последнее время на севере Западно-Сибирской равнины и в Горном Алтае, значительно уточнено распространение, количество, масштабы, границы и возраст оледенений в плейстоцене этого обширного региона. Наличие ледогранников в башкаусской свите Горного Алтая, отнесенной по палеомагнитной и палеонтологической характеристике к хрону Матуяма свидетельствует, что в горных областях юга Сибири в раннем плейстоцене существовало оледенение, превосходившее современное. Обнаружение в ледниковой зоне севера Западной Сибири, на поверхности второй террасы р. Надым в Надымском Приобье криогенных полигонов с первично-песчаными клиньями не соответствует присутствию на этой территории покровного оледенения во время последнего ледникового максимума. Их формирование происходило в перигляциальных условиях, при среднегодовых температурах до –12 – –20 °С, и среднегодовой сумме осадков менее 100 мм. Показано, что оледенение Горного Алтая в последний ледниковый максимум носило горно-долинный характер. Выходившие из долин боковых притоков в магистральную долину относительно небольшие ледники, морены которых прослежены вдоль Чуи и Катуни от устья Айгулака до пос. Майма, продвигались по ней на незначительное расстояние, не сливаясь в единый ледник. Исследование четвертичных отложений в долинах рек Чуя и Катунь Горного Алтая не выявило в них следов гляциально обусловленных катастрофических суперпаводков. На этом участке долины рек Чуя и Катунь в плейстоцене были выполнены речными, озерными, ледниковыми, флювиогляциальными и склоновыми отложениями.

Ключевые слова: Западная Сибирь, плейстоцен, палеогеография, ледниковые области, ледниковые отложения

DISCUSSION PROBLEMS OF PLEISTOCENE PALEOGEOGRAPHY OF GLACIAL REGIONS OF WESTERN SIBERIA

[1,2]Zykin V.S., [1]Zykina V.S.

[1]V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy SB of the RAS, Novosibirsk, e-mail: zykin@igm.nsc.ru;
[2]National Research Novosibirsk State University, Novosibirsk

The paper deals with main discussion problems of Pleistocene Paleogeography of glacial regions of Western Siberia. Using the data on the structure, lithological characteristics, geomorphological sutuations of Quaternary deposits obtained in last time on the north of West Siberian Plain and in Altai Mountains the Pleistocene glaciation spreadings, quantity, scales, boundaries and ages in this vast region were defined more exactly. The availability of a glacial faceted boulders buried in the Bashkaus Formation in Gornyi Altai attributed to Matuyama Chron testifies that the glaciation existed in Early Pleistocene in the Mountain regions of Southern Siberia. The detection of cryogenic poligonal structures with primery sand wedges on the surface of the second terrace of the Nadym River in glacial zone of West Siberia is inconsistent with the existence of ice sheets in the area during Last Glacial Maximum. The formation of this cryogenic structures occurred in periglacial conditions in a very cold climate when temperature dropped to –12 to –20 °C, wereasthe total annual precipitation fell below 100 mm. In Altai Mountains Glaciation in Last Glacial Maximum was moutain-valley glaciation. The small glaciers from the valleys of tributaries reached the valleys of Katun and Chuya rivers and advanced on the small distances, but were not merged into one glacier. The investigations of Quaternary deposits in the valleys of Katun and Chuya rivers of Altai Mountains have not revealed manifestations of cataclysmic glacial superfloods. The valleys of Katun and Chuya rivers in Pleistocene were filled river, lake, glacial, slope, and fluvioglacial deposits.

Keywords: Western Siberia, Pleistocene, Paleogeography, glacial regions, glacial deposits

Изучение четвертичных отложений Западной Сибири имеет длительную историю. Особое внимание уделялось исследованию важнейших событий плейстоцена – материковых оледенений. По мере накопления фактического материала постепенно детализировалась стратиграфическая последовательность четвертичных отложений, разрабатывались критерии и методы диагностики генетических типов осадков, возрастала обеспеченность данными абсолютного датирования, появлялись новые данные о геологическом строении конкретных разрезов, уточнялось количество, распространение, масштаб и возраст оледенений. В связи с появлением все более детальных геологических данных трансформировались палеогеографические реконструкции и концепции развития этой огромной территории, уточнялось влияние различных

природных процессов на формирование природной среды и климата в различные эпохи четвертичного периода. Появление новых геологических материалов приводит как к уточнению имеющихся палеогеографических концепций, так и к значительным противоречиям в палеогеографической интерпретации новых фактических данных и многочисленным дискуссиям. Особенную важность приобретает достоверность стратиграфической и палеогеографической информации для установления закономерностей изменений природной среды и климата, которые могут быть применены для прогноза их изменений в ближайшем будущем. Часто существование различных палеогеографических реконструкций в одних и тех же районах зависит от детальности и комплексности исследований, сложности геологического строения территории, недостаточности разработки критериев диагностики генезиса отложений, от степени проработки фактического материала, а также профессионализма исследователей. Целью статьи является обсуждение основных дискуссионных проблем, связанных с развитием оледенений в плейстоцене Западной Сибири, а также особенностями проявления сопутствующих им событий на основании новых материалов, полученных авторами при комплексном изучении строения, состава и геоморфологического положения разрезов четвертичных отложений в ледниковых областях. В ней обобщены исследования, проведенные литолого-генетическим, палеопедологическим, геоморфологическим, радиоуглеродным и палеомагнитным методами. Среди многочисленных проблем палеогеографии четвертичного периода ледниковых областей Западной Сибири кратко рассмотрены только те проблемы, в решении которых авторам в последнее время в результате комплексных детальных исследований удалось получить новые материалы, позволившие уточнить прежние палеогеографические представления.

Первое материковое оледенение в Западной Сибири

Проблема времени возникновения первого материкового оледенения в конкретных районах Евразии является определяющей для стратиграфии и палеогеографии четвертичного периода. В связи со значительной денудацией в ледниковых областях следы древних оледенений сохранились фрагментарно. На ранних этапах исследования четвертичных отложений Западной Сибири к наиболее ранним ледниковым образованиям Е.Н. Щукиной в 1960 г. была отнесена эоплейстоценовая башкаусская свита высокогорий Алтая, включающая бурые валунно-галечные суглинки и супеси с выветрелыми валунами. Несколько позже Е.В. Девяткин, Н.А. Ефимцев и И.Г. Лискун на основании литолого-стратиграфических исследований пришли к мнению о неледниковом происхождении башкаусской свиты, ограничив условия ее формирования преимущественно аллювиальным и частично пролювиальным генезисом. Недавно на основании наличия в некоторых разрезах башкаусской свита валунов, частичной выветрелости обломочного материала, его слабой сортировке, присутствия неокатанного материала, отсутствию слоистости П.А. Окишев [1] отнес эти отложения к ледниковым образованиям.

Изучение разрезов башкаусской свиты в опорных разрезах по периферии Чуйской впадины Алтая дало возможность установить в ней неопровержимые доказательства развития оледенения во время ее формирования в виде ледогранников [2]. В башкаусской свите они встречены в двух разрезах в противоположных частях впадины. У подножия южного склона Курайского хребта в долине р. Туерык ледогранники до 20 см в поперечнике с хорошо пришлифованными гранями приурочены к нижней части свиты, где неравномерно рассеяны в линзах мощностью до 3 м серовато-желтого, плохо сортированного алеврита с большим количеством песка, гравия, различно окатанной гальки, мелких валунов [2]. Галька и валуны различно окатаны, преимущественно плохо, встречаются щебень и отломы разного размера. Размер обломков не превышает 30 см в поперечнике. Обломки пород несут следы поверхностного выветривания.

В ставшем уже классическим чаганском разрезе в левом борту долины р. Чаган, расположенном у северного подножия Южно-Чуйского хребта, башкаусская свита распространена в юго-западной части обнажения на протяжении 600 м. Ледогранники были обнаружены в средней и верхней (рис. 1) части свиты. В этом разрезе башкаусская свита мощностью 37 м сложена уплотненным, различно окатанным, плохо сортированным галечником серовато-желтого цвета, в средней части свиты коричневато-серым. Встречаются мелкие валуны до 0,3 м. Много неокатанных обломков от щебня до мелких отломов. Присутствуют ледогранники, на некоторых из них имеет-

ся ледниковая штриховка, иногда они образуют небольшие скопления. Характерной особенностью свиты в разрезе является наличие большого количества выветрелых и растрескавшихся галек и валунов, щебня и отломов, которые, как правило, часто встречаются в морене. Заполнителем служит желтовато-серый, плотный, глинистый, песчанистый, слюдистый алеврит. Литологические особенности башкаусской свиты разреза позволяют относить эти отложения к водно-ледниковым образованиям.

Рис. 1. Ледогранник с ледниковой штриховкой из верхней части нижнеплейстоценовой башкаусской свиты Горного Алтая в обрыве правого склона долины р. Чаган

Проведенные палеомагнитные исследования башкаусской свиты по р. Туерык [2] и в чаганском разрезе [3] позволили сопоставить их магнитостратиграфические разрезы и позволили получить ее магнитостратиграфический разрез, состоящий из достаточно продолжительной магнитозоны обратной полярности и окаймляющих ее относительно маломощных магнитозон прямой полярности. Сопоставление этого магнитостратиграфического разреза с магнитохронологической шкалой [4] с учетом стратиграфического расположения башкаусской свиты в стратиграфической схеме кайнозоя Горного Алтая позволяет отнести прямо намагниченную магнитозону в нижней части свиты к верхней части хрона C2An [4] или хрона Гаусс [5], а мощную магнитозону обратной намагниченности в средней части свиты к хрону C2r [4] или нижней части хрона Матуяма [5]. Магнитозона прямой полярности в верхней части свиты в этом случае весьма вероятно будет относиться к субхрону C2n [4] или субхрону Олдувей [5]. Граница между палеомагнитными эпохами Гаусс – Матуяма [5] или хронами C2An.1n и C2r [4] проходит на геохронологическом уровне 2,58 млн лет [4, 5]. Таким образом, палеомагнитные материалы не противоречат отнесению следов наиболее раннего оледенения Горного Алтая к началу плейстоцена близ хронологического рубежа 2,58 млн лет.

Последнее оледенение Западной Сибири

Данные о масштабах проявления и положении границ последнего оледенения (сартанского), как на территории севера Западной Сибири, так и в горах Южной Сибири до сих пор остро дискуссионны. По данным многих исследователей ледниковые образования последнего оледенения на севере Сибири были распространены на небольшой площади. На примыкающих с севера к Западно-Сибирской равнине горных сооружениях на высотах 800–900 м последнее оледенение имело горно-долинный характер [6]. Тем не менее среди специалистов существует мнение, что ледниковые образования последнего оледенения широко представлены в районе Сибирских увалов и протягиваются до 61 ° с.ш.

При изучении четвертичных образований ледниковой зоны севера Западной Сибири, на поверхности второй террасы р. Надым в Надымском Приобье были установлены мерзлотные полигоны с первично-песчаными клиньями [7]. Их присутствие не соответствует наличию на этой территории покровного оледенения во вторую половину позднего плейстоцена. Образование подобных криогенных структур возможно только в очень холодных перигляциальных условиях, холоднее современных на 13–21 °С, при среднегодовых температурах до –12 – –20 °С и при незначительной среднегодовой сумме осадков менее 100 мм. Таким образом, полученные данные ограничивают развитие последнего оледенения на севере Западно-Сибирской равнины как максимум 65 ° с.ш.

Достаточно противоречивы взгляды различных исследователей на распространение последнего оледенения на Горном

Алтае. Большинство геологов и палеогеографов рассматривают наличие крупных валунов и глыб до 10 м в поперечнике и их скоплений в отложениях террас долин рек Катуни, Чуи и Бии следами обширных оледенений. С 1980 гг. некоторые как российские [8–10], так и зарубежные исследователи [11–13] особенности рельефа и строения рыхлых толщ долин рек Чуя и Катунь, в том числе присутствие в них глыбового материала, объясняют проявлением внезапных суперпаводков, образующихся в результате спуска гигантских озер, подпруженных ледниками в высокогорьях Алтая.

Одним из районов Горного Алтая, где на основании присутствия в рыхлых отложениях террас долины р. Катуни «мощных валунногалечников с прослоями глыбовников и отдельными глыбами» [9] выделена «типичная ассоциация гигантских гляциальных паводков» [9], является участок в правом борту долины близ пос. Майма. Изучение геоморфологического строения этой территории и состава аллювия террас долины Катуни в этом районе показало, что крупные валуны и глыбы до 7 м в поперечнике неравномерно расположены в хорошо окатанных речных галечниках 2, 3, и 4-й террас и на их поверхности в виде инородного материала. Они не несут следов окатывания или других способов обработки в водном потоке, имеют острые ребра и углы, выветрелые или с поверхности или до состояния сапролита (разрушаются при незначительном ударе) и представлены исключительно легко узнаваемыми гранитоидами со шлирами рыбалкинского (айского) массива, распространенного на правобережье Катуни в районе пос. Майма. Эти гранитоиды обнажаются, в том числе в сильно выветрелом состоянии, в небольших речных долинах и логах, впадающих в Катунь справа. В аллювии 2-й террасы здесь обнаружены ледогранники с ледниковой штриховкой. Единственным возможным путем перемещения сильно выветрелых глыб без их разрушения могла быть только их транспортировка ледниками, способными переносить глыбы и другие обломки горных пород на поверхности льда или внутри него, не меняя их формы. Отсутствие крупных скоплений глыб, не образующих моренных комплексов, свидетельствует о незначительных размерах ледников, выходящих из боковых притоков в долину магистральной реки, не перегораживая ее. Глыбы незначительно перераспределялись при формировании флювиогляциальных отложений, когда сток в долине Катуни увеличивался.

Крупнейшее нагромождение эрратических глыб, образующих морену, идентифицируется в Яломано-Катунской зоне, в среднем течении долины Катуни, на ее левом берегу, на площадке террасы высотой 65 м, вблизи ее причленения к 180-й террасе [14]. Это так называемый «сад камней». Выступающее над поверхностью террасы на 3–4 м нагромождение глыб локализуется вдоль тылового шва террасы от устья р. Иня почти на 2 км и здесь, по-видимому, служит ее цоколем. Вверх по течению от устьевого участка р. Ини глыбы на площадке этой террасы отсутствуют. Материал большинства глыб прдставлен гранодиоритом и палеозойскими метаморфическими сланцами. Размеры глыб обычно не превышают 6 м в поперечнике, но некоторые из них достигают 12 м. Одиночные глыбы встречаются на склоне уступа 180-м террасы и на ее площадке вблизи бровки, отсутствуя в теле самой террасы. По представлениям А.Н. Рудого с соавторами [15] это нагромождение глыб сформировалось в результате их концентрации катастрофическим суперпаводком. Критериями отнесения этого скопления глыб к морене послужили следующие признаки:

1. Крупные размеры глыб, их неокатанность, наличие на них острых ребер и углов.

2. Материал, слагающий глыбы, представлен породами, обнажающимися только в долине р. Иня.

3. Присутствие на некоторых глыбах одной, реже двух плоскостей пришлифовки движущимся льдом.

4. Отсутствие ориентировки и сортировки глыб.

5. Многие глыбы гранодиоритов разделены трещинами на более мелкие отдельные глыбы, лежащие на месте без перемещения.

6. Раздробленность глыб палеозойских метаморфических сланцев открытыми призматическими трещинами кливажа, которые образуются только при коренном залегании горных пород и не могут сформироваться в отдельной глыбе, в случае их перемыва подобные глыбы разрушаются.

Так в разрезе 65-м террасы в левом борту долины Катуни, напротив «сада камней» с двумя мощными слоями перемытого глыбовника из этой морены отсутствуют глыбы с кливажными трещинами. Единственным возможным путем перемещения раздробленных глыб без их разрушения могла быть только их транспортировка ледником, способным переносить глыбы и другие обломки горных пород на поверхности льда или внутри него, не меняя их формы.

Рис. 2. Следы отступания ледника последнего оледенения в долине р. Иня, 1,5 км от устья в виде неокатанных глыб палеозойских сланцев с кливажом

Следы отступания ледника, сформировавшего описанную морену, хорошо сохранились в долине р. Иня в виде отдельных глыб, на ее склонах и площадке ее террасы (рис. 2), сочленяющейся с террасой Катуни высотой 65 м. Часть глыб погружена в маломощные, плохо сортированные галечники, слагающие эту террасу Ини. Возраст глыбового формирования глыбового нагромождения на террасе высотой 65 м установлен А.Н. Рудым с соавторами [15] по 4 датировкам по космогенным изотопам ^{10}Be глыб гранодиоритов, среднее значение которых соответствует 15532 ± 915 лет назад. Приведенные данные позволяют считать, что нагромождение глыб на площадке террасы высотой 65 м и глыбы в долине р. Иня являются образованиями позднеплейстоценового (сартанского) оледенения Западной Сибири. Выходящий из долины Ини ледник, судя по расположению глыбового материала на противоположном левом борту долины р. Катунь, подпирал уступ высокой террасы, полностью заполняя долину Катуни и продвигаясь по ней на незначительное расстояние. В это время сток в долине Катуни мог отсутствовать или быть значительно слабее современного, так как водный поток, близкий стоку современной реки, должен был эродировать относительно небольшой ледник и не дать ему достичь другого борта долины.

Достаточно мощная морена, отмеченная еще В.А. Обручевым в 1914 г., залегает в приустьевой части долины р. Айгулак, являющейся правым притоком р. Чуи. Она сложена типичным диамиктоном с большим количеством щебня, алеврита, крупных и мелких обломков горных пород до 3 м в поперечнике и валунов. На некоторых из валунов с пришлифованной поверхностью присутствует ледниковая штриховка. Редко встречаются ледогранники и раздавленные глыбы палеозойских сланцев с нахождением обломков на месте дробления. Торцовая часть морены, выходящая в долину р. Чуя переработана флювиальными процессами.

Таким образом, во время последнего ледникового максимума в горных районах Алтая небольшие ледники, формировавшиеся в долинах боковых притоков долин Чуи и Катуни, незначительно выходили в магистральные долины и не образовывали значительных моренных комплексов. Прерывистое распространение морен в этих долинах и приуроченность их к устьям боковых притоков не свидетельствует об образовании движущегося по долине Катуни крупного ледника, выходящего за пределы горной территории. Между многочисленными ледниками в долинах рек Чуя и Катунь, а также в долине р. Иня формировались озера, отмеченные в разрезах маломощными неравномерно слоистыми алевритами или па-

раллельно слоистыми дресвяниками низов ининской толщи. Оледенение в горных областях Западной Сибири носило горно-долинный характер и занимало незначительные площади.

Сток в долинах Горного Алтая в ледниковое время

Среди природных процессов, тесно связанных с оледенениями в Горном Алтае, особую роль играет сток в речных долинах во время их развития. С 1980 гг. некоторые исследователи (В.В. Бутвиловский, Е.В. Деев, И.Д. Зольников, Д.В. Назаров, С.В. Парначев, А.Н. Рудой, Г.Г. Русанов, P.A. Carling, J. Herget, A.U. Reuther) предполагают, что многие особенности геологического строения рыхлых четвертичных отложений и рельефа в долинах р. Чуя и Катунь в плейстоцене следует связывать с прохождением по этим долинам катастрофических суперпаводков, вызванных внезапными спусками огромных ледниково-подпрудных озер в высокогорьях Алтая. Другие исследователи Горного Алтая (Б.М. Богачкин, Б.А. Борисов, Е.В. Девяткин, Н.А. Ефимцев, В.С. Зыкин, В.С. Зыкина, Л.Н. Ивановский, А.А. Мистрюков, П.А. Окишев, А.В. Поздняков, А.А. Свиточ, Д.А. Тимофеев и др.) считают, что долины этих рек заполнены речными, ледниковыми, склоновыми и флювиогляциальными образованиями. Рассмотрим основные диагностические признаки, приводимые сторонниками гигантских катастрофических паводков для доказательства своих взглядов. Анализ этих данных стал возможен на основании новых материалов, полученных в результате детальных комплексных исследований на основных опорных разрезах в Яломано-Катунской зоне в долинах Чуя и Катунь, а также в долине Чуи от пос. Кош-Агач до устья, проведенных в 1995–2016 гг.

К основным критериям отнесения четвертичных отложений, выполняющих долины Чуи и Катуни, к образованиям гигантских катастрофических паводков относится наличие в них элементов паводкового циклита, выделенного С.В. Парначевым в 1999 г. [10]. Наиболее характерными элементами этого циклита являются селевая и пойменная фации. За опорный разрез паводкового циклита принят разрез нижней пачки ининской толщи в уступе 180-метровой террасы, находящийся в 500 м ниже устья р. Иня, в правом борту долины Катунь. В основании паводкового циклита [10] был описан валунно-глыбовый горизонт мощностью до 8 м с наибольшим размером обломков до 4 м, отнесенный к селевой фации. Исследование этого разреза показало, что при описании паводкового циклита С.В. Парначевым [10] за его базальный валунно-глыбовый горизонт был ошибочно принят базальный горизонт 65-метровой террасы, причленяющийся в данном разрезе к уступу 180-метровой террасы. При изучении этого разреза установлено, что в основании ининской толщи и опорного разреза «паводкового циклита» залегает плохо сортированный, хорошо окатанный галечник мощностью 2,8 м, с неотчетливой линзовидной слойчатостью, с большим количеством плохо сортированного гравия, дресвы и разнозернистого песка. Встречается щебень и хорошо окатанные валуны до 30 см в поперечнике. Редко присутствуют обломки коренных пород до 50 см в поперечнике. Плоская галька очень слабо наклонена вдоль современного течения реки. Строение и мощность этого слоя обычны для базального горизонта аллювия горной реки. Следует отметить, что описанный выше разрез является единственным в Яломано-Катунской зоне, где вскрываются базальные слои ининской толщи. В разрезе в обрыве 220-м террасы Катуни ниже пос. Инегень ининская свита залегает на хорошо промытых речных отложениях без базального горизонта и представлена в нижней части параллельно слоистыми дресвяниками. Несколько выше по Катуни в разрезе высокой 100-м террасы у устья руч. Сок-Ярык галечники, относимые к ининской толще [10], расположены на мощной (65 м), хорошо выраженной морене, описанной Б.М. Богачкиным в 1981 г. и залегающей у уреза воды в реке на погребенном среднеплейстоценовом аллювии. Один из ключевых участков наиболее крупного скопления глыб в более молодых образованиях сальджарской толщи выходит на поверхность 65-м террасы на левобережье Катуни, несколько ниже устья р. Иня и, как показано выше, принадлежит морене последнего сартанского оледенения. Следовательно, во всех известных ныне разрезах, в отложениях, относимых к образованиям гигантских катастрофических паводков, отсутствует характерный базальный элемент паводкового циклита.

Следующим характерным элементом паводкового циклита является так называемая пойменная фация, сложенная параллельно-слоистыми «дресвяниками и щебнедресвяниками», переносимыми, по мнению некоторых сторонников гляциальных па-

водков, во взвешенном состоянии и выпадающими из движущейся толщи воды при резком падении скорости и несущей способности потока в эрозионной тени. Наличие слоев параллельно-слоистых «дресвяников и щебнедресвяников», состоящих из мелких остроугольных обломков палеозойских сланцев различных размеров, в рыхлых толщах долин рек Чуя и Катунь, объявлено И.Д. Зольниковым [8, 16] «визитной карточкой суперпаводков». Следует отметить, что слои дресвяников, в которых преобладают неокатанные обломки палеозойских сланцев, довольно часто встречаются во всех четвертичных толщах различного возраста и генезиса, выполняющих долины Катуни и Чуи, так как борта и днища их долин часто сложены палеозойскими сланцами. Иногда они залегают в основании ининской свиты на более древних толщах без базального горизонта. Эти дресвяники состоят из чередования субпараллельных протяженных плоских слойков, имеющих толщину от 5 до 20 см, нижний из слойков состоит из более мелкозернистого осадка (с различным содержанием песка, гравия или дресвы), верхний слоек сложен более крупнозернистыми дресвой и песком. Часто их слойчатость наклонена к осевой части долины под углом 20–30°. В каждой из нижних пачек ининской свиты происходит отчетливое увеличение размеров обломков снизу вверх по разрезу. В параллельно-слоистых дресвяниках также снизу вверх по разрезу постепенно увеличивается толщина слойков и размер обломков в слойках. Подобная закономерность в осадконакоплении характерна для озерных осадков [17].

Наиболее полную информацию о генезисе нижней части ининской свиты дает разрез 180 м террасы в правом борту долины р. Катунь, в обрыве левого склона долины р. Иня, расположенный в 500 м выше ее устья, непосредственно ниже автомобильного моста через реку. Здесь р. Иня поперек сечет высокую террасу р. Катунь, вскрывая нижнюю часть ининской свиты. Разрез сложен темно-серыми, параллельно-слоистыми дресвяниками, в которых вверх по разрезу постепенно увеличивается мощность каждой пары слойков и размер обломков в них. В толще дресвяников разреза на 6 уровнях находятся линзы преимущественно хорошо и умеренно окатанных галечников с неравномерной линзовидной слойчатостью и слойчатостью выполнения, имеющих резкую нижнюю границу и выполняющих руслообразные врезы до 8 м шириной. По текстурным особенностям и руслообразной форме линз галечника, их размерам они относятся к отложениям небольшой горной реки, которую наследует современная р. Иня. Соотношение с вмещающими линзы галечника породами свидетельствует, что реконструируемая речка впадала в бассейн, в котором накапливались параллельно-слоистые дресвяники. Хорошая сохранность русловых отложений показывает, что это был достаточно крупный озерный бассейн. При попадании отложений небольшой реки в быстро движущийся поток катастрофического суперпаводка они не смогли бы остаться в разрезе. Следовательно, нижняя часть ининской свиты, включающая параллельно-слоистые дресвяники, формировалась в озерном бассейне.

Заключение

Проведенные исследования строения, состава, геоморфологического положения четвертичных отложений в ледниковых областях Западной Сибири позволили значительно уточнить распространение, количество и масштабы оледенений в плейстоцене этого обширного региона. Присутствие ледогранников в башкаусской свите Горного Алтая, имеющей палеомагнитную характеристику, соответствующую хрону Матуяма, свидетельствует, что в горных областях юга Сибири в раннем плейстоцене существовало оледенение, превосходившее современное. Обнаружение на севере Западной Сибири, в ледниковой зоне на поверхности второй террасы р. Надым в Надымском Приобье мерзлотных полигонов с первично-песчаными клиньями не соответствует присутствию на этой территории покровного оледенения во вторую половину позднего плейстоцена. Показано, что последнее оледенение Горного Алтая носило горно-долинный характер. В последний ледниковый максимум в горных районах Алтая небольшие ледники, формировавшиеся в долинах боковых притоков долин Чуи и Катуни, незначительно выходили в магистральные долины и не образовывали значительных моренных комплексов. Исследование плейстоценовых отложений в долинах р. Чуя и Катунь Горного Алтая не выявило в них следов гляциально обусловленных катастрофических суперпаводков.

Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту № 0330-2016-0017 и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 16-05-00371).

Список литературы

1. Окишев П.А. Рельеф и оледенение Русского Алтая / П.А. Окишев. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2011. – 382 с.

2. Зыкин В.С. Новые данные о наиболее древнем четвертичном оледенении на Горном Алтае / В.С. Зыкин, В.С. Зыкина, Л.Г. Смолянинова // Докл. РАН. – 2016. – Т. 466, № 3. – С. 315–318. DOI: 10.7868/S0869565216030245.

3. Разрез новейших отложений Алтая (стратиграфия и палеонтология Приобского плато, Подгорной равнины и Горного Алтая) / А.А. Свиточ [и др.]. – М.: Изд-во МГУ, 1978. – 208 с.

4. Berggren W.A., Kent D.V., Swisher III C.C., Aubry M.-P. A Revised Cenozoic Geochronology and Chronostratigraphy // Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlations: A Unified Temporal Framework for an Historical Geology. SEPM, Special Publications. 1995. № 54. P. 129–212.

5. Gibbard P.L., Head M.J. The newly-ratified definition of the Quaternary System/Period and redefinition of the Pleistocene Series/Epoch, and comparison of proposals advanced prior to formal ratification // Episodes. 2010. Vol. 33. No 3. P. 152–158.

6. Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен. Атлас-монография / под ред. А.А. Величко. – М.: ГЕОС, 2009. – 120 с.

7. Строение, криогенные образования и условия формирования верхнечетвертичных отложений Надымского Приобья севера Западно-Сибирской равнины / В.С. Зыкина [и др.] // Криосфера Земли. – 2017. – Т. 21, № 6. – С. 14–25. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-6(14-25).

8. Геологическое строение и генезис высоких террас Чуи и среднего течения Катуни / И.Д. Зольников [и др.] // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. – Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2013. – С. 226–228.

9. Зольников И.Д. Четвертичные отложения и рельеф долин Чуи и Катуни / И.Д. Зольников, А.А. Мистрюков. – Новосибирск: Параллель, 2008. – 182 с.

10. Парначев С.В. Геология высоких алтайских террас (Яломано-Катунская зона) / С.В. Парначев. – Томск: Изд-во ИПФ ТПУ, 1999. – 137 с.

11. Carling P.A. Freshwater megaflood sedimentation: What can we learn about generic processes // Earth Science Reviews. 2013. Vol. 125. P. 87–113.

12. Carling P.A., Martini P., Herget J., Borodavko P., Parnachov S. Megaflood sedimentary valley fill: Altai Mountains, Siberia // Megaflooding on Earth and Mars. UK: Cambridge University Press. 2009. P. 243–266.

13. Herget J. Ice-dammed lake outburst floods in the Altai mountains, Siberia – a review with links for further readings // Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 1 (17). P. 148–168.

14. О скоплениях глыбового материала в долинах рек Чуя и Катунь и распространении последнего позднеплейстоценового оледенения на Горном Алтае / В.С. Зыкин [и др.] // Доклады РАН – 2016. – Т. 470, № 3. – С. 311–314. DOI: 10.7868/S0869565216270244.

15. Новые абсолютные датировки четвертичных гляциальных паводков Алтая / А.Н. Рудой [и др.] // Известия Бийского отдела РГО. – 2006. – Вып. 26. – С. 148–151.

16. Зольников И.Д. Проблемы диагностики отложений гляциальных суперпаводков неоплейстоцена в Горном Алтае / И.Д. Зольников, Е.В. Деев // Лед и снег. – 2012. – № 3. – С. 79–86.

17. Пикард М. Критерии распознавания пород озерного происхождения / М. Пикард, Л. Хай (мл.) // Условия древнего осадконакопления и их распознавание / ред. Дж. Ригби, У. Хемблин; пер. с анг. И.П. Лаврушко, Ю.Г. Такаев. – М.: Мир, 1974. – С. 141–188.

References

1. Okishev P.A. Rel`ef i oledenenie Russkogo Altaya / P.A. Okishev. – Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta, 2011. – 382 p.

2. Zy`kin V.S. Novy`e danny`e o naibolee drevnem chetvertichnom oledenenii na Gornom Altae / V.S. Zy`kin, V.S. Zy`kina, L.G. Smolyaninova // Dokl. RAN. – 2016. – T. 466, № 3. – pp. 315–318. DOI: 10.7868/S0869565216030245.

3. Razrez novejshix otlozhenij Altaya (stratigrafiya i paleontologiya Priobskogo plato, Podgornoj ravniny` i Gornogo Altaya) / A.A. Svitoch [i dr.]. – M.: Izd-vo MGU, 1978. – 208 p.

4. Berggren W.A., Kent D.V., Swisher III C.C., Aubry M.-P. A Revised Cenozoic Geochronology and Chronostratigraphy // Geochronology, Time Scales and Global Stratigraphic Correlations: A Unified Temporal Framework for an Historical Geology. SEPM, Special Publications. 1995. № 54. pp. 129–212.

5. Gibbard P.L., Head M.J. The newly-ratified definition of the Quaternary System/Period and redefinition of the Pleistocene Series/Epoch, and comparison of proposals advanced prior to formal ratification // Episodes. 2010. Vol. 33. No 3. pp. 152–158.

6. Paleoklimaty` i paleolandshafty` vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya. Pozdnij plejstocen – golocen. Atlas-monografiya / pod red. A.A. Velichko. – M.: GEOS, 2009. – 120 p.

7. Stroenie, kriogenny`e obrazovaniya i usloviya formirovaniya verxnechetvertichny`x otlozhenij Nady`mskogo Priob`ya severa Zapadno-Sibirskoj ravniny` / V.S. Zy`kina [i dr.] // Kriosfera Zemli. – 2017. – T. 21, № 6. – pp. 14–25. DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2017-6(14-25).

8. Geologicheskoe stroenie i genezis vy`sokix terras Chui i srednego techeniya Katuni / I.D. Zol`nikov [i dr.] // Fundamental`ny`e problemy` kvartera: itogi izucheniya i osnovny`e napravleniya dal`nejshix issledovanij. – Rostov n/D.: Izd-vo YuNCz RAN, 2013. – pp. 226–228.

9. Zol`nikov I.D. Chetvertichny`e otlozheniya i rel`ef dolin Chui i Katuni / I.D. Zol`nikov, A.A. Mistryukov. – Novosibirsk: Parallel`, 2008. – 182 p.

10. Parnachev S.V. Geologiya vy`sokix altajskix terras (Yalomano-Katunskaya zona) / S.V. Parnachev. – Tomsk: Izd-vo IPF TPU, 1999. – 137 p.

11. Carling P.A. Freshwater megaflood sedimentation: What can we learn about generic processes // Earth Science Reviews. 2013. Vol. 125. pp. 87–113.

12. Carling P.A., Martini P., Herget J., Borodavko P., Parnachov S. Megaflood sedimentary valley fill: Altai Mountains, Siberia // Megaflooding on Earth and Mars. UK: Cambridge University Press. 2009. pp. 243–266.

13. Herget J. Ice-dammed lake outburst floods in the Altai mountains, Siberia – a review with links for further readings // Tomsk State University Journal of Biology. 2012. № 1 (17). pp. 148–168.

14. O skopleniyax gly`bovogo materiala v dolinax rek Chuya i Katun` i rasprostranenii poslednego pozdneplejstocenovogo oledeneniya na Gornom Altae / V.S. Zy`kin [i dr.] // Doklady` RAN – 2016. – T. 470, № 3. – pp. 311–314. DOI: 10.7868/S0869565216270244.

15. Novy`e absolyutny`e datirovki chetvertichny`x glyacial`ny`x pavodkov Altaya / A.N. Rudoj [i dr.] // Izvestiya Bijskogo otdela RGO. – 2006. – Vy`p. 26. – pp. 148–151.

16. Zol`nikov I.D. Problemy` diagnostiki otlozhenij glyacial`ny`x superpavodkov neoplejstocena v Gornom Altae / I.D. Zol`nikov, E.V. Deev // Led i sneg. – 2012. – № 3. – pp. 79–86.

17. Pikard M. Kriterii raspoznavaniya porod ozernogo proisxozhdeniya / M. Pikard, L. Xaj (ml.) // Usloviya drevnego osadkonakopleniya i ix raspoznavanie / red. Dzh. Rigbi, U. Xemblin; per. s ang. I.P. Lavrushko, Yu.G. Takaev. – M.: Mir, 1974. – pp. 141–188.

УДК 622.243

ПРОГРАММА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ КОМПОНОВКИ НИЗА БУРОВОЙ КОЛОНКИ С УЧЕТОМ НЕКОНТРОЛИРУЕМЫХ ФАКТОРОВ

Иванов Р.О., Лушпей В.П., Панков М.Е.

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, e-mail: rectorat@dvfu.ru

В настоящее время существенно увеличилась потребность в горизонтально-направленном бурении, однако при больших отходах от вертикали наблюдается неравномерное вращение компоновки низа буровой колонки (КНБК), что приводит к неуправляемости КНБК и прекращению бурения. В исследованиях, направленных на управление процессом бурения, затрагиваются различные методы моделирования управлением движением компоновки низа буровой колонки (КНБК) по заданной траектории. В то же время используемые в настоящее время методы управления не позволяют в полной мере использовать возможности перспективных КНБК. Целью настоящей работы является разработка программы, реализующей указанные требования и оценка ее практической применимости. Предложена компьютерная программа управления процессом бурения с открытой архитектурой, иллюстрирующая работоспособную версию основного интерфейса программы с некоторыми важными расчетными функциями и пригодная для модификации в случае усложнения решаемых задач, связанных с особенностями бурения скважины. В настоящее время программа позволяет оценивать планируемую нагрузку на крюке, соответствующую заданному усилию подачи на забой с учетом трения бурильной колонны по стенкам скважины. Кроме того, заложенные в программе структуры позволяют решать и более сложные задачи, возникающие при движении КНБК в реальной породе. Полученные в ходе работы программы результаты позволяют сделать вывод об адекватности математической и имитационной моделей движения КНБК реальным ситуациям бурения.

Ключевые слова: направленное бурение, компоновка низа буровой колонки, управление бурением, математическая модель, программа

PROGRAM FOR THE BOTTOM OF THE DRILL BIT CONTROLLED MOVEMENT ANAGEMENT SIMULATION THAT TAKING IN ACCOUNT NON-CONTROLLED FACTORS

Ivanov R.O., Lushpey V.P., Pankov M.E.

Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: rectorat@dvfu.ru

At present time, the need for horizontal directional drilling substantially increased, but for large waste from the vertical, uneven rotation of the bottom hole assembly (BHA) is observed, which leads to uncontrolled BHA and drilling stop. In studies aimed on managing the drilling process, various methods of the movement control of the BHA along a given trajectory modeling are used. At the same time, these currently used methods do not allow to take full advantage of the opportunities of BHA. So, the purpose of this work is to develop a program that implements these requirements and assess its practical applicability. The computer program for managing the drilling process with an open architecture has been developed to illustrate the operational version of the main program interface with some important design functions and is suitable for modification in the case of more complicated tasks related to the features of drilling a well. Currently, the program allows you to evaluate the planned load on the hook, corresponding to a given feed force to the face, taking into account the friction of the drill string along the walls of the well. In addition, the structures incorporated in the program allow solving even more complex problems arising during the movement of bottom of the drill bit in real rock. The results obtained during the work of the program allow us to conclude that the mathematical and simulation models of the bottom of the drill bit movement are adequate for real drilling situations.

Keywords: directional drilling, bottom of the drill bit, drilling control, mathematical model, program

В настоящее время существенно увеличилась потребность в горизонтально-направленном бурении – в строительстве сложных трехмерных (3D) горизонтальных скважин с большими отходами от вертикали [1]. Однако сложные профили горизонтальных скважин являются причиной недохождения нагрузки до долота при бурении; при больших отходах от вертикали наблюдается неравномерное вращение компоновки низа буровой колонки (КНБК), что приводит к неуправляемости КНБК и прекращению бурения. В связи с этим повышение сложности условий добычи нефти и газа, труднодоступность разрабатываемых месторождений, увеличение глубины залегания продуктивных пластов приводят к необходимости комплексной автоматизации процессов бурения нефтегазовых скважин, разработки и внедрения новых образцов забойной аппаратуры, телеизмерительных и управляющих систем, основанных на применении современных достижений в данных областях [2].

В исследованиях, направленных на управление процессом бурения, затрагиваются различные процессы моделирования, в особенности управление движением

КНБК по заданной траектории [3, 4]. Вместе с тем предлагаемые методы управления бурением не позволяют в полной мере использовать возможности перспективных КНБК. В то же время проведенный нами ранее анализ возможностей моделирования, способного отражать направление движения бурового инструмента одновременно по зенитному углу и азимуту [5], показал возможность разработки программы, реализующей данные требования.

Цель исследования: разработка программы, реализующей возможность моделирования направления движения бурового инструмента одновременно по зенитному углу и азимуту и оценка ее практической применимости.

Материалы и методы исследования

Для того чтобы КНБК, как объект управления, выполнял свои функции, необходимо решить две задачи. Первая задача заключается в определении его номинальной траектории движения. С математической точки зрения данная задача состоит в описании программы управления (задача программирования управления).

Вторая задача заключается в формировании закона управления КНБК. Под законом управления в данном случае понимается зависимость управляющих воздействий от тех параметров, которые доступны измерению в процессе движения в любой (текущий) момент. Решение этой задачи позволяет сформировать (синтезировать) структуру системы управления КНБК, работающей по принципу обратной связи (задача синтеза управления).

При решении как задачи программирования, так и задачи синтеза управления необходимо иметь в виду, что на буровую колонну в целом и КНБК в процессе продвижения в скважине действуют различные возмущения, без учета которых нельзя обойтись. Характерным примером является задача управления конечным состоянием КНБК, когда требуется осуществить её выведение в требуемый район назначения с заданной точностью. При этом возможны случаи, когда решение той или иной задачи без учета возмущений вообще не может обеспечить требуемой точности управления. Поэтому при формировании, как программы, так и закона управления КНБК, как правило, следует учитывать действие неконтролируемых факторов. При этом следует рассматривать две группы факторов. Первая группа представляет собой факторы, свойственные всем задачам управления движением объектов (летательные аппараты, роботы, манипуляторы и т.п.). Вторая группа описывает факторы, свойственные именно конкретному управляемому объекту, такие как ошибки задания условий внешней среды, ошибки при расчёте управляющих воздействий и погрешности решения задачи навигации. Кратко рассмотрим эти факторы.

Ошибки задания условий внешней среды. При расчёте программного движения используются данные о внешней среде, в которой движется объект управления. В данном случае – это свойства соответствующих горных пород. В действительности параметры среды отличаются от параметров, задаваемых при расчёте программной траектории. Это приводит к отклонению реального положения КНБК от расчетного положения.

Ошибки при расчёте управляющих воздействий. Для реализации программного движения рассчитываются управляющие воздействия, позволяющих направлять КНБК по программной траектории путём использования силовых и управляющих устройств (нагрузка на крюке, поворот буровой колонны вокруг ее оси и радиус кривизны отклоняющего устройства). При этом при расчёте управляющих воздействий используются некоторые математические модели, неизбежно содержащие методологические ошибки, погрешности реализации, округления и т.п. Компенсация этих факторов требует разработки более точных, часто громоздких и трудно реализуемых практически моделей.

Кроме того, при расчёте программного движения используются также данные о самом объекте управления, в данном случае буровой колонне и КНБК, представляющие собой массово-геометрические, силовые и др. характеристики. Эти данные также содержат погрешности, связанные с их заданием и реализацией.

Погрешности решения задачи навигации. Частичная компенсация отклонений КНБК от программной траектории принципиально возможна путём сокращения рассмотренных выше ошибок и погрешностей. Однако на практике данная компенсация сильно осложнена как технологическими, так и экономическими обстоятельствами. Обычно соответствующие мероприятия трудно реализуемы либо очень дороги.

На практике компенсация данных отклонений осуществляется на основе решения задачи навигации, состоящей в опреде-

лении текущих параметров движения КНБК (времени, координат, скоростей, их комбинаций). Параметры определяются на основе показаний соответствующих приборов (инклинометров, акселерометров, гироскопов, магнитных компасов, акустических датчиков положения и др.) пластов [2]. В показаниях данных приборов также содержатся инструментальные ошибки. При рассмотрении движения КНБК выявляется и присущий одновременно с вышеупомянутыми проявлениями фактор, связанный с упругим закручиванием буровой колонны вокруг ее оси. Следовательно, при разработке имитационной модели, описывающей процесс бурения, важно также учитывать и то, что буровая колонна, имеющая большую длину и нагруженная осевым сжатием, может потерять устойчивость и начать упираться в стенки ствола шахты.

На рис. 1 приведена блок-схема программной реализации имитационной модели управления траекторией движения компоновки низа буровой колонны с учётом существующих неконтролируемых факторов, а на рис. 2 приведены скриншоты ее интерфейса.

Разработанная нами в соответствии с этой блок-схемой программа имитационной модели управления траекторией движения компоновки низа буровой колонны с учётом существующих неконтролируемых факторов «Наклонное бурение» устанавливается в директорию «Bur_1», содержащую изначально исполняемый файл «Bur_1.exe», файл «Инструкция по программе.txt» и поддиректорию «Образцы файлов», в которой находятся типовые файлы, облегчающие обучение и начало работы с программой.

При программировании использовались только функции самой операционной системы Windows – Win32 API. Отладка и компиляция исполняемого файла проводились Microsoft Visual Studio 2013 C++ Redistributable x64/86, причем встроенные в транслятор библиотеки классов не использовались. Таким образом, дальнейшее развитие программы может проводиться с использованием любого транслятора C++ для Win32, независимо от его версии и фирмы-производителя.

При первом запуске программы появится сообщение (рис. 2, А), а после положительного ответа появится сообщение об успешном создании рабочей директории (рис. 2, Б), затем откроется файл инструкции по работе с программой (рис. 2, В). В случае же отрицательного ответа программа завершает работу.

При запуске программы для расчетов в поддиректории «Расчет скважины» должны находиться вспомогательные текстовые файлы с исходными данными по расчету планируемой скважины и параметрам месторождения. В том случае, если программа успешно открывает эти файлы и считывает из них информацию, заполняются соответствующие структуры программы и начинается ее содержательная расчетная часть. Если же часть необходимых файлов отсутствует, то появляются соответствующие предупреждения (рис. 2, Г) и программа завершает работу.

В случае наличия всех необходимых для работы файлов программа в рабочем режиме расчетов вначале считывает файл «Плановая скважина.txt», затем файлы «Структура месторождения.txt», «План проходки.txt», «Пробуренный участок.txt» и «Случайные факторы.txt» и заносит данные в поля соответствующих классов. Далее программа в простейшем случае автоматически проводит расчеты, записывает результаты в выходной файл «Отчет о расчете.txt» и выдает извещение об окончании работы (рис. 2, Д).

Таким образом, разработанная компьютерная программа с открытой архитектурой иллюстрирует работоспособную версию основного интерфейса с некоторыми важными расчетными функциями, пригодную для модификации в случае необходимости решения сколь угодно сложных задач, связанных с особенностями бурения скважины.

Результаты исследования и их обсуждение

В настоящее время программа позволяет оценивать планируемую нагрузку на крюке, соответствующую заданному усилию подачи на забой с учетом трения бурильной колонны по стенкам скважины. Кроме того, заложенные в программе структуры позволяют решать и более сложные задачи, возникающие при движении КНБК в реальной породе. В реализованном варианте программа рассчитывает планируемый вес на крюке в зависимости от длины спущенной в скважину бурильной колонны.

Для упрощения расчетов плотность материала трубы принята равной $7{,}8\times10^3$ [кг/м^3]. Плотность бурового раствора принята равной $1{,}1\times10^3$ [кг/м^3], т.е. $\left(1-\frac{\rho_0}{\rho}\right)$ примем равным 0,86, что видимо, является достаточно

точной оценкой. Следовательно, для трубы диаметром 127 мм со стенкой 10 мм погонная масса составит 57,3 [кг/м], а для утяжеленной бурильной трубы с внутренним диаметром 45 мм погонная масса составит 173 [кг/м] (участок длиной 36 м весит 6,2 т). Будем считать, что $\left(1-\frac{\rho_0}{\rho}\right)\mu g$ равно 483 [Н/м].

Тогда выведенное нами ранее в работах [5–7] уравнение

$$\frac{dT}{ds} = -k(s)T\frac{d\theta}{ds} - \left(1-\frac{\rho_0}{\rho}\right)\mu g\left(-k(s)\sin(\theta)+\cos(\theta)\right)$$

можно анализировать, проинтегрировав его от устья скважины до заданной длины буровой колонны дважды – положив у устья скважины $T = T_0$ равным нулю и $T = T_1$ равным, например, 1 кН. Тогда для любой величины $T_x = T_x(s)$ в [кН] в конце скважины, пробуренной на заданную длину s, мы находим значения $T_0(s)$ и $T_1(s)$. В этом случае около устья скважины следует положить $T(T_x) = T_1(T_x(s) - T_0(s))/T_1(s) - T_0(s))$, где сила выражена в [кН]. А участок утяжеленных буровых труб длиной 36 м, имеющий избыточный вес по сравнению с обычными трубами 4,1 т, а также вес КНБК (около 10 т) при расчетах учитывается как сосредоточенная масса, скользящая в соответствии с зенитным углом скважины под действием силы тяжести и коэффициента трения. В результате мы можем выразить как зависимость усилия подачи на забой от веса на крюке, так и наоборот – зависимость веса на крюке от требуемого усилия подачи на забой.

Анализируя отклонение параметров уже пробуренного участка скважины от запланированного профиля, программа рассчитывает необходимые управляющие воздействия для возвращения дальнейшего профиля скважины к проектному профилю. Программа имеет открытую архитектуру и легко может быть дополнена необходимыми для специальных расчетов модулями.

Работа программы была протестирована с использованием данных реального месторождения, предоставленных Ассоциацией буровых подрядчиков [8] (данные не приводятся). При этом было проведено сравнение результатов тестирования

Рис. 1. Блок-схема компьютерной программы имитации управляемого бурения

с результатами расчетов, полученными по методике ВНИИБТ [9]. Как видно из рис. 3, результаты расчета с использованием данного уравнения намного более точно соответствуют реальным данным веса на крюке (непрерывная линия), чем результаты расчетов, проведенные по методике ВНИИБТ.

Затем, используя данные о структуре месторождения, программа рассчитывает планируемое время работы в зависимости от длины спущенной в скважину колонны буровых труб. На рис. 4 приведены результаты таких расчетов планируемого времени работы буровой установки для реального месторождения.

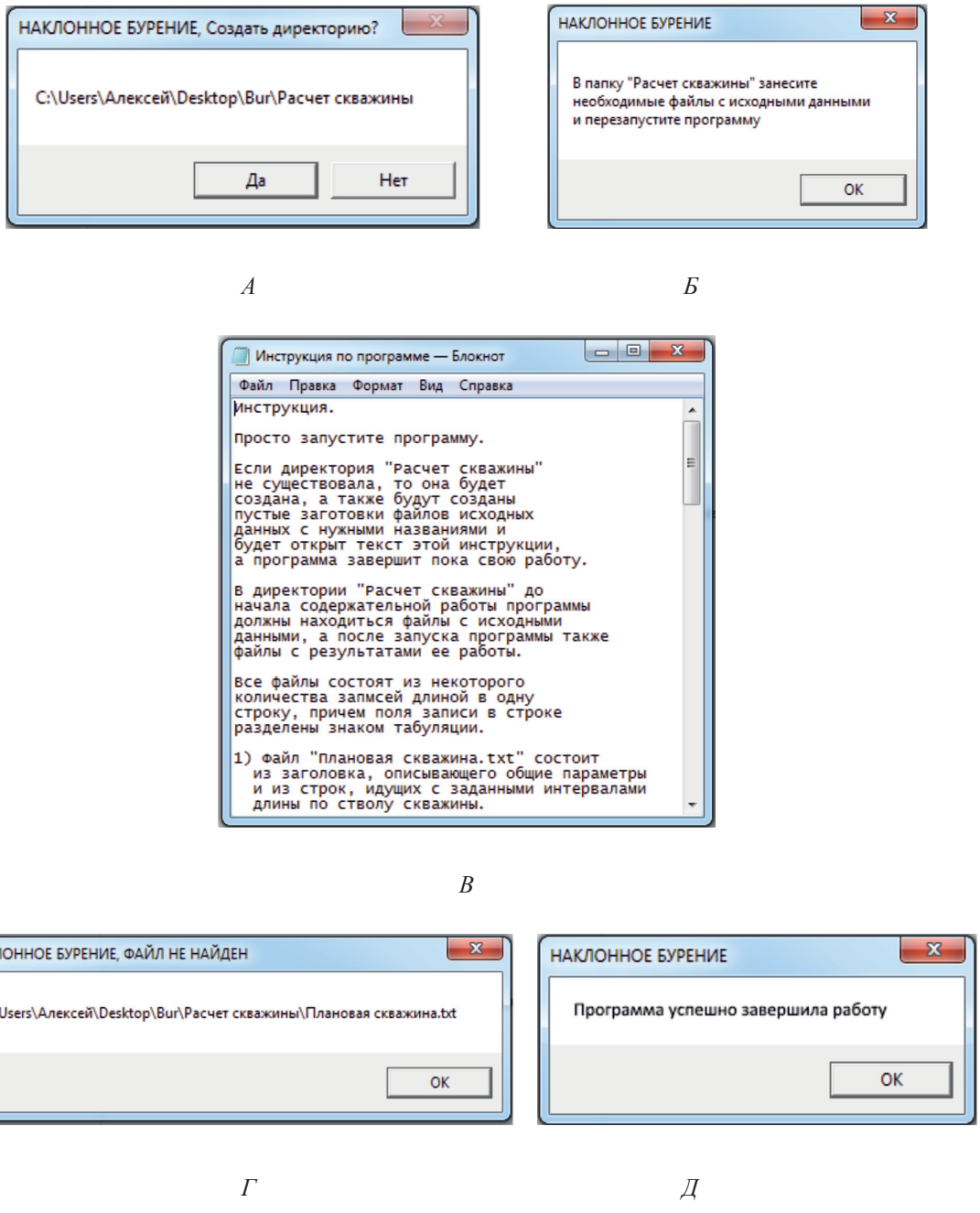


Рис. 2. Скриншоты работы программы. А – запрос о создании рабочей директории; Б – информация об успешном создании рабочей директории; В – инструкция по работе с программой; Г – информация об отсутствии необходимого файла данных; Д – информация об успешном завершении работы программы

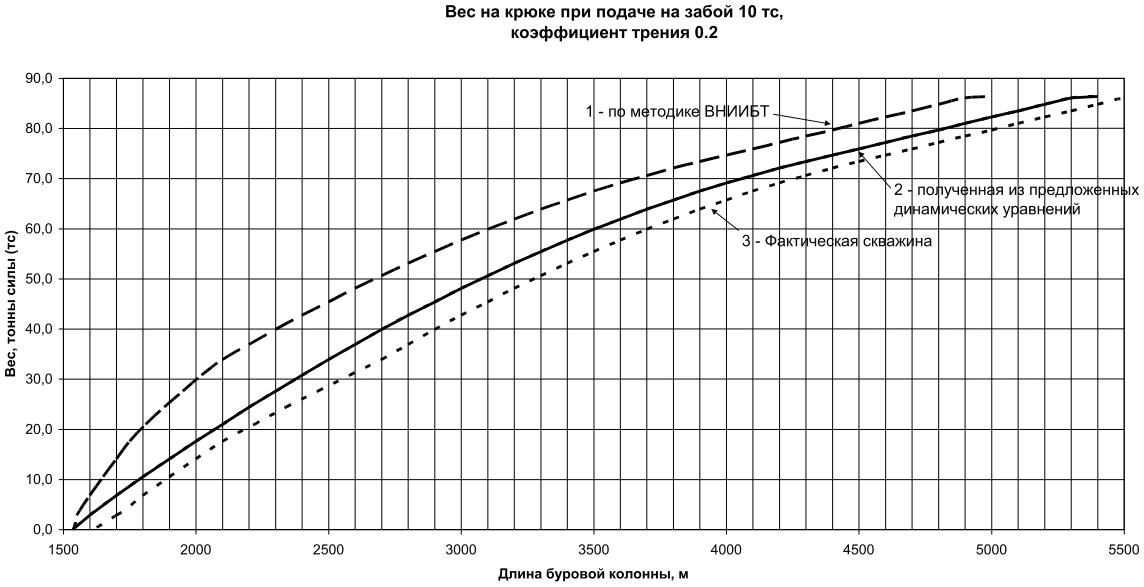


Рис. 3. Планируемый вес на крюке в зависимости от длины спущенной в скважину колонны буровых труб при подаче на забой 10 тс и коэффициенте трения 0,2: верхняя пунктирная – результаты расчетов по методике ВНИИБТ, непрерывная линия – данные для реальной скважины, нижняя пунктирная – результаты расчета программы «Бурение»

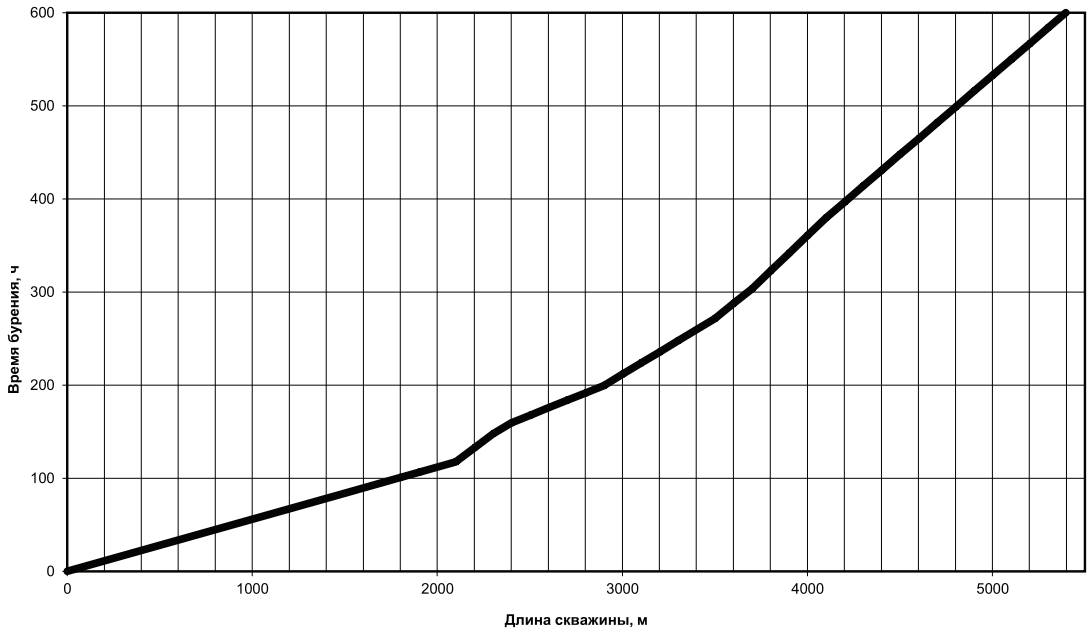


Рис. 4. Планируемое время работы буровой установки в зависимости от длины введенной в скважину буровой колонны. (Типичное поведение с учетом свойств слоев)

Заключение

Таким образом, разработанная компьютерная программа с открытой архитектурой иллюстрирует работоспособную версию основного интерфейса с некоторыми важными расчетными функциями, пригодную для модификации в случае усложнения решаемых задач, связанных с особенностями бурения скважины. В настоящее время программа позволяет оценивать планируемую нагрузку на крюке, соответствующую заданному усилию подачи на забой с учетом трения бурильной колонны по стенкам скважины. Кроме того, заложенные в про-

грамме структуры позволяют решать и более сложные задачи, возникающие при движении КНБК в реальной породе.

Полученные при работе программы результаты позволяют сделать вывод об адекватности математической и имитационной моделей движения КНБК реальным ситуациям бурения.

Список литературы

1. Ma T., Chen P., Zhao J. Overview on vertical and directional drilling technologies for the exploration and exploitation of deep petroleum resources // Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. 2016. Vol. 2, № 4. P. 365–395.

2. Автоматизированная система управления траекториями нефтегазовых скважин с применением прогнозирующих моделей / И.Ф. Нугаев [и др.] // Вестник УГАТУ. – 2006. – № 5. – С. 27–32.

3. Dong G., Chen P. A Review of the Evaluation, Control, and Application Technologies for Drill String Vibrations and Shocks in Oil and Gas Well // Shock and Vibration. 2016. Vol. 2016. Article ID 7418635, 34 p.

4. Callejo A., Arbatani S., Kövecses J., et al. Drill Bit Contact Dynamics Including Side Cutting: Simulation and Validation // ASME. J. Energy Resour. Technol. 2017. Vol. 139, № 2. P. 022910–022910-7.

5. Иванов Р.О. Разработка математической модели управляемого движения бурового инструмента / Р.О. Иванов, В.П. Лушпей // Естественные и технические науки. – 2017. – № 11 (113). – С. 105–111.

6. Иванов Р.О. Совершенствование методов дистанционно направленного бурения с учетом геомеханических особенностей грунтов / Р.О. Иванов, В.П. Лушпей // Естественные и технические науки. – 2016. – № 10 (100). – С. 57–64.

7. Иванов Р.О. Учет крепости горных пород при бурении скважин // Наука в современном обществе: закономерности и тенденции развития: сборник статей Международной научно-практической конференции (25 февраля 2017 г., г. Пермь). В 2 ч.: Часть 2. – Уфа: АЭТЕРНА, 2017. – С. 21–27.

8. Ассоциация буровых подрядчиков [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.adcr.ru/index.php?page=about&menu=council (дата обращения: 17.06.2018).

9. Инструкция по бурению наклонно направленных скважин. – М.: ВНИИБТ, 1966. – 115 с.

References

1. Ma T., Chen P., Zhao J. Overview on vertical and directional drilling technologies for the exploration and exploitation of deep petroleum resources // Geomechanics and Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources. 2016. Vol. 2, № 4. P. 365–395.

2. Avtomatizirovannaya sistema upravleniya traektoriyami neftegazovy`x skvazhin s primeneniem prognoziruyushhix modelej / I.F. Nugaev [i dr.] // Vestnik UGATU. – 2006. – № 5. – pp. 27–32.

3. Dong G., Chen P. A Review of the Evaluation, Control, and Application Technologies for Drill String Vibrations and Shocks in Oil and Gas Well // Shock and Vibration. 2016. Vol. 2016. Article ID 7418635, 34 p.

4. Callejo A., Arbatani S., Kövecses J., et al. Drill Bit Contact Dynamics Including Side Cutting: Simulation and Validation // ASME. J. Energy Resour. Technol. 2017. Vol. 139, № 2. pp. 022910–022910-7.

5. Ivanov R.O. Razrabotka matematicheskoj modeli upravlyaemogo dvizheniya burovogo instrumenta / R.O. Ivanov, V.P. Lushpej // Estestvenny`e i texnicheskie nauki. – 2017. – № 11 (113). – pp. 105–111.

6. Ivanov R.O. Sovershenstvovanie metodov distancionno napravlennogo bureniya s uchetom geomexanicheskix osobennostej gruntov / R.O. Ivanov, V.P. Lushpej // Estestvenny`e i texnicheskie nauki. – 2016. – № 10 (100). – pp. 57–64.

7. Ivanov R.O. Uchet kreposti gorny`x porod pri burenii skvazhin // Nauka v sovremennom obshhestve: zakonomernosti i tendencii razvitiya: sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (25 fevralya 2017 g., g. Perm`). V 2 ch.: Chast` 2. – Ufa: AE`TERNA, 2017. – pp. 21–27.

8. Associaciya burovy`x podryadchikov [E`lektronny`j resurs]. – Rezhim dostupa: http://www.adcr.ru/index.php?page=about&menu=council (data obrashheniya: 17.06.2018).

9. Instrukciya po bureniyu naklonno napravlenny`x skvazhin. – M.: VNIIBT, 1966. – 115 p.

УДК 911.5/.9(470.344-25)

ПРИРОДНО-РЕКРЕАЦИОННЫЙ КАРКАС ГОРОДСКОГО ОКРУГА И ДОЛИНЫ МАЛЫХ РЕК (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ЧЕБОКСАРЫ)

Казаков Н.А., Еремеева С.С., Караганова Н.Г., Михайлова Е.В.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова», Чебоксары, e-mail: kzkv75@mail.ru

В пределах городского округа должен формироваться природно-рекреационный каркас, элементы которого будут выступать буферными территориями в экологическом каркасе региона. В структуре природно-рекреационного каркаса городского округа выделяются площадные (большие и малые ядра) и линейно-вытянутые элементы (большие и малые природно-рекреационные коридоры). Большими ядрами природно-рекреационного каркаса выступят лесные массивы, расположенные на землях лесного фонда, входящие в городской округ, и лесопарки, расположенные на городских землях. Малыми ядрами станут городские скверы и сады. Большими (основными) природно-рекреационными коридорами могут выступить долины малых рек и ручьёв, пересекающих городские кварталы. Малыми (дополнительными) природно-рекреационными коридорами – бульвары, внепарковые аллеи. В Чебоксарском городском округе примерами больших ядер формируемого природно-рекреационного каркаса являются лесные массивы, расположенные на землях лесного фонда в Заволжье, на западе и востоке городского округа и такие городские лесопарки, как «Берендеевский лес», «Роща Гузовского», «Лакреевский лес», «Роща Шупашкар» и другие. Основными (большими) природно-рекреационными коридорами – долины малых рек – Чебоксарки, Сугутки, Трусихи, Дубихи, Кайбулки, Кукшум, Малой Кувшинки, Шалмас. Превращение долин малых рек в природно-рекреационные коридоры городского округа связано с их ревитализацией. Это требует больших финансовых вложений, как со стороны муниципалитета, так и от частных инвесторов. Частный инвестор может быть привлечён возможностью вести коммерческое строительство вблизи с создаваемыми природно-рекреационными коридорами. При этом, используя нетрадиционные архитектурные решения, следует сохранять за природно-рекреационным коридором такое его свойство, как «непрерывность». Необходимость существования природно-рекреационных коридоров, проложенных вдоль малых рек города, и требование к их непрерывности диктуется не только эколого-рекреационными потребностями города, но и вопросами безопасности.

Ключевые слова: природно-рекреационный каркас, малые реки, природно-рекреационный коридор, городской округ, Чебоксары

NATURAL AND RECREATIONAL FRAME OF THE CITY DISTRICT AND VALLEYS OF SMALL RIVERS (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF CHEBOXAR)

Kazakov N.A., Eremeeva S.S., Karaganova N.G., Mihaylova E.V.

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, e-mail: kzkv75@mail.ru

Within the urban district, a natural and recreational framework must be formed, the elements of which will act as buffer territories in the ecological framework of the region. Area structure (large and small nuclei) and linearly elongated elements (large and small natural and recreational corridors) are distinguished in the structure of the natural and recreational skeleton of the city district. Large forests of the natural and recreational framework will be forest tracts located on the lands of the forest fund, entering the urban district, and forest parks located on urban land. Small cores will be city squares and gardens. Large (main) natural-recreational corridors can be the valleys of small rivers and streams, crossing the city quarters. Small (additional) natural and recreational corridors are boulevards, out-of-park alleys. In the Cheboksary city district, examples of large nuclei formed by a natural and recreational frame are forest massifs located on the lands of the forest fund in the Trans-Volga region, in the west and east of the urban district and such urban forest parks as «Berendeevsky forest», «Grozovsky's Grove», «Lakreevsky Forest «,» Grove Shupashkar «and others. The main (large) nature-recreational corridors are the valleys of small rivers – Cheboksary, Sugutki, Trusikhi, Dubikhi, Kaibulki, Kukshum, Malaya Kuvshinki, Shalmas. The transformation of the valleys of small rivers into the natural and recreational corridors of the urban district is associated with their revitalization. This requires large financial investments, both from the municipality, and attracting funds from private investors. A private investor can be attracted by the opportunity to conduct commercial construction near the created natural and recreational corridors. At the same time, using non-traditional architectural solutions, one should keep such a property as a «continuity» behind the natural-recreational corridor. The need for the existence of natural and recreational corridors laid along the small rivers of the city and the requirement for their continuity is dictated not only by the ecological and recreational needs of the city, but also by security issues.

Keywords: natural and recreational frame, small rivers, natural and recreational corridor, city district, Cheboksary

В современной науке и практике часто обращаются к теме формирования экологического (природно-экологического) каркаса территории. В «Методических рекомендациях по подготовке схем территориального планирования субъектов Российской Федерации» утверждённых приказом Минрегиона России от 19.04.2013 № 169 содержится определение экологического каркаса территории. Согласно данным «Методическим рекомендациям…» экологический каркас территории – это «пространственно-организованная структура, которая поддерживает экологическую стабильность территории,

предотвращая потерю биоразнообразия и деградацию природных систем… Экологический каркас составляют: площадные (ядра, биоцентры) и линейно вытянутые элементы (биокоридоры, связывающие между собой ядра)» [1]

Цель исследования: обоснование необходимости существования в структуре природно-рекреационного каркаса городского округа непрерывных природно-рекреационных коридоров, проложенных по долинам малых рек.

В ряде научно-практических работ предложены варианты формирования экологического (природно-экологического) каркаса в пределах города (городского округа). Примерами таких работ могут служить статья А.В. Ливенцевой, А.В. Лисовой «Рекомендации по формированию природно-экологического каркаса крупного города (на примере г. Воронежа)», опубликованная в журнале «Архитектурные исследования» в 2016 г. [2], или статья А.Н. Молостова и А.В. Мулендеевой «Экологический каркас Чебоксарского городского округа», опубликованная в сборнике статей «Эколого-геоморфологические исследования в урбанизированных и техногенных ландшафтах» в 2015 г. [3]. Но зададимся вопросом, возможно ли сформировать экологический каркас на столь небольших, испытывающих огромную антропогенную нагрузку территориях, создать в пределах города, городского округа природную структура, способную в полном объёме предотвратить «потерю биоразнообразия»? Скорее всего, нет [4]! В Чебоксарском городском округе современная предельная демографическая ёмкость всех лесных массивов составляет 7–8 тысяч человек, а пиковая нагрузка на них может достигать 150 тысяч человек. Возможная пиковая нагрузка почти в 20 раз больше, нежели предельная демографическая ёмкость, о каком сохранении биоразнообразия здесь может идти речь? Формирование экологического каркаса должно совершаться в пределах более крупных территориальных единиц – регионов. Удел же природных ландшафтов городских округов – выступать в экологическом каркасе региона в качестве буферных территорий, «защищающих ключевые и транзитные территории от неблагоприятных антропогенных воздействий…» [1].

Материалы и методы исследования

В условиях городского округа предлагается создавать ландшафтно-рекреационный [5] или природно-рекреационный каркас [6]. Природно-рекреационный каркас городского округа выполняет «рекреационное обслуживание, архитектурно-планировочное регулирование, эстетическое, санитарно-гигиеническое, природоохранное, климаторегулирующее и биологическое обеспечение» [5]. Формироваться он должен на «основе имеющегося природного комплекса – единой системы пространственно непрерывных природных и озелененных территорий – долин рек, озер, лесов, лесопарков, луговых территорий, парков, садов, скверов и пр.» [5].

В структуре природно-рекреационного каркаса, как и в структуре экологического каркаса, должны выделяться площадные (ядра) и линейно вытянутые элементы (природно-рекреационные коридоры). При этом элементы природно-рекреационного каркаса можно подразделить на большие и малые. Большими ядрами природно-рекреационного каркаса выступят лесные массивы, расположенные на землях лесного фонда, входящих в городской округ, и лесопарки, расположенные на городских землях. Малыми ядрами станут городские скверы и сады. Большими (основными) природно-рекреационными коридорами могут выступить долины малых рек и ручьёв, пересекающих городские кварталы. Малыми (дополнительными) природно-рекреационными коридорами – бульвары, внепарковые аллеи (рис. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

В Чебоксарском городском округе примерами больших ядер формируемого природно-рекреационного каркаса являются лесные массивы, расположенные на землях лесного фонда в Заволжье, на западе и востоке городского округа и такие городские лесопарки, как «Берендеевский лес», «Роща Гузовского», «Лакреевский лес», «Роща Шупашкар» и другие. Основными (большими) природно-рекреационными коридорами – долины малых рек – Чебоксарки, Сугутки, Трусихи, Дубихи, Кайбулки, Кукшум, Малой Кувшинки, Шалмас.

Как правило, превращение долин малых рек и ручьёв в природно-рекреационные коридоры городского округа ставит вопрос об их ревитализации (реабилитации). Чебоксарский округ здесь не исключение. Ныне поймы малых рек и ручьёв города в лучшем случае представляют собой заброшенные заболоченные территории (рис. 2–3), а со-

стояние показателей качества воды и изменение природного комплекса рек указывает на острые экологические проблемы малых речных систем Чебоксар, связанных с наличием участков с недопустимыми стадиями дигрессии и высокими показателями урбанизированности территорий. Конечно, показатели качества воды и состояние прибрежной территории имеют определенную динамику, но, к сожалению, не в лучшую сторону. Необходима скорейшая реализация инженерно-мелиоративных мероприятий по реставрации, реконструкции или реабилитации речных систем [7].

Программы по восстановлению малых рек и русловых водоёмов были приняты во многих городах России (зачинателем некогда выступила Москва). В 2009 г. в Чебоксарах начала действовать городская целевая программа «Малые реки города Чебоксары на 2010–2012 годы и на период до 2015 года» [8]. Задачами программы стали: «создание благоприятных условий в прибрежных зонах малых рек для активного отдыха и занятий физкультурой и спортом; организация и обустройство зон отдыха на прибрежных территориях малых рек; привлечение инвестиций путем создания условий для развития инфраструктуры на прибрежных территориях малых рек в целях рекреации; сохранение и восстановление природных ресурсов малых рек» [8]. На программу из городского бюджета планировалось выделить более 61 млн руб. На эти деньги должны были приобрести спецтехнику (мусоровозы, бункеровозы), контейнеры для твёрдых бытовых отходов (ТБО), оборудовать дополнительные контейнерные площадки, провести обустройство твердым покрытием подъездных путей к данным площадкам, организовать регулярный вывоз ТБО с прилегающих к малым рекам территорий, благоустроить родники и провести рекламу акции в средствах массовой информации [8]. И заложенные в программе средства, и разработанная программа действий не могли привести к ревитализации малых рек города, максимум, что можно было получить, это несколько снизить загрязнение твёрдыми бытовыми отходами прибрежных территорий. За муниципальными деньгами, как надеялись разработчики программы, должны были последовать частные инвестиции в развитие прибрежных рекреационных зон, но этого не случилось. И главная цель программы – «создать дополнительные площади на территории прибрежных зон малых рек для активного, культурного отдыха и занятий физкультурой, спортом жителей и гостей города Чебоксары» [8], так и не была достигнута.

Восстановление малых рек, превращение их долин в природно-рекреационные коридоры требует больших денежных средств, предоставить основную часть которых должен именно городской бюджет. Но значительную долю расходов можно переложить на плечи частных инвесторов. В данные программы частный инвестор может быть привлечён возможностью вести коммерческое строительство рядом с создаваемыми природно-рекреационными коридорами. При этом в условиях города будет вставать вопрос о наиболее полном использовании пространства для коммерческого строительства. Так, в Чебоксарах кадастровая стоимость 1 кв. м. земли города, отведённого под рекреацию, не превышает 500 руб., а стоимость 1 кв. м земли под многоэтажным домом достигает

Рис. 1. Эгерский бульвар и Аллея искусств г. Чебоксары

4000 руб. [9]. Возникает желание, изменив вид разрешённого использования земли, повысить её экономическую отдачу, забыв про рекреационные потребности города. Допустив коммерческое строительство в долинах малых рек, мы столкнёмся с угрозой полного уничтожения малых рек и потери этих пространств для рекреационного использования. Не допуская коммерческое строительство, мы, скорее всего, не найдём достаточно денежных средств для восстановления долин малых рек и создания природно-рекреационных коридоров. Необходимо искать компромисс. При его нахождении следует помнить о необходимости сохранять за природно-рекреационным коридором такое его свойство, как «непрерывность».

Рис. 2. Участок долины (поймы) реки Кукшум

Рис. 3. Участок долины (поймы) реки Трусиха перед впадением в «Чебоксарский залив»

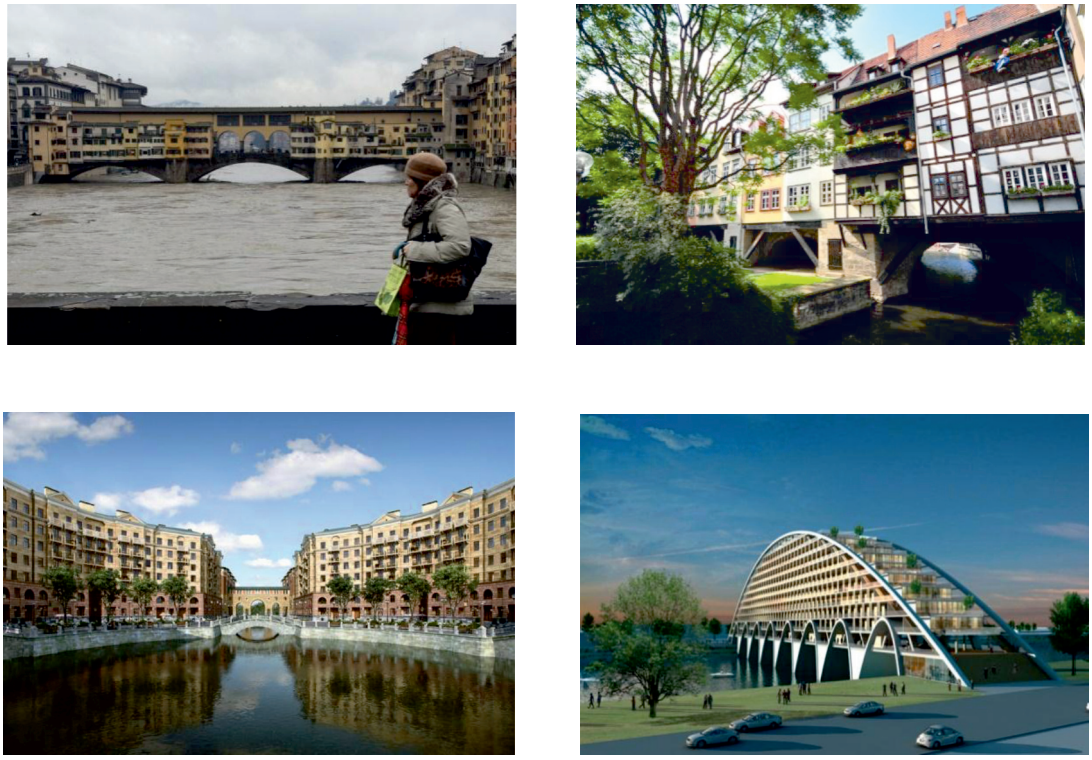


Рис. 4. Примеры домов-мостов, не нарушающих непрерывности природно-рекреационных коридоров: мост Понте Веккьо (Флоренция, Италия), мост Кремербрюке (Эрфурт, Германия), жилищный комплекс «Город Набережных» (Химки, Россия), проект многоцелевого моста через Рур с жилыми апартаментами и офисами (Дуйсбург, Германия) [9]

Яркими примерами того, к каким бедствиям может привести нерациональная застройка долин малых рек в городе, могут служить события в Ростове-на-Дону 30 июня 2016 г., в Москве 15 августа 2016 г., в Ульяновске 5 июля 2017 г. и страшный потоп в Крымске 7 июля 2012 г. Если превратить долину малой реки в городе в непрерывный природно-рекреационный коридор, можно предотвратить или минимизировать материальный ущерб, который понесёт городская инфраструктура при паводках.

Но экономические особенности эксплуатации городских территорий диктуют свои требования, и полностью отказаться от коммерческой застройки долин малых рек они не позволят. Интересным решением сочетания коммерческой застройки и сохранности непрерывности природно-рекреационных коридоров, сформированных вдоль малых рек, является строительство домов-мостов (рис. 4). До настоящего времени сохранились дома-мосты построенные в период средневековья. Один из самых известных – Понте Веккьо во Флоренции. Сегодня в России на практике использовали средневековый опыт строители жилищного комплекса «Город Набережных» в подмосковных Химках. И многие архитектурные бюро предлагают проекты подобных домов [10] (рис. 4).

Выводы

Таким образом, в пределах городского округа должен формироваться природно-рекреационный каркас, элементы которого будут выступать буферными территориями в экологическом каркасе региона. В структуре природно-рекреационного каркаса городского округа выделяются площадные (большие и малые ядра) и линейно вытянутые элементы (большие и малые природно-рекреационные коридоры). Превращение долин малых рек в природно-рекреационные коридоры городского округа связано с их ревитализацией. Это требует больших финансовых вложений, как со стороны муниципалитета, так и от частных инвесторов. Частный инвестор может быть привлечён возможностью вести коммерческое строительство вблизи с создаваемыми природно-рекреационными коридорами. При этом, используя нетрадиционные архитектурные

решения, следует сохранять за природно-рекреационным коридором такое его свойство, как «непрерывность». Необходимость существования природно-рекреационных коридоров, проложенных вдоль малых рек города, и требование к их непрерывности диктуется не только эколого-рекреационными потребностями города, но и вопросами безопасности.

Список литературы

1. Методические рекомендации по подготовке схем территориального планирования субъектов Российской Федерации: утверждены приказом Минрегиона России от 19.04.2013 № 169. URL: https://www.itpgrad.ru/node/600 (дата обращения: 12.06.2018).

2. Ливенцева А.В. Рекомендации по формированию природно-экологического каркаса крупного города (на примере г. Воронежа) / А.В. Ливенцева, А.В. Лисова // Архитектурные исследования. – 2016. – № 1. – С. 65–74.

3. Молостов А.Н. Экологический каркас Чебоксарского городского округа / А.Н. Молостов, А.В. Мулендеева // Эколого-геоморфологические исследования в урбанизированных и техногенных ландшафтах (Арчиковские чтения – 2015): материалы Всерос. летней молодежн. школы-конф. (Чебоксары, 23–28 августа 2015 г.) / редкол.: И.В. Никонорова [и др.]. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – С. 243–249.

4. Ильин В.Н. Оптимизация взаимодействия природных и антропогенных геосистем Чувашской Республики / В.Н. Ильин, И.В. Никонорова // Вестник Чувашского университета. – 2011. – № 3. – С. 235–241.

5. Исмагилова С.Х. Формирование ландшафтно-рекреационного и транспортного каркасов городского округа г. Казань / С.Х. Исмагилова, Е.А. Залётова // Известия КГАСУ. – 2016. – № 3. – С. 110–117.

6. Генеральный план муниципального образования г. Казани: утверждён решением Казанской городской думы Республики Татарстан от 28.12.2007 № 23–26. URL:http://docs.cntd.ru/document/432902893 (дата обращения: 12.06.2018).

7. Караганова Н.Г. Ландшафтно-экологическая оценка природных комплексов прибрежной территории малых рек г. Чебоксары (на примере рр. Чебоксарка и Кукшум) / Н.Г. Караганова, А.В. Мулендеева, И.В. Никонорова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=13723 (дата обращения: 07.06.2018).

8. Малые реки города Чебоксары на 2010–2012 годы и на период до 2015: городская целевая программа, утверждена решением Чебоксарским городским собранием депутатов Чувашской Республики от 27.10.2009 № 1450. URL: http://gov.cap.ru/ home/610/tekst/1450 малые реки.doc(дата обращения: 12.06.2018).

9. Публичная кадастровая карта. URL: http://pkk5.rosreestr.ru/ (дата обращения: 12.06.2018).

10. Самые красивые дома-мосты мира. URL: http://diddlybop.ru/105900 (дата обращения: 12.06.2018).

References

1. Metodicheskie rekomendacii po podgotovke sxem territorial`nogo planirovaniya sub``ektov Rossijskoj Federacii: utverzhdeny` prikazom Minregiona Rossii ot 19.04.2013 № 169. URL: https://www.itpgrad.ru/node/600 (data obrashheniya: 12.06.2018).

2. Livenceva A.V. Rekomendacii po formirovaniyu prirodno-e`kologicheskogo karkasa krupnogo goroda (na primere g. Voronezha) / A.V. Livenceva, A.V. Lisova // Arxitekturny`e issledovaniya. – 2016. – № 1. – pp. 65–74.

3. Molostov A.N. E`kologicheskij karkas Cheboksarskogo gorodskogo okruga / A.N. Molostov, A.V. Mulendeeva // E`kologo-geomorfologicheskie issledovaniya v urbanizirovanny`x i texnogenny`x landshaftax (Archikovskie chteniya – 2015): materialy` Vseros. letnej molodezhn. shkoly`-konf. (Cheboksary`, 23–28 avgusta 2015 g.) / redkol.: I.V. Nikonorova [i dr.]. – Cheboksary`: CzNS «Interaktiv plyus», 2015. – pp. 243–249.

4. Il`in V.N. Optimizaciya vzaimodejstviya prirodny`x i antropogenny`x geosistem Chuvashskoj Respubliki / V.N. Il`in, I.V. Nikonorova // Vestnik Chuvashskogo universiteta. – 2011. – № 3. – pp. 235–241.

5. Ismagilova S.X. Formirovanie landshaftno-rekreacionnogo i transportnogo karkasov gorodskogo okruga g. Kazan` / S.X. Ismagilova, E.A. Zalyotova // Izvestiya KGASU. – 2016. – № 3. – pp. 110–117.

6. General`ny`j plan municipal`nogo obrazovaniya g. Kazani: utverzhdyon resheniem Kazanskoj gorodskoj dumoj Respubliki Tatarstan ot 28.12.2007 № 23–26. URL:http://docs.cntd.ru/document/432902893 (data obrashheniya: 12.06.2018).

7. Karaganova N.G. Landshaftno-e`kologicheskaya ocenka prirodny`x kompleksov pribrezhnoj territorii maly`x rek g. Cheboksary` (na primere rr. Cheboksarka i Kukshum) / N.G. Karaganova, A.V. Mulendeeva, I.V. Nikonorova // Sovremenny`e problemy` nauki i obrazovaniya. – 2014. – № 3. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=13723 (data obrashheniya: 07.06.2018).

8. Maly`e reki goroda Cheboksary` na 2010–2012 gody` i na period do 2015: gorodskaya celevaya programma, utverzhdena resheniem Cheboksarskim gorodskim sobraniem deputatov Chuvashskoj Respubliki ot 27.10.2009 № 1450. URL: http://gov.cap.ru/ home/610/tekst/1450 maly`e reki.doc(data obrashheniya: 12.06.2018).

9. Publichnaya kadastrovaya karta. URL: http://pkk5.rosreestr.ru/ (data obrashheniya: 12.06.2018).

10. Samy`e krasivy`e doma-mosty` mira. URL: http://diddlybop.ru/105900 (data obrashheniya: 12.06.2018).

УДК 504.064.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ АНАЛИЗА ОТХОДОВ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА ПРИМЕРЕ УНАЛЬСКОГО ХВОСТОХРАНИЛИЩА

[1]Каманина И.З., [2]Пухаева Н.Е., [2]Густова М.В., [2]Фронтасьева М.В., [1]Чигоева Д.Н., [1]Каплина С.П.

[1]Государственный университет «Дубна», Дубна, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru, dzerkachigoeva@yandex.ru, sv_kap@mail.ru;

[2]Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, e-mail: nelli.pukhaeva@gmail.com, gust@jinr.ru, marina@nf.jinr.ru

Проведен анализ состава сухой части (пляжной зоны) Унальского хвостохранилища Мизурской обогатительной фабрики, расположенного в центральной части Алагирского района, Республика Северная Осетия – Алания, в долине р. Ардон. Пляжная зона занимает около 40% от площади хвостохранилища. Аналитические определения были выполнены в Объединённом институте ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна Московской области. Для многоэлементного определения состава образцов использовали рентгенофлуоресцентный (РФА) и инструментального нейтронноактивационный анализ (ИНАА), что позволило получить данные по содержанию 39 элементов в составе хвостов. Содержание Ca, Ti, Cr, Mn, Cu, Sb в хвостах определяли двумя методами. Полученные с использованием РФА и ИНАА результаты в пределах ошибок определения совпадают. Унальское хвостохранилище представляет собой геохимическую аномалию с содержанием Zn, As, S, Cu, Sb, Se, Ag, In, Pb, Cd, превышающим кларковые более чем в сотни и тысячи раз. Состав хвостов в разных частях хвостохранилища значительно различается, в том числе и по содержанию полезных компонентов. Значительное варьирование содержания ряда элементов в разных точках опробования, вероятно, связано с разным удалением от зеркала воды. В результате воздействия флотационных процессов происходит обогащение верхних 10 см сухой части пляжной зоны хвостохранилища, в том числе высокотоксичными элементами (Zn, As, Cu, Sb, Ni, Pb), что представляет опасность для окружающей среды и здоровья населения. Присутствие в составе хвостов полезных компонентов указывает на необходимость использования отходов Мизурской обогатительной фабрики, складируемых на территории Унальского хвостохранилища как источник полезных ископаемых.

Ключевые слова: Северная Осетия, хвостохранилище, рентгенофлуоресцентный анализ, инструментальный нейтронноактивационный анализ, элементный состав

THE USE OF NUCLEAR PHYSIC METHODS FOR THE ANALYSIS OF WASTES FROM THE MININING AND PROCESSING INDUSTRY BY THE EXAMPLE OF THE UNAL TAILING POND

[1]Kamanina I.Z., [2]Pukhaeva N.E., [2]Gustova M.V., [2]Frontaseva M.V., [1]Chigoeva D.N., [1]Kaplina S.P.

[1]Dubna State University, Dubna, e-mail: kamanina@uni-dubna.ru, dzerkachigoeva@yandex.ru, sv_kap@mail.ru;

[2]Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, e-mail: nelli.pukhaeva@gmail.com, gust@jinr.ru, marina@nf.jinr.ru

The composition of the dry part (beach zone) of the Unal tailing pond of the Mizur concentrating pond located in the central part of the Alagir district, the Republic of North Ossetia-Alania, in the valley of the river Ardon was analyzed. The beach area occupies about 40% of the area of the tailing pond. Analytical studies were carried out at the Joint Institute for Nuclear Research (JINR), Dubna, Moscow Region. X-ray fluorescence (XRF) and instrumental neutron-activation analysis (INAA) were used for multi-element determination of the samples composition, which allowed obtaining the data on the content of 39 elements in the tailings composition. The content of Ca, Ti, Cr, Mn, Cu, Sb in the tails was determined by both methods. The results obtained using XRF and INAA within the determination accuracy are the same. The Unal tailing pond is a technogenic geochemical anomaly with the content of Zn, As, S, Cu, Sb, Se, Ag, In, Pb, Cd exceeding Clarke more than hundreds and thousands times. The composition of tailings in different parts of the tailing pond varies considerably, also in the content of useful components. A significant variation in the content of a number of elements at different points of sampling is probably associated with a different distance from the water mirror. As a result of the flotation processes influence, the upper 10 cm of the dry part of the beach zone of the tailing pond are enriched also by highly toxic elements (Zn, As, Cu, Sb, Ni, Pb), which poses a danger to the environment and public health. The presence of useful components in the tailings indicates the need to use waste from the Mizur concentration plant, stored in the Unal tailings, as a source of minerals.

Keywords: North Ossetia, tailing pond, X-ray fluorescence analysis, instrumental neutron activation analysis, elemental composition

На территории Садонского рудного района Республики Северная Осетия – Алания (РСО – Алания) поиски, разведка, добыча и переработка полиметаллических руд ведутся с середины XIX века. В районе известно около 300 жильных свинцово-цинковых месторождений и рудопроявлений. Вся инфраструктура горнодобывающих

предприятий (рудники, обогатительные фабрики, хвостохранилища, дороги) приурочена к густо населенным долинам основных водных систем республики [1]. В состав Садонского свинцово-цинкового комбината, крупнейшего предприятия по добыче и обогащению полиметаллических руд, созданного в 1922 г., входят Мизурская и Фиагдонская обогатительные фабрики. В РСО-Алания на площади 250 га накоплено 10 млн т металлосодержащих хвостов Мизурской и Фиагдонской обогатительных фабрик и металлургических заводов [2, 3]. С 1984 г. отходы от переработки рудных материалов (хвосты) Мизурской обогатительной фабрики размещаются на территории Унальского хвостохранилища. Хвостохранилище расположено в центральной части Алагирского района, Республика Северная Осетия – Алания, в долине р. Ардон, на ее левом берегу между селениями Унал и Зинцар, в 12–15 км к северо-востоку от Мизурской обогатительной фабрики. Расстояние до города Владикавказ 60 км, до города Алагир – 40 км. Вблизи хвостохранилища проходит федеральная автомобильная магистраль «Транскам». На некоторых участках расстояние между телом хвостохранилища и дорогой составляет не более 20–30 м. Площадь Унальского хвостохранилища составляет около 0,2 км^2. Большую часть поверхности хвостохранилища занимает прудотстойник. Глубина хранилища колеблется от 12 до 15 м. Объем хвостов около 3,2 млн т. С 1989 г. технологической службой комбината организовано водное орошение сухой части хвостохранилища, что существенно уменьшило ветровую эрозию. В настоящее время хвостохранилище имеет пляжную зону (около 40% от его площади) и залитую водой (60% площади) за счет непрерывного орошения с помощью водяных оросителей. Выходы относительно сухих хвостов обнажаются главным образом вдоль плотины, ограничивающей сооружение с восточной стороны. Ширина пляжной зоны, в зависимости от количества подаваемой опресняющей воды и погодных условий изменяется от 3 до 100 м. Хвосты представляют собой измельченную горную массу, по гранулометрическому составу близкую к мелкозернистым пылеватым пескам. В сухую жаркую погоду с пляжной зоны пыль попадает в воздушный бассейн местности. Запыленность в районе хвостохранилища в летнее время превышает ПДК в десятки раз [2].

Последние комплексные исследования на территории Садонского рудного района проводились с 1989 по 2003 гг. [4]. Показано, что важнейшим источником техногенного загрязнения окружающей среды в районе являются предприятия горнорудной промышленности. Вокруг них образовались ореолы химического загрязнения, где содержание металлов превышает фоновое в десятки и сотни раз. Выявлена решающая роль Унальского хвостохранилища в формировании техногенных аномалий свинца на нижних террасах р. Ардон. Вместе с тем хвостохранилища обогатительных фабрик и металлургических заводов Осетии являются техногенными месторождениями цинка, свинца, ванадия, титана, марганца, никеля, молибдена и др. металлов. По данным [5] в Унальском хвостохранилище находится 2600000 т хвостов с содержанием свинца 0,21%, цинка 0,9%, меди 0,10% и др.

Цель исследования: изучение элементного состава отходов Мизурской обогатительной фабрики, складируемых на территории Унальского хвостохранилища.

Материалы и методы исследования

Опробование поверхности сухой части хвостохранилища проводили в 2015–2016 гг. Пробоотбор проводили в соответствии с общепринятыми методиками [6] в 10 точках: южной (т. 1–3), восточной (т. 4–6) и северо-восточной (т. 7–10) частях пляжной зоны. Каждая проба формировалась путем смешивания 5 точечных проб, отобранных на глубину 0–10 см. Кроме того, в точке 8 был дополнительно отобран образец с глубины 15 –20 см. Схема точек пробоотбора представлена на рисунке.

Аналитические определения были выполнены в Объединённом институте ядерных исследований (ОИЯИ), г. Дубна Московской области. Многоэлементное определение состава образцов рентгенофлуоресцентным методом (РФА) проводилось в Лаборатории ядерных реакций им. Г.Н. Флерова (ЛЯР ОИЯИ), инструментальный нейтронноактивационный анализ (ИНАА) – в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка (ЛНФ ОИЯИ). Рентгеновские спектры образцов измерялись с помощью стандартного спектрометра фирмы Canberra. Для возбуждения рентгеновского излучения использовались кольцевые радиоизотопные источники 109Cd (E = 22,16 кэВ, T1/2 = 453 дня) и 241Am (E = 59,6 кэВ, T1/2 = 458 лет) с общей активностью 20 мКи. Характеристическое рентгеновское излучение регистрировалось полупроводниковым Si(Li) детектором с площадью 30 мм^2 и толщи-

ной 3 мм, толщиной бериллиевого окна 25 мкм и с разрешением 145 эВ на линии 5,9 кэВ. Для обработки спектров и расчета концентраций элементов было использовано программное обеспечение для рентгенофлуоресцентного анализа WinAxil Canberra. Концентрации элементов определялись методом сравнения со стандартными образцами (ГСО) со схожими с определяемыми образцами матричными эффектами (СГ-1А, GnA, soil-5, GM, Sch-ST, Fe^2O^3 и др.). Для определения элементов, отсутствующих в эталонных образцах, была применена методика одновременного определения в насыщенных слоях вещества всех элементов, возбуждаемых радиоизотопными источниками, по единым калибровочным кривым, построенным на основании измерений стандартных образцов [7]. Инструментальный нейтронный активационный анализ (ИНАА) проводили на реакторе ИБР-2 ЛНФ ОИЯИ с использованием пневмотранспортной установки РЕГАТА [8]. Для определения короткоживущих изотопов элементов Al, Cl, Ca, Ti, V, Mn, Cu, In образцы облучали 1 минуту в канале реактора с плотностью потока нейтронов 1,3 s 1012 нейтрон/(см²•с). Для определения долгоживущих изотопов элементов Na, Sc, Cr, Co, Ni, As, Se, Sb, Cs, La, Ce, Tb, Ta, Ag, Th, U образцы облучали около трех суток в канале реактора с кадмиевым экраном и плотностью потока резонансных нейтронов 1,6 s 1012 нейтрон/(см²•с). После облучения образцы для измерения переупаковывали в чистые контейнеры. Наведенную гамма-активность образцов измеряли дважды: спустя 4–5 дней после выгрузки из канала облучения в течение 45 минут и спустя 20 дней в течение 1,5 часов. Для обработки гамма-спектров и расчета концентраций элементов использовали пакет программ, разработанных в ЛНФ ОИЯИ [9]. Качество анализа обеспечивалось с помощью сертифицированных эталонных материалов Coal fly ash (NIST, 1633c), Montana Soil (NIST, 2710), Estuarine sediment (BCR, 667), навески которых облучали в одинаковых условиях с исследуемыми образцами.

Результаты исследования и их обсуждение

Использование РФА и ИИНАА позволило получить данные по содержанию 39 элементов в составе отходов горной промышлен-

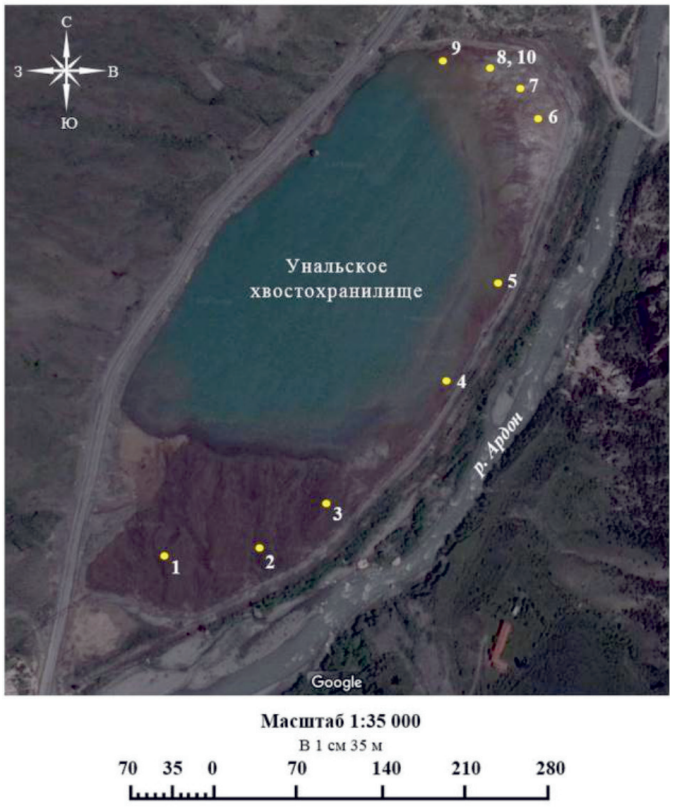


Схема опробования Унальского хвостохранилища

ности (хвостов Мизурской обогатительной фабрики). Результаты аналитических определений представлены в табл. 1. Содержание Ca, Ti, Cr, Mn, Cu, Sb в хвостах определяли двумя методами. Полученные результаты в пределах ошибок определения совпадают.

Унальское хвостохранилище представляет собой техногенную геохимическую аномалию с содержанием ряда элементов, превышающим их кларки в земной коре (табл. 1). Содержание таких элементов, как Zn, As, S, Cu, превышает кларковые концентрации более чем в сотни раз, содержание Sb, Se, Ag, In, Pb превышает кларковые значения в тысячи раз. Обращает на себя внимание обогащение техногенных образований Унальского хвостохранилища Cd, содержание которого более чем в двадцать тысяч раз превышает его кларк в земной коре, при этом Cd не входит в ассоциацию химических элементов (Pb, Zn, Fe, Cu, Ag, Bi, Al, Si), находящихся в повышенных концентрациях на свинцово-цинковых месторождениях [10].

Состав хвостов в разных частях хвостохранилища значительно различается, в том числе и по содержание полезных компонентов (табл. 1). Хвосты в северо-восточной части хвостохранилища отличаются высоким содержанием таких элементов, как Pb, As, V, U, Mo, Tb. Максимальное количество таких элементов, как S, Na, Ca, Cu, Zn, Sn, Ba, Cl, Mn, Se, Te, Sr, In, Nd, Ag, отмечается в хвостах восточной части, при этом они бедны такими элементами как: Al, K, Ti, Ce, Rb, V, Sc, Th, Nb, Ta. Состав хвостов южной части, обогащен такими элементами как: K, Al, Rb, Zr, Ce, Th, Nb, Ta, при этом бедны Ag, Cu, Zn, Sn, Ba, Cl, Mn, Cd, As, Se, In, Te. Значительное варьирование содержания ряда элементов в разных точках опробования вероятно связано с разным удаление от зеркала воды, и воздействием флотационных процессов.

Полученные данные были обработаны методами математической статистики с использованием программного пакета Microsoft Excel. Анализ полученных статистических параметров показал, что распределение данных по всем показателям отклоняется от нормального распределения, наиболее показательной описательной статистикой является медиана, и именно она самым достоверным образом отражает положение центра вариационного ряда по всем показателям [11]. В качестве среднего по всем показателям принималось значение медианы.

Среднее содержание (медиана) элементов в техногенных образованиях хвостохранилища (на глубине до 10 см) составляет (в порядке убывания),%: S – 13; Fe – 6,19; Zn – 4,32; Al – 3,9; Pb – 2,71; Ca – 2,5; K – 1,2; Cu – 1,1; Na – 0,92; As – 0,47; Sb – 0,39; Ba – 0,38; Ti – 0,28; Sn – 0,234; Mn – 0,21; Cr – 0,08; In – 0,07; Te – 0,056; Cd – 0,028; Cl – 0,028; Ni – 0,019, Se – 0,01; Sr – 0,0095; далее в ppm:; Nd – 94; Zr – 44; V – 33,7; Ce – 33; Ag – 30; La – 25; Co – 22; Th – 8; Sc – 6,4; U – 6,2; Rb – 3; Nb – 3; Ta-1,2; Tb – 1,04; Mo – 1.

Необходимо отметить, что большинство из элементов, присутствующих в сухой части хвостохранилища, относятся к высокотоксичным и токсичным элементам. В отсутствие увлажнения дисперсные частицы разносят на большие расстояние, загрязняя почву, поверхностные воды, растительность. Наибольшую опасность для здоровья человека представляют мелкодисперсные частицы (диаметром меньше 1 мкм) так как они достигают нижних дыхательных путей и оседают в альвеолах легких.

Отдельно был проведен анализ состава хвостов, отобранных на разной глубине хвостохранилища. В восточной части хвостохранилища было отобрано 2 пробы, с поверхности (0–10 см) и с глубины (15–20 см.) Результаты анализов представлены в табл. 2.

На поверхности сухой части хвостохранилища, возможно, в результате флотационных процессов в период максимального обводнения происходит обогащение хвостов. При этом отмечается резкое увеличение содержания таких компонентов, как: Te (в 221 раза) с 0,0002 до 0,0443%, In (в 140 раз), с 0,0005 до 0,07%, As (в 37 раз) с 0,022 до 0,82%, Sn (в 27 раз) с 0,0085 до 0,2294%. В меньшей степени, но значительно увеличивается содержание Cu (в 13,7) с 0,08 до 1,1%, Ni (в 10,8 раз) с 23 до 250 ppm, Cd (в 8,7 раз) с 32 до 280 ppm. От 5 до 5,5 раз увеличивается содержание Zn (в 5,7 раз) с 0,758 до 4,32%, Sb (в 5,5 раз) с 0,1336 до 0,7387%, Ag (в 5,2 раза) с 5,7 до 30 ppm, Tb (в 5 раз) с 0,5 до 2,5 ppm. От 2,1 до 2,8 раз увеличивается содержание Fe (в 2,5 раз) с 2,34 до 5,83%, Ba (в 2,7 раз) с 0,1416 до 0,3857%, Pb (в 2,5 раз) с 1,18 до 2,93%, Na (в 2,6 раза) с 0,36 до 0,92%, Cl (в 2,8 раза) с 0,017 до 0,048%, Mn (в 2,1 раза) с 0,096 до 0,2%, Se (в 2,6 раза) с 0,004 до 0,0103%, Sr (в 2,7 раза) с 29 до 78 ppm, Nd (в 2,5 раза) с 28 до 71 ppm, V (в 2,3 раза) с 38 до 89 ppm, Co (в 2,4 раза) с 12 до 29 ppm. Незначительно увеличивается содержание Ca (в 1,5 раз) с 1,22 до 1,9% и U (в 1,1 раз) с 5,9 до 6,7 ppm.

Таблица 1

Результаты анализа хвостов Унальского хвостохранилища методами ИНАА и РФА

Элемент	Метод анализа	Точки опробования			
		1	2	3	4
		Содержание элемента, %			
Na	ИНАА	0,32 ± 0,03	0,44 ± 0,04	0,75 ± 0,08	2,7 ± 0,3
Al	ИНАА	4,1 ± 0,3	4,9 ± 0,3	5,2 ± 0,3	3,9 ± 0,2
S	ИНАА	1,1 ± 0,3	4,3 ± 1,3	13 ± 4	33 ± 10
Cl	ИНАА	0,017 ± 0,005	0,020 ± 0,006	0,018 ± 0,006	0,028 ± 0,008
K	РФА	1,3 ± 0,1	1,5 ± 0,1	1,6 ± 0,2	0,63 ± 0,13
Ca	РФА ИНАА	0,90 ± 0,07	1,27 ± 0,08	2,8 ± 0,1	3,2 ± 0,7
Ti	РФА ИНАА	0,20 ± 0,02	0,30 ± 0,02	0,40 ± 0,03	0,28 ± 0,03
Cr	РФА ИНАА	0,063 ± 0,008	0,066 ± 0,009	0,16 ± 0,01	0,126 ± 0,009
Mn	ИНАА	0,050 ± 0,002	0,100 ± 0,005	0,21 ± 0,01	0,42 ± 0,02
Fe	РФА	2,56 ± 0,01	3,61 ± 0,02	6,20 ± 0,02	6,25 ± 0,02
Cu	РФА ИНАА	0,08 ± 0,02	0,09 ± 0,03	0,21 ± 0,06	2,0 ± 0,6
Zn	РФА	1,182 ± 0,004	0,735 ± 0,004	2,342 ± 0,007	6,98 ± 0,01
As	ИНАА	0,028 ± 0,002	0,048 ± 0,003	0,065 ± 0,005	0,67 ± 0,05
Se	ИНАА	0,0009 ± 0,0001	0,0022 ± 0,0003	0,0048 ± 0,0007	0,089 ± 0,013
Sr	РФА	0,0023 ± 0,0002	0,035 ± 0,002	0,0073 ± 0,0003	0,0345 ± 0,0003
Cd	РФА	0,0040 ± 0,0002	0,0016 ± 0,0001	0,0087 ± 0,0003	0,088 ± 0,001
In	ИНАА	0,0003 ± 0,0001	0,0017 ± 0,0005	0,008 ± 0,002	0,12 ± 0,03
Sn	РФА	0,021 ± 0,001	0,0062 ± 0,0002	0,0704 ± 0,0005	3,455 ± 0,004
Sb	РФА ИНАА	0,2881 ± 0,0008	0,0427 ± 0,0003	0,2780 ± 0,0008	0,429 ± 0,002
Te	РФА	≤0,0002	0,0009 ± 0,0002	0,0059 ± 0,0003	0,0726 ± 0,0009
Ba	РФА	0,1459 ± 0,0002	0,0967 ± 0,0004	0,2258 ± 0,0007	0,484 ± 0,002
Pb	РФА	1,86 ± 0,02	0,45 ± 0,02	3,65 ± 0,03	2,52 ± 0,03
		Содержание элемента, ppm (10^{-4}, %)			
Sc	ИНАА	5,1 ± 1,3	9,6 ± 2,4	8,2 ± 2,1	6,0 ± 1,5
V	ИНАА	22,4 ± 2,2	45,2 ± 2,3	47,1 ± 2,4	22,9 ± 2,3
Co	ИНАА	12,6 ± 1,9	22 ± 3	20 ± 3	28 ± 4
Ni	ИНАА	98 ± 29	41 ± 12	193 ± 58	296 ± 89
Rb	РФА	67 ± 3	128 ± 3	43 ± 4	≤3
Zr	РФА	48 ± 1	131 ± 2	80 ± 2	39 ± 2
Nb	РФА	5 ± 1	10 ± 1	≤1	≤1
Mo	РФА	≤1	≤1	≤1	≤1
Ag	ИНАА	6,2 ± 0,4	5,9 ± 0,4	6,7 ± 0,5	53 ± 3
Cs	ИНАА	5,3 ± 1,1	5,4 ± 1,1	3,5 ± 0,7	1,8 ± 0,4
La	ИНАА	26 ± 7	31 ± 8	24 ± 6	14 ± 4
Ce	РФА ИНАА	52 ± 3	66 ± 3	55 ± 3	24 ± 6
Nd	РФА	91 ± 5	70 ± 6	135 ± 8	260 ± 10
Tb	ИНАА	0,63 ± 0,09	0,66 ± 0,10	0,44 ± 0,07	1,08 ± 0,16
Ta	ИНАА	2,2 ± 0,3	1,7 ± 0,3	1,9 ± 0,3	0,50 ± 0,08
Th	ИНАА	13,7 ± 1,6	12,8 ± 1,5	10,5 ± 1,3	4,5 ± 0,5
U	ИНАА	6,4 ± 1,3	6,2 ± 1,2	5,1 ± 1,0	2,5 ± 0,5

Окончание табл. 1

Элемент	Метод анализа	Точки опробования				
		5	6	7	8	9
		Содержание элемента, %				
Na	ИНАА	3,1 ± 0,4	4,6 ± 0,5	1,11 ± 0,11	0,92 ± 0,09	0,57 ± 0,06
Al	ИНАА	1,6 ± 0,1	1,9 ± 0,1	2,4 ± 0,1	3,4 ± 0,2	3,9 ± 0,2
S	ИНАА	17 ± 5	21 ± 6	16 ± 4	6,2 ± 1,8	1,6 ± 0,5
Cl	ИНАА	0,09 ± 0,03	0,04 ± 0,01	0,017 ± 0,005	0,048 ± 0,014	0,053 ± 0,016
K	РФА	0,63 ± 0,13	0,60 ± 0,13	0,5 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,2
Ca	РФА ИНАА	3,6 ± 0,1	3,6 ± 0,1	2,50 ± 0,14	1,9 ± 0,1	0,97 ± 0,10
Ti	РФА ИНАА	0,21 ± 0,02	0,21 ± 0,02	0,37 ± 0,04	0,23 ± 0,03	0,29 ± 0,03
Cr	РФА ИНАА	0,11 ± 0,01	0,069 ± 0,009	≤0,1	≤0,1	0,19 ± 0,07
Mn	ИНАА	0,45 ± 0,02	0,45 ± 0,02	0,30 ± 0,01	0,20 ± 0,01	0,089 ± 0,004
Fe	РФА	6,49 ± 0,02	6,19 ± 0,02	8,22 ± 0,04	5,83 ± 0,03	3,56 ± 0,03
Cu	РФА ИНАА	1,9 ± 0,5	1,5 ± 0,4	1,2 ± 0,3	1,1 ± 0,3	0,29 ± 0,09
Zn	РФА	6,80 ± 0,01	7,30 ± 0,01	7,29 ± 0,02	4,32 ± 0,01	1,978 ± 0,008
As	ИНАА	0,48 ± 0,03	0,47 ± 0,03	0,34 ± 0,02	0,82 ± 0,06	1,08 ± 0,08
Se	ИНАА	0,080 ± 0,012	0,073 ± 0,011	0,025 ± 0,004	0,0103 ± 0,0016	0,0061 ± 0,0009
Sr	РФА	0,0287 ± 0,0002	0,0369 ± ,0004	0,0095 ± 0,0004	0,0078 ± 0,0003	0,0031 ± 0,0003
Cd	РФА	0,067 ± 0,001	0,093 ± 0,001	0,037 ± 0,003	0,028 ± 0,0003	0,009 ± 0,0002
In	ИНАА	0,11 ± 0,03	0,11 ± 0,03	0,10 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,015 ± 0,005
Sn	РФА	4,292 ± 0,004	3,766 ± 0,004	0,658 ± 0,0004	0,2294 ± 0,0003	0,0585 ± 0,0002
Sb	РФА ИНАА	0,824 ± 0,002	0,392 ± 0,002	0,8820 ± 0,0003	0,7387 ± 0,0002	0,3215 ± 0,0001
Te	РФА	0,0770 ± 0,0009	0,0605 ± 0,0009	0,0469 ± 0,0004	0,0443 ± 0,0004	0,0117 ± 0,0002
Ba	РФА	0,377 ± 0,002	0,483 ± 0,002	0,504 ± 0,001	0,3857 ± 0,0002	0,1748 ± 0,0001
Pb	РФА	2,71 ± 0,03	2,62 ± 0,03	4,64 ± 0,05	2,93 ± 0,04	3,30 ± 0,04
		Содержание элемента, ppm (10^{-4},%)				
Sc	ИНАА	3,3 ± 0,8	3,4 ± 0,9	3,6 ± 0,09	6,8 ± 1,7	9,1 ± 2,3
V	ИНАА	28,0 ± 2,8	18,7 ± 1,9	103 ± 5	89 ± 6	33,7 ± 1,7
Co	ИНАА	24 ± 4	29 ± 4	21 ± 3	29 ± 4	11,8 ± 1,8
Ni	ИНАА	261 ± 78	93 ± 28	185 ± 56	256 ± 77	245 ± 74
Rb	РФА	≤3	≤3	≤3	≤3	27≤4
Zr	РФА	35 ± 2	44 ± 2	24 ± 4	15 ± 3	46 ± 3
Nb	РФА	≤1	4 ± 1	3 ± 1	2 ± 1	5 ± 1
Mo	РФА	≤1	8 ± 1	≤1	3 ± 1	3 ± 1
Ag	ИНАА	69 ± 4	53 ± 3	30 ± 2	30 ± 2	12,8 ± 0,9
Cs	ИНАА	7,3 ± 1,5	1,8 ± 0,4	2,4 ± 0,5	3,9 ± 0,8	4,9 ± 1,0
La	ИНАА	40 ± 10	5,9 ± 1,5	30 ± 8	21 ± 5	25 ± 6
Ce	РФА ИНАА	≤6	≤6	23 ± 4	33 ± 3	39 ± 2
Nd	РФА	210 ± 10	260 ± 20	94 ± 6	71 ± 5	37 ± 3
Tb	ИНАА	2,5 ± 0,4	0,46 ± 0,07	2,7 ± 0,1	2,5 ± 0,2	1,04 ± 0,13
Ta	ИНАА	0,70 ± 0,11	0,39 ± 0,06	1,2 ± 0,2	1,2 ± 0,2	1,9 ± 0,3
Th	ИНАА	8,0 ± 1,0	3,7 ± 0,4	4,2 ± 0,5	6,9 ± 0,8	11,2 ± 1,3
U	ИНАА	5,3 ± 1,1	6,3 ± 1,3	10 ± 2	6,7 ± 1,3	3,4 ± 0,7

Таблица 2

Результаты анализа хвостов Унальского хвостохранилища

Элемент	Метод анализа	Глубина до 10 см	Глубина 15–20 см	По данным [4]	По данным [6]
		Содержание, %			
Na	ИНАА	0,92 ± 0,09	0,36 ± 0,04	0,12	
Al	ИНАА	3,4 ± 0,2	4,6 ± 0,3	5,24	
S	ИНАА	6,2 ± 1,8	7 ± 2	7,39	
Cl	ИНАА	0,048 ± 0,014	0,017 ± 0,005		
K	РФА	1,2 ± 0,2	1,7 ± 0,2	2,07	
Ca	РФА ИНАА	1,9 ± 0,1	1,22 ± 0,09	1,97	
Ti	РФА ИНАА	0,23 ± 0,03	0,21 ± 0,03	0,31	0,17
Cr	РФА ИНАА	≤0,1	≤0,1		0,016
Mn	ИНАА	0,20 ± 0,01	0,096 ± 0,005		0,19
Fe	РФА	5,83 ± 0,03	2,34 ± 0,02	8,86	
Cu	РФА ИНАА	1,1 ± 0,3	0,08 ± 0,02		0,04
Zn	РФА	4,32 ± 0,01	0,758 ± 0,005		0,235
As	ИНАА	0,82 ± 0,06	0,022 ± 0,002		0,028
Se	ИНАА	0,0103 ± 0,0016	0,0040 ± 0,0006		
Sr	РФА	0,0078 ± 0,0003	0,0029 ± 0,0002		
Cd	РФА	0,028 ± 0,0003	0,0032 ± 0,0001		0,0006
In	ИНАА	0,07 ± 0,02	0,0005 ± 0,0001		
Sn	РФА	0,2294 ± 0,0003	0,0085 ± 0,0001		0,0023
Sb	РФА ИНАА	0,7387 ± 0,0002	0,1336 ± 0,0001		
Te	РФА	0,0443 ± 0,0004	≤0,0002		
Ba	РФА	0,3857 ± 0,0002	0,1416 ± 0,0001		
Pb	РФА	2,93 ± 0,04	1,18 ± 0,03		0,193
		Содержание, ppm (10^{-4}%)			
Sc	ИНАА	6,8 ± 1,7	7,8 ± 2,0		
V	ИНАА	89 ± 6	38 ± 4		40
Co	ИНАА	29 ± 4	12,0 ± 1,8		28
Ni	ИНАА	256 ± 77	23 ± 7		20
Rb	РФА	≤3	90 ± 3		
Zr	РФА	15 ± 3	69 ± 3		140
Nb	РФА	2 ± 1	6 ± 1		
Mo	РФА	3 ± 1	3 ± 1		5
Ag	ИНАА	30 ± 2	5,7 ± 0,4		4
Cs	ИНАА	3,9 ± 0,8	4,9 ± 1,0		
La	ИНАА	21 ± 5	22 ± 6		
Ce	РФА ИНАА	33 ± 3	43 ± 2		
Nd	РФА	71 ± 5	28 ± 2		
Tb	ИНАА	2,5 ± 0,2	0,5 ± 0,4		
Ta	ИНАА	1,2 ± 0,2	1,6 ± 0,2		
Th	ИНАА	6,9 ± 0,8	14,5 ± 1,2		
U	ИНАА	6,7 ± 1,3	5,9 ± 1,2		

При этом содержание ряда компонентов увеличивается с глубиной: K (1,4 раза), Al (в 1,3 раза), S (в 1,1 раза), Rb (в 30 раз), Zr (в 4,6 раза), Nb (в 3 раза), Th (в 2,1 раза).

Сравнение результатов опробования хвостов, проводимых ранее в пляжной зоне хвостохранилища (усредненные данные опробования до глубины 5–8 м) [3, 5] с полученными данными показало, что содержание Ti, As, V, Ni, Mo, Ag коррелирует с содержанием в образцах, взятых с глубины 15–20 см. В образцах с поверхности пляжной зоны хвостохранилища содержание таких высокотоксичных элементов, как Cd, Ni, As, Ag, Cu, Pb, в десятки и сотни раз выше имеющихся в литературе данных [3–5]. Дефляционные процессы, развивающиеся в сухой части пляжной зоны, несут серьезную угрозу прилегающим территориям.

Несмотря на то, что содержание полезных компонентов в составе хвостов обогащения крайне неравномерно, полученные результаты показали, что содержание Pb и Zn в верхней части пляжной зоны Унальского хвостохранилища соответствует рядовым рудам (Pb + Zn от 7 до 4%). Радикальным способом защиты окружающей среды от влияния хвостохранилища является выщелачивание хвостов с утилизацией полезных продуктов переработки и последующей рекультивацией. Имеются положительный опыт использования хвостов в качестве техногенных месторождений [12]. Как отмечают многие авторы [13], реализация таких подходов требует диверсификации горного и перерабатывающего производства на Садонских месторождениях. На базе Унальского хвостохранилища развивается механохимическая переработка хвостов. Вовлечение в производство некондиционных для традиционных технологий ресурсов может стать приоритетным направлением горнорудной отрасли не только РСОА, но и всего Северо-Кавказского региона.

Выводы

1. Применение РФА и ИИНАА для анализа отходов горной промышленности позволило количественно определить содержание 39 элементов в составе хвостов Унальского хвостохранилища.

2. Унальское хвостохранилище представляет собой техногенную геохимическую аномалию с содержанием Zn, As, S, Cu, Sb, Se, Ag, In, Pb Cd, превышающим кларковые более чем в сотни и тысячи раз.

3. Содержание элементов в составе хвостов неравномерно, значительное варьирование содержания ряда элементов в разных точках опробования, вероятно, связано с разным удалением от зеркала воды и воздействием флотационных процессов.

4. Отмечается обогащение верхних 10 см пляжной зоны хвостохранилища высокотоксичными элементами (Zn, As, Cu, Sb, Ni, Pb), что представляет опасность для окружающей среды и здоровья населения.

5. Присутствие в составе хвостов полезных компонентов указывает на необходимость использования отходов Мизурской обогатительной фабрики, складируемых на территории Унальского хвостохранилища как источник полезных ископаемых.

Список литературы

1. Голик В.И. К истории горнометаллургической отрасли Северной Осетии / В.И. Голик, Д.А. Мельков, А.В. Логагев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2009. – № 1. – С. 194–199.

2. Голик В.И. Экономическая эффективность предупреждения природно-техногенных катастроф в горнодобывающих регионах / В.И. Голик, Е.Н. Козырев, Е.Н. Клочко // Научный вестник ЮИМ. – 2015. – № 3. – С. 7–13.

3. Рухлин Г.В. Отходы горного производства как сырье для высокотехнологичной продукции / Г.В. Рухлин, А.М. Байматов // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2010. – № 4 (25). – С. 34–39.

4. Пряничникова Е.В. Эколого-геохимическая оценка горнорудного района: на примере Садоно-Унальской котловины, Республика Северная Осетия – Алания: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. (25.00.09) . – Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. Геол. фак. – Москва, 2005. – 27 с.

5. Голик В.И. Перспективы возрождения горного производства Северной Осетии / В.И. Голик, Т.М. Тезиев // Актуальные вопросы современной науки. – 2016. – № 45. – С. 110–121.

6. Карпов Ю.А. Методы пробоотбора и пробоподготовки / Ю.А. Карпов, А.П. Савостин. – 3-е изд. (эл.). – М.: Бином. Лаборатория знаний, 2015. – URL: http://files.pilotlz.ru/pdf/cC2584-9-ch.pdf (дата обращения: 20.05.2018).

7. Маслов О.Д. Многокомпонентный инструментальный рентгенофлюоресцентный анализ почв и других объектов окружающей среды на токсичные и сопутствующие элементы. Стандарт предприятия СТП 104-2002 / О.Д. Маслов, М.В. Густова, Л.Г. Молоканова. – Дубна: ОИЯИ, 2002. – 16 с.

8. Frontasyeva M.V., Pavlov S.S. REGATA Experimental Setup for Air Pollution Studies. In «Problems of Modern Physics». On the 90th anniversary of Saratov State University and the 40 years of the JINR- SSU collaboration. Editors: A.N. Sissakian, D.I. Trubetskov. Dubna, JINR, 1999, pp. 152–158.

9. Дмитриев А.Ю. Автоматизация количественного определения содержания элементов в образцах методом нейтронного активационного анализа на реакторе ИБР 2 в ЛНФ ОИЯИ / А.Ю. Дмитриев, С.С. Павлов // Письма в ЭЧАЯ. – 2013. – Т. 10, № 1 (178). – С. 58–64.

10. Алексеенко В.А. Экологическая геохимия / В.А. Алексеенко. – М.: Логос, 2000. – 627 с.

11. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении, 3-е изд. / Е.А. Дмитриев. – М.: Либроком, 2009. – 328 с.

12. Технологические, экономические и экологические аспекты переработки техногенного сырья горно-металлургических предприятий Урала / И.В. Шадрунова [и др.] // Экология и промышленность России. – 2013. – № 8. – С. 16–21.

13. Голик В.И. Экономический механизм конверсии горнодобывающей отрасли депрессивных регионов юга России / В.И. Голик, З.М. Хашева, Л.П. Шульгатый // Научный вестник Южного института менеджмента. – 2016. – № 3. – С. 27–32.

References

1. Golik V.I. K istorii gornometallurgicheskoj otrasli Severnoj Osetii / V.I. Golik, D.A. Mel`kov, A.V. Logagev // Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten`. – 2009. – № 1. – pp. 194–199.

2. Golik V.I. E`konomicheskaya e`ffektivnost` preduprezhdeniya prirodno-texnogenny`x katastrof v gornodoby`vayushhix regionax / V.I. Golik, E.N. Kozy`rev, E.N. Klochko // Nauchny`j vestnik YuIM. – 2015. – № 3. – pp. 7–13.

3. Ruxlin G.V. Otxody` gornogo proizvodstva kak sy`r`e dlya vy`sokotexnologichnoj produkcii / G.V. Ruxlin, A.M. Bajmatov // Vestnik Severo-Kavkazskogo gosudarstvennogo texnicheskogo universiteta. – 2010. – № 4 (25). – pp. 34–39.

4. Pryanichnikova E.V. E`kologo-geoximicheskaya ocenka gornorudnogo rajona: na primere Sadono-Unal`skoj kotloviny`, Respublika Severnaya Osetiya – Alaniya: avtoref. dis. ... kand. geol.-min. nauk. (25.00.09) . – Mosk. gos. un-t im. M.V. Lomonosova. Geol. fak. – Moskva, 2005. – 27 p.

5. Golik V.I. Perspektivy` vozrozhdeniya gornogo proizvodstva Severnoj Osetii / V.I. Golik, T.M. Teziev // Aktual`ny`e voprosy` sovremennoj nauki. – 2016. – № 45. – pp. 110–121.

6. Karpov Yu.A. Metody` probootbora i probopodgotovki / Yu.A. Karpov, A.P. Savostin. – 3-e izd. (e`l.). – M.: Binom. Laboratoriya znanij, 2015. – URL: http://files.pilotlz.ru/pdf/cC2584-9-ch.pdf (data obrashheniya: 20.05.2018).

7. Maslov O.D. Mnogokomponentny`j instrumental`ny`j rentgenoflyuorescentny`j analiz pochv i drugix ob``ektov okruzhayushhej sredy` na toksichny`e i soputstvuyushhie e`lementy`. Standart predpriyatiya STP 104-2002 / O.D. Maslov, M.V. Gustova, L.G. Molokanova. – Dubna: OIYaI, 2002. – 16 p.

8. Frontasyeva M.V., Pavlov S.S. REGATA Experimental Setup for Air Pollution Studies. In «Problems of Modern Physics». On the 90th anniversary of Saratov State University and the 40 years of the JINR- SSU collaboration. Editors: A. N. Sissakian, D. I. Trubetskov. Dubna, JINR, 1999, pp. 152–158.

9. Dmitriev A.Yu. Avtomatizaciya kolichestvennogo opredeleniya soderzhaniya e`lementov v obrazczax metodom nejtronnogo aktivacionnogo analiza na reaktore IBR 2 v LNF OIYaI / A.Yu. Dmitriev, S.S. Pavlov // Pis`ma v E`ChAYa. – 2013. – T. 10, № 1 (178). – pp. 58–64.

10. Alekseenko V.A. E`kologicheskaya geoximiya / V.A. Alekseenko. – M.: Logos, 2000. – 627 p.

11. Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii, 3-e izd. / E.A. Dmitriev. – M.: Librokom, 2009. – 328 p.

12. Texnologicheskie, e`konomicheskie i e`kologicheskie aspekty` pererabotki texnogennogo sy`r`ya gorno-metallurgicheskix predpriyatij Urala / I.V. Shadrunova [i dr.] // E`kologiya i promy`shlennost` Rossii. – 2013. – № 8. – pp. 16–21.

13. Golik V.I. E`konomicheskij mexanizm konversii gornodoby`vayushhej otrasli depressivny`x regionov yuga Rossii / V.I. Golik, Z.M. Xasheva, L.P. Shul`gaty`j // Nauchny`j vestnik Yuzhnogo instituta menedzhmenta. – 2016. – № 3. – pp. 27–32.

УДК 551.435.748:631.442

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛИТОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПЕСЧАНЫХ МАССИВОВ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

[1]Константинов А.О., [2]Лойко С.В., [2]Курасова А.О., [2]Кулижский С.П.

[1]ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: konstantinov.alexandr72@gmail.com;

[2]ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск

В работе представлены результаты исследования генетических особенностей почв и закономерностей организации почвенного покрова песчаных массивов юга Западной Сибири на примере Тура-Пышминского и Обь-Томского междуречий. Для изучения почвенного покрова применены почвенно-морфологический, сравнительно-географический и литолого-геоморфологический методы. Результаты исследований показали, что несмотря на внешнее сходство почв песчаных массивов, располагающихся на одной широте в противоположных частях западносибирского макрорегиона, закономерности организации почвенного покрова несколько отличаются в силу региональных особенностей истории развития, климата, интенсивности антропогенного воздействия. В пределах Тура-Пышминского междуречья выделены 4 области, различающиеся по характеру почвообразующих пород, рельефу, преобладающим растительным сообществам и почвам: высокие террасы реки Пышмы, переходящие в междуречье, области распространения низкого дюнного рельефа, области распространения высокого дюнного рельефа и террасы реки Туры с эоловым наносом, перекрывающим карбонатные озерно-аллювиальные суглинки. В пределах Обь-Томского междуречья выделены 3 типа эоловых ландшафтов: области распространения дюнного рельефа, переходные поверхности с линзами и прослоями суглинков и участки террас и междуречий, перекрытые маломощным эоловым наносом. Каждой области соответствуют характерные почвенные микросопряжения. Почвы песчаных массивов Тура-Пышминского и Обь-Томского междуречья имеют ряд сходств, проявляющихся как на уровне общих закономерностей организации почвенного покрова, так и в наборе и интенсивности основных почвообразовательных процессов. Наиболее благоприятные условия для почвообразования создаются в периферийных частях песчаных массивов при подстилании песков суглинистыми отложениями, где альфегумусовый процесс сменяется гумусонакоплением.

Ключевые слова: дюнный рельеф, песчаные массивы, альфегумусовый процесс, Западная Сибирь

COMMON FACTORS OF THE LITHOLOGICAL-GEOMORPHOLOGICAL ORGANIZATION OF SOIL COVER OF THE SAND MASSIVES OF THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

[1]Konstantinov A.O., [2]Loyko S.V., [2]Kurasova A.O., [2]Kulizhskiy S.P.

[1]Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: konstantinov.alexandr72@gmail.com;

[2]National Research Tomsk State University, Tomsk

The paper presents the results of the study of the genetic features of soils and the patterns of soil cover organization in the sandy massifs of the south of Western Siberia using the case of the Tura-Pyshminsky and Ob-Tomsk interfluves. Soil-morphological, comparative-geographic and lithologic-geomorphological methods were used to study the soil cover. The results of the research showed that, despite the external similarity of the soils of sandy massifs located at the same latitude in opposite parts of the West Siberian macroregion, the patterns of soil cover organization differ somewhat due to regional features of the history of development, climate, and the intensity of anthropogenic impact. Within the Tura-Pyshma interfluve, four regions are distinguished, differing in the nature of the soil-forming rocks, the relief, the prevailing plant communities and the soils: the high terraces of the Pyshma River passing into the interfluve, the areas of low dune relief, the area of the high dune relief and the terrace of the Tura River with the eolian deposits covering the carbonate lacustrine-alluvial loam. Within the Ob-Tomsk interfluve, three types of eolian landscapes have been identified: the areas of dune relief, transitional surfaces with lenses and interlayers of loam and patches of terraces and interfluves, covered with a low-sickness eolian deposit. Each region corresponds to characteristic soil microconjugations. The soils of the sand massifs of the Tura-Pyshminsky and Ob-Tom interfluves have a number of similarities that manifest themselves both at the level of general regularities in the organization of the soil cover and in the recruitment and intensity of the basic soil-forming processes. The favorable conditions for soil formation are created in the peripheral parts of sandy massifs when sand is littered with loamy deposits, where the AlFe-humus process is replaced by humus accumulation.

Keywords: dune relief, sand massifs, AlFe-humus process, Western Siberia

Традиционно считается, что формирование и развитие почв на песчаных отложениях протекает практически независимо от зональных закономерностей и приводит к формированию почв, сходных по строению профиля, ведущим почвообразовательным процессам и свойствам, в широком спектре природных зон от таежной зоны до степной. Подобная особенность связана со слабой способностью песков реагировать на смену биоклиматических условий: одинаковыми во всех зонах водно-физиче-

скими свойствами субстрата. Данное представление является справедливым лишь отчасти, поскольку почвы, сформированные на легких отложениях, демонстрируют существенную внутригрупповую вариабельность в зависимости даже от незначительных изменений в минералогическом и гранулометрическом составе песков, положения в рельефе и уровня грунтовых вод. В пределах юга Западной Сибири широко представлены участки с широким распространением субаэральных покровных песчаных отложений и характерного древнеэолового дюнного рельефа, как правило, приуроченного к древним ложбинам стока, вторым и реже третьим надпойменным террасам рек. Значительные по площади массивы песков известны для территорий Тура-Пышминского [1], Обь-Томского [2–3], Обь-Енисейского междуречий [4], Кулундинской равнины, Северного Казахстана. Районы распространения покровных песчаных отложений юга Западной Сибири, приуроченные к долинам крупны рек, изначально выступали в качестве путей миграции человека, что подтверждают многочисленные археологические находки [5–6]. Многие крупные песчаные массивы располагаются в пределах основной зоны расселения юга Западной Сибири и испытывают интенсивное антропогенное воздействие. Исследование эоловых песчаных отложений песков и соответствующих почв может стать основой рационального использования данных территорий.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования выступили почвы песчаных массивов Тура-Пышминского и Обь-Томского междуречий. В пределах территории Тура-Пышминского междуречья субаэральные песчаные отложения и участки дюнного рельефа приурочены к поверхностям второй и третей надпойменных террас рек Туры и Пышмы, а также прибрежных районов Андреевской озерной системы. Отдельные участки распространения эоловых отложений, представленных мелко- и тонкозернистыми желтыми и желтовато-серыми песками, с прослоями супеси, встречаются в пределах высоких междуречий, сложенных ранне-среднечетвертичными осадками [1]. Климат территории – континентальный; его формирование происходит под влиянием западного переноса. Среднегодовая температура воздуха составляет 0,7 °С, количество осадков – 524 мм. Естественная подтаежная растительность водоразделов и высоких террас междуречья вследствие хозяйственного освоения приобрела лесостепной облик. Интенсивная антропогенная нагрузка, сплошные рубки и частые пожары привели к широкому распространению лесных культур сосны, вместе с тем длительно-производные сосновые леса достаточно редки. Согласно почвенно-географическому районированию юга Тюменской области, рассматриваемая территория относится к Тура-Пышминскому району серых лесных почв, выщелоченных чернозёмов и боровых песков [7].

Эоловый дюнный рельеф в пределах Обь-Томского междуречья приурочен к древним ложбинам стока и низким надпойменным террасам рек Томи и Оби [8]. Дюны имеют высоту до 22 м и ориентированы с северо-востока на юго-запад. Верхняя часть разреза отложений, слагающих эоловые формы, представлена хорошо сортированными мелко- и среднезернистыми кварц-полевошпатовыми песками с тонкой слоистостью [2]. Климат территории – резко континентальный с отепляющим влиянием рек. Среднегодовая температура 0,6 °С, среднегодовое количество осадков – 550 мм. Породный состав древостоя крайне однообразен по причине интенсивных рубок в недавнее время; спелые и перестойные сосновые леса сохранились фрагментарно. В крупных понижениях распространены преимущественно олиготрофные болота [9]. По почвенно-географическому районированию территория относится к Обь-Томскому комплексному району серых лесных почв [3].

При изучении особенностей почвенного покрова и почв участков распространения древнеэоловых ландшафтов использовались почвенно-морфологический, сравнительно-географический и литолого-геоморфологический методы. Названия почв и почвенных горизонтов даны в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России [10]. Всего описано 40 разрезов.

Результаты исследования и их обсуждение

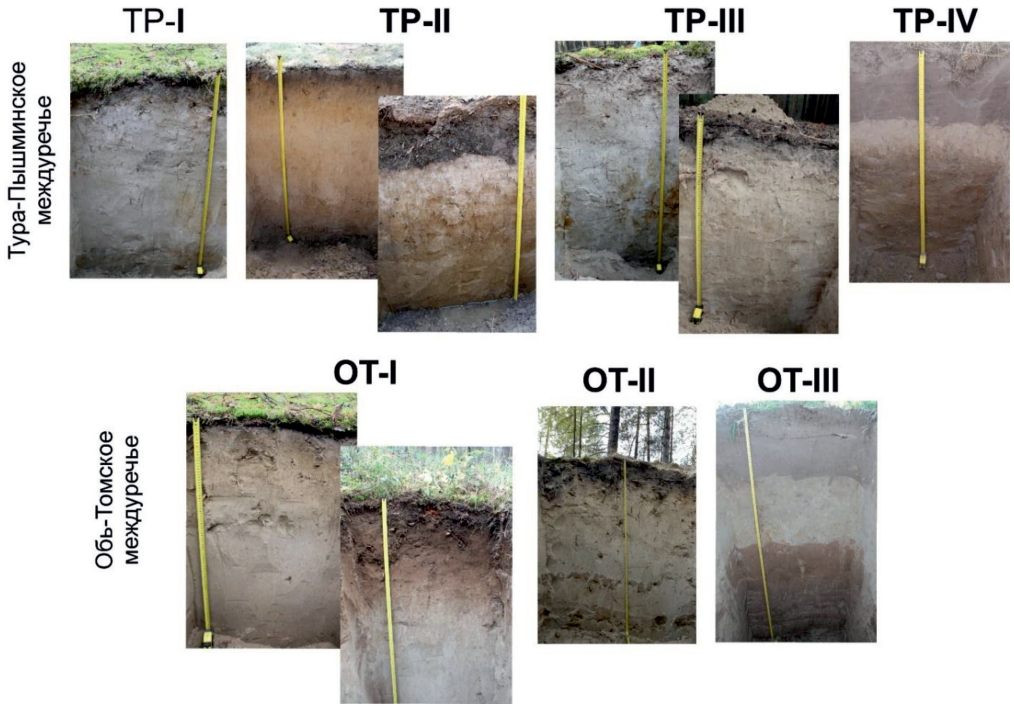
Проведенные исследования показывают, что между двумя рассматриваемыми территориями наблюдается ряд отличий как на уровне выраженности почвообразовательных процессов и строения профилей, так и в основных закономерностях организации почвенного покрова. В пределах древнеэоловых ландшафтов Тура-Пышминского междуречья выделены следующие области (рисунок):

I – область высоких террас реки Пышмы, переходящих в нижний ярус междуречья с абсолютными высотами 55–62 м. Рас-

пространение получили малоконтрастные почвенные комбинации, формирующиеся в условиях близкого залегания грунтовых вод (1 м) под сосновыми лесами с лишайниковым покровом. Песчаный субстрат отличается малой степенью эоловой переработки, а характерный дюнный рельеф отсутствует. Проявления альфегумусового процесса выражены слабо: мощность горизонта BF не превышает 5 см. Наиболее значимыми процессами в формировании почв (дерново-подбуров глеевых маломощных) являются процессы, связанные с оглеением.

II – область междуречья с низким дюнным рельефом с абсолютными высотами 61–65 м. Сформированы сочетания маломощных дерново-подбуров в автономных позициях и дернов-подзолов в междюнных понижениях. Почвообразующие пески имеют характерные признаки эоловой переработки; высота отдельных дюн не превышает 2–3 м. В днищах локальных понижений вскрываются грунтовые воды (1,2 ± 0,1 м). В целом для данной области характерно формирование почв с наиболее развитым пятнистым альфегумусовым горизонтом либо горизонтом *AYpa,e* в почвах понижений. Все изученные почвы имеют четкие признаки распашки и обогащены углями.

III – область междуречья с рельефом высоких дюн (перепады более 10 м), с абсолютными высотами от 60 до 70 м. Почвообразование в пределах данной территории происходит при незначительной роли грунтовых вод, в то время как процессы латеральной миграции вещества в силу особенностей рельефа являются доминирующими. В автономных позициях на вершинах крупных дюн формируются морфологически слабо дифференцированные почвы – неполноразвитые дерново-подзолы иллювиальные-железистые, тяготеющие по внешнему облику к псаммоземам, типичным почвам «боровых песков». В междюнных понижениях, наоборот, распространены полно развитые дерново-подбуры иллювиально-железистые и, чаще, иллювиально-гумусовые в зависимости от конкретных условий дюнного рельефа, перепада высот, площади и формы водосбора. Общая мощность горизонтов, в которых интенсивны почвенные процессы (AY-AYe-BF), не превышает 30 см на вершинах дюн и возрастает до 50–60 см в понижениях. В горизонтах BC и C отмечаются псевдофибры, которые отличаются кофейно-коричневым цветом и обогащены органическим веществом.



Разнообразие почвенного покрова в пределах отдельных областей древнеэоловых ландшафтов Тура-Пышминского и Обь-Томского междуречий: ТР-I – без дюнного рельефа, ТР-II – с низким дюнным рельефом, ТР-III – с высоким дюнным рельефом, ТР-IV – на двучленных отложениях, ОТ-I – дюнного рельефа, ОТ-II – западинного рельефа, ОТ-III – на двучленных отложениях

IV – область сопряжения песчаных массивов и террас реки Туры с абсолютными отметками 52–59 м. Данная территория располагается в северной части междуречья и ограничивается крутым берегом реки Туры. Почвенный покров данной территории имеет сложное строение, поскольку в большинстве случаев отложения представляют собой двучлен: маломощный (до 0,5 м) слой эоловых отложений перекрывает карбонатные необлессованные аллювиальные суглинистые отложения. Большая часть территории распахана. Почвенные профили имеют следующее строение (PY-EL)eol-BT[au]-BCca. Мощность эолового наноса увеличивается при движении на юг (в сторону области I), а почвы постепенно сменяются типичными для территории дерново-подбурами с развитым гумусовым горизонтом AY. Интересной особенностью является наличие морфонов горизонта AU в горизонте BT, что свидетельствует о формировании темногумусовых почв, горизонт AU которых был впоследствии уничтожен и погребен песчаным наносом.

В пределах древнеэоловых ландшафтов Обь-Томского междуречья можно выделить следующие области (рисунок):

I – области распространения дюнного рельефа с абсолютными отметками 80–90 м. Участки развития дюнного рельефа в пределах древних ложбин стока и вторых надпойменных террас в настоящее время практически не испытывают влияния грунтовых вод, за исключением территорий находящихся в периферийных частях небольших озер и болот. В катенах крупных дюн автономные позиции занимают слаборазвитые дерново-подзолы оподзоленные иллювиально-железистые (схожие с псаммоземами), подчиненные – дерново-подбуры иллювиально-железистые, как правило, псевдофибровые, и реже дерново-подбуры имеющие характерную окраску цвета охры, генезис которых остается не совсем ясным, но, по всей видимости, обусловлен гидрогенным ожелезнением, происходившим при ином режиме функционирования территории. В днищах небольших междюнных понижений, преимущественно округлой формы, дерново-подбуры иллювиально-железистые сменяются дерново-подбурами иллювиально-гумусовыми с мощным горизонтом BH коричневато-кофейного цвета. Значительную роль в формировании современных почв и ландшафтов территории играли пожары, что устанавливается по значительному количеству углей на глубинах до 30–40 см в большинстве изученных разрезов.

II – переходные поверхности между участками древнего дюнного рельефа и междуречьями, покрытыми лессовидными суглинками с абсолютными отметками 85–95 м Отличительной особенностью данной области является наличие в толще субаэральных песчаных отложений погребенных слоев или отдельных линз буровато-коричневого суглинка. Эоловые формы практически не выражены: преобладает западинный рельеф, а в растительном покрове преобладают сосновые леса с березой, осиной и лиственницей с разнотравно-вейниковым травянистым ярусом. Наличие плотных прослоев суглинистого материала, по всей видимости, улучшает водный режим почв, что приводит к формированию достаточно развитого горизонта AY. Вблизи старых деревень имеются признаки былой распашки.

III – области междуречья с эоловым песчаным наносом, перекрывающим лессовидные суглинки с абсолютными отметками 90–100 м. Небольшая мощность эолового наноса (до 0,5 м) и близкое к поверхности почвы залегание суглинистых отложений значительно улучшают водно-физические свойства почв, делают их пригодными для сельскохозяйственного использования, поэтому данные территории находятся преимущественно под пашней. Как и для аналогов Тура-Пышминского междуречья (зона IV), внутри почвенного профиля наблюдается литологическая неоднородность: PY и EL – формируются из песчаного эолового наноса, перекрывающего розовато-бурый плотный суглинок.

Почвы песчаных массивов Тура-Пышминского и Обь-Томского междуречья имеют ряд сходств, проявляющихся как на уровне общих закономерностей организации почвенного покрова, так и в наборе и интенсивности основных почвообразовательных процессов. Для территорий распространения дюнного рельефа характерна ведущая роль альфегумусового процесса. Гумусонакопление и подзолистый процесс выражены слабо из-за провальной фильтрации песков, низкой зольности опада, динамичности почвообразования и преобладания латеральной миграции [11–12]. Отметим, что в аналогичных условиях Восточной Европы на этой же широте в верхней части дюнных комплексов встречаются развитые подзолы [12]. В Западной Сибири подобного не происходит, что по всей видимости объясняется более коротким перио-

дом активности биохимических процессов (в силу глубокого и длительного промерзания), а также, возможно, меньшим возрастом почвообразования. В подзолах и дерново-подзолах альфегумусовых автономных позиций на глубине 40–70 см происходит формирование горизонта устойчивого иссушения, что приводит к тому, что большую часть года биологически активна только небольшая часть почвенного профиля. Более благоприятные условия для гумусонакопления наблюдаются в почвах, формирующихся в днищах междюнных понижений, а также переходных поверхностей, где линзы суглинка выполняют роль локального водоупора и стабилизируют водный режим. Именно поэтому наиболее контрастные почвы с выраженными гумусовыми горизонтами и интенсивным альфегумусовым процессом более характерны для участков с низким дюнным рельефом Тура-Пышминского междуречья. Также именно в пределах таких участков наиболее заметны признаки элювиирования. В почвах участков с высоким дюнным рельефом четко выраженного горизонта Е не наблюдается ни в одном профиле. Почвы территорий распространения суглинистых отложений, перекрытых маломощным слоем эолового наноса, располагаются в периферийных частях песчаных массивов, отличаются наиболее благоприятными лесорастительными свойствами и потенциалом сельскохозяйственного использования. Различия между почвами таких территорий проявляются главным образом в природе и основных свойствах покровных суглинков междуречий.

Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что почвенный покров песчаных массивов Тура-Пышминского и Обь-Томского междуречья характеризуется достаточно сложной организацией. В пределах рассматриваемых участков выделяются области распространения дюнного рельефа и преимущественного формирования альфегумусовых почв, переходные поверхности с линзами и прослоями суглинка, а также междуречья, перекрытые маломощным эоловым наносом. Более благоприятные условия современного почвообразования характерны для участков с относительно низким дюнным рельефом Тура-Пышминского междуречья, что по всей видимости обусловлено благоприятным водным режимом при близком залегании грунтовых вод и меньшей континентальностью климата.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках проекта № 17-35-50007 мол_нр.

Список литературы

1. Эколого-геологическое картографирование масштаба 1:200 000 территории листов О-41-XXIV, XXX (Отчет Восточной съемочной эколого-геологической партии за 1993–2001 гг.): в 10 кн. / отв. исп. Л.И. Ануфриева. – Тюмень: ЗАО ТКГРЭ, 2001. – Кн. 1. Текст. – 354 с.

2. Парначев В.П. Геология и полезные ископаемые окрестностей города Томска: материалы к полевой геологической экскурсии: справочное пособие / В.П. Парначёв, С.В. Парначёв. – Томск: Том. гос. ун-т, 2010. – 144 с.

3. Дюкарев А.Г. Почвы Обь-Томского междуречья / А.Г. Дюкарев, Н.Н. Пологова // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2011. – № 3 (15). – С. 16–37.

4. Евсеева Н.С. Современный морфолитогенез юго-востока Западно-Сибирской равнины / Н.С. Евсеева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2009. – 484 с.

5. Сизов О.С. Особенности системы жизнеобеспечения и пространственного размещения поселений иткульской культуры в Притоболье (VIII–VI вв. до н.э.) / О.С. Сизов, О.Ю. Зимина // Вестник археологии, антропологии и этнографии. – 2012. – № 4 (19). – С. 150–159.

6. Барсуков Е.В. Городище «Тоянов городок»: Страницы истории / Е.В. Барсуков, А.И. Боброва // Томский журнал ЛИНГ и АНТР. – 2016. – № 3 (13). – С. 85–93.

7. Каретин Л.Н. Почвы Тюменской области / Л.Н. Каретин. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение, 1990. – 286 с.

8. Kulizhsky S.P., Loiko S.V., Konstantinov A.O., Kritskov I.V., Istigechev G.I., Lim A.G., Kuzmina D.M. Lithological sequence of soil formation on the low terraces of the Ob and the Tom rivers in the south of Tomsk Oblast. International Journal of Environmental Studies, 2015, vol. 72, no. 6, pp. 1037–1046.

9. Савичев О.Г. Вертикальная зональность и внутригодовые изменения химического состава вод Тимирязевского болота / О.Г. Савичев, А.В. Шмаков // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 320, № 1. – С. 156–161.

10. Классификация и диагностика почв России / сост. Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

11. Bourgault R.R., Ross D.S., Bailey S.W. Chemical and Morphological Distinctions between Vertical and Lateral Podzolization at Hubbard Brook. Soil Science Society of America Journal, 2015, vol. 79, no. 2, pp. 428–439.

12. Jankowski M. The evidence of lateral podzolization in sandy soils of northern Poland. Catena, 2014, vol. 112, pp. 139–147.

References

1. E`kologo-geologicheskoe kartografirovanie masshtaba 1:200 000 territorii listov O-41-XXIV, XXX (Otchet Vostochnoj s``emochnoj e`kologo-geologicheskoj partii za 1993–2001 gg.): v 10 kn. / otv. isp. L.I. Anufrieva. – Tyumen`: ZAO TKGRE`, 2001. – Kn. 1. Tekst. – 354 p.

2. Parnachev V.P. Geologiya i polezny`e iskopaemy`e okrestnostej goroda Tomska: materialy` k polevoj geologicheskoj e`kskursii: spravochnoe posobie / V.P. Parnachyov, S.V. Parnachyov. – Tomsk: Tom. gos. un-t, 2010. – 144 p.

3. Dyukarev A.G. Pochvy` Ob`-Tomskogo mezhdurech`ya / A.G. Dyukarev, N.N. Pologova // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. – 2011. – № 3 (15). – pp. 16–37.

4. Evseeva N.S. Sovremenny`j morfolitogenez yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoj ravniny` / N.S. Evseeva. – Tomsk: Izd-vo NTL, 2009. – 484 p.

5. Sizov O.S. Osobennosti sistemy` zhizneobespecheniya i prostranstvennogo razmeshheniya poselenij itkul`skoj kul`tury` v Pritobol`e (VIII–VI vv. do n.e`.) / O.S. Sizov, O.Yu. Zimina // Vestnik arxeologii, antropologii i e`tnografii. – 2012. – № 4 (19). – pp. 150–159.

6. Barsukov E.V. Gorodishhe «Toyanov gorodok»: Stranicy istorii / E.V. Barsukov, A.I. Bobrova // Tomskij zhurnal LING i ANTR. – 2016. – № 3 (13). – pp. 85–93.

7. Karetin L.N. Pochvy` Tyumenskoj oblasti / L.N. Karetin. – Novosibirsk: Nauka, Sib. otdelenie, 1990. – 286 p.

8. Kulizhsky S.P., Loiko S.V., Konstantinov A.O., Kritskov I.V., Istigechev G.I., Lim A.G., Kuzmina D.M. Lithological sequence of soil formation on the low terraces of the Ob and the Tom rivers in the south of Tomsk Oblast. International Journal of Environmental Studies, 2015, vol. 72, no. 6, pp. 1037–1046.

9. Savichev O.G. Vertikal`naya zonal`nost` i vnutrigodovy`e izmeneniya ximicheskogo sostava vod Timiryazevskogo bolota / O.G. Savichev, A.V. Shmakov // Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta. – 2012. – T. 320, № 1. – pp. 156–161.

10. Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii / sost. L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimova. – Smolensk: Ojkumena, 2004. – 342 p.

11. Bourgault R.R., Ross D.S., Bailey S.W. Chemical and Morphological Distinctions between Vertical and Lateral Podzolization at Hubbard Brook. Soil Science Society of America Journal, 2015, vol. 79, no. 2, pp. 428–439.

12. Jankowski M. The evidence of lateral podzolization in sandy soils of northern Poland. Catena, 2014, vol. 112, pp. 139–147.

УДК 622.831

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЙ НА ОТВЕСНЫХ ГРАНИЦАХ ШАХТНОГО ПОЛЯ ПО ИЗМЕРЕННЫМ ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ СДВИЖЕНИЯМ ДНЕВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

[1]Кравчук А.С., [2]Смалюк А.Ф., [3]Славашевич С.И., [4]Мисников В.А.

[1]Белорусский государственный университет, Минск, e-mail: ask_belarus@inbox.ru;
[2]Белорусский национальный технический университет, Минск;
[3]ОАО «БЕЛАРУСЬКАЛИЙ», Солигорск;
[4]НПУП «Институт горного дела», Солигорск

Разработана общая методика решения обратной задачи для определения приращения давлений на боковых поверхностях модели шахтного поля по горизонтальным сдвижениям дневной поверхности шахтного поля. Она позволяет учесть в геомеханических расчетах изменение напряженного состояния на отвесных границах моделей выработок любых полезных ископаемых в районах близких к сейсмически активным областям. С практической точки зрения для повышения точности решения обратной задачи выбираемые индикаторные точки должны располагаться вокруг геометрического центра тяжести модели дневной поверхности шахтного поля на значительном расстоянии от центра. Только в случае обеспечения достаточной точности измерений горизонтальных смещений индикаторных точек можно говорить об адекватном решении обратной задачи и определении изменения нагрузок на боковых вертикальных гранях модели шахтного поля. Установлено, что обратная задача будет иметь единственное решение, если боковых отвесных граней у модели шахтного поля четное число, а количество индикаторных точек, по которым устанавливаются горизонтальные сдвижения поверхности, равно половине количества боковых граней модели. Продемонстрированное решение обратной задачи определяет изменение среднего значения давления (или нормального напряжения) всей боковой грани модели шахтного поля целиком относительно предыдущих положений горизонтальных координат датчиков на дневной поверхности, принятых за исходное состояние системы. Разработан масштабируемый и параллелизуемый модуль решения обратных задач определения средних величин измененного природного распределения напряжений по данным натурных измерений горизонтальных сдвижений дневной поверхности модели шахтного поля II и III горизонтов шахтного поля IV РУ ОАО «Беларуськалий».

Ключевые слова: сдвижения дневной поверхности, шахтное поле, теория упругости, метод конечных элементов, геомеханика

DETERMINATION OF CHANGES IN PARAMETERS OF NATURAL DISTRIBUTION OF STRESSES ON THE STEEP SIDE SURFACES OF THE MINE FIELD BY MEASURED HORIZONTAL DISPLACEMENTS OF THE DAY SURFACE

[1]Kravchuk A.S., [2]Smalyuk A.F., [3]Slavashevich S.I., [4]Misnikov V.A.

[1]Belarusian State University, Minsk, e-mail: ask_belarus@inbox.ru;
[2]Belarusian National Technical University, Minsk;
[3]JSC «BELARUSKALIY», Soligorsk;
[4]NPUP «Institute of Mining», Soligorsk

A general technique for solving the inverse problem for determining the increment of pressure on the side surfaces of the model of the mine field by horizontal shifts of the daily surface of the mine field is developed. It allows taking into account in geomechanical calculations the change of the stressed state on the vertical boundaries of the models of the excavations of any minerals in the regions close to the seismically active regions. From the practical point of view, in order to improve the accuracy of the solution of the inverse problem, the selected test points should be located around the geometric center of gravity of the model of the daily surface of the mine field at a sufficient distance from the center. Only when sufficient accuracy for measuring horizontal displacements of indicator points is provided, one can speak of an adequate solution of the inverse problem and of determining the change in loads on the lateral vertical faces of the minefield model. It is established that the inverse problem will have a unique solution if the minefield model have an even number of the side faces, and the number of indicator points along which horizontal surface displacements are established is equal to half of the number of side faces of the model. The demonstrated solution of the inverse problem determines the changes in the mean values of the pressures (or normal stresses) which act on the side face of the model of the mine field entirely with respect to the previous positions of the horizontal coordinates of the sensors on the day surface taken as the initial state of the system. A scalable and parallelizable module for solving inverse problems for the determination of the average values of the changed natural stress distribution from the full-scale measurements of the horizontal displacement of the day surface of the mine field model of the II and III horizons of the mine field of the IV RU of JSC «Belaruskali» was developed.

Keywords: day surface displacement, mine field, elasticity theory, finite element method, geomechanics

Очень важными в геофизике являются понятия о прямой и обратной задачах. Прямая задача геофизики сводится к расчету физического поля по известным параметрам возмущающего объекта [1–3]. Параметрами объекта являются: мощность, глубина залегания верхней и нижней кромок, угол падения, намагниченность, плотность

и т.п. [1–3]. Прямую задачу геофизики обычно решают на стадии проектирования геофизических работ. Получаемая при этом ожидаемая геофизическая аномалия помогает выбрать соответствующую измерительную аппаратуру и методику наблюдений. Обратная задача геофизики заключается в расчетах параметров и условий залегания аномалии образующего объекта по геофизической аномалии, полученной в результате полевых измерений [1, 2].

Обратная задача геофизики заключается в расчетах параметров аномалиеобразующего объекта по геофизической аномалии, полученной в результате полевых измерений. Ее решают на этапе интерпретации геофизических данных. К сожалению, нередко она может иметь несколько возможных вариантов решения [1].

В данной статье в качестве наблюдаемой аномалии выбрано горизонтальное сдвижение дневной поверхности шахтного поля [4]. В качестве определяемого в ходе решения обратной задачи параметра выбрано определение значения приращения величин равномерно распределенных нагрузок на вертикальных поверхностях модели шахтного поля, что представляет в настоящее время актуальную задачу [5].

Таким образом, по наблюдаемому горизонтальному сдвижению дневной поверхности делается вывод об изменении нагрузок, действующих на периметре модели шахтного поля (на отвесных границах шахтного поля в зависимости от внешних геологических факторов и деятельности человека в непосредственной близости от шахтного поля). Предполагается, что при решении прямой задачи с учетом заданного приращения равномерных нагрузок на отвесных границах шахтного поля в качестве внешних нагрузок будут использованы нормальные давления, последовательно прилагаемые к каждой из боковых поверхностей при закреплении нижней поверхности модели шахтного поля.

Данная задача решается в предположении чисто упругих деформаций породы шахтного поля без учета реологического поведения материала [6, 7].

Методика решения обратной задачи

Методика решения обратной задачи основана на том, что решение задачи теории упругости для твердотельной модели шахтного поля подчиняется принципу суперпозиции. То есть решение для модели шахтного поля может быть представлено набором решений для нагрузок, принятых за единичные на отдельных поверхностях, и отсутствием нагрузок на остальных поверхностях.

Таким образом, методика решения обратной задачи основана на построении набора «реперных» решений прямой задачи. Учитывая многогранную геометрию модели шахтного поля, «реперным» решением будем называть решение прямой задачи, соответствующее приложению среднего, отличного от нуля давления, принятого за единичное, только к одной грани боковой поверхности модели шахтного поля.

Очевидно, что в случае использования гипотезы о линейно-упругом поведении неоднородной в среднем изотропной породы [6, 7] суперпозиция «реперных» решений с искомыми весовыми коэффициентами будет давать измеренные горизонтальные сдвижения дневной поверхности.

Таким образом, решение обратной задачи состоит в определении безразмерных весовых коэффициентов в суперпозиции «реперных» задач. Сами же безразмерные коэффициенты будут определять, во сколько раз реальное приращение давления будет отличаться от принятого за единичное. Количество «реперных» задач определяется количеством боковых вертикальных граней в модели шахтного поля.

Влияние краевых условий на однозначность решения задачи

Одним из основных краевых условий при решении как прямой, так и обратной задачи является то, что предполагается, что основание модели шахтного поля прочно сцеплено с абсолютно твердой и жесткой подстилающей поверхностью.

Это ограничение является существенным и необходимым для того, чтобы построить набор «реперных» решений, так как только оно гарантирует, что модель шахтного поля будет находиться в равновесии под действием равномерно распределенных нагрузок любого типа, приложенных к только одной боковой поверхности шахтного поля.

Таким образом, при жестком закреплении нижней границы модели лидирующими параметрами, определяющими сдвижения дневной поверхности, будут два перемещения в плоскости дневной поверхности (в направлениях 0x и 0y).

Отметим, что если модель шахтного поля представляет из себя ориентированный в декартовой системе параллелепипед, то решение обратной задачи по сдвижению

дневной поверхности будет однозначным. В этом случае количество реперных задач будет равно 4, соответственно, количество определяемых параметров (весовых коэффициентов для реперных задач) 4. В этом случае достаточно выбрать две точки на поверхности, в которых заданы по две проекции перемещений в декартовой системе координат, и это даст 4 уравнения для однозначного определения весовых коэффициентов для «реперных» решений, т.е. величин действующих нагрузок на гранях модели шахтного поля.

Однако модель шахтного поля представляет собой прямоугольную призму с неправильным многоугольником в сечении. Соответственно, чтобы получить однозначно разрешимую систему (непереопределенную или недоопределенную) для вычисления весовых коэффициентов необходимо, чтобы количество вертикальных граней призмы (модели шахтного поля) было четным. Тогда для однозначного решения обратной задачи на дневной поверхности достаточно выбрать число индикаторных точек на дневной поверхности равное половине числа вертикальных граней в модели шахтного поля с заданными двумя горизонтальными проекциями перемещений вдоль декартовой системы координат.

Общие сведения по решению обратной задачи для модели шахтного поля

Для демонстрации решения обратной задачи использовалась многослойная модель шахтного поля II и III горизонтов шахтного поля IV РУ ОАО «Беларуськалий» (рис. 1). Нижняя грань модели шахтного поля полностью закреплена. Механические характеристики слоев приведены в таблице.

Обоснование выбора программно-аппаратных средств решения обратной задачи

Так как методика решения обратной задачи основана на решении прямых задач, то необходимо остановиться на обосновании использованных при демонстрации методики программных и аппаратных средств решения прямой задачи геомеханики.

Отметим, что при решении серии прямых задач использовалось два пакета со свободной лицензией Code_Aster и Salome во взаимодействии между собой [8, 9].

Code_Aster – пакет для моделирования методом конечных элементов. Разрабатывается в основном компанией EDF (Électricité de France S.A. – крупнейшей энергетической компанией Франции) и первоначально использовался для моделирования узлов и конструкций электростанций, включая атомные. Первая версия была выпущена в 1989 г., в 2001 он был выпущен под открытой лицензией GPL. Данный пакет способен решать задачи термодинамики, механики и ряд смежных, таких как акустика. Решаемые задачи могут быть как линейными, так и нелинейными, статическими и динамическими (имеется explicit решатель). Code_Aster широко используется для решения задач геомеханики и строительства. Имеется широкий выбор моделей материалов для моделирования скальных, осадочных пород и строительных материалов. Пакет сам по себе не имеет графического интерфейса, все управление им выполняется с помощью скриптов и командной строки [8]. Поэтому для подготовки моделей для расчета и анализа полученных материалов следует использовать дополнительное ПО, такое как Salome [9].

Salome – пакет для пре- и постпроцессинга при решении задач методом конечных элементов. Данный пакет предлагает графический интерфейс пользователя, с помощью которого можно создать геометрию модели (для этого имеется полный набор инструментов твердотельного моделирования), построить конечно-элементную сетку, выполнить визуализацию и анализ результатов. Геометрические модели могут получаться из других САПР, Salome поддерживает наиболее распространенные форматы обмена 3D данными [9].

Механические свойства материалов, использованных при моделировании многослойной структуры модели шахтного поля

Порода	Плотность, кг/м^3	Модуль Юнга, ГПа	Коэф. Пуассона
Отложения	2300	0,2	0,49
Глинисто-мергелистая толща	2200	0,7	0,35
Каменная соль	2300	1,64	0,29
Песчаник	2700	35	0,19

Salome в первую очередь создавался как пакет, обеспечивающий графический интерфейс подготовки моделей и анализа результатов для Code_Aster, но также может использоваться и с другим расчетным ПО, например Elmer или OpenFOAM. Salome также разрабатывается в основном EDF и был выпущен под открытой лицензией GPL в 2001 г.

При расчетах использовалась рабочая станция с характеристиками: 2 процессора Xeon E5-2420 с тактовой частотой 1,9 ГГц, каждый процессор имеет 6 ядер, оперативная память станции четвертого поколения составляет 256 Гб.

Демонстрация методики решения обратной задачи

С помощью указанных программно-аппаратных средств решен набор реперных задач, определяющих горизонтальные перемещения дневной поверхности шахтного поля в выбранных точках поверхности (рис. 1). Предполагалось, что в качестве нагрузок в реперных задачах задавались равномерные по величине давления на боковых поверхностях, равные 10^5 Па (рис. 2).

Для указанных ключевых точек 1–4 (рис. 1) авторами для единичного давления на первой из поверхностей получено решение (UX, UY – значения перемещений вдоль осей 0x и 0y):

$$UX_1^1 = 0{,}26911,\ UX_1^2 = 0{,}00846612,$$

$$UX_1^3 = -0{,}21576,\ UX_1^4 = -0{,}0252429,$$

$$UY_1^1 = 0{,}178092,\ UY_1^2 = 0{,}152157,$$

$$UY_1^3 = -0{,}61537,\ UY_1^4 = 0{,}171271.$$

Из решений «реперных» краевых задач для семи оставшихся боковых поверхностей с единичными нагрузками совершенно аналогично определяются значения UX_i^1, UX_i^2, UX_i^3, UX_i^1, UY_i^2, UY_i^3, UY_i^4 ($i = 2{,}8$). Далее с помощью полученных решений формируется матрица «жесткости» модели шахтного поля в виде

$$A = \begin{bmatrix} UX_1^1 & UX_2^1 & UX_3^1 & UX_4^1 & UX_5^1 & UX_6^1 & UX_7^1 & UX_8^1 \\ UX_1^2 & UX_2^2 & UX_3^2 & UX_4^2 & UX_5^2 & UX_6^2 & UX_7^2 & UX_8^2 \\ UX_1^3 & UX_2^3 & UX_3^3 & UX_4^3 & UX_5^3 & UX_6^3 & UX_7^3 & UX_8^3 \\ UX_1^4 & UX_2^4 & UX_3^4 & UX_4^4 & UX_5^4 & UX_6^4 & UX_7^4 & UX_8^4 \\ UY_1^1 & UY_2^1 & UY_3^1 & UY_4^1 & UY_5^1 & UY_6^1 & UY_7^1 & UY_8^1 \\ UY_1^2 & UY_2^2 & UY_3^2 & UY_4^2 & UY_5^2 & UY_6^2 & UY_7^2 & UY_8^2 \\ UY_1^3 & UY_2^3 & UY_3^3 & UY_4^3 & UY_5^3 & UY_6^3 & UY_7^3 & UY_8^3 \\ UY_1^4 & UY_2^4 & UY_3^4 & UY_4^4 & UY_5^4 & UY_6^4 & UY_7^4 & UY_8^4 \end{bmatrix},$$

которая при численном решении поставленной задачи приобрела следующие значения:

$$\begin{bmatrix} 0{,}26911 & 0{,}26912 & 0{,}269296 & 0{,}288624 & 0{,}549544 & 0{,}249384 & 0{,}268841 & 0{,}268758 \\ 0{,}00846612 & 0{,}00844857 & 0{,}109915 & 1{,}3931 & 0{,}00448064 & 0{,}00846571 & 0{,}00847268 & 0{,}00846952 \\ -0{,}21576 & 0{,}259108 & 0{,}185695 & 0{,}165525 & 0{,}165534 & 0{,}165497 & 0{,}165469 & 0{,}0593504 \\ -0{,}0252429 & -0{,}0252343 & -0{,}0252108 & -0{,}0251494 & 0{,}00911664 & -0{,}0830039 & -0{,}0811797 & -0{,}0576545 \\ 0{,}178092 & 0{,}178091 & 0{,}177689 & 0{,}175842 & 1{,}25451 & 0{,}186281 & 0{,}178118 & 0{,}177962 \\ 0{,}152157 & 0{,}152145 & -0{,}103831 & 1{,}16658 & 0{,}158108 & 0{,}152164 & 0{,}15216 & 0{,}15216 \\ -0{,}61537 & -0{,}0738674 & 0{,}0247414 & 0{,}0291127 & 0{,}0291667 & 0{,}0291993 & 0{,}0291846 & 0{,}0494797 \\ 0{,}171271 & 0{,}171426 & 0{,}171422 & 0{,}171462 & 0{,}192623 & 0{,}575631 & 0{,}18475 & 0{,}152272 \end{bmatrix}.$$

Для решения обратной задачи необходимо задать измеренные перемещения индикаторных ключевых точек в виде вектора значений **b**:

$$\mathbf{b} = \left(UX_1^1, UX_1^2, UX_1^3, UX_1^4, UY_1^1, UY_1^2, UY_1^3, UY_1^4\right)^T.$$

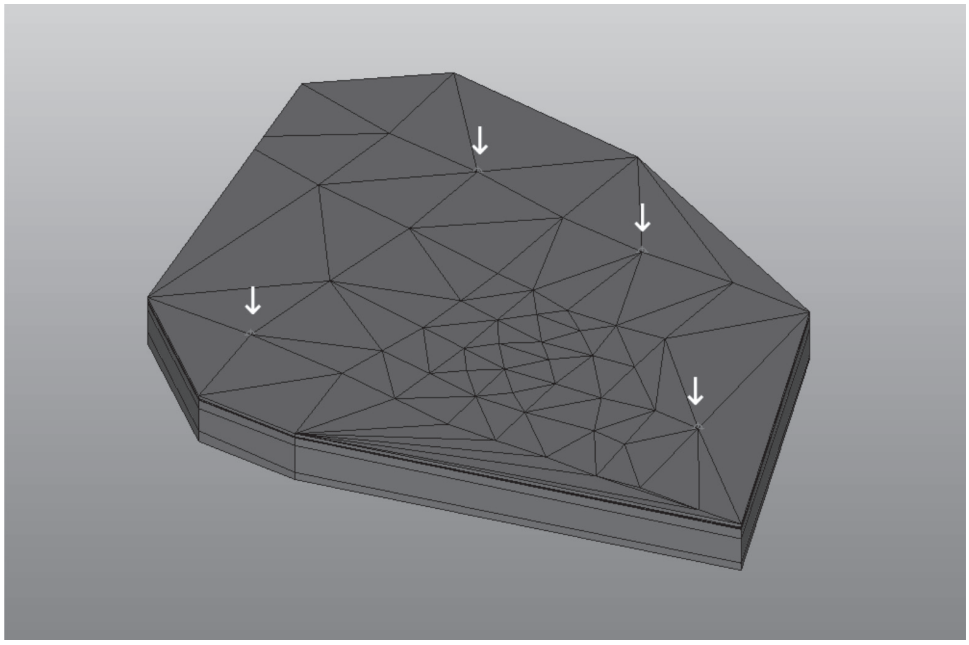


Рис. 1. Выбор индикаторных точек, указанных стрелками, по перемещениям, в которых будет определяться воздействие на боковые поверхности

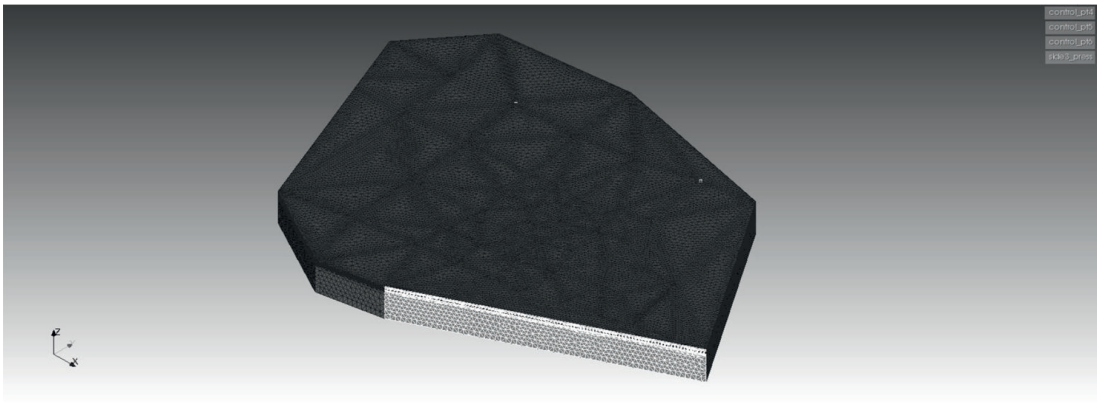


Рис. 2. Поочередное приложение давления, принятого за единичное, на каждую в отдельности боковую поверхность модели шахтного поля для построения реперных решений

Тогда реальные давления, приложенные к боковым граням, определяемые вектором безразмерных коэффициентов $\mathbf{p} = \left(p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8\right)^T$, измеряемых в долях от принятого за единицу давления 10^5 Па, будут определяться из решения системы линейных уравнений:

$$\mathbf{A}\cdot\mathbf{p} = \mathbf{b}.$$

Таким образом, в сделанных предположениях обратная задача имеет единственное решение, если количество вертикальных граней модели шахтного поля четно, а количество индикаторных точек на дневной поверхности равно половине количества боковых граней.

Дополнительные замечания по организации и уточнению определения изменения естественного поля напряжений

С практической точки зрения для повышения точности решения обратной задачи, выбираемые индикаторные точки должны располагаться вокруг геометрического цен-

тра тяжести модели дневной поверхности шахтного поля на значительном расстоянии от центра.

Главная трудность в точном решении обратной задачи в данной формулировке – это определение горизонтальных смещений индикаторных точек дневной поверхности в абсолютной системе координат. Только в случае обеспечения достаточной точности таких измерений можно говорить об адекватном решении обратной задачи и определении изменения нагрузок на боковых вертикальных гранях модели шахтного поля.

Продемонстрированное решение обратной задачи определяет изменение среднего значения давления (или нормального напряжения) всей грани модели шахтного поля целиком относительно предыдущих положений горизонтальных координат датчиков на дневной поверхности, принятых за исходное состояние системы.

Для того чтобы получить более точную информацию о характере изменения давления по глубине при горизонтальном сдвиге датчиков положения, необходимо пробурить глубинные скважины по периметру предполагаемого шахтного поля и расположить датчики смещений не только на поверхности скважины, но и на глубинах, соответствующих серединам геологических слоев модели шахтного поля [10].

В этом случае решение обратной задачи будет также однозначным, и пользователь будет знать характер изменения давления по глубине, предполагая, что давление постоянно уже только на площади геологического слоя, а не всей торцевой поверхности модели шахтного поля.

Модуль решения обратной задачи с использованием параллелизуемых решений прямых задач

В связи с необходимостью автоматизации обработки геолого-механической информации о состоянии шахтного поля [11, 12] разработано программное обеспечение для автоматизации решения обратной задачи. В качестве инструментов для разработки ПО использовались платформа Java с библиотекой Swing и язык программирования Python.

Платформа Java использовалась, так как она позволяет создавать программное обеспечение, работающее на компьютерах с различными операционными системами и свободно переносимое между ними. Библиотека Swing также является мультиплатформенной и обеспечивает создание графического интерфейса.

Скрипт на языке Python используется для построения геометрии шахтного поля, и получения сетки конечных элементов на ее основе, включая группы для ограничений и приложения давлений. В нем для этих целей используются функции пакета Salome.

Главный интерфейс программы представляет собой окно с четырьмя закладками, в которых выполняются четыре основных этапа решения задачи:

1) построение сетки конечных элементов;

2) задание координат контрольных точек и получение номеров ближайших к ним узлов;

3) выполнение восьми расчетов с нагружением на разные грани модели шахтного поля и получение матрицы;

4) ввод фактических смещений на контрольных точках и получение результата.

Алгоритмическая последовательность действий при решении обратной задачи на разработанном программном обеспечении определяется последовательностью вкладок (рис. 3). При нажатии на первой вкладке выполняются служебные действия, при которых формируется модель шахтного поля, затем запускается Python скрипт, который с помощью пакета Salome формирует сначала полную геометрическую модель шахтного поля, а затем на ее основе конечно-элементную сетку.

Следующим этапом является ввод контрольных точек и нахождение ближайших к ним узлов конечно-элементной сетки. Для этого следует использовать вторую вкладку (рис. 3). В полях ввода вводятся координаты четырех точек, по нажатию кнопки Готово, открывается файл с сеткой и перебираются узлы в нем, с целью поиска узлов, наиболее близких к указанным координатам. Результат показывается в правом текстовом поле.

После выполнения данного этапа следует переходить к следующей вкладке: «Получение матрицы» (рис. 3). На этом этапе формируются файлы заданий для расчета каждого варианта прямой задачи.

Файлы заданий формируются программно, по два файла на каждый вариант. Первый файл описывает материалы модели, тип расчета, накладываемые на модель нагрузки и ограничения. Второй файл описывает параметры запуска, имена файлов и т.д.

Файлы заданий формируются на основе шаблонов, приведенных в приложениях. В ходе решения каждого варианта задачи процесс можно распараллеливать на необходимое количество потоков. Следует отметить, что программа будет сохранять работоспособность и при одном потоке.

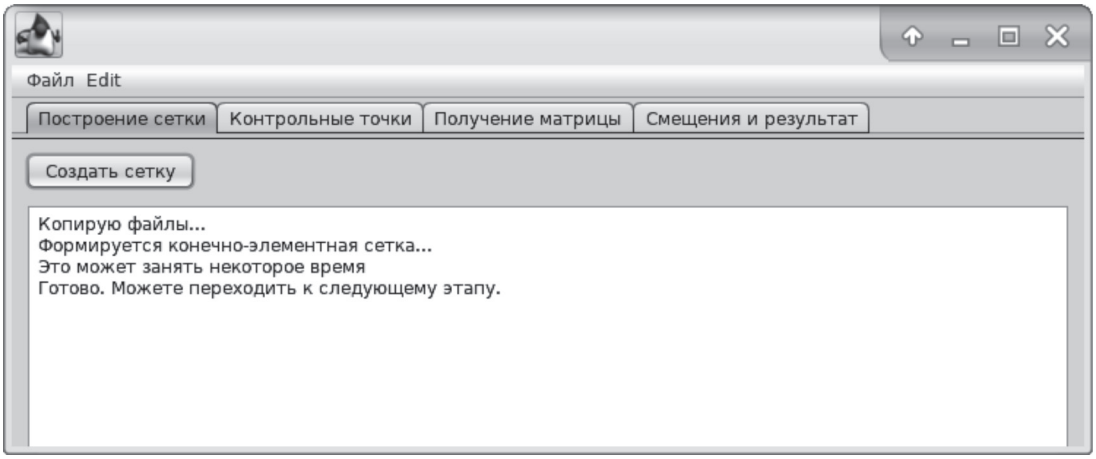


Рис. 3. Главный интерфейс программы для решения обратной задачи

Количество потоков ограничивается только количеством вычислительных ядер на вычислительной машине, где запускается данное ПО. Устанавливать количество потоков большее, чем имеется ядер в системе, нецелесообразно. Количество потоков можно ввести в окне интерфейса.

Также можно задать объем памяти, который следует выделить для решения задачи. Если необходимый объем не будет выделен, задача не сможет быть решена, даже если физически памяти в системе достаточно. Необходимый объем устанавливается экспериментально, например при 1 миллионе элементов минимально необходимый объем памяти составляет 16 ГБайт.

После построения матрицы следует ввести фактические перемещения на контрольных точках и получить значения давлений (вкладка «Смещение и результат»). Координаты смещений контрольных точек вводятся в левой части окна. Столбец с вычисленными значениями давлений на гранях модели выводится в текстовом поле в правой части окна. Кроме основного окна с вкладками интерфейс предусматривает окно настроек.

Очень важно не оставлять их пустыми а выбрать здесь, во-первых, рабочий каталог, в котором будут находиться все файлы моделей, расчетов и т.д., а во-вторых, каталог, в котором находится пакет Salome, так как с его помощью выполняются построения конечно-элементной сетки и решения прямых задач.

Заключение

Разработана общая методика решения обратной задачи для определения приращения давлений на боковых поверхностях модели шахтного поля по горизонтальным сдвижениям дневной поверхности шахтного поля. Она позволяет учесть в геомеханических расчетах изменение напряженного состояния на границах выработок любых полезных ископаемых в районах близких к сейсмически активным областям.

Разработан масштабируемый и параллелизуемый модуль решения обратных задач определения средних величин измененного природного поля напряжений по данным натурных измерений горизонтальных сдвижений дневной поверхности модели шахтного поля II и III горизонтов шахтного поля IV РУ ОАО «Беларуськалий».

Список литературы

1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики / М.В. Гзовский. – М.: Недра, 1975. – 536 с.

2. Интерпретация геофизических материалов / А.А. Булычев, И.В. Лыгин, Т.Б. Соколова [и др.]. – Тверь: ГЕРС, 2011. – 208 с.

3. Букреев В.Г. Алгоритмы обнаружения предвестников геодинамического события / В.Г. Букреев, С.И. Колесникова, А.Н. Мертвецов. – Saarbrucken: Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co., 2012. – 180 с.

4. Сашурин А.Д. Современные геодинамические движения и их роль в формировании напряженно-деформированного состояния массива горных пород / А.Д. Сашурин // Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 4–5 июня 2014 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. – С. 3–11.

5. Тагильцев С.Н. Закономерности распределения тектонических напряжений в верхней части геологического разреза горноскладчатых регионов / С.Н. Тагильцев // Геомеханика в горном деле: доклады Всероссийской научно-технической конференции с международным участием 4–5 июня 2014 г. – Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2014. – С. 12–17.

6. Нурпеисова М.Б. Геомеханика / М.Б. Нурпеисова, М.А. Иофис, И.В. Милетенко. – Алматы: КазНТУ, 2014. – 275 с.

7. Лейбензон Л.С. Курс теории упругости / Л.С. Лейбензон. – М.: ОГИЗ, 1947. – 464 с.

8. Официальный сайт разработчика программного продукта Code_Aster для решения структурно-механических задач. URL: https://www.code-aster.org (дата обращения: 24.05.2018).

9. Официальный сайт разработчика программы пре- и постпроцессинга задач структурной механики Salome. URL: http://www.salome-platform.org/ (дата обращения: 24.05.2018).

10. Косков Б.В. Геофизические исследования скважин и интерпретация данных ГИС / Б.В. Косков, В.Н. Косков. – Пермь: Пермский государственный технический университет, 2007. – 317 с.

11. Цыдапова М.В. Геоинформационные системы и технологии / М.В. Цыдапова. – Улан-Удэ: Издательство Бурятского госуниверситета, 2016. – 52 с.

12. Кузнецов О.Л. Геоинформатика и геоинформационные системы / О.Л. Кузнецов, А.А. Никитин, Е.Н. Черемисина. – М.: ВНИИгеосистем, 2005. – 453 с.

References

1. Gzovskij M.V. Osnovy` tektonofiziki / M.V. Gzovskij. – M.: Nedra, 1975. – 536 p.

2. Interpretaciya geofizicheskix materialov / A.A. Buly`chev, I.V. Ly`gin, T.B. Sokolova [i dr.]. – Tver`: GERS, 2011. – 208 p.

3. Bukreev V.G. Algoritmy` obnaruzheniya predvestnikov geodinamicheskogo soby`tiya / V.G. Bukreev, S.I. Kolesnikova, A.N. Mertveczov. – Saarbrucken: Lap Lambert Academic Publishing GmbH & Co., 2012. – 180 p.

4. Sashurin A.D. Sovremenny`e geodinamicheskie dvizheniya i ix rol` v formirovanii napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya massiva gorny`x porod / A.D. Sashurin // Geomexanika v gornom dele: doklady` Vserossijskoj nauchno-texnicheskoj konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem 4–5 iyunya 2014 g. – Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 2014. – pp. 3–11.

5. Tagil`cev S.N. Zakonomernosti raspredeleniya tektonicheskix napryazhenij v verxnej chasti geologicheskogo razreza gornoskladchaty`x regionov / S.N. Tagil`cev // Geomexanika v gornom dele: doklady` Vserossijskoj nauchno-texnicheskoj konferencii s mezhdunarodny`m uchastiem 4–5 iyunya 2014 g. – Ekaterinburg: IGD UrO RAN, 2014. – pp. 12–17.

6. Nurpeisova M.B. Geomexanika / M.B. Nurpeisova, M.A. Iofis, I.V. Miletenko. – Almaty`: KazNTU, 2014. – 275 p.

7. Lejbenzon L.S. Kurs teorii uprugosti / L.S. Lejbenzon. – M.: OGIZ, 1947. – 464 p.

8. Oficial`ny`j sajt razrabotchika programmnogo produkta Code_Aster dlya resheniya strukturno-mexanicheskix zadach. URL: https://www.code-aster.org (data obrashheniya: 24.05.2018).

9. Oficial`ny`j sajt razrabotchika programmy` pre- i postprocessinga zadach strukturnoj mexaniki Salome. URL: http://www.salome-platform.org/ (data obrashheniya: 24.05.2018).

10. Koskov B.V. Geofizicheskie issledovaniya skvazhin i interpretaciya danny`x GIS / B.V. Koskov, V.N. Koskov. – Perm`: Permskij gosudarstvenny`j texnicheskij universitet, 2007. – 317 p.

11. Cydapova M.V. Geoinformacionny`e sistemy` i texnologii / M.V. Cydapova. – Ulan-Ude`: Izdatel`stvo Buryatskogo gosuniversiteta, 2016. – 52 p.

12. Kuzneczov O.L. Geoinformatika i geoinformacionny`e sistemy` / O.L. Kuzneczov, A.A. Nikitin, E.N. Cheremisina. – M.: VNIIgeosistem, 2005. – 453 p.

УДК 552.577

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТОРФА – ОСНОВА РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТИПИЧНЫХ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ

Кузнецова И.А., Ларионов Н.С.

ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова» Российской академии наук, Архангельск, e-mail: kia.iepn@gmail.com

Широкое распространение верховых болот в северной торфяно-болотной области России, включающей Архангельскую и Вологодскую области, а также таежную часть Республики Коми, обеспечивает ей богатый ресурсный потенциал, который может быть реализован путем использования торфа заболоченных территорий в качестве сорбента in situ или с его изъятием из залежи. Комплексное исследование состава типичного верхового торфа Архангельской области позволило охарактеризовать его как природный органический, многокомпонентный, полифункциональный, слабокислотный, сильно набухающий ионообменник с преобладанием в композиционной структуре компонентов ароматической природы. Комплексное исследование состава и сорбционных свойств немодифицированного верхового торфа северной торфяно-болотной области позволило охарактеризовать его как источник ценных компонентов (совокупная доля гуминовых и фульвовых кислот составляет 54,07 ± 1,15 %), так и как эффективный сорбент тяжелых металлов (предельная адсорбция достигает значений 2,42 ммоль·г$^{-1}$ по отношению к Pb^{2+} и 2,57 ммоль·г$^{-1}$ – к Cd^{2+}). На основе расчета термодинамических характеристик взаимодействия в системе «торф – ионы тяжелых металлов» на примере ионов Cd^{2+} и Pb^{2+} установлено, что их сорбция является самопроизвольным эндотермическим процессом, что может указывать на потенциальную высокую эффективность сорбентов на его основе для очистки загрязненных, в том числе сточных, вод. Показано, что сорбция тяжелых металлов торфом – самопроизвольный эндотермический процесс с большими затратами тепла на разрушение гидратных оболочек ионов тяжелых металлов, протекающий по диссоциативному механизму. Сорбционная способность торфа обеспечивается карбоксильными и фенольными гидроксильными группами компонентов торфа и является совокупностью физической, химической сорбции и ионного обмена. Полученные данные могут быть использованы при проектировании сооружений очистки сточных вод с применением технологии использования торфа заболоченных территорий в качестве сорбента in situ, а также при разработке технологий производства и применения промышленных сорбентов на основе изъятого из залежи торфа.

Ключевые слова: верховой торф, тяжелые металлы, сорбция, термодинамические характеристики

THE RESOURCE BASIS OF NORTH-WEST RUSSIA REPRESENTATIVE OLIGOTROPHIC BOGS: CHEMICAL COMPOSITION AND BINDING PROPERTIES

Kuznetsova I.A., Larionov N.S.

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, e-mail: kia.iepn@gmail.com

Being widely spread within Russian Northern Wetland area (that unites Arkhangelsk, Vologda regions and taiga areas of Komi Republic), oligotrophic peat bogs are a rich resource, that may be used through the utilization of the bog peat as a sorbent either in-situ or after its excavation out of the deposit. Integrated study of the composition and sorption properties of representative native oligotrophic bog peat shows high potential for its utilization as a source of valuable components (fulvic acids content is 54,07 ± 1,15 %), or as a heavy metals sorbent (the extraction rate under static sorption is 95-100 %). Being calculated, thermodynamic characteristics of the «peat-heavy metals ions» system interaction (by the example of Cd^{2+} и Pb^{2+}) show that their sorption is a spontaneous endoenergic process. That is the evidence for a waste water treatment potential. Obtained results prove the complicated mechanism of heavy metals sorption, consisting of physical and chemical sorption, as well as of ion exchange, provided by carboxylic and phenolic hydroxyl peat groups.

Keywords: oligotrophic peat, heavy metals, sorption, thermodynamic properties

Широкое распространение верховых болот в северной торфяно-болотной области, включающей Архангельскую и Вологодскую области, а также таежную часть Республики Коми [1], обеспечивает ей богатый ресурсный потенциал, который может быть реализован путем производства сорбентов на основе природного сырья – торфа верховых болот [2].

Значительное место в решении вопроса комплексного экономически оправданного использования возобновляемых ресурсов занимает применение торфа в качестве сорбента для удаления из сточных вод различных загрязняющих веществ, в том числе, тяжелых металлов [3]. Наличие кислородсодержащих функциональных групп компонентов торфа обеспечивает ему высокие катионообменные свойства, позволяющие эффективно извлекать из растворов ионы ТМ [4]. Органические комплексы ТМ сорбируются гидрофобными компонентами торфа [5]. Насыщенный ТМ торф может быть регенерирован или направлен на сжигание с последующим выделением ТМ из золы и возвратом в производство [5].

Цель работы: установление структуры и свойств, а также механизмов сорбции ионов Cd^{2+} и Pb^{2+} полимерной матрицей типичного верхового торфа Архангельской области.

Материалы и методы исследования

Иласское болото Приморского района Архангельской области является типичным представителем незагрязненных верховых болот с залежами торфа мохового типа, распространенных на исследуемой территории. Моховой покров представлен преимущественно бурым сфагнумом, а голубика, вереск и морошка доминируют в травяно-кустарничковом ярусе. Объект исследования – торф низкой степени разложения, отобранный на глубине 0–20 см на территории Иласского болотного массива. Отбор проб производили в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83 [6] (координаты точки отбора 64°17'N 40°40'E).

Компонентный состав торфа определен согласно методике [7] и ГОСТ 27784-88 [8], содержание функциональных групп определено хемосорбционным методом, элементный состав определен методом высокотемпературного сжигания в токе кислорода с последующим анализом состава отходящих газов с применением универсального элементного анализатора Elementar Vario Micro CUBE, Abacus Analytical Systems, Германия.

С целью установления влияния фракционного состава торфа на его сорбционную способность по отношению к ТМ были определены коэффициенты уравнения Ленгмюра для фракций торфа: 1,0–0,5 мм, 0,5–0,25 мм, 0,25–0,1 мм и менее 0,1 мм. Эксперимент проводили в статических изотермических условиях с предварительным набуханием навесок торфа в дистиллированной воде. Время контакта торфа с растворами солей металлов составило 12 ч. Диапазон концентраций металлов в растворе составил 1,3–12,6 ммоль·л$^{-1}$ ионов Pb^{2+} и 1,3–13,5 ммоль·л$^{-1}$ ионов Cd^{2+}. Равновесную концентрацию в фильтрате по истечении времени контакта фаз определяли спектрометрическим методом с применением атомно-абсорбционного спектрометра с пламенной атомизацией novAA150 (Analytik Jena, Германия). Термодинамические параметры процесса сорбции определяли для фракции торфа 0,1–0,25 мм при температурах 283, 293, 303, 313 К по константе адсорбционного равновесия.

С целью установления механизма взаимодействия верхового торфа и ТМ были получены инфракрасные спектры торфа до и после контакта с растворами солей ТМ в диапазоне длин волн от 400 до 4000 см$^{-1}$, разрешение 4 см$^{-1}$ (спектр записывали со спрессованных с KBr образцов торфа с помощью ИК фурье-спектрометра IRAFFINITY-1 Shimadzu, Япония).

Результаты исследования и их обсуждение

Вследствие сложного состава и значительного числа и разнообразия функциональных групп в компонентах торфа его можно рассматривать как природный органический, многокомпонентный, полифункциональный, слабокислотный, сильно набухающий ионообменник [9]. Высокое содержание фульвовых кислот является особенностью состава торфа мохового типа Архангельской области (табл. 1). В композиционной структуре торфа выявлено преобладание компонентов ароматической природы, на что указывает атомное соотношение C/H = 0,82.

Изотермы адсорбции ионов ТМ (рис. 1) можно отнести к классу L (класс Ленгмюра), тип изотермы адсорбции свинца (II) – L2 (одно плато), кадмия (II) – L4 (достигается второе плато).

Таблица 1

Характеристика состава верхового торфа

Компонентный состав, % асв				
Экстрактивные вещества	Гумусовые кислоты	Гуминовые кислоты	Фульвовые кислоты	Зольные элементы[2]
2,19 ± 0,38	54,07 ± 1,15	8,32 ± 0,15	45,75 ± 1,16	3,76 ± 0,01
Элементный состав, % асв				
Углерод	Кислород	Водород	Зольные элементы	
58,60 ± 1,70	31,96 ± 1,60	5,98 ± 0,80	3,76 ± 0,01	
Функциональный состав, % асв				
-COOH	$-OH_{фенольные}$	$-COOH + -OH_{фенольные}$		
2,21 ± 0,12	0,84 ± 0,04	3,05 ± 0,15		

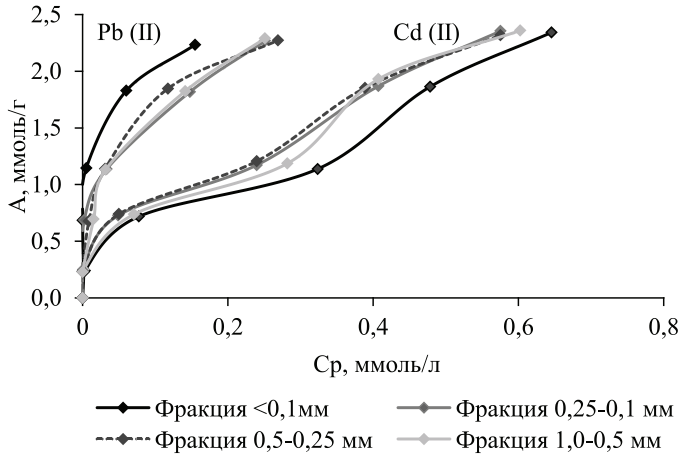


Рис. 1. Изотермы адсорбции Pb^{2+} и Cd^{2+} фракциями торфа

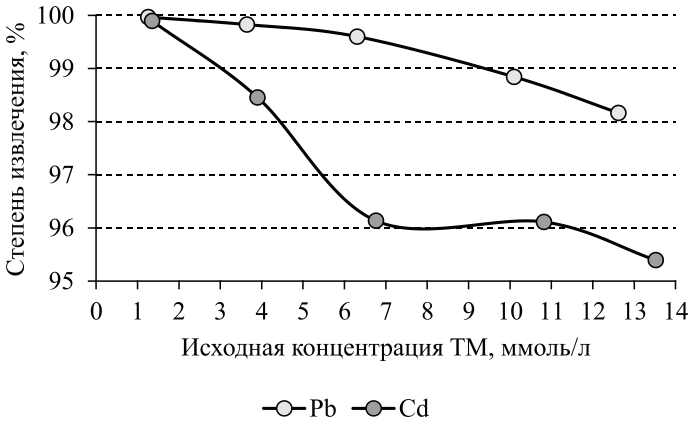


Рис. 2. Изменение степени извлечения ТМ торфом с ростом концентрации исходного раствора

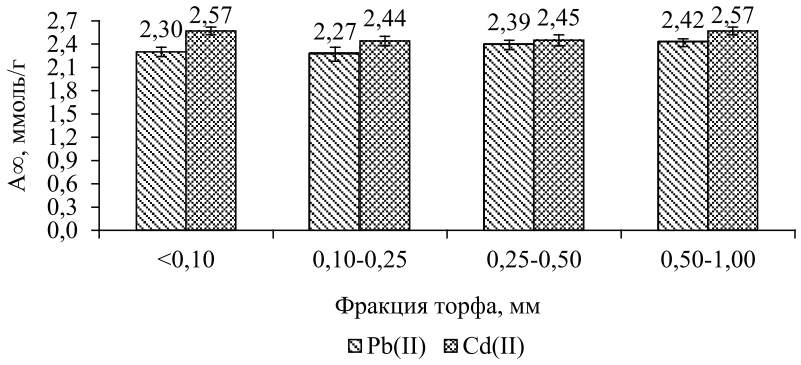


Рис. 3. Величины предельной адсорбции элементов фракциями торфа

Такие формы изотерм свидетельствуют о пренебрежимо малом взаимодействии между адсорбированными молекулами и независимости энергии активации от степени заполнения поверхности [10].

Степень извлечения ионов свинца составила 97,9–100 %, кадмия – 95,2–99,9 %, более полно происходит адсорбция из растворов низкой концентрации (рис. 2).

Исследование сорбционной способности различных фракций торфа не показало значимых различий в величинах предельной адсорбции, что позволяет сделать вывод об отсутствии существенного вклада

поверхностной адсорбции в суммарную адсорбционную способность торфа (рис. 3).

Тот факт, что константа сорбции в данном случае зависит от температуры и увеличивается с ее ростом, свидетельствует в пользу преимущественной хемосорбции, так как константа равновесия ионного обмена слабо зависит от температуры и уменьшается с ее ростом [11].

Константа адсорбционного равновесия уравнения Ленгмюра (К, ммоль$^{-1}$·л$^{-1}$) связана с тепловым эффектом реакции (величиной, обратной энтальпии) следующим соотношением:

$$K = K_0 \cdot e^{-\Delta H/RT},$$

где K_0 – предэкспоненциальный множитель, ΔН – изменение энтальпии, кДж·моль$^{-1}$, R – универсальная газовая постоянная,Т – температура, К.

На рис. 4 представлены графики зависимости lnK = f(1/T), на основе которых были рассчитаны термодинамические показатели сорбции ионов торфом (табл. 2).

Эндотермический характер адсорбции элементов торфом подтверждается положительными значениями изменения энтальпии, что может быть связано с протеканием процесса химической сорбции. При этом значительное количество тепла расходуется при дегидрации ионов ТМ [12] (на что также указывает положительное изменение энтропии [13]), что необходимо для их диффузии во внутриассоциатный раствор и дальнейшей адсорбции на активных центрах. Лимитирующей стадией данного процесса для Pb^{2+} и Cd^{2+} является стадия диффузии ионов к сорбенту (ΔН < 42 кДж·моль-1) [14].

Величина изменения энтропии сорбции для обоих ТМ свидетельствует о диссоциативном механизме адсорбции. Такой вид взаимодействия предполагает, что после адсорбции ионы ТМ находятся в менее упорядоченном состоянии, чем были в растворе ранее [13]. Самопроизвольность процесса подтверждается положительным значением изменения свободной энергии Гиббса в широком диапазоне температур [13].

ИК-спектрометрическое исследование исходного образца торфа показало наличие характеристических полос поглощения гидроксильных групп (3412 см$^{-1}$) и –С=О карбоксильных функциональных групп (1718 см$^{-1}$), что указывает на возможность взаимодействия торфа с ионами ТМ по механизмам ионного обмена и комплексообразования (рис. 5).

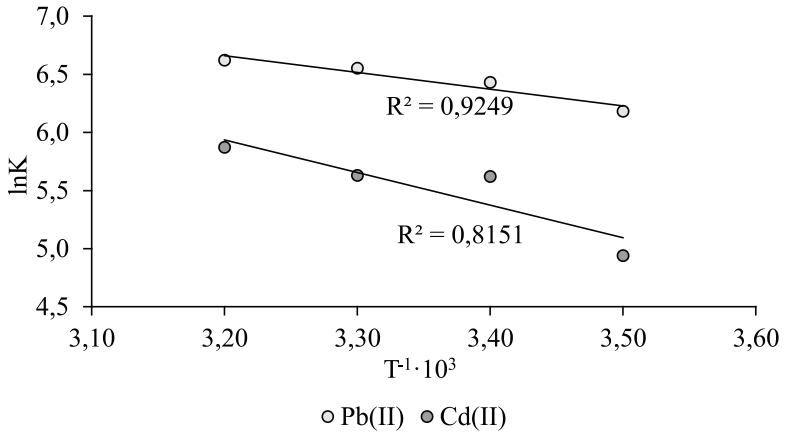


Рис. 4. График зависимости lnK = f(1/T)

Таблица 2

Термодинамические показатели сорбции Pb^{2+} и Cd^{2+} торфом

Показатель	Pb^{2+}	Cd^{2+}
Энтальпия сорбции ΔН, кДж·моль$^{-1}$	10,7 ± 0,6	20,9 ± 1,1
Энтропия сорбции ΔS, Дж·моль$^{-1}$	89 ± 6	116 ± 6
Изменение энергии Гиббса ΔG(298), кДж/моль	–15,9 ± 0,6	–13,7 ± 1,1

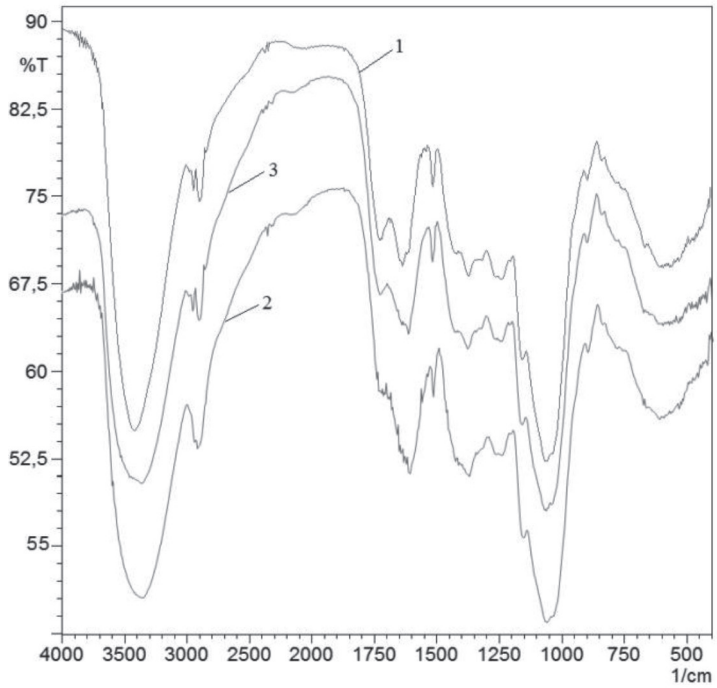


Рис. 5. ИК-спектры торфа: 1 – исходный образец торфа; 2 – торф-Cd^{2+}; 3 – торф-Pb^{2+}

Анализ ИК-спектров торфа после взаимодействия с растворами ТМ показал появление новых характеристических полос карбоксилатной группировки (1580 и 1375 $см^{-1}$ – рис. 1, № 3, 1373 $см^{-1}$ – рис. 1, № 2) и снижение интенсивности поглощения характеристической полосы –C=O карбоксильных функциональных групп, указывающих на процесс комплексообразования. При этом изменение интенсивностей поглощения характеристических полос для образца № 3 (Pb) было более выраженным, чем для образца № 2 (Cd).

Комплексное исследование состава и сорбционных свойств немодифицированного верхового торфа северной торфяно-болотной области позволило охарактеризовать его как источник ценных компонентов, так в качестве сорбента ТМ (предельная адсорбция достигает значений 2,42 ммоль·$г^{-1}$ по отношению к Pb^{2+} и 2,57 ммоль·$г^{-1}$ – к Cd^{2+}). Подтверждено, что сорбция ТМ торфом – самопроизвольный эндотермический процесс. Сорбционная способность торфа обеспечивается карбоксильными и фенольными гидроксильными группами компонентов торфа и является совокупностью физической, химической сорбции и ионного обмена. Полученные данные могут быть использованы при проектировании сооружений очистки сточных вод с применением технологии использования торфа заболоченных территорий в качестве сорбента *in situ*, а также при разработке технологий производства и применения промышленных сорбентов на основе изъятого из залежи торфа.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00552 «Исследование роли криогенеза при формировании состава и физико-химических свойств почв северной тайги на примере почв Онежского района Архангельской области».

Список литературы

1. Особенности биотрансформации органических веществ в условиях болотных экосистем Севера (на примере Иласского болотного массива) / С.Б. Селянина [и др.] / Труды Института биологии внутренних вод РАН. – 2017. – № 79 (82). – С. 200–206.

2. Структура и сорбционные свойства верхового торфа приарктических территорий / А.С. Орлов [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 1. – С. 18–22.

3. Орлов А.С. Сорбционные свойства торфа приарктических территорий / А.С. Орлов, С.Б. Селянина, К.Г. Боголицын // Природные ресурсы и комплексное освоение прибрежных районов Арктической зоны. – 2016. – С. 349–352.

4. Qin F., Wen B., Shan X.-Q. et al. Mechanisms of competitive adsorption of Pb, Cu, and Cd on peat // Environmental Pollution. – 2006. – V. 144. – P. 669–680.

5. Scagnossi A., Chen Y., Mingelgrin U. Practical and mechanistic aspects of the removal of cadmium from aqueous systems using peat Pinchas Fine // Environ. Pollut. – 2005. – V. 138. – P. 358–367.

6. ГОСТ 17.4.3.01-83. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. URL: http://stroysvoimirukami.ru/gost-174301-83/ (дата обращения: 05.06.2018).

7. Parfenova L.N., Selyanina S.B., Trufanova M.V., Bogolitsyn K.G., Maltseva E.V., Sokolova T.V., Kashina E.M. The peat characteristics of the Ilas marshes // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 4–2. – С. 32–37.

8. ГОСТ 27784-88. Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-27784-88 (дата обращения: 05.06.2018).

9. Применение модели реактора идеального вытеснения для описания сорбционных свойств верхового торфа в динамических условиях / И.А. Кузнецова [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. 2017. – Т. 17, № 4. – С. 526–533.

10. Gaurina-Medjimurec N. Handbook of Research on Advancements in Environmental Engineering. – USA: IGI Global, 2014. – 660 p.

11. Голубев В.С. Гетерогенные процессы геохимической миграции / В.С. Голубев, А.А. Гарибянц. – М.: Недра, 1968. – 192 с.

12. Yamakata A., Osawa M. Destruction of the Water Layer on a Hydrophobic Surface Induced by the Forced Approach of Hydrophilic and Hydrophobic Cations // J. Phys. Chem. Lett. – 2010. – № 1 (9). – P. 1487–1491.

13. Andrabi S.M.A. Sawdust of lam tree (Cordia africana) as a low-cost, sustainable and easily available adsorbent for the removal of toxic metals like Pb(II) and Ni(II) from aqueous solution // Eur. J. Wood Prod. – 2011. – V. 69. – P. 75–83.

14. Sparks D.L. Environmental soil chemistry. – San Diego CA: Academic Press, 1995. – 267 p.

References

1. Osobennosti biotransformacii organicheskix veshhestv v usloviyax bolotny`x e`kosistem Severa (na primere Ilasskogo bolotnogo massiva) / S.B. Selyanina [i dr.] / Trudy` Instituta biologii vnutrennix vod RAN. – 2017. – № 79 (82). – pp. 200–206.

2. Ctruktura i sorbcionny`e svojstva verxovogo torfa priarkticheskix territorij / A.S. Orlov [i dr.] // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2017. – № 1. – pp. 18–22.

3. Orlov A.S. Sorbcionny`e svojstva torfa priarkticheskix territorij / A.S. Orlov, S.B. Selyanina, K.G. Bogolicyn // Prirodny`e resursy` i kompleksnoe osvoenie pribrezhny`x rajonov Arkticheskoj zony`. – 2016. – pp. 349–352.

4. Qin F., Wen B., Shan X.-Q. et al. Mechanisms of competitive adsorption of Pb, Cu, and Cd on peat // Environmental Pollution. – 2006. – V. 144. – pp. 669–680.

5. Scagnossi A., Chen Y., Mingelgrin U. Practical and mechanistic aspects of the removal of cadmium from aqueous systems using peat Pinchas Fine // Environ. Pollut. – 2005. – V. 138. – pp. 358–367.

6. GOST 17.4.3.01-83. Oxrana prirody`. Pochvy`. Obshhie trebovaniya k otboru prob. URL: http://stroysvoimirukami.ru/gost-174301-83/ (data obrashheniya: 05.06.2018).

7. Parfenova L.N., Selyanina S.B., Trufanova M.V., Bogolitsyn K.G., Maltseva E.V., Sokolova T.V., Kashina E.M. The peat characteristics of the Ilas marshes // Mezhdunarodny`j zhurnal e`ksperimental`nogo obrazovaniya. – 2014. – № 4–2. – pp. 32–37.

8. GOST 27784-88. Pochvy`. Metod opredeleniya zol`nosti torfyany`x i otorfovanny`x gorizontov pochv. URL: http://docs.cntd.ru/document/gost-27784-88 (data obrashheniya: 05.06.2018).

9. Primenenie modeli reaktora ideal`nogo vy`tesneniya dlya opisaniya sorbcionny`x svojstv verxovogo torfa v dinamicheskix usloviyax / I.A. Kuzneczova [i dr.] // Sorbcionny`e i xromatograficheskie processy`. 2017. – T. 17, № 4. – pp. 526–533.

10. Gaurina-Medjimurec N. Handbook of Research on Advancements in Environmental Engineering. – USA: IGI Global, 2014. – 660 p.

11. Golubev V.S. Geterogenny`e processy` geoximicheskoj migracii / V.S. Golubev, A.A. Garibyancz. – M.: Nedra, 1968. – 192 p.

12. Yamakata A., Osawa M. Destruction of the Water Layer on a Hydrophobic Surface Induced by the Forced Approach of Hydrophilic and Hydrophobic Cations // J. Phys. Chem. Lett. – 2010. – № 1 (9). – pp. 1487–1491.

13. Andrabi S.M.A. Sawdust of lam tree (Cordia africana) as a low-cost, sustainable and easily available adsorbent for the removal of toxic metals like Pb(II) and Ni(II) from aqueous solution // Eur. J. Wood Prod. – 2011. – V. 69. – pp. 75–83.

14. Sparks D.L. Environmental soil chemistry. – San Diego CA: Academic Press, 1995. – 267 p.

УДК 556.5:574.5

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЁННОСТИ ВОДНЫХ МАСС И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОЁМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ КАЛИНИНСКОЙ АЭС ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

[1]Кузовлев В.В., [2]Григорьева И.Л., [2]Комиссаров А.Б., [2]Чекмарёва Е.А.

[1]ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, e-mail: v_kuzovlev@mail.ru;
[2]Иваньковская НИС – филиал ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук, Тверская область, Конаково, e-mail: Irina_Grigorieva@list.ru

Дана гидрохимическая характеристика водоемов-охладителей Калининской АЭС по результатам исследований в 2014 и 2017 гг. Установлено, что воды озер относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, по степени минерализации являются пресными, по величинам жесткости – мягкими, по значениям pH – слабощелочными и щелочными. Приведены результаты натурных исследований содержания ряда тяжелых металлов (железо общее, марганец, медь, цинк, свинец, кадмий, хром) в воде и донных отложениях озер-охладителей Калининской АЭС Песьво и Удомля, а также фоновых озер Наволок и Кезадра. Исследования выполнялись осенью 2010 г. и летом и осенью 2017 г., отбор проб воды производился из поверхностного горизонта. В 2017 г. предельно допустимые концентрации (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов были превышены в воде озер-охладителей для таких ингредиентов, как железо общее, марганец, медь, свинец, цинк. Зафиксировано, что произошло снижение в воде средних концентраций железа общего и меди в 2017 г. по сравнению с 2010 г. Отмечено, что максимальные концентрации железа общего, меди и свинца в воде озер наблюдаются в летний период. Концентрации хрома, кадмия, кобальта, никеля не превышали ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Высокие концентрации железа общего и марганца в воде можно объяснить высокой степенью заболоченности водосборного бассейна. Установлено, что уровень загрязнения ДО водорастворимыми формами металлов – слабый, а экологическая обстановка – допустимая. Вторичное загрязнение воды химическими соединениями возможно в результате взмучивания донных отложений по направлению течений в озерах, в местах сброса сточных вод и впадения притоков.

Ключевые слова: Калининская АЭС, тяжелые металлы, водная масса, донные отложения, озера Песьво, Удомля, Наволок, Кезадра

ASSESSMENT OF POLLUTION WITH HEAVY METALS OF WATER AND BOTTOM SEDIMENTS OF THE COOLER-PONDS OF THE KALININ NUCLEAR POWER PLANT

[1]Kuzovlev V.V., [2]Grigoreva I.L., [2]Komissarov A.B., [2]Chekmareva E.A.

[1]Tver State Technical University, Tver, e-mail: v_kuzovlev@mail.ru;
[2]Ivankovskaya Research Station the Department of Water Problems Institute of Russian Academy of Science, Konakovo, Tver region, e-mail: Irina_Grigorieva@list.ru

The hydrochemical characteristic of cooler-ponds of Kalinin NPP on the results of studies in 2014 and 2017 were given. It is established that water of lakes belong to the hydrocarbonate class of calcium group, the degree of mineralization is fresh, the quantities of hardness – soft, pH – slightly alkaline and alkaline. The results of field studies of the content of a number of heavy metals (iron, manganese, copper, zinc, lead, cadmium, chromium) in water and bottom sediments of cooler-ponds Pesvo and Udomlya, as well as background lakes Navolok and Kezadra. Studies were carried out in autumn 2010 and summer and autumn 2017, water sampling was carried out at 9 points in the cooling-lakes from the surface horizon. In 2017 the maximum allowable concentration (MAC) for fishery water objects are exceeded in water of the cooling-lakes for such ingredients as iron total, manganese, copper, lead, zinc. It was recorded that there was a decrease in the average concentrations of total iron and copper in water in 2017 compared to 2010. It was noted that the maximum concentrations of total iron, copper and lead in the water of lakes are observed in the summer. Concentrations of chromium, cadmium, cobalt, nickel did not exceed MAC for fishery water bodies. High concentrations of total iron and manganese in water can be explained by the high degree of wetland catchment. It is established that the level of pollution of water-soluble forms of metals and ecological situation-admissible. Secondary pollution of water by chemical compounds is possible as a result of bottom sediments in the direction of currents in lakes, in places of wastewater discharge and inflow.

Keywords: Kalinin NPP, heavy metalls, water mass, bottom sediments, lakes Pesvo, Udomlya, Navolok, Keazadra

Одним из значительных по действию и наиболее распространенным химическим загрязнением окружающей среды является загрязнение тяжелыми металлами. В качестве токсикантов в водоемах обычно встречаются ртуть, свинец, кадмий, олово, цинк, марганец, никель, медь, которые в определенных концентрациях могут оказывать отрицательное действие на гидробионтов. Оценка загрязненности водных масс и донных отложений (ДО) водоемов тяжелыми металлами важна для оценки их экологического состояния. В условиях теплового загрязнения водоемов токсичность загрязняющих веществ может усиливаться.

Цель исследования: изучение содержания тяжелых металлов в водных массах и донных отложениях озер Песьво и Удомля, которые являются водоемами-охладителями Калининской АЭС.

Материалы и методы исследования

Оценка загрязненности воды и донных отложений водоемов-охладителей тяжелыми металлами проводилась по результатам исследований, выполненных авторами в сентябре 2010 г. и июле и октябре 2017 г. Пробы воды отбирали из поверхностного слоя воды согласно ГОСТ 31861-2012 [1]. Для отбора проб ДО использовали дночерпатель ДЧ-0.025. Этот дночерпатель предназначен для отбора смешанной пробы с поверхностного слоя грунта с нарушением стратификации слоев (ГОСТ 17.1.5.01-80 [2]). Всего было отобрано 40 проб воды и 10 проб донных отложений.

Определение металлов в пробах воды и ДО производилось на атомно-абсорбционном спектрофотометре АА-6800F (производитель корпорация SHIMADZU, Япония) в аттестованной химической лаборатории Иваньковской НИС – филиале Института водных проблем РАН. Определение макрокомпонентов производилось в той же лаборатории.

Точки отбора проб воды и донных отложений в 2017 г. представлены на рисунке.

Карта-схема озер-охладителей Удомля и Песьво. Точки отбора: пробы воды: 1 – отводящий канал от КАЭС в оз. Песьво; 2 – оз. Песьво, выпуск с о/с г. Удомли; 3 – отводящий канал от КАЭС в оз. Удомля; 4 – протока из оз. Песьво в оз. Удомля, «Троица»; 5 – исток р. Съежа; 6 – оз. Удомля, «Чайка» (уст. р. Тихомандрицы); 7 – оз. Удомля, о. Двиново; 8 – оз. Песьво, д. Митрошино; 9 – оз. Песьво, д. Каменка (уст. р. Съюча).
■ – пробы донных отложений: 1 – д. Стан (ист. р. Съежа), 2 – оз. Песьво, выпуск с о/с г. Удомли

Результаты исследования и их обсуждение

Калининская АЭС расположена на севере Тверской области, примерно в 120 км от г. Твери. Площадка АЭС находится на южном берегу оз. Удомля, около одноименного города, в 2,7 км восточнее оз. Песьво. Озера соединены между собой прорезью. В озеро Песьво поступают сточные воды от г. Удомли, численность населения которого составляет 29 тыс. чел. Озера также используются для товарного рыборазведения и в рекреационных целях местным населением. Станция состоит из четырех энергоблоков с реакторами типа ВВЭР-1000 электрической мощностью 1000 МВт, которые были введены в промышленную эксплуатацию в 1984, 1986, 2004 и 2011 гг.

Изучение химического состава воды и донных отложений проводилось не только на водоемах-охладителях Калининской АЭС (озерах Песьво и Удомля), но и на фоновых озерах (Наволок и Кезадра) (табл. 1). Аналогом мелководного озера-охладителя Песьво служит мелководное озеро Наволок, глубоководного озера-охладителя Удомля – глубоководное озеро Кезадра.

Озера Удомля и Песьво соединены между собой короткой протокой (длиной около 100 м и шириной 60 м) и с 1984 г., после строительства Калининской АЭС, используются в качестве единого водоема-охладителя. Водоем носит название водохранилища Калининской АЭС общей площадью водного зеркала 21,2 км^2. Водосборная площадь водохранилища 400 км^2.

Исследования авторов в 2010 и 2014 гг. [5–7] показали, что химический состав воды в водоемах-охладителях Калининской АЭС практически однороден по большинству показателей, отличия наблюдаются в районе выпуска коммунально-бытовых и промышленных сточных вод от г. Удомли. На большинстве станций отмечаются превышения температуры воды относительно естественного фона на 6–10 °С в период открытой воды. Воды озер относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, по степени минерализации являются пресными, по величинам жесткости – мягкими, по значениям pH – слабощелочными и щелочными. Слабощелочные воды формируются при разложении органических веществ и поступлении угольной и других органических кислот. Кислородный режим благоприятный: концентрация растворенного кислорода постоянно находится выше установленных норм для зимнего (не менее 4 мгO_2/дм^3) и летнего (не менее 6 мгO_2/дм^3) периодов. Концентрации биогенных элементов (ионы аммония, нитратов, общего фосфора) и показателей содержания органических веществ (перманганатная (ПО) и бихроматная окисляемость (ХПК), $БПК_5$) на большинстве станций не превышают $ПДК_{рыб\text{-}хоз}$. Концентрации общего фосфора, аммонийного азота, нитритов и нитратов, значительно превышающие ПДК, наблюдаются в районе выпуска сточных вод от г. Удомля.

Сравнительный анализ гидрохимических характеристик озер-охладителей и оз. Наволок показал, что для водной массы водохранилища Калининской АЭС характерны более высокие значения pH, жесткости, щелочности и минерализации воды, чем в фоновом озере Наволок. В озерах-охладителях концентрации сульфатов примерно в три раза выше, чем в оз. Наволок. Летом концентрации хлоридов в озерах-охладителях выше, чем в оз. Наволок, в 15 раз. Более высокие концентрации железа общего, общего фосфора и нитратов, цветности, ПО и ХПК, наоборот, выше в оз. Наволок, чем в озерах-охладителях. Концентрации нитратов, меди и свинца выше в озерах-охладителях, чем в фоновых озерах. Концентрации цинка и хрома примерно равны во всех озерах.

Таблица 1

Параметры озер в районе Калининской АЭС, по [3, 4]

Тип и название водного объекта		Площадь водоема, км^2	Водосборная площадь, км^2	Глубина сред./max, м
Водохранилище КАЭС, в том числе:				
1	Озеро Удомля	10,1	400	10/38
2	Озеро Песьво	6,3	128	2,7/5,2
Озеро Кезадра		8,7	120	5,6/20,7
Озеро Наволок		12,5	105	2,3/3,4

В [8] отмечено, что с момента пуска АЭС в озерах-охладителях достоверно увеличились концентрации гидрокарбонатов, сульфатов, кальция и магния и pH, что подтверждено и нашими исследованиями. В 1990-х гг. значения ПО в воде колебались в интервале 7,9–16,3 мгО/дм^3. По нашим данным значения ПО в озерах в настоящее время варьируют в интервале 11–18 мгО/дм^3, что ниже, чем в фоновом озере Наволок.

В ходе исследований 2017 г. установлено, что железо переносится водной средой из фоновых озер Наволок и Кезадра (диапазон концентраций от 0,2 до 0,5 мг/дм^3) с нейтральным pH в слабощелочные воды озер-охладителей Песьво и Удомля (концентрации менее 0,1 мг/дм^3), где происходит его осаждение.

Исследования показали, что концентрации микроэлементов в поверхностных водах озер изменяются в интервале: меди – от 0,0014 (оз. Кезадра) до 0,0142 (оз. Песьво, д. Митрошино) мг/дм^3, свинца – от 0,0022 (оз. Кезадра) до 0,0146 (отводящий канал в оз. Песьво; исток р. Съежа) мг/дм^3, цинка – от 0,0071 (отводящий канал в оз. Удомля) до 0,1292 (оз. Песьво, г. Удомля), хрома от 0,0 (оз. Удомля, о. Двиново) до 0,037 (исток р. Съежа).

Максимальные концентрации железа общего отмечены в северной части оз. Удомля и юго-западной части оз. Песьво (район впадения р. Съючи), а также в озерах Наволок и Кезадра; марганца – в оз. Песьво (район г. Удомля) и оз. Наволок; меди – в оз. Удомля и Песьво по всем точкам наблюдения водных масс, задействованных в цикле охлаждения производственных вод; свинца – в районе очистных сооружений г. Удомли и отводящего канала от АЭС в оз. Песьво, в истоке р. Съежи; цинка – в районе очистных сооружений г. Удомли и в устье р. Съючи.

Сравнительный анализ микрокомпонентного состава выявил увеличение средних концентраций железа общего, марганца, свинца и цинка в 2017 г. по сравнению с 2010 г. и снижение концентрации меди (табл. 2).

Благодаря высокой температуре и слабощелочному pH в водной среде происходит активная миграция меди, свинца и цинка природного и антропогенного происхождения, концентрации хрома не превышают региональных фоновых концентраций [9].

Механический состав донных отложений озер представлен: заиленными сапропелями мощностью слоя 10–30 см, занимающими площадь около 4 км^2 (38 % площади оз. Песьво, 66 % – оз. Удомля); серыми илами, распространенными на площади в 3,2 км^2 оз. Песьво (31 %); песками площадью 2,8 км^2 на оз. Песьво (27 %) и 1,6 км^2 на оз. Удомля (25 %); отложениями из макрофитов мощностью слоя 5–30 см на площади около 0,2 км^2 (2 %); остальные отложения – затопленные почвы, отторфованный ил, супеси и суглинки Чаще можно наблюдать сочетание донных отложений, формирующих грунтовые комплексы в устьях рек [10].

Химический анализ проб ДО, отобранных летом 2017 г., показал, что в ДО озер Кезадра и Наволок наблюдались концентрации железа общего в 1,5–6 раз выше, чем в озерах Удомля и Песьво. Концентрации сульфатов в ДО озер Кезадра и Песьво были близки между собой, а в озере Наволок – в 2–4 раза выше по сравнению с остальными озерами. Концентрации хлоридов в оз. Удомля в районе сброса сточных вод от г. Удомля превышали природный фон (оз. Кезадра) более чем в 4 раза.

Таблица 2

Микрокомпонентный состав воды озер Песьво и Удомля (в числителе – минимум и максимум, в знаменателе – среднее), 2010 г. [5], 2017 г. [по данным авторов]

Ингредиент	Значение, мг/дм^3		ПДК$_{рыб.}$
	2010 г.	2017 г.	
Железо общее	0,02–0,15 0,027	0,04–0,58 0,119	0,1
Марганец	0,0006–0,0109 0,0007	0,02–0,17 0,044	0,01
Медь	0,029–0,038 0,031	0,0024–0,0142 0,010	0,001
Свинец	0,00008–0,00135 0,00014	0,006–0,0146 0,0099	0,006
Цинк	0,0022–0,0239 0,0057	0,0071–0,1292 0,0323	0,01

Таблица 3

Значения (мг/100 г) / коэффициенты (Кс) концентрации водорастворимых форм тяжелых металлов в пробах донных отложений изученных озер (лето 2017 г.)

Место отбора	Cu	Zn	Fe
оз. Кезадра	0,035/1,0	0,221/5,9	–/5,7
оз. Наволок	0,061/1,7	0,214/5,8	–/–
оз. Песьво/сброс сточных вод	0,615/17,6	0,037/1,0	–/3,7
оз. Удомля/исток р. Съежа	0,103/2,9	0,050/1,4	–/1,0

Выявлено, что в озерах-охладителях в ДО концентрации меди выше, чем в ДО фоновых озер, а концентрации цинка, наоборот, выше в ДО фоновых озер (табл. 3).

Формулы геохимических ассоциаций для исследованных озер: $Zn_{5.9}$-$Fe_{5.7}$ (о. Наволок и о. Кезадра), $Cu_{10.3}$-$Fe_{2.4}$ (о. Песьво и о. Удомля). Содержание свинца и хрома в донных отложениях в 2017 г. не было обнаружено. Возможно, это связано с отложением этих элементов глубже по профилю распределения донных отложений, а также накоплением их в биоте озер.

В различные годы оценка содержания микроэлементов в донных отложениях озер Удомля и Песьво проводилась путем сравнения концентрации элементов с их средним содержанием в осадочных породах – кларком (2000 и 2002 гг.) [10], либо с использованием фонового содержания в озерах Наволок и Кезадра (2017 г.). Концентрации микроэлементов в ДО в 2017 г. были около или равны кларку (фону) для марганца, молибдена, свинца, селена, олова, меди, цинка, железа общего [10], около или равны для цинка и железа общего.

В 2000 и 2002 г. [10] в ДО были определены концентрации цинка, бериллия, кадмия, а в 2017 г. меди выше кларка (фона).

Согласно суммарному показателю загрязнения Zc, отражающему аддитивное превышение фонового уровня группой ассоциирующихся элементов, уровень загрязнения ДО подвижными формами металлов – слабый, а экологическая обстановка – допустимая [9].

Выводы

В озерах Песьво и Удомля формируется особый гидрохимический режим, характерный для природно-техногенных объектов. Слабощелочные, подогретые воды озер с высокими концентрациями главных ионов (гидрокарбонатов, кальция, магния, сульфатов и хлоридов) создают условия для активной миграции меди, свинца и цинка, осаждения железа.

Анализ микрокомпонентного состава воды и донных отложений озер Песьво и Удомля за 2010 и 2017 гг. (табл. 2) показал, что:

– предельно допустимые концентрации (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов превышены в воде озер-охладителей Калининской АЭС для таких ингредиентов, как: железо общее, марганец, медь, свинец, цинк;

– произошло снижение в воде средних концентраций железа и меди в 2017 г. по сравнению с 2010 г.

– максимальные концентрации железа, меди и свинца наблюдаются в летний период;

– превышения концентраций хрома (2017 г.), кадмия, кобальта, никеля (2010 г.) в сравнении с $ПДК_{рыб}$ не наблюдается.

– поступление железа и марганца связано с природными источниками, в данном случае – заболоченностью водосборной территории.

– уровень загрязнения ДО водорастворимыми формами металлов – слабый, а экологическая обстановка – допустимая;

– возможно вторичное загрязнение воды химическими соединениями посредством взмучивания донных отложений по направлению течений в озерах, в местах сброса сточных вод и впадения рек.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Тверской области в рамках научного проекта № 17-45-690600.

Список литературы

1. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Изд-во Стандартинформ, 2013. – 60 с.

2. ГОСТ 17.1.5.01-80. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М.: Изд-во Госстандарт, 1980. – 7 с.

3. Предварительные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблоков № 2, 3 Калининской АЭС на мощности реакторной установки 104% от номинальной, г. Удомля, 2013. – 333 с.

4. Государственный водный реестр. URL: http://www.http://textual.ru/gvr/ (дата обращения: 10.02.2018).

5. Оценка современного состояния качества воды водоёмов-охладителей Калининской АЭС / И.Л. Григорьева [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 2. – С. 66–69.

6. Григорьева И.Л. Влияние Калининской АЭС на термический и гидрохимический режимы и состояние сообществ фитопланктона водоемов-охладителей / И.Л. Григорьева, А.Б. Комиссаров, Е.А. Чекмарева // Ледовые и термические процессы на водных объектах России: труды V Всероссийской конференции (Владимир: Изд-во РГАУ-МСХА, 11–14 октября 2016 г.). – Москва. 2016. – С. 101–106.

7. Комиссаров А.Б. Гидрохимическая характеристика воды и состояние сообществ фитопланктона водоемов–охладителей Калининской АЭС в 2014 г. / А.Б. Комиссаров, И.Л. Григорьева, Е.А. Чекмарева // Качество воды. Геоэкология: труды VI межд. науч.-практ. конф. (г. Пермь 29 мая – 1 июня 2017 г.). – Пермь: Изд-во Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2017. – Т. 2. – С. 86–91.

8. География Удомельского района. – Тверь: Изд-во РИУ Тверского университета, 1999. – 356 с.

9. Кузовлев В.В. Влияние крупных объектов теплоэнергетики Тверской области на современное гидроэкологическое состояние водоемов-охладителей / В.В. Кузовлев, И.Л. Григорьева, А.Б. Комиссаров, Е.А. Чекмарёва // Труды региональных научных проектов Тверской области 2017 года в сфере фундаментальных исследований: сборник научн. трудов. – Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та, 2017. – С. 35–69.

10. Тихомиров О.А. Мониторинг экологического состояния донных отложений водоема-охладителя Калининской АЭС / О.А. Тихомиров, Л.К. Тихомирова // Вестник Тверского государственного университета. Серия: география и геоэкология. – 2007. – № 3. – С. 33–42.

References

1. GOST 31861-2012 Voda. Obshhie trebovaniya k otboru prob. – M.: Izd-vo Standartinform, 2013. – 60 p.

2. GOST 17.1.5.01-80. Gidrosfera. Obshhie trebovaniya k otboru prob donny`x otlozhenij vodny`x ob``ektov dlya analiza na zagryaznennost`. – M.: Izd-vo Gosstandart, 1980. – 7 p.

3. Predvaritel`ny`e materialy` po ocenke vozdejstviya na okruzhayushhuyu sredu e`kspluatacii e`nergoblokov № 2, 3 Kalininskoj AE`S na moshhnosti reaktornoj ustanovki 104% ot nominal`noj, g. Udomlya, 2013. – 333 p.

4. Gosudarstvenny`j vodny`j reestr. URL: http://www.http://textual.ru/gvr/ (data obrashheniya: 10.02.2018).

5. Ocenka sovremennogo sostoyaniya kachestva vody` vodoyomov-oxladitelej Kalininskoj AE`S / I.L. Grigor`eva [i dr.] // Promy`shlennoe i grazhdanskoe stroitel`stvo. – 2014. – № 2. – pp. 66–69.

6. Grigor`eva I.L. Vliyanie Kalininskoj AE`S na termicheskij i gidroximicheskij rezhimy` i sostoyanie soobshhestv fitoplanktona vodoemov-oxladitelej / I.L. Grigor`eva, A.B. Komissarov, E.A. Chekmareva // Ledovy`e i termicheskie processy` na vodny`x ob``ektax Rossii: trudy` V Vserossijskoj konferencii (Vladimir: Izd-vo RGAU-MSXA, 11–14 oktyabrya 2016 g.). – Moskva. 2016. – pp. 101–106.

7. Komissarov A.B. Gidroximicheskaya xarakteristika vody` i sostoyanie soobshhestv fitoplanktona vodoemov–oxladitelej Kalininskoj AE`S v 2014 g. / A.B. Komissarov, I.L. Grigor`eva, E.A. Chekmareva // Kachestvo vody`. Geoe`kologiya: trudy` VI mezhd. nauch.-prakt. konf. (g. Perm` 29 maya – 1 iyunya 2017 g.). – Perm`: Izd-vo Perm. gos. nacz. issled. un-t. 2017. – T. 2. – pp. 86–91.

8. Geografiya Udomel`skogo rajona. – Tver`: Izd-vo RIU Tverskogo universiteta, 1999. – 356 p.

9. Kuzovlev V.V. Vliyanie krupny`x ob``ektov teploe`nergetiki Tverskoj oblasti na sovremennoe gidroe`kologicheskoe sostoyanie vodoemov-oxladitelej / V.V. Kuzovlev, I.L. Grigor`eva, A.B. Komissarov, E.A. Chekmaryova // Trudy` regional`ny`x nauchny`x proektov Tverskoj oblasti 2017 goda v sfere fundamental`ny`x issledovanij: sbornik nauchn. trudov. – Tver`: Izd-vo Tver. gos. un-ta, 2017. – pp. 35–69.

10. Tixomirov O.A. Monitoring e`kologicheskogo sostoyaniya donny`x otlozhenij vodoema-oxladitelya Kalininskoj AE`S / O.A. Tixomirov, L.K. Tixomirova // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: geografiya i geoe`kologiya. – 2007. – № 3. – pp. 33–42.

УДК 912.4:004.4

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКА И ОКРЕСТНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ LANDSAT-8

Матузко А.К., Якубайлик О.Э.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, e-mail: akmatuzko@icm.krasn.ru, oleg@icm.krasn.ru

Настоящая работа посвящена анализу температурных аномалий в городе Красноярске и его окрестностях («городские острова тепла»), которые оценивались по спутниковым данным Landsat-8 теплового инфракрасного диапазона и наземным данным с автоматизированных постов наблюдения за атмосферой. Актуальность исследования обусловлена крайне неблагоприятной экологической обстановкой в городе, сложностью оценки метеорологических характеристик территории из-за значительной неравномерности рельефа, температурным режимом разрезающей город пополам реки Енисей, который обусловлен расположенной в 40 км от города Красноярской ГЭС. Задача состояла в выявлении характерных температурных неоднородностей в городе, их пространственного местоположения и количественной оценке. Всего было рассмотрено 10 безоблачных сцен Landsat-8 на территорию Красноярска и окрестностей, в бесснежный период с 2013 по 2016 гг. Вычисления проводились на основе данных радиометра TIRS (10-й канал – ИК-диапазон 10,3–11,3 мкм). Данные каналов видимого диапазона 4-3-2 (красный-зеленый-синий), регистрируемые радиометром OLI Landsat-8, использовались для классификации изображений, определения типа подстилающей поверхности. Была выполнена обработка спутниковых данных, в том числе – классификация изображения, определение коэффициентов эмиссии для различных участков городской территории, вычисление температуры поверхности. Также был проведен сравнительный анализ полученных данных с измерениями на метеостанциях. Было обнаружено, что температура, измеренная разными способами, имеет сопоставимые значения. По результатам исследования были сформированы сезонные тепловые аномалии городской территории для трех сезонов – лета, весны и осени. Было выделено несколько сезонных тепловых аномальных зон разного типа – природные возвышенности, территории около нескольких крупных торгово-развлекательных центров, промышленные зоны ряда предприятий, участки теплового загрязнения сточными водами.

Ключевые слова: городской остров тепла, тепловые космические снимки, Landsat, температурные аномалии, температура поверхности Земли

MONITORING OF LAND SURFACE TEMPERATURE IN KRASNOYARSK AND ITS SUBURBAN AREA BASED ON LANDSAT-8 SATELLITE DATA

Matuzko A.K., Yakubaylik O.E.

Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, e-mail: akmatuzko@icm.krasn.ru, oleg@icm.krasn.ru

The subject of the analysis in this paper were temperature anomalies in the city of Krasnoyarsk and its surroundings («Urban Heat Islands»), which were estimated from satellite data Landsat-8 thermal infrared and ground data from automated observation posts for the atmosphere. The relevance of the study is due to the extremely unfavorable environmental situation in the city. The task was to identify characteristic temperature inhomogeneities in the city, their spatial location and quantitative assessment. In total, 10 cloudless Landsat-8 scenes were examined on the territory of Krasnoyarsk and its environs during the snowless period from 2013 to 2016. The calculations were based on the data of the TIRS radiometer (10th channel – IR range of 10.3-11.3 μm). The data of the channels of the visible range 4-3-2 (red-green-blue), registered by the OLI Landsat-8 radiometer, were used to classify the images, to determine the type of underlying surface. Satellite data processing was performed. Also, a comparative analysis of the data obtained with measurements at weather stations was carried out. It was found that the temperature measured in different ways has comparable values. According to the results of the study were formed seasonal thermal anomalies of the urban area. Several seasonal thermal anomalous zones of different types such as natural elevations, territories of about several large shopping and entertainment centers, industrial zones of a number of enterprises, sites of thermal pollution by sewage were singled out.

Keywords: urban heat island, thermal infrared imagery, Landsat, temperature anomalies, land surface temperature

Температура – один из ключевых показателей окружающей природной среды – может быть измерена наземными методами или на основе спутниковых данных. Методы дистанционного зондирования обеспечивают получение данных о температуре на регулярной сетке с высоким пространственным разрешением, с несопоставимо большей детальностью по сравнению с данными нескольких нерегулярно расположенных в городе метеостанций официальных служб.

Первые изображения Земли из космоса в тепловом инфракрасном диапазоне были получены американскими метеорологическими спутниками в 1960-е гг. Несмотря на то, что эти спутниковые данные имели низкое пространственное разрешение и практическое применение, они показали принципиальную возможность решения целого

ряда задач в области исследований окружающей среды методами дистанционного зондирования [1].

В настоящее время одним из наиболее интересных спутников, который ведет регулярную съемку поверхности Земли в тепловом инфракрасном (ИК) диапазоне, является Landsat-8. Регистрируемые данные ИК-диапазона имеют высокое пространственное разрешение 100 метров на пиксел, а повторяемость съемки составляет 16 дней. Это означает, что для заданной исследуемой территории, за вычетом снимков с высоким процентом облачности, можно рассчитывать не менее чем на десяток «безоблачных» снимков в год.

В статье представлена методика мониторинга температуры поверхности Земли по данным 10-го канала Landsat-8. На основе этих спутниковых данных ниже будут рассмотрены методы оценки температуры поверхности Земли, проведен анализ полученных температурных аномалий в г. Красноярске и его окрестностях. Красноярск – город с населением более миллиона человек и крайне неблагоприятной экологической обстановкой, входящий в число самых загрязненных городов России. Анализ и моделирование загрязнения атмосферного воздуха осложняется рядом факторов – значительной неравномерностью рельефа в пределах города, температурным режимом разрезающей город пополам реки Енисей, который обусловлен расположенной в 40 км от города Красноярской ГЭС. Вода в Енисее не замерзает зимой даже при запредельно низких зимних температурах –40 °С и в то же время очень холодная в жаркие летние месяцы. В этом контексте методы дистанционного зондирования на основе данных ИК-диапазона приобретают особый интерес.

Обзор решения проблемы на мировом уровне

Оценка температуры земной поверхности по спутниковым данным выполняется с 1960-х гг. Для этого используются данные дистанционного зондирования теплового инфракрасного (ИК) диапазона, на основе которых вычисляется температура поверхности Земли. В частности, с 1970 г. функционируют спутники серии NOAA (США), на которых устанавливается сканирующий радиометр высокого разрешения AVHRR, измеряющий отражательную способность Земли в 5 спектральных диапазонах, в том числе в инфракрасном тепловом. Основное назначение – мониторинг облачного покрова и измерение исходящего теплового излучения Земли [2].

Широко используются данные спектрорадиометра MODIS, установленного на американских спутниках Terra и Aqua. Он осуществляет ежедневную съемку с пространственным разрешением 1000 м в 36 спектральных каналах, среди которых – каналы теплового ИК-диапазона [3]. Температура поверхности Земли (LST – Land Surface Temperature) – один из стандартных информационных продуктов MODIS.

Американская программа Landsat начала свое существование в 1972 г., с этого времени было запущено восемь спутников. С момента запуска в 1982 г. Landsat-4 спутники этой программы осуществляют съемку в тепловом инфракрасном диапазоне [4].

Данные дистанционного зондирования теплового ИК-диапазона в настоящее время широко используются для изучения природных и антропогенных объектов и процессов, мониторинга неблагоприятных природных явлений, оценки состояния геосистем [5, 6].

Материалы и методы исследования

Температура поверхности Земли характеризует взаимодействие между атмосферой и поверхностью. Знание температуры поверхности Земли требуется для разнообразных научных исследований, включая климатологию, гидрологию и экологию. В частности, данные о температуре необходимы при решении таких задач, как оценка влажности почвы, обнаружение и прогноз заморозков, мониторинг состояния зерновых культур. Температура поверхности Земли является также одним из индикаторов антропогенного влияния на природные ресурсы [7]. Регулярный мониторинг температуры позволяет проанализировать температуру поверхности и оценить ее изменчивость.

Дистанционное зондирование – единственное средство получения долговременных однородных рядов данных о температуре регионального и глобального покрытия. Необходимость получения регулярных спутниковых данных о температуре земной поверхности диктуется тем, что сеть наземных наблюдений достаточно редкая.

По значениям тепловых каналов можно определить радиационную температуру поверхности. Теоретически точность оценки температуры около 0,5 °С, однако дымка в атмосфере занижает значения на не-

сколько градусов. Исходными данными для определения температуры служат значения интенсивности излучения, пришедшего на сенсор спутника и зарегистрированного соответствующим тепловым каналом. На основе значений тепловых каналов вычисляется значение температуры поверхности Земли, используя формулу [2]:

$$T = \frac{T_B}{1 + \left(\lambda \frac{T_B}{c_2} \right) \ln(e)}, \qquad (*)$$

T_B – температура спектральной яркости излучения (K); λ – длина волны света, λ = 10,8 μm для 10-го канала Landsat-8; $c_2 = h*c/s = 1{,}4388*10^{-2} m\ K$; $c_2 = 14388\ \mu m\ K$; e – коэффициент эмиссии.

Значения коэффициентов e представлены в табл. 1, и они зависят от типа поверхности Земли (используемые значения являются ориентировочными, поскольку коэффициент излучения каждого материала должен быть получен из полевого обследования).

Термальный инфракрасный диапазон особенно полезен для определения разности температур между городом и прилегающими к нему сельскими районами и для изучения феномена городского острова тепла. Исходными данными для определения температуры земной поверхности Земли является архив спутниковых снимков Landsat-8. Программное обеспечение: QGIS 2.18.1 с плагином Semi-Automatic Classification Plugin (SACP) [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Температура поверхности Земли вычисляется по формуле (*). Переводим полученные значения температуры в градусы Цельсия и на основе полученных значений, составляем температурную карту поверхности Земли в окрестностях города Красноярска (рис. 1).

Изображение показывает, что температура реки значительно ниже, чем температура поверхности земных территорий, хотя весной в естественной среде температура воды в реке обычно выше, чем температура воздуха. Строительство гидроэлектростанции возле Красноярска оказало большое влияние на распределение сезонных температур [9].

Таблица 1

Соответствие поверхности Земли и значение коэффициента эмиссии

Тип поверхности	Открытая почва	Трава/ растительность	Строения	Вода
Значение e	0,928	0,982	0,942	0,98

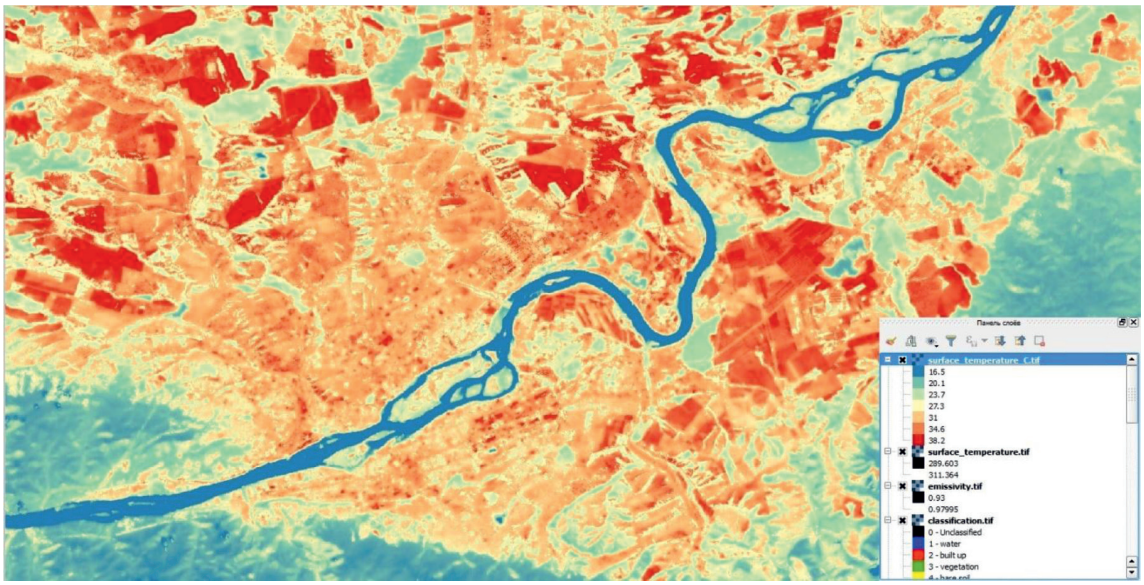


Рис. 1. Температура поверхности земли в г. Красноярске

Изменения теплового режима реки в результате строительства гидротехнических сооружений по сравнению с природными условиями влияют на работу не только самой гидроэлектростанции, но и объектов управления водными ресурсами, водного транспорта, а также качества воды и климата. Таким образом, ниже по течению от гидроэлектростанции, независимо от периода годового цикла, характерные изменения температуры воды происходят ниже по течению. А именно, температура воды в Енисее в районе города летом на 8–10 °С ниже, чем до регуляции реки, и, наоборот, увеличивается на 4–5 °С в осенние месяцы, что создало определенные трудности в развитии прилегающей территории и оказало значительное влияние на климат Красноярска [10].

Целью работы является сравнение результатов, полученных по спутниковым данным с наземными данными автоматических метеостанций (АМС). По описанной выше методике было обработано 10 спутниковых снимков, полученных в летне-осенний период за временной интервал с 2013 по 2016 гг. На основе данных, на спутниковых изображениях и от АМС составим сводную таблицу по трем контрольным точкам в городе. АМС на Дудинской, Минусинской и в Роевом Ручье.

По данным, представленным в табл. 2, составим диаграммы для каждой из исследуемых территорий отдельно. На диаграммах видно, что температура, полученная на основании космических снимков, чаще незначительно выше значений, которые были получены на АМС, чем ниже (рис. 2).

Таблица 2

Сравнение спутниковых данных и данных АМС

Дата	По данным АМС в 12 часов, °С			На снимке, °С		
	Дудинская 4	Минусинская 14	Роев Ручей	Дудинская 4	Минусинская 14	Роев Ручей
07.10.2016	5,4	3	0,4	7	3	2
05.09.2016	16,3	15	17,6	22	19	19
10.06.2016	25	23,4	26,1	33	25	28
23.04.2016	15,1	12,2	15,4	22	19	18
17.07.2015	24,6	23	26	34	24	29
01.07.2015	30,4	28	30,9	34	29	29
08.06.2015	24	22,6	24,9	30	25	27
14.05.2015	19,8	18,5	21,7	25	24	27
07.07.2014	29,1	27,3	30,3	32	27	31
18.06.2013	29,9	27	21,1	33	34	21

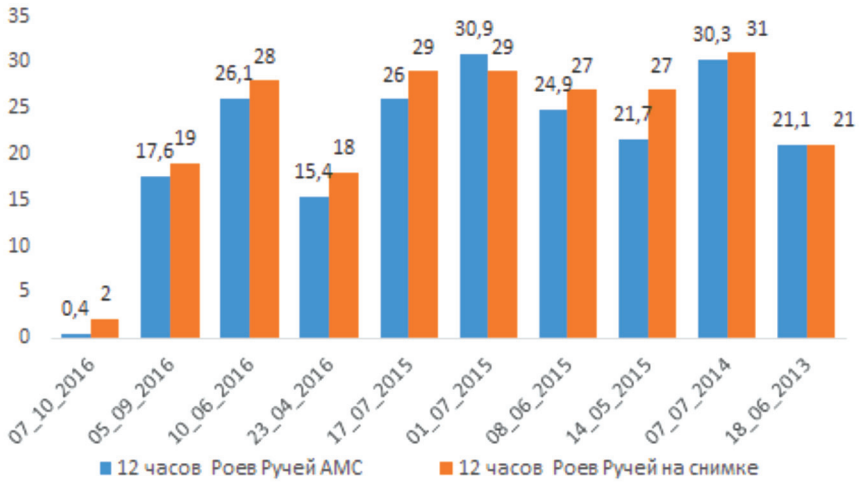


Рис. 2. Диаграммы сравнения температур по АМС и по ДЗЗ

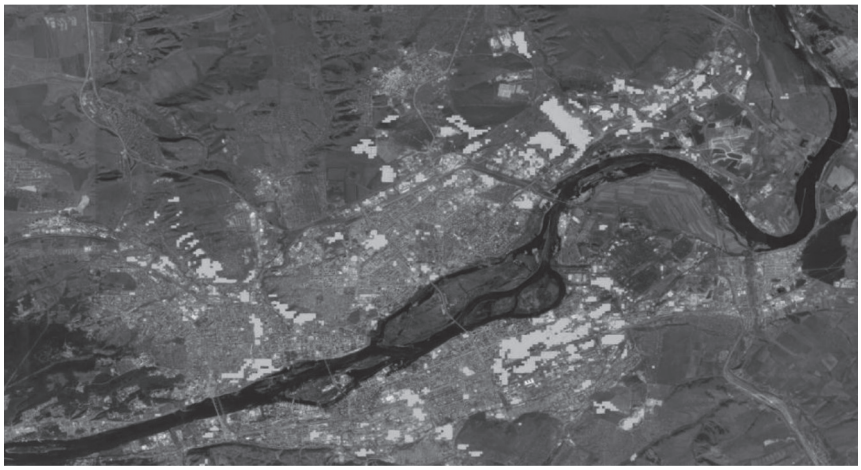


Рис. 3. Летнее распределение максимальных температурных значений

а) *б)* *в)*

Рис. 4. Фрагменты карты г. Красноярска с тепловыми аномалиями: а) Железнодорожный район; б) промышленная зона; в) торгово-развлекательные центры

Для отсечения артефактов на поверхности Земли, которые точечно могут влиять на результаты вычислений, усредним значения полученных температурных значений до 100*100 м (рис. 3). Получив температурную карту г. Красноярска, на рис. 2 видим самые теплые участки в городе. Сравним местонахождение этих участков по десяти снимкам, рассмотренным ранее.

Для нахождения максимальных температурных значений в пределах города, все снимки были распределены по сезонам: лето, весна и осень. Для отслеживания максимальных температурных значений рассматривались шесть летних снимков.

По результатам анализа летних тепловых многовременных космических снимков на территории города Красноярска было выделено несколько тепловых зон разной природы. Так, на летних снимках максимальную температуру поверхности имеют такие зоны, как природные возвышенности, торговые центры, промышленные кварталы.

На фрагментах карты отмечены распределения максимальных температур по анализу шести космических снимков Landsat-8. Так, в Железнодорожном районе г. Красноярска наибольшую температуру поверхности имеет Покровская гора, за счет открытых от растительности склонов и негустого покрытия ландшафта травой (рис. 4, а).

На рис. 4, б, видно, что самые максимальные температуры, наблюдаемые на коллекции летних снимков, находятся на правом берегу г. Красноярска, где преобладает промышленная зона города.

В Советском районе города, расположенном на левом берегу, также максимальные температуры преобладают в промыш-

ленной зоне города, но также и в местах скопления торгово-развлекательных центров. На рис. 4, в, видно, что форма тепловых пятен соответствует форме торговых центров: ТРЦ «Планета», «Лента», «Июнь», «Автосалоны», ТЦ «Авиатор».

Заключение

Проведенные исследования показали, что разница между температурой воздуха по данным метеостанций и температурой поверхности Земли, вычисленной на основе спутниковых данных, может достигать нескольких градусов. Следует отметить, что иногда эта разница может быть значительной, поскольку мы сравниваем две разные температуры в разных местах (метеостанции находятся на высоте около 2 м от поверхности Земли). Но несмотря на разницу в измерениях, данная методика открывает неограниченные возможности для исследования территорий, которые не оснащены метеостанциями, но находятся в зоне покрытия Landsat-8.

Список литературы

1. Niclos R., Valiente J.A., Barbera M.J., Caselles V. Land Surface Air Temperature Retrieval from EOS-MODIS Images // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2014. Vol. 11, No. 8. P. 1380–1384.

2. Stathopoulou M., Cartalis C. Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation // Remote Sensing of Environment, 2009, Vol. 113, P. 2592–2605.

3. Merlin O., Duchemin B., Hagolle O., Jacob F., Coudert B., Chehbouni G., Dedieu G., Garatuza J., Kerr Y. Disaggregation of MODIS surface temperature over an agricultural area using a time series of Formosat-2 images. Remote Sens. Environ. 2010, 114, 2500–2512.

4. Лурье И.К. Теория и практика цифровой обработки изображений / И.К. Лурье, А.Г. Косиков. – М.: Научный мир, 2003. – 166 с.

5. Weng Q., Lu D., Schubring J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment, 2004, 89, 467–483.

6. Frey C.M., Parlow E. Flux measurements in Cairo. Part 2: On the determination of the spatial radiation and energy balance using aster satellite data. Remote Sens. 2012, 4, 2635–2660.

7. Наземный комплекс приема, обработки, архивации и распространения спутниковой информации / В.В. Асмус [и др.] // Труды НИЦ «Планета». – 2005. – Вып. 1 (46). – С. 3–21.

8. Luca Congedo Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. URL: https://fromgistors.blogspot.com/p/semi-automatic-classification-plugin.html (дата обращения: 25.06.2018).

9. Hrebtov M., Hanjalic K. Numerical study of winter diurnal convection over the city of Krasnoyarsk: Effects of non-freezing river, undulating fog and steam devils // Boundary Layer Meteorology. 2017, Vol. 163, Is. 3, P. 469–495.

10. Матузко А.К. Определение температуры поверхности воды по данным дистанционного зондирования Земли // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы IV международной научной конференции. Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий. – 2017. – С. 271–274.

References

1. Niclos R., Valiente J.A., Barbera M.J., Caselles V. Land Surface Air Temperature Retrieval from EOS-MODIS Images // IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2014. Vol. 11, No. 8. pp. 1380–1384.

2. Stathopoulou M., Cartalis C. Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation // Remote Sensing of Environment, 2009, Vol. 113, pp. 2592–2605.

3. Merlin O., Duchemin B., Hagolle O., Jacob F., Coudert B., Chehbouni G., Dedieu G., Garatuza J., Kerr Y. Disaggregation of MODIS surface temperature over an agricultural area using a time series of Formosat-2 images. Remote Sens. Environ. 2010, 114, 2500–2512.

4. Lur`e I.K.Teoriya i praktika cifrovoj obrabotki izobrazhenij / I.K. Lur`e, A.G. Kosikov. – M.: Nauchny`j mir, 2003. – 166 p.

5. Weng Q., Lu D., Schubring J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment, 2004, 89, 467–483.

6. Frey C.M., Parlow E. Flux measurements in Cairo. Part 2: On the determination of the spatial radiation and energy balance using aster satellite data. Remote Sens. 2012, 4, 2635–2660.

7. Nazemny`j kompleks priema, obrabotki, arxivacii i rasprostraneniya sputnikovoj informacii / V.V. Asmus [i dr.] // Trudy` NICz «Planeta». – 2005. – Vy`p. 1 (46). – pp. 3–21.

8. Luca Congedo Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. URL: https://fromgistors.blogspot.com/p/semi-automatic-classification-plugin.html (data obrashheniya: 25.06.2018).

9. Hrebtov M., Hanjalis K. Numerical study of winter diurnal convection over the city of Krasnoyarsk: Effects of non-freezing river, undulating fog and steam devils // Boundary Layer Meteorology. 2017, Vol. 163, Is. 3, pp. 469–495.

10. Matuzko A.K. Opredelenie temperatury` poverxnosti vody` po danny`m distancionnogo zondirovaniya Zemli // Regional`ny`e problemy` distancionnogo zondirovaniya Zemli: materialy` IV mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Sibirskij federal`ny`j universitet, Institut kosmicheskix i informacionny`x texnologij. – 2017. – pp. 271–274.

УДК 528.88

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИЗУЧЕНИИ РЕЖИМА ЗАТОПЛЕНИЯ И СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ЛИМАНОВ

[1]Онаев М.К., [2]Туктаров Р.Б., [2]Тарбаев В.А., [2]Гафуров Р.Р.

[1]НАО «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет имени Жангир хана», Уральск, e-mail: maratonaev@mail.ru;

[2]ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова», Саратов

В статье изложены результаты использования спутниковых методов исследования в мониторинге и оценке современного состояния земель лиманного орошения. На примере лимана 49 с.о. Тайпак Урало-Кушумской оросительно-обводнительной системы исследован режим затопления за 2000–2017 гг. По результатам распознавания спутниковых снимков были созданы цифровые карты, характеризующие режим ежегодного весеннего затопления клеток лимана. Определены сроки, продолжительность и площадь затопления лимана в целом и в разрезе отдельных чеков. Использование технологий дистанционного зондирования подтвердило возможность использования вегетационных индексов для целей идентификации и картографирования растительного покрова лимана. Выявлены закономерности взаимосвязи значений вегетационного индекса NDVI с ботаническими группами растительности лимана и биологической урожайностью естественного травостоя лимана. Исследования показали, что самые низкие значения вегетационного индекса характерны для полынно-разнотравных, марьево-разнотравных и кермеково-разнотравных сообществ (NDVI <0.4). Наиболее высокие значения индекса отмечаются в злаковых и злаково-разнотравных фитоценозах (NDVI> 0.6). На основе комбинированного использования вегетационного индекса NDVI и данных полевых геоботанических описаний проведено картографирование современного состояния растительного покрова лимана на уровне ассоциаций и определены площадные характеристики выделенных растительных ассоциаций. Анализ показателей вегетационного индекса и биологической урожайности естественного травостоя лимана показал статистически значимую положительную связь между данными параметрами. Осуществлено картографирование продуктивности сенокосов лимана и определены площадные характеристики выделенных диапазонов уровня урожайности зеленой массы многолетних трав. Полученные результаты исследований имеют большое значение для разработки и реализации системы мероприятий, направленных на улучшение и восстановление лиманных кормовых угодий.

Ключевые слова: лиманное орошение, мониторинг, оценка, картографирование, спутниковые методы, Landsat, режим затопления, фитоценозы, вегетационные индексы, NDVI

USE OF SATELLITE METHODS OF RESEARCH IN STUDY OF FLOOD MODE AND MODERN CONDITION THE VEGETABLE COVER OF LIMANS

[1]Onaev M.K., [2]Tuktarov R.B., [2]Tarbaev V.A., [2]Gafurov R.R.

[1]NAO West Kazakhstan Agrarian-Technical University named after Zhangir khan, Uralsk, e-mail: maratonaev@mail.ru;

[2]Saratov State Agrarian University n.a. N.I. Vavilov, Saratov

The article describes the results of the use of satellite research methods in monitoring and assessing the current state of liman irrigation lands. On the example of the liman 49 s.o. Taipak of the Ural-Kushum irrigation-watering system, the mode of flooding for the period 2000-2017 was studied. Based on the results of recognition of satellite images, digital maps were created that characterize the mode of the annual spring flooding of the liman cells. The terms, duration and area of flooding of the liman as a whole and in the context of individual checks were determined. The use of remote sensing technologies has confirmed the possibility of using vegetation indices for identification and mapping of the vegetation cover of the liman. The regularities of the relationship between the values of vegetative index NDVI and the botanical groups of liman vegetation and the biological yield of the natural herbage of the liman are revealed. Studies have shown that the lowest values of the vegetative index are characteristic for Artemisia-mixed-plant communities, Chenopodium-mixed-plant communities and Limonium-mixed-plant communities (NDVI <0.4). The highest values of the index are recorded in cereals and cereal-mixed-plant phytocenoses (NDVI> 0.6). Based on the combined use of the vegetative index NDVI and field geobotanical data, the state of the vegetation cover of the liman was mapped at the level of associations and the area characteristics of the isolated plant associations were determined. The analysis of vegetative index indices and biological yield of the natural herbage of the liman showed a statistically significant positive relationship between these parameters. The cartography of the productivity of haymaks in the liman has been carried out and the area characteristics of the selected ranges of the yield level of the green mass of perennial grasses have been determined. The obtained research results are of great importance for the development and implementation of a system of measures aimed at improving and restoring the liman fodder land.

Keywords: liman irrigation, monitoring, assessment, mapping, satellite methods, Landsat, flooding regime, phytocenoses, vegetative indices, NDVI

В настоящее время дистанционный мониторинг (в первую очередь спутниковый) позволяет получать объективную информацию по всей территории, занятой сельскохозяйственными землями [1]. Не составляет исключение использование спутниковых методов исследований в мониторинге земель лиманного орошения, позволяющем

получать оперативные, объективные и точные картографические материалы о масштабах и длительности затопления лиманов; площадях засоления и заболачивания почвогрунтов; степени деградации травостоя лиманных земель. Спутниковые материалы являются уникальным источником данных для проведения ретроспективного анализа на территориях, где по каким-то причинам в течение ряда лет не проводились исследования, позволяющем выявить все качественные и количественные изменения за определенный временной период.

Цель исследования: мониторинг режима затопления и оценка современного состояния растительного покрова земель лиманного орошения с использованием данных ДЗЗ на примере лимана 49 с.о. Тайпак Урало-Кушумской оросительно-обводнительной системы Республики Казахстан.

Материалы и методы исследования

Материалами для проведения исследовательских работ послужили разновременные космические снимки, полученные зарубежными космическими аппаратами Landsat-7, Landsat-8 и Terra за период 2000–2017 гг.; картографические материалы на объект исследований, а также результаты наземных геоботанических обследований, выполненных на экспериментальных участках лимана. Для идентификации продолжительности и масштабов затопления лимана применялись снимки, выполненные в весенний период (апрель – середина июня), а для оценки и картографирования состояния растительного покрова – изображения, отснятые в период с мая по июль.

Обработка и анализ космических снимков проводились по стандартной схеме с использованием методов визуального и автоматизированного дешифрирования; метода построения индексных изображений в программном комплексе ENVI 5.2 [2]. Вычисление площадных характеристик объектов и картографическое оформление полученных материалов осуществлялось на базе ГИС-пакета ArGIS 10.3.1.

Результаты исследования и их обсуждение

Урало-Кушумская оросительно-обводнительная система – это межхозяйственная система каналов в земляном русле протяженностью 1231,9 км. Система введена в эксплуатацию в 1974 г. Головное сооружение находится в п. Кушум Зеленовского района Западно-Казахстанской области. В систему входят каскад из четырех водохранилищ и пять магистральных каналов. В настоящее время по техническим причинам механическая подача воды не осуществляется. Система запроектирована на обеспечение водой 12985 га регулярного, 97635 лиманного орошения и обводнение 2177 тыс. га пастбищ прилегающих территорий [3].

Общая площадь лимана 49 с.о. Тайпак составляет 3877 га и состоит из 35 чеков (клеток). Клетки лимана обвалованы земляными валами и имеют средний размер затопляемой площади в пределах от 88 до 120 га, с отдельными отклонениями как до 57, так и до 140 или 236 га. Подача воды на лиман обеспечивается системой открытых каналов в земляном русле. Почвенный покров представлен светло-каштановой почвой, по механическому составу – тяжелосуглинистой крупно-пылевато-песчаной. Глубина залегания уровня грунтовых вод на объекте исследований составляет в среднем 3,3 м.

Основным фактором, определяющим общее мелиоративное состояние лиманных экосистем, урожайность лиманного луга и продуктивное долголетие его фитоценозов, является водный режим, который включает в себя нормы затопления, глубину затопления, сроки затопления и продолжительность стояния воды [4].

С использованием данных ДЗЗ был исследован режим затопления лимана 49 с.о. Тайпак за период 2000–2017 гг. По результатам распознавания спутниковых снимков были созданы цифровые карты, характеризующие режим ежегодного весеннего затопления клеток лимана. Определены сроки, продолжительность и площадь затопления лимана в целом и в разрезе отдельных клеток. Результаты оценки режима затопления рассматриваемой территории лимана 49 с.о. Тайпак с использованием геопространственной информации свидетельствуют об отсутствии регулярного водообеспечения лимана, приведшего к ухудшению мелиоративного состояния и снижению продуктивности лиманных земель. Исходя из представленных данных видно, что за период с 2000 по 2017 гг. системное затопление лимана производилось лишь в 2000–2002 гг. со средней площадью заливки 2967 га. В 2003–2004 гг. площадь затапливаемых угодий уменьшилась в среднем до 1168 га, а начиная с 2005 г. и заканчивая 2009 г. – заливка лиманных лугов практически не происходила (до 10 %

от площади лимана). Период 2010–2017 гг. характеризуется существенной вариабельностью изменения площади затопления, но все же незначительным улучшением уровня водообеспеченности лимана. Анализ расчетных данных показал, что наибольший уровень водообеспеченности за рассматриваемый период наблюдался в чеках 12, 14, 31, 32, расположенных в северной части лимана (рис. 1).

График сроков заливки лимана, определенный с использованием космической информации, позволяет сделать вывод о том, что техника затопления лимана в рассматриваемый период в целом соответствовала оптимальным срокам. Начало заливки наблюдалось во время прохождения весеннего паводка (третья декада марта – первая декада апреля), а длительность стояния воды в лимане составила в среднем 32–48 дней.

Изучению свойств растительного покрова принадлежит важное место в системе мониторинга лиманных земель, поскольку именно растения являются наиболее четким показателем эколого-мелиоративного состояния лиманов. Из всех компонентов контроля растения первыми реагируют на негативные процессы в почве и воде [5].

В качестве источников эталонной информации о состоянии характеристик растительного покрова использованы данные полевых геоботанических описаний, проведенные на экспериментальных участках лимана в 2016–2017 гг.

Сравнительный анализ флористического состава затапливаемых и незатапливаемых участков лимана показал, что при значительных перерывах в затоплении наблюдается ухудшение качественных показателей естественного травостоя, проявляется изреженность и смена биологической формации. На участках недостаточного увлажнения доминируют ксерофитные растения, такие как полынь беловойлочная, полынь Лессинга, рогач песчаный и др.; на регулярно затапливаемых участках – злаковые и осоковые растения (овсяница луговая, лисохвост луговой, пырей ползучий, клубнекамыш морской и др.) [6].

Для идентификации и картографирования растительного покрова лимана был использован вегетационный индекс NDVI, диапазоны значений которого для различных фитоценозов, по нашим данным, практически не перекрываются. В ходе исследований была проанализирована тенденция временного изменения NDVI для каждого из основных растительных сообществ лимана в течение вегетационного периода. Максимальная вариабельность NDVI и соответствие значений индекса определенным растительным сообществам лимана наблюдались по снимку Landsat-8 от 16 июня 2016 г.

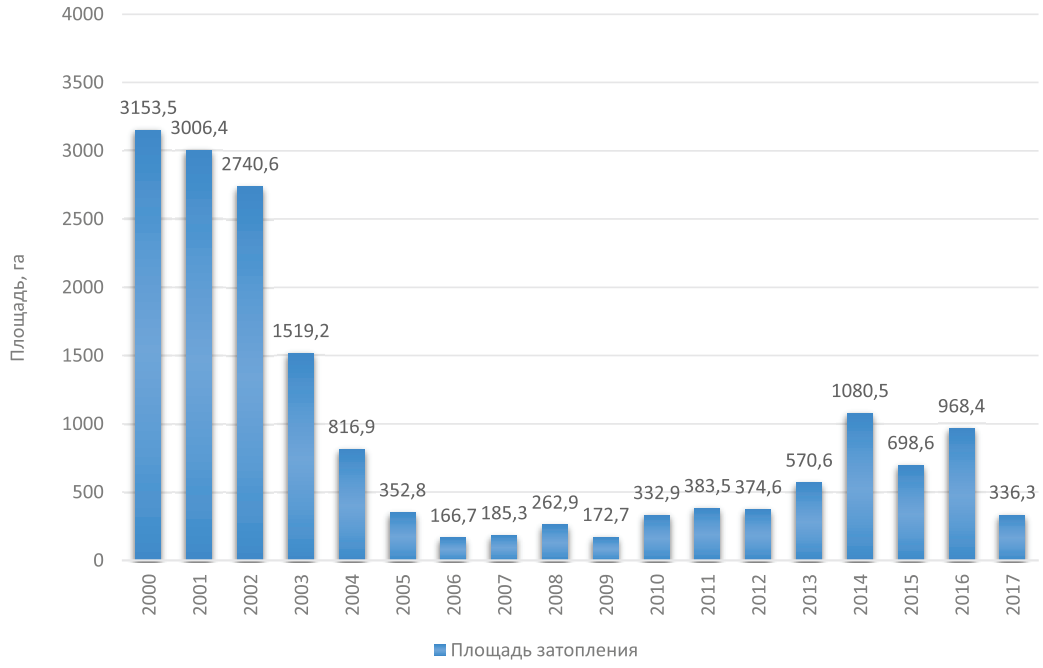


Рис. 1. Динамика изменения площади затопления лимана 49 с.о. Тайпак за 2000–2017 гг.

Исследования показали, что самые низкие значения вегетационного индекса характерны для полынно-разнотравных, марьево-разнотравных и кермеково-разнотравных сообществ (NDVI < 0,4). По мере изменения соотношения видового состава сообществ с появлением в составе травостоя мезофитных видов трав наблюдается увеличение значений вегетационного индекса. Наиболее высокие значения индекса отмечаются в злаковых и злаково-разнотравных фитоценозах (NDVI > 0,6).

По результатам анализа данных геоботанических описаний была проведена эколого-доминантная классификация растительных сообществ до уровня ассоциаций. Были выделены 3 типа растительных ассоциаций, которым соответствуют определенные диапазоны вегетационного индекса NDVI (табл. 1).

Таблица 1

Диапазоны значений вегетационного индекса NDVI для растительных ассоциаций лимана 49 с.о. Тайпак по данным ДЗЗ, 2016 г.

Растительные ассоциации	Диапазоны значений NDVI
Луговые (с доминированием в составе травостоя луговых злаковых растений: пырея ползучего, бекмании обыкновенной и других трав, как наиболее ценных в кормовом и средообразующем значении)	0,605–0,778
Степные (с доминированием в составе травостоя степных растений: разновидностей полыни, мари сизой и другого разнотравья)	0,453–0,605
Степные-полупустынные (с доминированием в составе травостоя малоценной пустынной растительности: кермека и других трав)	0,000–0,453

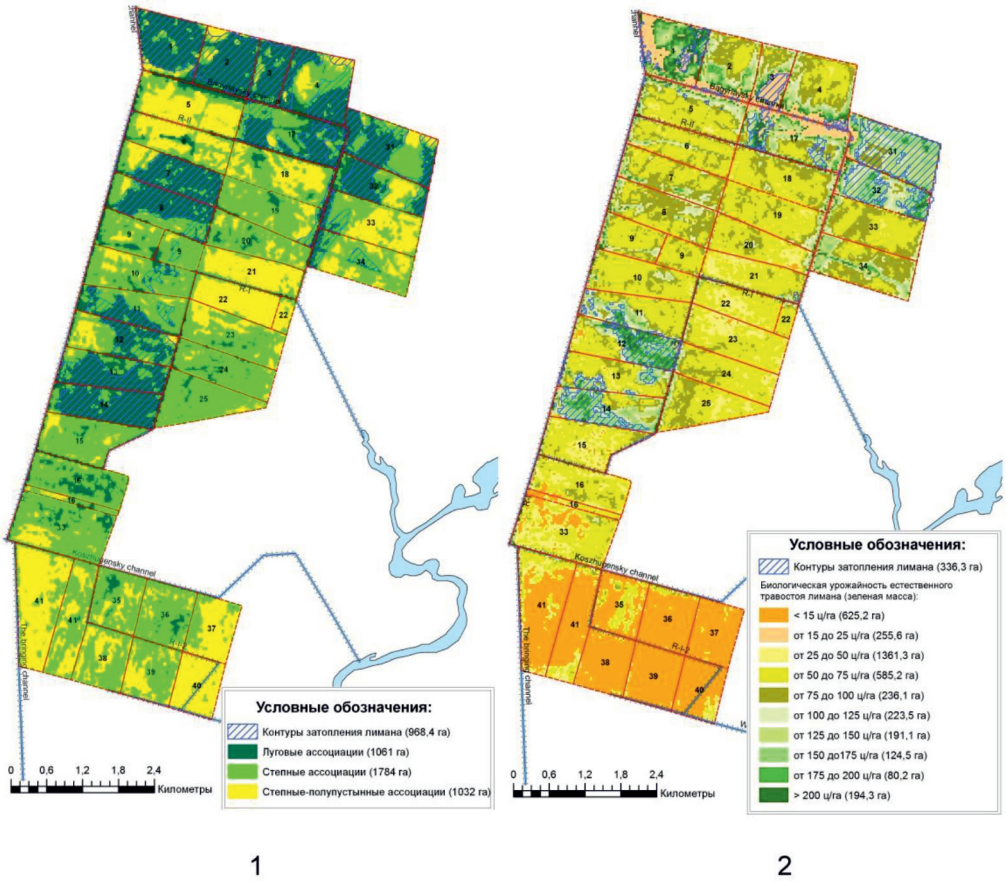


Рис. 2. Фрагменты карты фитоценозов (1) и карты биологической урожайности естественных сенокосов (2) лимана 49 с.о. Тайпак по данным ДЗЗ

Наложение результатов картографирования режима затопления лимана на карту фитоценозов подтвердило взаимосвязь между ботаническим составом травостоя и отсутствием или наличием затопления лимана. На основании результатов данной классификации было осуществлено картографирование состояния растительного покрова изучаемого лимана и определены площадные характеристики выделенных ассоциаций (рис. 2).

Площадь земель лимана, занятая луговыми растительными ассоциациями, составила 1061 га, или 27,4%, степными ассоциациями – 46,0% (1784 га) и степными-полупустынными – 26,6%, или 1032 га. Луговая растительность, составляющая качественную основу лиманного сена, отмечена в основном на клетках с наибольшим уровнем водообеспеченности. Растительный покров, состоящий из луговых ассоциаций, занимает от 22 до 85% от площади соответствующих чеков. На остальных клетках луговые фитоценозы занимают небольшую площадь среди растительных сообществ (от 7 до 17% от занимаемой площади). Полученная картина свидетельствует о деформации растительного покрова, развитии процессов деградации лиманных земель, проявляющихся в форме ксерофитизации и галофитизации коренных фитоценозов.

Общий анализ данных показателей вегетационного индекса, полученных с помощью обработки космического снимка Landsat-8 (OLI) за 06.07.2017 г. и биологической урожайности зеленой массы многолетних трав, собранных 04.07.2017 г. в полевых исследованиях на лимане, показал статистически значимую положительную связь между данными параметрами.

Урожайность зеленой массы многолетних трав определялась по общепринятой методике [7, 8] на пробных площадках лимана, представленных 44 точками. Регрессионная модель зависимости биологической урожайности естественного травостоя лимана от NDVI для данной территории представлена формулой

$$Y = 1012{,}2x - 110{,}67, \qquad (1)$$

где x – величина NDVI; y – урожайность зеленой массы травостоя, ц/га.

Коэффициент парной корреляции R равный 0,854 свидетельствует о тесной взаимосвязи между рассматриваемыми показателями; коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}730$ характеризует выбранную модель, как модель хорошего качества; расчетное значение критерия Фишера $F_{расч.} = 113{,}49$, значительно превышающее $F_{теор.} = 4{,}06$ (для $\alpha = 0{,}05$), указывает на высокую степень адекватности уравнения регрессии; уровень значимости $\alpha = 1{,}64015E\text{-}13$ подтверждает устойчивую зависимость функции y от воздействующего фактора x.

На основании расчетных модельных значений переменной по уравнению регрессии проведена группировка показателей биологической урожайности естественного травостоя лимана (10 групп) с присвоением каждой группе соответствующего диапазона индекса вегетации NDVI (табл. 2).

Таблица 2

Соответствие диапазонов значений индекса NDVI диапазонам значений биологической урожайности естественного травостоя лимана, 2017 г.

Диапазоны значений биологической урожайности естественного травостоя (зеленой массы)	Диапазоны значений NDVI
< 15 ц/га	0,000–0,125
от 15 до 25 ц/га	0,125–0,134
от 25 до 50 ц/га	0,134–0,159
от 50 до 75 ц/га	0,159–0,183
от 75 до 100 ц/га	0,183–0,208
от 100 до 125 ц/га	0,208–0,233
от 125 до 150 ц/га	0,233–0,258
от 150 до 175 ц/га	0,258–0,282
от 175 до 200 ц/га	0,282–0,307
> 200 ц/га	0,307–0,541

По результатам данной классификации осуществлено картографирование продуктивности сенокосов лимана и определены площадные характеристики выделенных диапазонов уровня урожайности зеленой массы многолетних трав (рис. 2). Площадь участков лимана с высокой урожайностью многолетних трав (более 100 ц/га зеленой массы) составила 813,6 га, или 21,0%. Данные участки отмечены преимущественно на клетках северной части лимана, где по результатам исследований 2016 г. было определено доминирование луговых фитоценозов среди растительных сообществ лиманных земель. Площадь участков лимана с низкой урожайностью многолетних трав (менее 25 ц/га зеленой массы) составила 880,8 га, или 22,7%. Эти участки отмечены в южной части территории лимана, на клетках 37–40, занятых преимущественно степными-полупустынными растительными ассоциациями.

Заключение

Таким образом, результаты проведения исследований по оценке современного состояния земель лиманного орошения с использованием спутниковых методов на примере лимана 49 с.о. Тайпак Урало-Кушумской оросительно-обводнительной системы позволили оценить режим затопления лимана, включая сроки, продолжительность и площадь затопления в целом и в разрезе отдельных чеков. В ходе проведения работ выявлены закономерности взаимосвязи значений вегетационного индекса NDVI, а также уровня водообеспеченности с ботаническими группами растительности лимана и биологической урожайностью естественного травостоя лимана. На основе интерпретации спутниковой информации и данных полевых геоботанических описаний проведено картографирование продуктивности сенокосов лимана и классификация растительных сообществ лимана до уровня ассоциаций.

Полученные результаты дают возможность объективно оценивать режим затопления, состояние и структуру естественного травостоя земель лиманного орошения в пределах зоны сухих степей Западного Казахстана, а также имеют большое значение для планирования мероприятий, направленных на сохранение лиманов и повышение их экологической устойчивости.

Список литературы

1. Об утверждении Концепции развития государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и земель, используемых или предоставленных для ведения сельского хозяйства в составе земель иных категорий, и формирования государственных информационных ресурсов об этих землях на период до 2020 года: распоряжение Правительства РФ от 30.07.2010 № 1292-р (ред. от 30.05.2014). – Режим доступа: http://government.ru/docs/all/73433 (дата обращения: 08.05.2018).

2. Украинский П.А. Практикум по автоматизированной обработке данных дистанционного зондирования: Пособие для студентов географических факультетов университетов / П.А. Украинский, Э.А. Терехин. – Белгород: Изд-во БелГУ, 2010. – 246 с.

3. Онаев М.К. Лиманное орошение в Западно-Казахстанской области / М.К. Онаев. – Уральск, 2011. – 110 с.

4. Мамин В.Ф. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга луговых лиманов / В.Ф. Мамин. – М.: ВНИИОЗ, 2001. – 30 с.

5. Сенчуков Г.А. Использование местного стока для орошения земель сельскохозяйственного назначения: научный обзор / Г.А. Сенчуков, В.Д. Гостищев, А.С. Капустян и др. – Новочеркасск: ФГНУ «РосНИИПМ», 2011. – 172 с.

6. Онаев М.К. Периодичность затопления и растительный покров лиманов Западно-Казахстанской области / М.К. Онаев, С.Е. Денизбаев, Ж.Б. Тасанова, Д.Т. Хабиев // Правовые, экономические и экологические аспекты рационального использования земельных ресурсов: сборник статей международной научно-практической конференции (19–20 мая 2016 г., Саратов). – Саратов: ООО «Буква», 2016. – С. 36–39.

7. Доспехов Б.А. Методика полевых опытов (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б.А. Доспехов. – М.: Альянс, 2011. – 352 с.

8. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами / ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса. – М., 1987. – 197 с.

References

1. Ob utverzhdenii Koncepcii razvitiya gosudarstvennogo monitoringa zemel` sel`skoxozyaj-stvennogo naznacheniya i zemel`, ispol`zuemy`x ili predostavlenny`x dlya vedeniya sel`skogo xo-zyajstva v sostave zemel` iny`x kategorij, i formirovaniya gosudarstvenny`x informacionny`x resursov ob e`tix zemlyax na period do 2020 goda: rasporyazhenie Pravitel`stva RF ot 30.07.2010 № 1292-r (red. ot 30.05.2014). – Rezhim dostupa: http://government.ru/docs/all/73433 (data obrashheniya: 08.05.2018).

2. Ukrainskij P.A. Praktikum po avtomatizirovannoj obrabotke danny`x distancionnogo zondirovaniya: Posobie dlya studentov geograficheskix fakul`tetov universitetov / P.A. Ukrainskij, E`.A. Terexin. – Belgorod: Izd-vo BelGU, 2010. – 246 p.

3. Onaev M.K. Limannoe oroshenie v Zapadno-Kazaxstanskoj oblasti / M.K. Onaev. – Ural`sk, 2011. – 110 p.

4. Mamin V.F. Metodicheskie rekomendacii po organizacii i vedeniyu monitoringa lugovy`x limanov / V.F. Mamin. – M.: VNIIOZ, 2001. – 30 p.

5. Senchukov G.A. Ispol`zovanie mestnogo stoka dlya orosheniya zemel` sel`skoxozyajstvennogo naznacheniya: nauchny`j obzor / G.A. Senchukov, V.D. Gostishhev, A.S. Kapustyan i dr. – Novocher-kassk: FGNU «RosNIIPM», 2011. – 172 p.

6. Onaev M.K. Periodichnost` zatopleniya i rastitel`ny`j pokrov limanov Zapadno-Kazaxstanskoj oblasti / M.K. Onaev, S.E. Denizbaev, Zh.B. Tasanova, D.T. Xabiev // Pravovy`e, e`konomicheskie i e`kologicheskie aspekty` racional`nogo ispol`zovaniya zemel`ny`x resursov: sbornik statej mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (19–20 maya 2016 g., Saratov). – Saratov: OOO «Bukva», 2016. – pp. 36–39.

7. Dospexov B.A. Metodika polevy`x opy`tov (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul`tatov issledovanij) / B.A. Dospexov. – M.: Al`yans, 2011. – 352 p.

8. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu polevy`x opy`tov s kormovy`mi kul`turami / VNII kor-mov im. V.R. Vil`yamsa. – M., 1987. – 197 p.

УДК 504.03:330.15(571.6)

АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В РЕГИОНАХ РОССИЙСКОГО ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Степанько Н.Г.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: sngreg25@mail.ru

Основой формирования направления, характера и режима природопользования является хозяйственная деятельность, сложившиеся производственно-природные отношения. Помимо хозяйственной деятельности эффективность природопользования формирует и природоохранная деятельность. И от того, как объективно-рационально она будет организована, как экономически она будет обеспечена, зависит дальнейшее эколого-социально-экономическое развитие региона. Российский Дальний Восток (РДВ) является привлекательным с точки зрения наличия и разнообразия природных ресурсов, географическое положение позволяет развивать и укреплять связи со странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Вышеперечисленные факторы определяют территориально-хозяйственную структуру РДВ и экологическую обстановку в регионах, которую в настоящий момент трудно назвать благоприятной. И поскольку регионы Дальнего Востока и в настоящее время, и в перспективе остаются в основном регионами ресурсной ориентации, антропогенный прессинг будет только усиливаться. Одним из основных факторов, обеспечивающих природоохранную деятельность, является экономическая составляющая, которая помимо целевых программ экологической направленности формируется текущими затратами и инвестициями на охрану окружающей среды и рациональное природопользование (ООС), призванные обеспечивать эколого-экономическую сбалансированность производственно-природных отношений. В представленной работе, используя расчетные экологические показатели, а также результаты анализа экологического состояния субъектов Российского Дальнего Востока (РДВ), проведен анализ экономической составляющей производственно-природных отношений.

Ключевые слова: Российский Дальний Восток (РДВ), производственно-природные отношения, природопользование, экология, индекс экономической достаточности

ANALYSIS OF ECONOMIC ENSURING OF ENVIRONMENTAL ACTIVITY IN THE REGIONS OF THE RUSSIAN FAR EAST

Stepanko N.G.

Pacific Institute of Geography Far Easten Branch Russian Academy of Science, Vladivostok, e-mail: sngreg25@mail.ru

The basis for the formation of the direction, nature and regime of nature management is economic activity, the existing production and natural relations. In addition to economic activities, the environmental management efficiency is also formed by nature protection activities. And on how objectively rational it will be organized, how economically it will be ensured, further ecological and socio-economic development of the region depends. The Russian Far East (WFD) is attractive in terms of the availability and diversity of natural resources, the geographical location allows developing and strengthening links with the countries of the Asia-Pacific region. The above factors determine territorial-economic structure of the RFE and the ecological situation in the regions, which at the moment is difficult to call favorable. And since the regions of the Far East both now and in the future remain, mainly, resource-oriented regions, anthropogenic pressure will only increase. One of the main factors contributing to environmental protection is the economic component, which, in addition to targeted environmental programs, is formed by current costs and investments in environmental protection and environmental management (EOS), designed to ensure the ecological and economic balance of production and natural relations. In the presented work, using the calculated environmental indicators, as well as the results of the analysis of the ecological state of the subjects of the Russian Far East (RDV), an analysis of the economic component of production and natural relations was carried out.

Keywords: Russian Far East (RFE), production and natural relations, nature management, ecology, economic sufficiency index

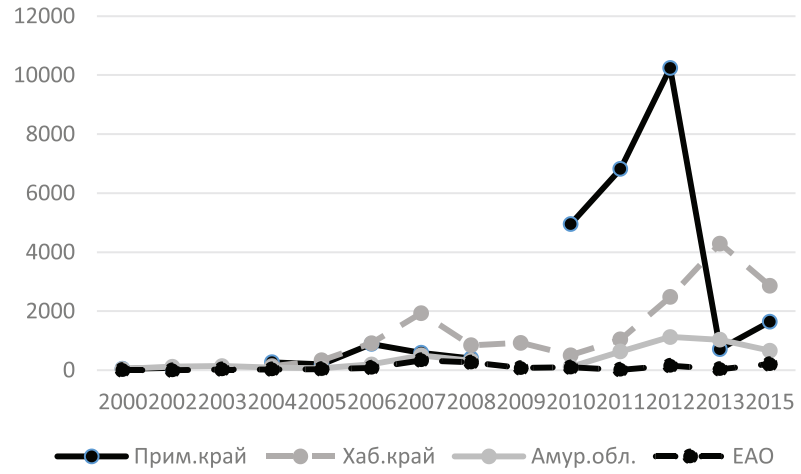
Возникновение и функционирование любой территориально-хозяйственной структуры базируется на природопользовании, которое можно свести к трем интегральным составляющим: использование (или потребление) природных ресурсов, воздействие на компоненты природной среды и комплекс природоохранных мероприятий. Парадигма устойчивого развития предполагает такое развитие, которое обеспечивает сбалансированность социально-экономического развития и сохранение благоприятного состояния окружающей среды, природно-ресурсного потенциала. Экологическое состояние территории формирует хозяйственная деятельность территориально-хозяйственных структур, то есть существующие на ней производственно-природные отношения.

К регионам Российского Дальнего Востока проявляется большой интерес, как со стороны федеральных структур, так и со стороны иностранных инвесторов. А поскольку рассматриваемый регион, как и прежде, представляет интерес прежде всего как источник ресурсов, дальнейшее развитие производственно-природных отношений (кото-

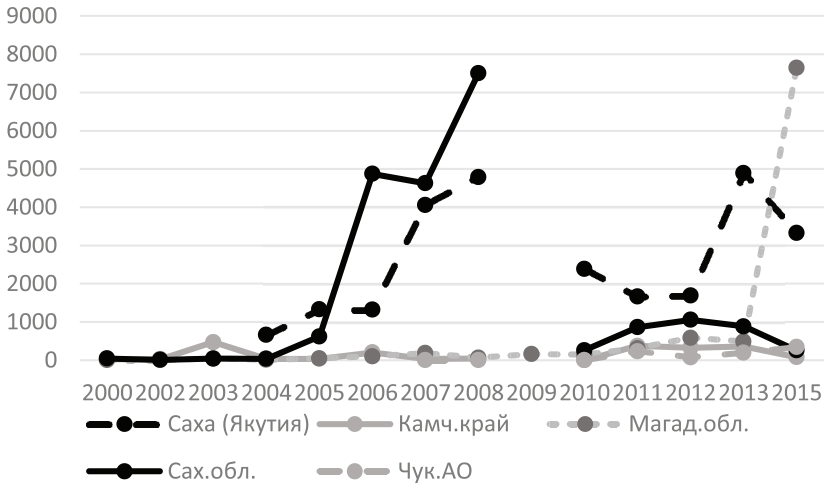
рые являются сутью природопользования) будет усиливать техногенный прессинг и, как следствие, ухудшать экологическое состояние регионов Дальнего Востока. В связи с этим важным и актуальным является рассмотрение экономической составляющей природоохранной деятельности, что и явилось целью данного исследования.

Материалы и методы исследования

Для рассматриваемых регионов в настоящее время выявлены: несбалансированность природопользования практически во всех субъектах, отсутствие соответствия развития и размещения материального производства, расселения населения и экологической емкости территорий. В силу обширности территории и, как следствие, наличия в регионе разнообразных природно-климатических условий, сезонной и многолетней мерзлоты и т.д. природные экосистемы Дальнего Востока значительно меньше устойчивы к антропогенным воздействиям, по сравнению с европейской частью России. Проведенный ранее анализ инвестиционных проектов показал, что по-прежнему охране окружающей среды (ООС) и рациональному природопользованию уделяется непозволительно мало внимания. Это дает основание утверждать, что существующий эколого-экономический дисбаланс будет усиливаться.



а)



б)

Рис. 1. Динамика инвестиций в ООС и рациональное природопользование в регионах РДВ

Эффективность природоохранной деятельности в регионах РДВ

Субъекты	∑ тек. затрат +, инвест. в основн. капитал на ООС и рац. прир-ие, млн руб. 2013/2014/2015	Экономич. оптимум, млн руб. (8% от ВРП) 2013/2014/2015	ВРП, млн руб. 2013/ 2014/2015 [2]	Индекс экономической достаточности (ИЭД) природоохранной деятельности (факт./оптимум) 2013/2014/2015
Республика Саха (Якутия)	4889,7/ 10772,3/ 10314,8	45530,5/ 52812,0/ 59999,0	569131,6/ 660150,0/ 749987,5	0,1/0,2/0,2
Приморский край	715,4/ 3069,2/ 3444,4	46049,2/ 51477,2/ 57332,0	575615,4/ 643464,9/ 716650,0	0,02/0,1/0,1
Хабаровский край	4290,4/ 3425,2/ 7245,6	37895,6/ 43943,1/ 45722,0	473695,2/ 549289,3/ 571524,8	0,1/0,1/0,2
Амурская область	1030,3/ 1042,3/ н/д	16898,0/ 18831,1/ 22150,2	211224,4/ 235388,8/ 276877,1	0,1/0,1/н/р
Камчатский край	355,5/ 690,0/ 393,8	10524,9/ 11633,6/ 13752,0	131560,6/ 145419,9/ 171900,1	0,03/0,1/0,03
Магаданская область	487,5/ 1082,8/ 7848,4	7079,2/ 7761,3/ 9967,8	88490,1/ 97015,6/ 124596,9	0,1/0,1/0,8
Сахалинская область	885,9/ 2644,9/ 5621,6	53902,0/ 63478,5/ 66343,9	673775,4/ 793481,6/ 829298,6	0,02/0,04/0,1
ЕАО	34,6/ 156,1/ 1884,8	3030,8/ 3339,3/ 3589,9	37885,4/ 41741,8/ 44873,3	0,01/0,1/0,5
Чукотский АО	196,3/ 452,3/ 264,0	3759,2/ 4524,5/ 5112,8	46989,7/ 56556,2/ 63910,2	0,1/0,1/0,1

Одним из основных факторов, обеспечивающих природоохранную деятельность, является экономическая составляющая, которая помимо целевых программ экологической направленности формируется текущими затратами и инвестициями на охрану окружающей среды и рациональное природопользование, призванными обеспечивать эколого-экономическую сбалансированность производственно-природных отношений. Экономическая составляющая (текущие затраты, инвестиции на ООС, их структура) рассматриваемых регионов в течение длительного времени не соответствует необходимой.

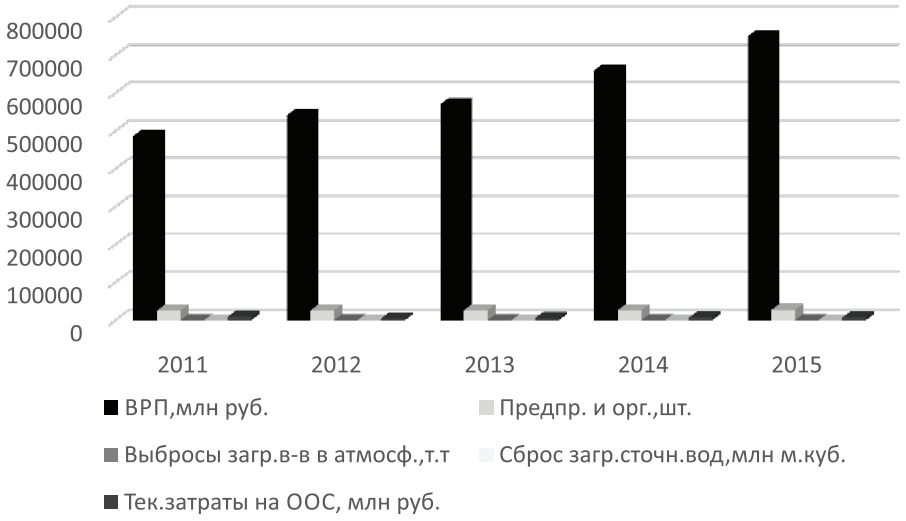
Результаты исследования и их обсуждение

Анализ динамики инвестиций в ООС и рационального природопользования показал, что в большинстве регионов в последние годы увеличения не наблюдается, за исключением Магаданской области и незначительного в Приморском крае (рис. 1, а, б). Пробелы в графиках объясняются отсутствием официальной статистической информации.

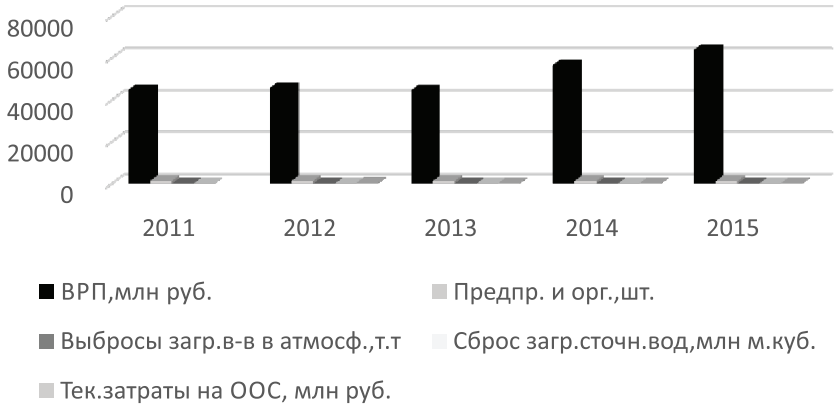
Предложенный ранее и рассчитанный индекс экономической достаточности природоохранной деятельности (ИЭД) [1] за три года по регионам РДВ варьирует в пределах от 0,01 до 0,2 при оптимальном значении – 1, за исключением Магаданской области и ЕАО, где в последнее время эти показатели значительно увеличились (таблица). Несмотря на рост ВРП, отсутствие снижения объемов загрязненных сбросов и выбросов, инвестиции на ООС и рациональное природопользование а также текущие затраты остаются на недопустимо низком уровне (например, рис. 2, а, б). Инвестиционная привлекательность дальневосточных регионов заметно возросла: Сахалинская, Магаданская, Амурская области, а также Хабаровский край и Саха (Якутия) вошли в группу «высокой инвестиционной привлекательности»; Приморский, Кам-

чатский края и Чукотский АО – в группу «средней инвестиционной привлекательности»; ЕАО – в группу «умеренной инвестиционной привлекательности [3]. Инвестиционные проекты ближайших 5–10 лет в дальневосточных регионах направлены в основном на развитие горнодобывающих и обрабатывающих отраслей, а проектов в области ООС и рационального природопользования крайне мало: только в Камчатском крае предусмотрены два проекта в этом направлении и один проект развития традиционных промыслов [4]. Это говорит о том, что техногенный прессинг в дальневосточных регионах будет усиливаться, а финансирование природоохранной деятельности, как на уровне предприятий, так и на региональном уровне, как и прежде, идет по остаточному принципу. А это значит, что рациональное, эффективное природопользование, без которого устойчивое развитие невозможно, для дальневосточных регионов в настоящее и ближайшее будущее время невозможно.

Помимо целевых программ, инвестиций и текущих затрат на ООС и рациональное природопользование определенной «помощью» в решении проблем в данной области могли бы быть и штрафы за нарушение экологического законодательства. В 2015 г. они составили (млн руб.): Приморский край – 6,4, Саха (Якутия) – 35,2, Хабаровский край – 0,3,



а)



б)

Рис. 2. Эколого-экономические составляющие производственно-природных отношений в Саха (Якутия) и Чукотском АО

Амурская область – 0,09, Камчатский край – 4,98, Магаданская область – 0,09, Сахалинская область – 3,8. Несмотря на то, что 90% от этих сумм остаются в бюджетах регионов (60% местный, 30% региональный), они зачисляются на счета экологических фондов, а отчетность по использованию средств не доступна или приводится в общем виде. Часто выплаченные штрафы не соответствуют предъявленным (например, в 2015 г. в Камчатском крае было предъявлено штрафов на сумму 205,7 млн руб., а выплачено – 4,98 млн руб.; в Магаданской области выставлено 0,17 млн руб., выплачено – 0,09 млн руб.). Невнесение в установленные сроки платежей также должно налагаться штрафом (статья 8.41, глава 8 КоАП РФ) [5], но ситуация остается на прежнем уровне.

Заключение

Экономика регионов РДВ имеет ресурсно-сырьевой характер. В районах Российского Дальнего Востока (РДВ), включая морской шельф, сосредоточено около 30% природно-ресурсного потенциала России, который наряду с географическим положением являются благоприятными предпосылками развития внешнеэкономических связей региона. Все эти факторы говорят о наличии больших возможностей и перспектив для успешного развития дальневосточных регионов, что, безусловно, повлечет усиление техногенного воздействия на природную среду и приведет к обострению существующих и возникновению новых экологических проблем. Поэтому необходимо достаточное экономическое обеспечение экологичности природопользования как на региональном уровне, так и на уровне отдельных видов производств, оно является одним из основных факторов предотвращения и ликвидации риска возникновения и развития экологического неблагополучия, обеспечения устойчиво-рационального развития производственно-природных отношений. Для этого должно быть:

1) целевое инвестирование в этот сектор с учетом существующих региональных и производственных проблем;

2) структура инвестиций на ООС и рациональное природопользование должны определяться существующими ситуациями;

3) использование средств (из всех источников) на ООС должно контролироваться соответствующими органами и отчетность должна быть доступной как для заинтересованных лиц, так и для населения;

4) необходимо внести изменения и дополнения в экологическое законодательство (значительно увеличить размеры штрафов за нарушение или невыполнение природоохранного законодательства, несвоевременную выплату штрафов; ужесточить меру наказания за экологические правонарушения, недостоверную экологическую информацию и др.);

5) при формировании пакета документов на создание какого-либо производства проведение экологической экспертизы должно быть обязательным для любого вида деятельности, а для производств I и II классов вредности сделать обязательной и общественную экологическую экспертизу.

Территория РДВ с сохранившимися природными ресурсами и естественными экосистемами, с ее человеческим, производственно-экономическим и научным потенциалом может стать хорошим «полигоном» реализации «зеленой экономики», а ее реализация зависит от активной позиции государственных и региональных органов, разработки налоговых льгот и других преференций для «зеленого» бизнеса, а главное – от строгого контроля за его выполнением и принятия предусмотренных законодательством результативных санкций.

Список литературы

1. Степанько Н.Г. Производственно-природные отношения в регионах Дальневосточного Севера / Н.Г. Степанько // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 4. – С. 120–125.

2. Валовой региональный продукт по субъектам Российской Федерации в 1998–2015 гг. – официальный сайт Федеральной службы государственной статистики. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts/ (дата обращения: 07.05.2018).

3. Итоги V ежегодного рейтинга инвестиционной привлекательности регионов России. URL: http://www.ra-national.ru/sites/default/files/analitic_article/% D0%98%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%B3%D0%B8%D0% BE%D0%BD%D1%8B%20 2017.pdf (дата обращения: 07.05.2018).

4. Инвестиционный портал Камчатского края. URL: http://investkamchatka.ru/ (дата обращения: 07.05.2018).

5. Административные правонарушения в области охраны окружающей природной среды и природопользования. КоАП РФ Глава 8. URL: Режим доступа: https://xn----stbmju3c.xn--p1ai/a139277-shtrafy-ekologii-koap.html (дата обращения: 07.05.2018).

References

1. Stepan`ko N.G. Proizvodstvenno-prirodny`e otnosheniya v regionax Dal`nevostochnogo Severa / N.G. Stepan`ko // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2017. – № 4. – pp. 120–125.

2. Valovoj regional`ny`j produkt po sub``ektam Rossijskoj Federacii v 1998–2015 gg. – oficial`ny`j sajt Federal`noj sluzhby` gosudarstvennoj statistiki. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/accounts/ (data obrashheniya: 07.05.2018).

3. Itogi V ezhegodnogo rejtinga investicionnoj privlekatel`nosti regionov Rossii. URL: http://www.ra-national.ru/sites/default/files/analitic_article/% D0%98%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B5%D0% B3%D0%B8%D0%BE%D0%BD%D1%8B%202017.pdf (data obrashheniya: 07.05.2018).

4. Investicionny`j portal Kamchatskogo kraya. URL: http://investkamchatka.ru/ (data obrashheniya: 07.05.2018).

5. Administrativny`e pravonarusheniya v oblasti oxrany` okruzhayushhej prirodnoj sredy` i prirodopol`zovaniya. KoAP RF Glava 8. URL: Rezhim dostupa: https://xn----stbmju3c.xn--p1ai/a139277-shtrafy-ekologii-koap.html (data obrashheniya: 07.05.2018).

УДК 551.311.3:551.510 (261.24)

ПОТОКИ ВЕЩЕСТВА ИЗ АТМОСФЕРЫ В БЕРЕГОВУЮ ЗОНУ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Топчая В.Ю., Чечко В.А.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: piwis@mail.ru

Представлены результаты натурных многолетних (2005–2015 гг.) исследований потоков вещества из атмосферы в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря. Исследования включали сбор и изучение снега, собранного на ледяном покрове Вислинского и Куршского заливов, дождевой воды, а также проб атмосферного материала, поступающего в береговую зону в сухую погоду («сухое осаждение»). Всего на десяти станциях была собрана и исследована 191 проба взвешенного в атмосфере вещества, осевшего различными способами на территорию береговой зоны. Установлено, что невысокие значения потоков – от 1,0 до 4,5 мг/м^2/сутки (в среднем 2,4 мг/м^2/сутки) характерны для зимнего сезона, когда взвешенные в воздухе частицы накапливаются в снеговом покрове в результате гравитационного осаждения или выпадения с атмосферными осадками в виде снега. Наибольшие значения потоков (в среднем 66,5 мг/м^2/сутки при колебаниях от 4,0 до 291,2 мг/м^2/сутки) типичны для «сухого осаждения» в теплый период года. В целом для всех типов осаждения величина вертикального потока атмосферного материала в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря составляет, в среднем 36 мг/м^2/сутки, или 13 г/м^2/год. Это примерно в пять раз выше среднего значения вертикального потока, полученного ранее (расчетным методом) для всего Гданьского бассейна (2,6 г/м^2/год), и более чем в 20 раз выше значения для Арктики (0,6 г/м^2/год). Полученные значения потока атмосферного материала в юго-восточной части Балтийского моря значительно ниже потоков, рассчитанных для южных регионов (для Северного Каспия они составляют около 109 г/м^2/год, а для дельты Волги – 200–450 г/м^2/год).

Ключевые слова: потоки осадочного вещества, атмосферный перенос, юго-восточная часть Балтийского моря

FLUXESOF MATTER FROM THE ATMOSPHERE TO THE COASTAL ZONE OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE BALTIC SEA

Topchaya V.Yu., Chechko V.A.

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: piwis@mail.ru

The results of many years (2005-2015) of studies of the fluxes of matter from the atmosphere to the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea are presented. The studies included the collection and study of snow collected on the ice cover of the Vistula and Curonian lagoons, rainwater, and also samples of atmospheric material entering the coastal zone in dry weather («dry sedimentation»). A total of 191 samples of suspended matter in the atmosphere were collected and analyzed at ten stations, sedimented in various ways to the coastal zone. It was found that low values of fluxes – from 1.0 to 4.5 mg/m^2/day (average 2.4 mg/m^2/day) are typical for the winter season, when suspended in the air particles accumulate in the snow cover as a result of gravitational deposition or sedimentation with atmospheric precipitation in the form of snow. The highest fluxes (on average, 66.5 mg/m^2/day for fluctuations from 4.0 to 291.2 mg/m^2/day) are typical for «dry deposition» in the warm period of the year. In general, for all types of deposition, the amount of vertical fluxes of atmospheric material to the coastal zone of the south-eastern part of the Baltic Sea on average 36 mg/m^2/day or 13 g/m^2/year. This is about five times higher than the average value of the vertical flux obtained earlier (by the calculation method) for the all Gdansk basin (2.6 g/m^2/year) and more than 20 times higher than the value for the Arctic (0.6 g/m^2/year). The obtained values of the flux of atmospheric material in the south-eastern part of the Baltic Sea are much lower than those calculated for the southern regions (for the Northern Caspian they are about 109 g/m^2/year, and for the Volga delta – 200-450 g/m^2/year).

Keywords: fluxes of particulate matter, atmospheric transport, the south-eastern part of the Baltic Sea

Атмосфера, наряду с гидросферой, является средой для транспортировки и перераспределения осадочного материала в виде взвешенных в атмосферном воздухе частиц различного генезиса и размера. Поступление в атмосферу частиц и их осаждение на подстилающую поверхность осуществляется постоянно, при этом более крупные из них подвергаются гравитационному осаждению, а мелкие преимущественно вымываются атмосферными осадками. В местах осаждения атмосферные вещества оказывают серьезное воздействие на окружающую среду, так как помимо минеральной и биогенной составляющих, в их составе присутствуют антропогенные частицы, образующиеся в результате деятельности человека [1–4].

Одним из основных показателей степени такого воздействия являются величины потоков вещества из атмосферы на подстилающую поверхность, дающие представление о пространственно-временной изменчивости количественного и вещественного состава частиц, осаждающихся при различных синоптических ситуациях. Показано [4], что сведения о величинах вертикальных потоков атмосферного материала могут служить критериями для оценки степени антропогенной нагрузки и, очевидно, в бу-

дущем станут основой для экологических исследований и мониторинга.

Для определения величин потоков атмосферного материала используют преимущественно вычислительный метод, дающий, как правило, ориентировочные значения. Это обусловлено недостаточностью прямых определений потоков, связанных с трудностями методического характера и отсутствием унифицированных методик исследований. В этой связи весьма интересными, на наш взгляд, могут быть результаты прямых измерений потоков атмосферного материала на территорию береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря, осуществляемых в течении нескольких лет. Этот регион открыт для господствующих ветров западных румбов, то есть расположен на пути трансграничного атмосферного переноса веществ от промышленно развитых европейских стран [5] и характеризуется как рекреационный и туристический объект. Именно здесь расположены крупнейшие для Балтийского моря прибрежные мелководные лагуны, а также уникальные Балтийская и Куршская песчаные косы, последняя из которых находится под защитой Конвенции об охране всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО. Этим, в частности, и обусловливается актуальность проведенных исследований.

В настоящей работе на основании результатов натурных измерений предпринята попытка оценки величин потоков осадочного вещества из атмосферы на подстилающую поверхность береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря.

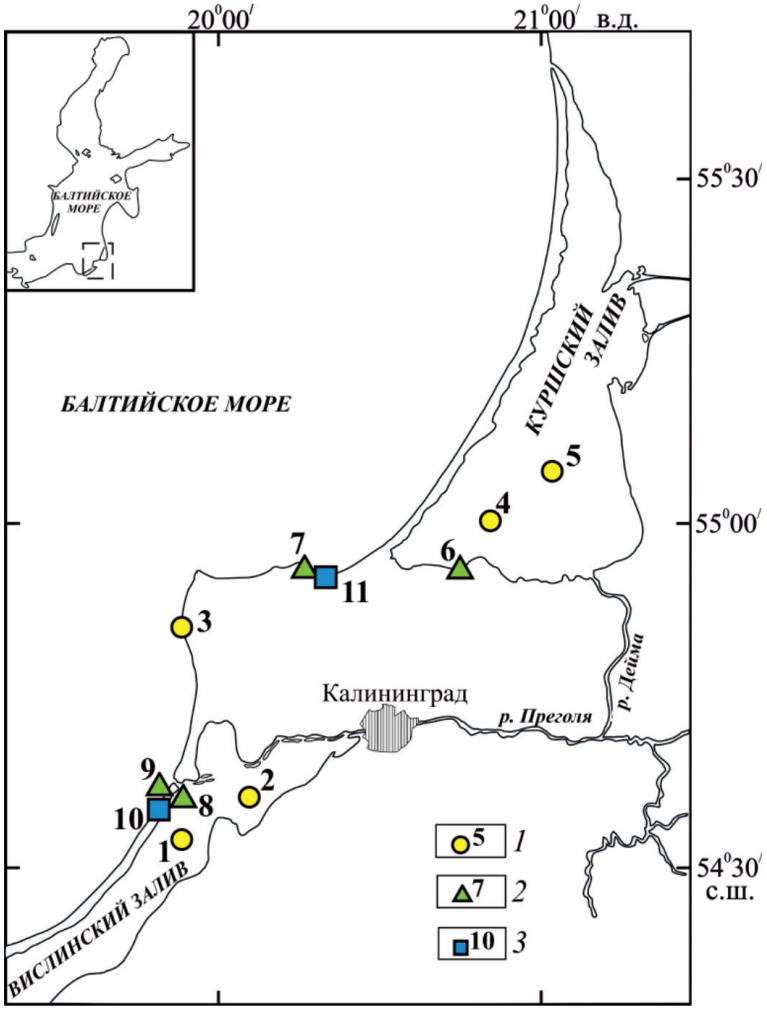


Рис. 1. Схема района исследований: 1 – местоположение точек сбора снега; 2 – местоположение точек сбора материала «сухого осаждения» в теплый период; 3 – местоположение точек сбора дождевой воды

Материалы и методы исследования

Исходными данными для настоящей работы послужила 191 проба взвешенного в атмосфере вещества, собранного авторами в ходе полевых исследований в 2005–2015 гг. на 10 станциях в береговой зоне юго-восточной части Балтийского моря (рис. 1). Взвешенные в воздухе частицы, как известно, могут поступать на подстилающую поверхность в результате гравитационного оседания, вымывания дождями и выпадения со снегом. Поэтому, для их сбора и последующей обработки применялись различные методики.

Сбор и изучение атмосферного материала, накапливающегося в снежном покрове, проводились по методикам, принятым в практике изучения аэрозолей в Арктике [4]. Пробы снега с ледового покрова заливов и прибрежного ледового припая отбирались в конце зимы с площадки 1 м^2 в полиэтиленовые мешки. В камеральных условиях снег растапливался, для выделения атмосферного вещества талая вода профильтровывалась через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм [6]. В дальнейшем определялась концентрация частиц в талой воде (мг/л), размерный и вещественный состав атмосферного материла (методом сканирующей электронной микроскопии), а также рассчитывались потоки вещества (мг/м^2/сутки) из атмосферы на подстилающую поверхность.

Сбор дождевой воды осуществлялся с помощью специального устройства, состоящего из укрепленных на треноге 2-х пластиковых сосудов-приемников воды диаметром 28 см, соединенных мягким шлангом для отвода собранной воды в накопительную емкость [7]. Пробы воды собирались, как правило, в начале дождя, продолжительность экспозиции составляла от 1,5 до 2-х часов. В тот же день в лабораторных условиях из полученных проб дождевой воды производилось выделение нерастворимых атмосферных частиц. Для этого вода профильтровывалась через мембранные фильтры с размером пор 0,45 мкм [6]. Затем определялась концентрация частиц в дождевой воде (мг/л), их размерный и вещественный состав и рассчитывались потоки вещества (мг/м^2/сутки).

Осадочные частицы, оседающие на водную поверхность естественным путем в сухую погоду (гравитационное, «сухое осаждение») улавливались с помощью плавающей ловушки [8], которая обеспечивала возможность получения материала в объемах, необходимых для выполнения различного вида анализов. Принцип действия ловушки основан на известном методе сбора аэрозолей нейлоновыми сетями, устанавливаемыми на исследовательских судах. В нашем случае сети были расположены горизонтально водной поверхности, примерно в 50 см над ней. Носителем сетей являлся плавучий корпус, на котором крепились 5 сетей, каждая из которой имела площадь 1 м^2. После необходимой экспозиции сети промывались бидистиллированной водой, нерастворимые частицы отделялись от воды фильтрованием через мембранные фильтры диаметром 47 мм с размером пор 0,45 мкм.

Для сбора частиц «сухого осаждения» также применился метод «плавающих ванночек». Суть его состояла в том, что на воду опускалась гирлянда из пластиковых ванночек с дистиллированной водой. После необходимой экспозиции вода из ванночек сливалась в стеклянную бутыль, доставлялась в стационарную лабораторию и подвергалась обработке согласно вышеописанной методике.

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание нерастворимых атмосферных частиц в дождевой воде изменялось от 1,2 до 10,1 мг/л и составляло в среднем для всего периода исследований (2008–2015 гг.) 5,0 мг/л (по 91 определению). Результаты натурных исследований не выявили значительных межгодовых колебаний их концентраций, в отличие от существенных сезонных изменений. Так, самые низкие содержания атмосферных частиц в дождевой воде (от 1,2 до 3,2 мг/л) регулярно отмечались в весенние месяцы, а наиболее высокие их значения (от 5,0 до 10,1 мг/л) – во второй половине лета или в начале осени.

Концентрация атмосферного материала, отложившегося за зимний период в снежном покрове на льду заливов и береговом припае, изменялась от 2,5 до 12,7 мг/л и равнялась в среднем для всего периода исследований (2006–2014 гг.) – 6,8 мг/л (по 40 определениям), что значительно выше значений (2,2 мг/л), полученных для снежного покрова Арктики [4]. Существенных межгодовых колебаний также не наблюдалось, однако были выявлены некоторые пространственные изменения в содержании атмосферных частиц. Так, например, если в снежном покрове Куршского залива их концентрация в среднем составляла 7,6 мг/л, то в снежном покрове Вислинского залива она не превышала 5,5 мг/л.

На основании данных по количественному содержанию были рассчитаны значения потоков атмосферных веществ на территорию береговой зоны (под потоком мы поднимем количество вещества, поступающего на единицу площади в единицу времени (мг/м^2/сутки). Из приведенных в таблице данных следует, что невысокие значения потоков – от 1,0 до 4,5 мг/м^2/сутки (в среднем 2,4 мг/м^2/сутки по 40 определениям) характерны для зимнего сезона, когда взвешенные в воздухе частицы накапливаются в снеговом покрове в результате гравитационного осаждения или выпадения с атмосферными осадками в виде снега. К отличительным особенностям потоков вещества в зимний период следует отнести незначительные межгодовые колебания их значений (рис. 2).

Наибольшие значения потоков (в среднем 66,5 мг/м^2/сутки по 72 определениям при колебаниях от 4,0 до 291,2 мг/м^2/сутки) типичны для «сухого осаждения» в теплый период года. При этом отчетливо прослеживается их межгодовая изменчивость: от 33–42 мг/м^2/сутки в 2005–2008 гг. до 130 мг/м^2 сутки в 2010 г. (рис. 2). Высокие средние значения потока в 2010 г. обусловлены, вероятно, аномально высокой температурой воздуха и засухами летом этого года над территорией Евразии, способствующими поступлению в атмосферу большого количества пыли.

Величины потоков «сухого осаждения» характеризуются хорошо выраженной сезонной динамикой. Самые низкие их значения регулярно определялись весной, когда атмосфера не была еще в полной мере насыщена аэрозольным материалом послезимнего сезона. Наиболее высокие значения отмечались во второй половине лета – начале осени, так как в это время, помимо дальнего переноса, важнейшим поставщиком эолового материала выступают местные, локальные источники.

Сезонная изменчивость была выявлена также в величинах потоков вещества, обусловленных дождевыми водами. В них постоянно фиксировались низкие значения в весенний и осенний сезоны, а наиболее высокие – в летний период.

Величина вертикального потока атмосферного материала в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря (для всех типов осаждения) составляет, по нашей оценке, в среднем 36 мг/м^2/сутки, или 13 г/м^2/год. Это примерно в пять раз выше среднего значения вертикального потока, полученного (расчетным методом) А.И. Блажчишиным [9] для всего Гданьского бассейна (2,6 г/м^2/год), и более чем в 20 раз выше значения для Арктики (0,6 г/м^2/год). В то же время значения потока атмосферного материала в юго-восточной части Балтийского моря значительно ниже значений, полученных для южных регионов. Так, например, для Северного Каспия они составляют около 109 г/м^2/год [10], а для дельты Волги – 200–450 г/м^2/год [11].

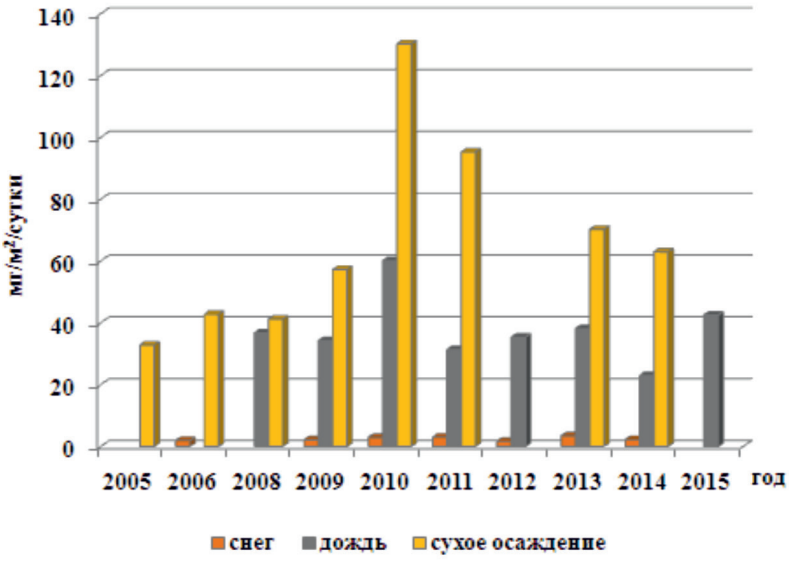


Рис. 2. Межгодовая изменчивость потоков осадочного материала из атмосферы в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря

Значения потоков осадочного вещества из атмосферы в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря в 2005–2015 гг.

Год	Количество проб	Величина потока, мг/м^2/сутки		
		Осаждение со снегом	Осаждение с дождем	Сухое осаждение
2005	9	–	–	32,8 (*n** – 9) 20,1–51,2
2006	14	1,9 (*n** – 5) 1,0–2,6	–	42,7 (*n* – 9) 19,7–76,2
2008	22	–	36,7 (*n* – 13) 7,3–98,7	41,2 (*n* – 9) 16,4–107,7
2009	25	1,7 (*n* – 5) 1,2–2,3	34,2 (*n* – 11) 8,1–75,0	57,2 (*n* – 9) 8,4–127,7
	5	2,1 (*n* – 5) 1,4–3,2	–	–
2010	22	2,9 (*n* – 5) 2,4–3,1	60,1 (*n* – 8) 12,8–121,2	130,2 (*n* – 9) 5,6–291,2
2011	23	3,0 (*n* – 5) 2,1–3,9	31,3 (*n* – 9) 7,3–77,5	95,2 (*n* – 9) 4,4–201,7
2012	14	1,6 (*n* – 5) 1,1–2,1	35,3 (*n* – 9) 13,6–70,5	–
2013	24	3,4 (*n* – 5) 2,5–4,5	38,1 (*n* – 10) 5,8–90,0	70,2 (*n* – 9) 10,4–157,7
2014	23	2,2 (*n* – 5) 1,8–2,7	22,9 (*n* – 9) 10,7–82,9	62,9 (*n* – 9) 4,0–129,6
2015	10	–	42,5 (*n* – 10) 21,4–72,6	–

Таким образом, прослеживается прямая связь между величиной вертикального потока атмосферного материала и климатическими условиями региона. В данном случае величина потока атмосферного материала в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря соответствует промежуточному значению между величиной потока в морях Арктики и морях, омывающих южные границы России. Арктические условия характеризуются незначительными поставками атмосферного осадочного материала, а климатические условия в южных регионах максимально способствуют воздушному переносу атмосферного осадочного материала (малое среднее годовое количество осадков, высокая средняя годовая температура воздуха, низкая относительная влажность атмосферы).

Заключение

На основании результатов натурных исследований определены многолетние (9 лет непрерывных исследований) величины потоков атмосферного осадочного вещества для береговой зоны юго-восточной части Балтийского моря, средняя величина потока составила 36 мг/м^2/сутки (13 г/м^2/год). Максимальные значения (в среднем 67 мг/м^2/сутки) типичны для теплого, а минимальные (в среднем 2 мг/м^2/сутки) – для холодного периода года. Для величин потоков в большей степени характерна сезонная, нежели межгодовая изменчивость, их значения, начиная с весеннего периода, неизменно возрастают, достигая наиболее высоких в конце лета – начала осени, а затем постепенно снижаются. Величина потока атмосферного материала в береговую зону юго-восточной части Балтийского моря соответствует промежуточному значению между величиной потока в морях Арктики и морях, омывающих южные границы России.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФАНО России (тема № 0149-2018-0001) при частичной поддержке РФФИ (проект № 14-27-00114-П).

Список литературы

1. Лисицын А.П. Аридная седиментация в Мировом океане. Рассеянное осадочное вещество атмосферы / А.П. Лисицын // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 10. – С. 1398–1439.

2. Shevchenko V.P., Vinogradova A.A., Lisitzin A.P., Novigatsky A.N., Panchenko M.V., Pol`kin V.V. Aeolian and ice transport of matter (including pollutants) in the Arctic // Implications and Consequences of Anthropogenic Pollution in Polar Environments From Pole to Pole / R. Kallenborn (editor). – Springer. – 2016. – P. 59–73.

3. Исследование нерастворимых частиц в снежном покрове Западной Сибири на профиле от Томска до эстуария Оби / В.П. Шевченко и [др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 28, № 6. – С. 499–504.

4. Атмосферные аэрозоли как источник осадочного вещества и загрязнений в Северном Ледовитом океане / В.П. Шевченко и [др.] // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития. – М.: Изд-во Московского университета, 2009. – С. 150–172.

5. Топчая В.Ю. Антропогенная нагрузка свинцом и кадмием на окружающую среду Калининградской области РФ – по данным ЕМЕР / В.Ю. Топчая, А.А. Виноградова // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12–7. – С. 1463–1467.

6. Стародымова Д.П. Вещественный и элементный состав нерастворимых частиц в снеге северо-западного побережья Кандалакшского залива Белого моря / Д.П. Стародымова, В.П. Шевченко, А.Г. Боев // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 12–2. – С. 449–453.

7. Чечко В.А. Методы исследований эолового материала в береговой зоне юго-восточной Балтики. / В.А. Чечко, В.Ю. Курченко // Создание и использование искусственных земельных участков на берегах и акватории водоемов. – Новосибирск: Труды межд. конференции, 2009. – С. 175–180.

8. Чечко В.А. Изучение потоков аэрозолей с помощью плавающей ловушки / В.А. Чечко, В.Ю. Курченко // Метеорология гидрология. – 2008. – № 11. – С. 85–89.

9. Блажчишин А.И. Баланс осадочного материала в Гданьском бассейне Балтийского моря / А.И. Блажчишин // Литология и полезные ископаемые. – 1984. – № 5. – С. 67–76.

10. Хрипунов И.А. Роль эоловой аккумуляции в донных отложениях северного Каспия / И.А. Хрипунов // Труды ВНИРО. – 1974. – Т. 101. – С. 32–35.

11. Бруевич С.В. Атмосферная пыль над Каспийским морем (к вопросу о морском осадкообразовании) / С.В. Бруевич, М.П. Гудков // Известия АН СССР. Серия: география. – 1954. – № 4. – С. 18–28.

References

1. Lisicyn A.P. Aridnaya sedimentaciya v Mirovom okeane. Rasseyannoe osadochnoe veshhestvo atmosfery`/ A.P. Lisicyn // Geologiya i geofizika. – 2011. – T. 52, № 10. – pp. 1398–1439.

2. Shevchenko V.P., Vinogradova A.A., Lisitzin A.P., Novigatsky A.N., Panchenko M.V., Pol`kin V.V. Aeolian and ice transport of matter (including pollutants) in the Arctic // Implications and Consequences of Anthropogenic Pollution in Polar Environments From Pole to Pole / R. Kallenborn (editor). – Springer. – 2016. – pp. 59–73.

3. Issledovanie nerastvorimy`x chasticz v snezhnom pokrove Zapadnoj Sibiri na profile ot Tomska do e`stuariya Obi / V.P. Shevchenko i [dr.] // Optika atmosfery` i okeana. – 2015. – T. 28, № 6. – pp. 499–504.

4. Atmosferny`e ae`rozoli kak istochnik osadochnogo veshhestva i zagryaznenij v Severnom Ledovitom okeane / V.P. Shevchenko i [dr.] // Sistema morya Laptevy`x i prilegayushhix morej Arktiki: sovremennoe sostoyanie i istoriya razvitiya. – M.: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 2009. – pp. 150–172.

5. Topchaya V.Yu. Antropogennaya nagruzka svinczom i kadmiem na okruzhayushhuyu sredu Kaliningradskoj oblasti RF – po danny`m EMER / V.Yu. Topchaya, A.A. Vinogradova // Fundamental`ny`e issledovaniya. – 2014. – № 12–7. – pp. 1463–1467.

6. Starody`mova D.P. Veshhestvenny`j i e`lementny`j sostav nerastvorimy`x chasticz v snege severo-zapadnogo poberezh`ya Kandalakshskogo zaliva Belogo morya / D.P. Starody`mova, V.P. Shevchenko, A.G. Boev // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2016. – № 12–2. – pp. 449–453.

7. Chechko V.A. Metody` issledovanij e`olovogo materiala v beregovoj zone yugo-vostochnoj Baltiki / V.A. Chechko, V.Yu. Kurchenko // Sozdanie i ispol`zovanie iskusstvenny`x zemel`ny`x uchastkov na beregax i akvatorii vodoemov. – Novosibirsk: Trudy` mezhd. Konferencii, 2009. – pp. 175–180.

8. Chechko V.A. Izuchenie potokov ae`rozolej s pomoshh`yu plavayushhej lovushki / V.A. Chechko, V.Yu. Kurchenko // Meteorologiya gidrologiya. – 2008. – № 11. – pp. 85–89.

9. Blazhchishin A.I. Balans osadochnogo materiala v Gdan`skom bassejne Baltijskogo morya / A.I. Blazhchishin // Litologiya i polezny`e iskopaemy`e. – 1984. – № 5. – pp. 67–76.

10. Xripunov I.A. Rol` e`olovoj akkumulyacii v donny`x otlozheniyax severnogo Kaspiya. / I.A. Xripunov // Trudy` VNIRO. – 1974. – T. 101. – pp. 32–35.

11. Bruevich S.V. Atmosfernaya py`l` nad Kaspijskim morem (k voprosu o morskom osadkoobrazovanii) / S.V. Bruevich, M.P. Gudkov // Izvestiya AN SSSR. Seriya: geografiya, – 1954. – № 4. – pp. 18–28.

УДК 556.114.6(571.55)

ХАРАКТЕРИСТИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ И В ОКРЕСТНОСТЯХ ГОРОДА ЧИТЫ

Усманова Л.И.

ФГБУН Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, e-mail: larisaum@mail.ru

Источниками антропогенного воздействия на поверхностные водотоки в пределах городской территории являются хозяйственно-бытовые сточные воды, сточные воды промышленных производств, отходы теплоэнергетических предприятий, поверхностный сток и т.д. Цель работы – выявить основные источники загрязнения речных вод в г. Чите и вблизи него, определить степень их влияния на водные объекты в конкретный период времени. По результатам разового опробования речных вод в пределах г. Читы и его окрестностей дана характеристика их химического состава. Оценка экологического состояния водотоков осуществлена на основе сравнения полученных аналитических данных с нормативами (ПДК) для вод водных объектов рыбохозяйственного значения как наиболее жестких. Опробование в мае 2011 г. выполнялось в глубокую межень, в июне 2010 г. – при большем участии атмосферного питания в речном стоке, что отразилось в разнице анионного состава (типе воды), величине минерализации и т.д. В результате исследования установлено, что городские очистные сооружения, гидрозолоотвал Читинской ТЭЦ-1 и селитебная территория оказывают наибольшее влияние на химический состав исследуемых водотоков, о чем свидетельствует рост концентраций азота в виде аммония, нитритов, нитратов и фосфора р. Читы в приустьевой части и р. Ингоды ниже их слияния, сульфатов, общей минерализации и фтора в приустьевой части р. Кадалинки и т.д. Степень антропогенного влияния на водотоки в пределах города и окрестностей в периоды опробования по результатам химико-аналитических исследований умеренная. Химические показатели чаще всего не превышают ПДК или превышают незначительно. Выше города, в черте и ниже него отмечается разный уровень загрязнения речных вод. В первом случае он характеризуется более низкими концентрациями загрязняющих компонентов.

Ключевые слова: речные воды, источники загрязнения, химический состав

CHARACTERISTICS OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF RIVER WATERS IN AND AROUND THE CITY OF CHITA

Usmanova L.I.

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, e-mail: larisaum@mail.ru

Sources of anthropogenic impact on surface watercourses within the urban area are domestic sewage, industrial wastewater, waste from thermal power plants, surface runoff, etc. The purpose of the work is to identify the main sources of pollution of river waters in the city of Chita and near it, to determine the degree of their impact on water bodies in a particular period of time. Based on the results of one-time testing of river water within the city of Chita and its environs, the characteristic of their chemical composition is given. Assessment of the ecological state of watercourses was carried out on the basis of comparison of the obtained analytical data with the norms (MPC) for waters of water objects of fishery importance as the most stringent. Testing in May 2011 was carried out at a very low level, in June 2010 – with greater participation of atmospheric feed in the river flow, which was reflected in the difference in anionic composition (type of water), the value of mineralization, etc. As a result of the study, it has been established that the city treatment facilities, Chitinskaya HPS-1 dump ash and the residential area have the greatest influence on the chemical composition of the investigated watercourses, as evidenced by the growth of nitrogen concentrations in the form of ammonium, nitrites, nitrates and phosphorus of the Chita river in the mouth area and of the Ingoda river are below their confluence; sulfates, total mineralization and fluorine in the mouth of the Kadalinka river, etc. The degree of anthropogenic impact on watercourses within the city and the environs during the periods of testing based on the results of chemical-analytical studies is moderate. Chemical indicators most often do not exceed the MPC or exceed slightly. Above the city, within and below it, there is a different level of pollution of river waters. In the first case, it is characterized by lower concentrations of pollutants.

Keywords: river waters, sources of pollution, chemical composition

Антропогенная деятельность на водосборах и в руслах рек сопровождается поступлением различных солей и органических соединений и, как следствие, изменением химического состава вод, который сформировался в определённых физико-географических условиях данной территории. В зависимости от целей использования воды (хозяйственно-питьевого, промышленного, сельскохозяйственного водоснабжения, орошения, рекреации) требования к её гидрохимическим показателям будут различны и, как правило, решающим фактором, определяющим пригодность воды для того или иного вида водопользования, является её химический состав [1]. В формировании гидрохимического состава водотока в пределах городской черты часто основную роль играют не локальные, а расположенные выше по течению антропогенные источники [2].

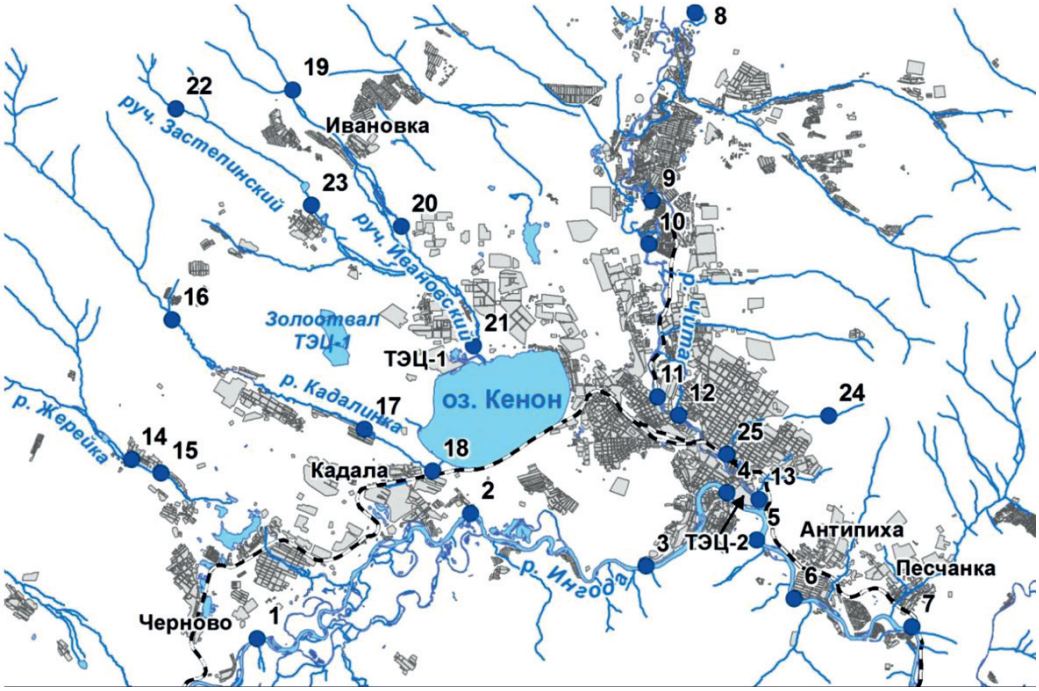


Рис. 1. Карта-схема гидрохимического опробования водотоков в пределах г. Читы и окрестностей

Необходимо отметить, что по данным только химического анализа нельзя судить о реальной токсичности воды, под которой понимают качество воды, обусловленное наличием в ней токсических веществ и характеризующее ее способность нарушать жизнедеятельность водных организмов [3].

Речная сеть в пределах исследуемой площади представлена бассейнами реки Ингоды и её левого притока Читы (рис. 1).

Формирование химического состава речных вод происходит на территории, сложенной верхнепермскими метавулканитами кислого и среднего состава с маломощными горизонтами метабазальтов, нижнемеловыми осадочными породами с изменчивым количеством угленосных горизонтов и базальтов и их туфов, разновозрастными интрузивными породами [4].

Источниками питания рек являются атмосферные осадки и подземные воды. На долю дождевого питания приходится в среднем 80 %, подземного – от 5 до 16–18 %, снегового – от 5 до 14 % [5]. В маловодные годы доля грунтовых вод в питании рек возрастает.

Материалы и методы исследования

Гидрохимическая характеристика поверхностных вод приведена по результатам опробования ГУП «Забайкалгеомониторинг» за 2010 г. и ИПРЭК СО РАН за 2011 г. Сеть опробования охватывала рр. Ингоду (точки 1–7, рис. 1), Читу (точки 8–13), их притоки, р. Кадалинку и ручьи, впадающие в оз. Кенон (точки 14–25) По трем водотокам – рр. Кадалинке, Жерейке, руч. Ивановскому – точки опробования совпадают или близко расположены.

Водные пробы ГУП «Забайкалгеомониторинг» на макрокомпоненты, некоторые дополнительные показатели (pH, окисляемость перманганатная, кремний, фтор, физические свойства) анализировались в Лабораторно-исследовательском центре по изучению минерального сырья (ОАО «ЛИЦИМС»), имеющем аттестат аккредитации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. Использовались методики ГОСТ 4389-72, 4192-82, 3351-74; ПНДФ 14.1:2:4.138-98, 14.1:2:4.139.98; НСАМ 335-г.

Химико-аналитические исследования водных проб ИПРЭК СО РАН выполнены в лаборатории геоэкологии и гидрогеохимии этого же Института, сертифицированной на выполнение анализов природных вод (Свидетельство № 12, выдано ФГУ «Читинский центр стандартизации, метрологии и сертификации» 29 ноября 2010 г.). Для анализа использовался аналогичный комплекс методов и методик.

Наименование химического типа вод дано по преобладающим (свыше 20 мг-экв%) анионам и катионам в порядке возрастания их содержаний.

Результаты исследования и их обсуждение

Река Ингода. На исследованном отрезке русла по данным 2010 г. вода гидрокарбонатная (табл. 1) с изменяющимся катионным составом при доминировании кальция, ниже впадения р. Читы (точка 5) основным катионом становится натрий.

В этой точке идет резкое повышение минерализации, основных анионов, Na^+ и Ca^{2+} (рис. 2), что отражает влияние сброса сточных вод с очистных сооружений города.

Ниже по течению в створе п. Антипиха все показатели, кроме магния, лишь немногим превышали значения до впадения р. Чита. Величина pH по течению реки изменялась незакономерно. По общей жесткости вода р. Ингоды мягкая, в пробе ниже слияния жесткость составляла 1,20, в остальных пробах была одинаковой – 0,70 мг-экв/л, несмотря на некоторые колебания концентраций кальция и магния по пробам.

Перманганатная окисляемость по пунктам опробования выше слияния постепенно нарастала с 4,16 до 6,48 мгO_2/л, ниже слияния незначительно увеличилась до 6,72, затем последовательно снизилась до 6,24 и 6,08 мгO_2/л. Судя по этому показателю, содержание легко окисляемых органических веществ в сточных водах низкое.

Максимальные содержания нитратов и нитритов с превышением ПДК [6] последних, общего фосфора отмечаются в точке ниже слияния рек (табл. 1); наибольшие концентрации аммония без превышения величины ПДК наблюдаются в этой же точке и месте забора воды из реки в оз. Кенон (точка 2).

Река Чита. Химический состав речной воды по данным опробования 23.05.2011 г. на всем изученном отрезке от с. Верх. Чита, исключая приустьевую часть, повсеместно был сульфатно-гидрокарбонатным натриево-кальциевым (табл. 2), тогда как в июне 2010 г. по пробам ГУП «Забайкалгеомониторинг» он был гидрокарбонатным при том же составе катионов до сброса сточных вод, ниже превалирующим стал натрий.

Таблица 1

Химический состав р. Ингоды по данным ГУП «Забайкалгеомониторинг»

№ точек опробования	Формула солевого состава воды	NH_4^+	NO3-	NO_2^-	Робщ.
		мг/л			
1	$M_{0,07}\frac{HCO_3 86}{Ca48Mg24Na22}pH7,65$	0,14	<ПО	0,005	<ПО
2	$M_{0,09}\frac{HCO_3 85}{Ca51Na22Mg20}pH7,72$	0,40	<ПО	0,020	<ПО
3	$M_{0,08}\frac{HCO_3 84SO_4 12}{Ca43Mg32Na18}pH7,52$	0,26	<ПО	0,014	<ПО
4	$M_{0,08}\frac{HCO_3 84SO_4 12}{Ca43Mg32Na18}pH7,52$	0,30	<ПО	0,009	<ПО
5	$M_{0,19}\frac{HCO_3 62SO_4 18Cl15}{Na43Ca39Mg13}pH7,38$	0,40	3,43	3,43	0,82
6	$M_{0,08}\frac{HCO_3 78SO_4 14}{Ca62Na20Mg10}pH7,32$	0,21	<ПО	0,084	<ПО
7	$M_{0,09}\frac{HCO_3 79SO_4 15}{Ca50Na23Mg20}pH7,39$	0,18	0,54	0,008	0,09

Примечание. ПО – предел обнаружения.

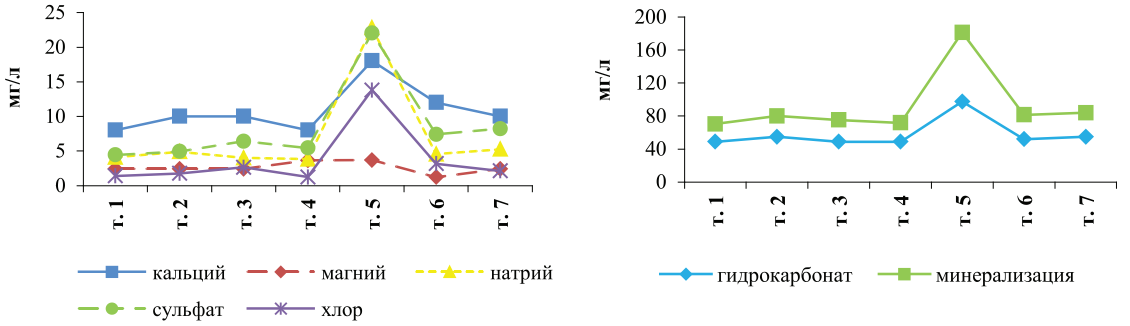


Рис. 2. Изменение содержаний макрокомпонентов и минерализации воды р. Ингоды по данным ГУП «Забайкалгеомониторинг»

Таблица 2

Химический состав р. Читы по данным ИПРЭК СО РАН

№ точек опробования	Формула солевого состава воды	NH_4^+	NO3-	NO_2^-	$P_{общ.}$	ПО
		мг/л				
8	$M_{0,07}\frac{HCO_3 72 SO_4 20}{Ca61 Na21 Mg16} pH 7,43$	0,14	0,52	0,012	0,073	2,8
9	$M_{0,08}\frac{HCO_3 67 SO_4 24}{Ca62 Na21 Mg16} pH 7,52$	0,25	0,49	0,012	0,070	2,6
10	$M_{0,09}\frac{HCO_3 63 SO_4 28}{Ca62 Na22 Mg16} pH 7,75$	0,27	0,52	0,015	0,070	2,7
11	$M_{0,10}\frac{HCO_3 62 SO_4 29}{Ca62 Na23 Mg16} pH 7,71$	0,18	0,52	0,012	0,065	2,0
12	$M_{0,09}\frac{HCO_3 62 SO_4 27}{Ca60 Na23 Mg17} pH 7,70$	0,45	0,62	0,017	0,075	2,2
13	$M_{0,12}\frac{HCO_3 72 SO_4 14}{Ca46 Na37 Mg16} pH 7,94$	0,92	3,25	0,100	0,30	3,5

Примечание. ПО – перманганатная окисляемость.

Разницу в анионном составе по годам можно объяснить большей долей подземного питания водами мезозойских отложений с более высоким содержанием сульфатов в текущем году в сравнении с прошлым годом. Опробование в 2011 г. выполнялось в глубокую межень, тогда как в июне 2010 г. – при большем участии атмосферного питания в речном стоке. Это видно из сравнения минерализации речной воды по двум совпадающим точкам опробования. У моста на федеральной автотрассе (точка 9) она была соответственно 79,7 и 65,9 мг/л, у моста на объездной автотрассе (точка 10) – 90,2 и 71,2 мг/л. Отмечается более низкая концентрация сульфатов в воде в замыкающем створе, чем на подходе реки к городу (рис. 3), что, скорее всего, связано с разбавлением речной воды сточными водами с более низким содержанием сульфатов вследствие бактериального восстановления их до сероводорода на иловых площадках и выпадения в осадок в виде сульфидов металлов, главным образом железа [7].

Содержания других макрокомпонентов, за исключением кальция в последних двух точках, и величина минерализации воды по течению реки закономерно растут. Резкий рост содержаний натрия и хлоридов ниже очистных сооружений (точка 13) указывает на поступление их со сточными водами и служит признаком хозяйственно-

бытового и фекального загрязнения. К таким же показателям относится и фосфор. При концентрациях 0,070–0,075 мг/л до сброса сточных вод ниже его концентрация возросла в 4 раза (табл. 2). Содержания аммония и нитритов в этой точке превышают ПДК. В 2010 г. ниже сброса с очистных сооружений соединения азота определены в концентрациях (мг/л): нитриты – 18,06; аммоний – 2,63 и нитраты – 20,77, фосфор – 1,96.

Минерализация воды в пробе 2010 г. на слиянии с р. Ингодой достигала 629 мг/л, при этом содержания всех макрокомпонентов выросли до (мг/л): Na^+ – 98,8; K^+ – 11,0; Ca^{2+} – 48,1; Mg^{2+} – 14,6; Cl^- – 61,5; SO_4^{2-} – 85,1; HCO_3^- – 268,4. Почти пятикратный рост ее в сравнении с данными ИПРЭК СО РАН (116,5 мг/л, рис. 3) показывает, что уровень загрязнения р. Читы сточными водами колеблется в широких пределах и зависит от двух факторов – расхода самой реки и режима сброса сточных вод, который в суточном цикле и по сезонам существенно меняется.

По преобладающему в анионном составе рек Ингода и Чита гидрокарбонат-иону, а среди катионов – кальцию, воды относятся к гидрокарбонатному классу к группе кальциевых вод с малой величиной минерализации до 200 мг/л [8].

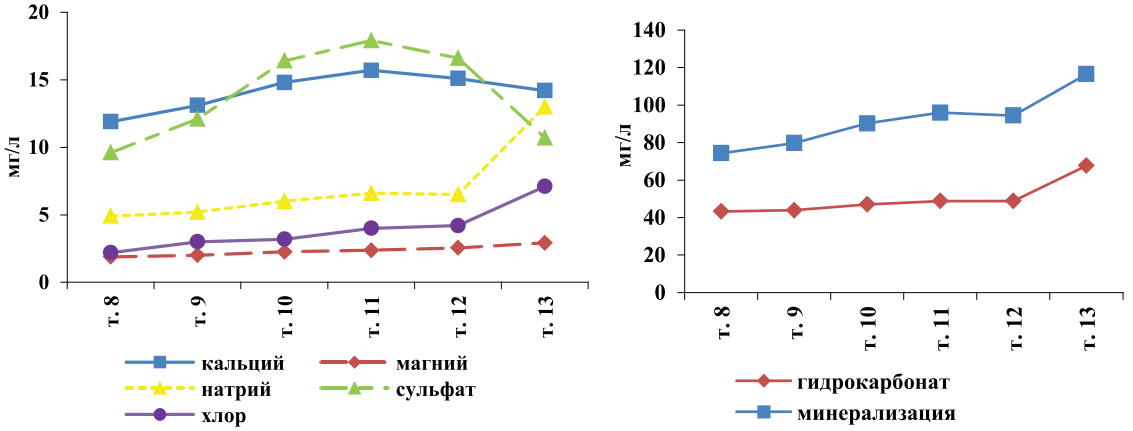


Рис. 3. Изменение концентраций макрокомпонентов и минерализации р. Читы по данным ИПРЭК СО РАН

Таблица 3

Химический состав малых водотоков по данным 2010 г.

Объект	№ точек опробования	Формула солевого состава воды	NH_4^+	NO3-	NO_2^-	$P_{общ.}$	ПО
			мг/л				
Р. Жерейка	14	$M_{0,13}\frac{HCO_3 87\, SO_4 11}{Ca46Mg26Na22}\, pH7{,}89$	0,27	<ПО	0,007	<ПО	10,4
	15	$M_{0,49}\frac{HCO_3 53\, SO_4 44}{Mg41Ca36Na20}\, pH8{,}23$	0,29	0,60	0,024	<ПО	7,20
Р. Кадалинка	16	$M_{0,11}\frac{HCO_3 83\, SO_4 15}{Ca71Na16}\, pH7{,}72$	0,18	<ПО	0,005	<ПО	4,40
	17	$M_{0,18}\frac{HCO_3 89}{Ca59Mg20Na17}\, pH8{,}14$	0,25	<ПО	0,008	<ПО	5,92
	18	$M_{0,84}\frac{SO_4 50\, HCO_3 45}{Ca47Mg40Na13}\, pH8{,}30$	0,11	0,90	0,11	<ПО	5,28

Окончание табл. 3

Объект	№ точек опробования	Формула солевого состава воды	NH_4^+	NO3-	NO_2^-	Робщ.	ПО
			мг/л				
Руч. Ивановский	19	$M_{0,14}\frac{HCO_3 80 SO_4 18}{Ca60 Na20 Mg18} pH7{,}92$	<0,05	<ПО	0,006	<ПО	2,72
	20	$M_{0,67}\frac{HCO_3 91}{Mg46 Ca39 Na12} pH8{,}17$	0,33	0,80	0,007	<ПО	13,0
	21	$M_{0,48}\frac{HCO_3 92}{Ca48 Mg33 Na16} pH8{,}07$	0,50	0,50	0,33	<ПО	11,2
Руч. Застепинский	22	$M_{0,06}\frac{HCO_3 77 SO_4 18}{Ca54 Na24 Mg14} pH7{,}33$	0,13	<ПО	0,005	<ПО	4,16
	23	$M_{0,56}\frac{HCO_3 88}{Ca46 Mg42} pH8{,}15$	0,12	0,60	0,041	<ПО	5,28
Руч. Кайдаловский*	24	$M_{0,07}\frac{HCO_3 51 SO_4 40}{Ca62 Na22 Mg16} pH7{,}4$	0,62	0,65	0,019	0,088	7,80
	25	$M_{0,32}\frac{HCO_3 66 SO_4 22}{Na60 Ca31} pH8{,}36$	0,65	1,96	0,020	0,080	1,10

Примечание. * – данные ИПРЭК СО РАН.

При опробовании *малых водотоков* отмечается рост минерализации и макрокомпонентов по течению, но масштабы и причины роста различны. Исключение составляет ручей Ивановский, по которому в 2010 г. максимальные значения пришлись на его среднюю часть (рис. 4, 5). В верхних точках воды ручьев в большинстве случаев имели гидрокарбонатный состав (табл. 3).

Минерализация воды *малых водотоков* изменялась от 63,5 мг/л в руч. Застепинском до 836,5 мг/л в приустьевой части р. Кадалинка, гидрокарбонатно-сульфатный состав и высокая минерализация воды которой обусловлены дренированием инфильтрационных вод гидрозолоотвала ТЭЦ-1 [9]. В створе взлетно-посадочной полосы (точка 17) аэропорта вода имела гидрокарбонатный состав и минерализацию 184,2 мг/л.

Высокая минерализация воды в низовьях руч. Ивановского (477,1–667,5 мг/л) и Застепинского (560,1 мг/л) при гидрокарбонатном составе отражает, очевидно, гидрогеохимические особенности этого района, причиной которых может быть повышенная карбонатность водовмещающих осадочных пород мезозоя.

Повышенные минерализация (490 мг/л) и сульфатность (144 мг/л) воды р. Жерейка частично может быть обусловлена дренированием подземных вод района Черновского угольного месторождения, тогда как рост этих показателей по руч. Кайдаловский – результат влияния селитебной территории.

По данным атомно-абсорбционного анализа концентрации тяжелых металлов в речных водах изученной территории изменялись, как правило, в узких пределах, не обнаруживая взаимосвязи с распределением макрокомпонентов и других физико-химических показателей, в том числе характеризующих антропогенное загрязнение. Конкретные значения концентраций по элементам составляли (в мкг/л): Sr – 0,03–0,31; Fe – 31,9–51,7; Mn – 0,40–7,0; Zn – 3,9–8,7; Pb – <0,18–1,58; Cu – 0,27–0,53; Ni – 1,08–1,51; Al – 7,9–41,0. По максимуму эти значения не выходят за пределы ПДК для рыбохозяйственных водоемов и фоновых значений для подземных вод данных ландшафтно-климатических условий [10]. Такое положение объяснимо, поскольку в городе отсутствуют производства, основанные на значительном потреблении черных или цветных металлов.

Выводы

Сброс сточных вод с городских очистных сооружений является наиболее значимым источником загрязнения р. Читы в приустьевой части и р. Ингоды ниже их слияния при низких уровнях воды. Показателями этого типа загрязнения в первую очередь являются биогенные элементы – азот в виде аммония, нитритов, нитратов и фосфор, а также сульфаты и хлориды. Уровень загрязнения колеблется в зависимости от соотношения расходов рек и объемов сбрасываемых стоков и значительно изменяется во времени.

Инфильтрационные воды гидрозолоотвала ТЭЦ-1 по потоку подземных вод разгружаются в р. Кадалинке, значительно изменяя гидрохимические характеристики реки, и естественно оз. Кенон. Основным показателем загрязнения является рост концентраций в приустьевой части водотока сульфатов, общей минерализации, а из микрокомпонентов – фтора.

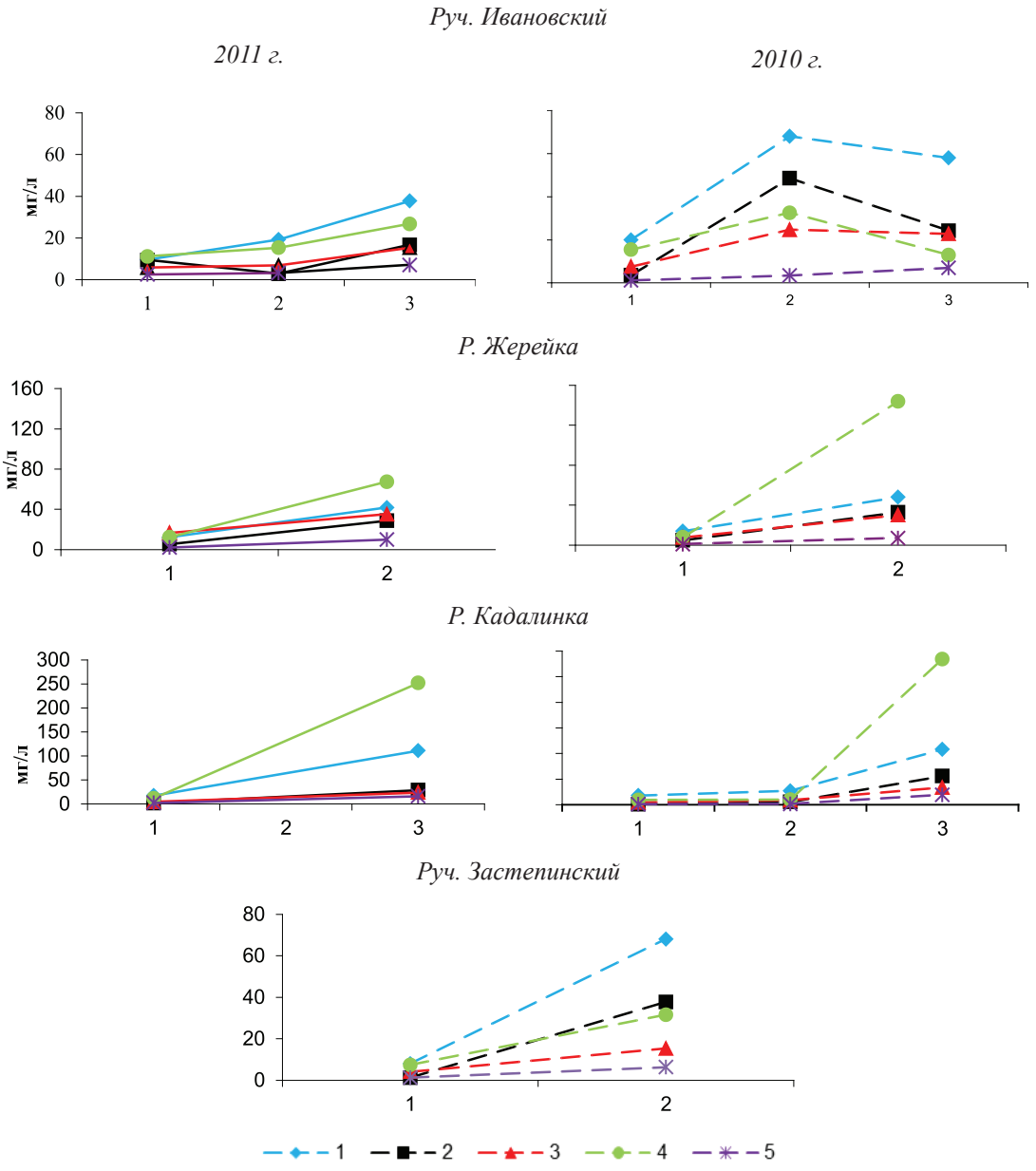


Рис. 4. Изменение концентраций макрокомпонентов по водотокам. По данным ИПРЭК СО РАН – слева, сплошным, по данным ГУП «Забайкалгеомониторинг» – справа, пунктиром. 1 – кальций; 2 – магний; 3 – натрий; 4 – сульфаты; 5 – хлориды

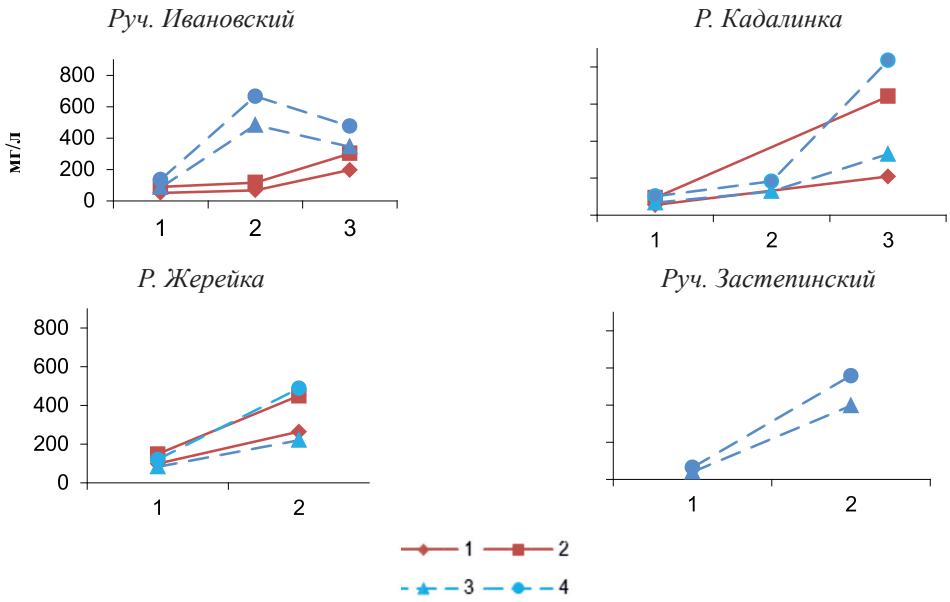


Рис. 5. Изменение содержания гидрокарбонатов и величины минерализации по водотокам. 1 – гидрокарбонаты и 2 – минерализация, по данным ИПРЭК СО РАН; 3 – гидрокарбонаты и 4 – минерализация, по данным ГУП «Забайкалгеомониторинг»

Значительный вклад в гидрохимию поверхностных вод вносит селитебная территория, сток с которой приводит к росту концентраций макрокомпонентов, в особенности сульфатов, биогенных элементов (азот, фосфор) и органических загрязнителей, что фиксируется по повышенной перманганатной окисляемости вод.

Список литературы

1. Парфенова Г.К. Антропогенные изменения гидрохимических показателей качества вод: монография. – Томск: Аграф-пресс, 2010. – 204 с.

2. Фащевская Т.Б. Оценка антропогенной составляющей гидрохимического стока городского водотока // Научное обеспечение реализации «Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года»: сборник научных трудов конференции (Петрозаводск, 06–11 июля, 2015 г.). – Петрозаводск: Изд-во Карельский научный центр РАН, 2015. – С. 365–373.

3. Влияние мегаполиса на качество воды большой реки (на примере г. Ростов-на-Дону) / А.М. Никаноров [и др.] // Вестник ЮНЦ РАН. – 2009. – Т. 5, № 4. – С. 62–70.

4. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Серия Даурская. Лист N-49-XXXVI (Чита). Объяснительная записка / С.Н. Пехтерев, Е.П. Герасимов, Г.Г. Кунько [и др.] / под ред. Старченко В.В. – 2-е издание. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2006. – С. 8–23.

5. Доклад «Об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2010 год»/ Правительство Забайкальского края, Министерство природных ресурсов и экологии Забайкальского края, Государственное учреждение «Забайкальский краевой экологический центр». – Чита: ООО «Экспресс-издательство», 2011. – 196 с.

6. Приказ № 20 от 18.01.2010 г. Федерального агентства по рыболовству «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения» // Гарант.ру. Информационно-правовой портал. URL: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/ (дата обращения: 20.04.2018).

7. Замана Л.В., Усманова Л.И. Гидрохимия поверхностных вод в районе г. Читы // XV совещание географов Сибири и Дальнего Востока: материалы совещания (г. Улан-Удэ, 10–13 сентября 2015 г.) – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. – С. 81–83.

8. Алекин О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л.: Гидрометеоиздат, 1970. – 443 с.

9. Усманова Л.И. Влияние золоотвалов Читинских ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2 на природные воды прилегающих территорий / Л.И. Усманова, М.Т. Усманов // Вестник КРАУНЦ. – 2010. – № 16. – С. 167–178.

10. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во «Недра», 1998. – 365 с.

References

1. Parfenova G.K. Antropogenny`e izmeneniya gidroximicheskix pokazatelej kachestva vod: monografiya. – Tomsk: Agraf-press, 2010. – 204 p.

2. Fashhevskaya T.B. Ocenka antropogennoj sostavlyayushhej gidroximicheskogo stoka gorodskogo vodotoka // Nauchnoe obespechenie realizacii «Vodnoj strategii Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda»: sbornik nauchny`x trudov konferencii (Petrozavodsk, 06–11 iyulya, 2015 g.). – Petrozavodsk: Izd-vo Karel`skij nauchny`j centr RAN, 2015. – S. 365–373.

3. Vliyanie megapolisa na kachestvo vody` bol`shoj reki (na primere g. Rostov-na-Donu) / A.M. Nikanorov [i dr.] // Vestnik YuNCz RAN. – 2009. – T. 5, № 4. – pp. 62–70.

4. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii masshtaba 1:200000. Seriya Daurskaya. List N-49-XXXVI (Chita). Ob``yasnitel`naya zapiska / S.N. Pexterev, E.P. Gerasimov, G.G. Kun`ko [i dr.] / pod red. Starchenko V.V. – 2-e izdanie. – SPb.: VSEGEI, 2006. – pp. 8–23.

5. Doklad «Ob e`kologicheskoj situacii v Zabajkal`skom krae za 2010 god»/ Pravitel`stvo Zabajkal`skogo kraya, Min-

isterstvo prirodny`x resursov i e`kologii Zabajkal`skogo kraya, Gosudarstvennoe uchrezhdenie «Zabajkal`skij kraevoj e`kologicheskij centr». – Chita: OOO «E`kspress-izdatel`stvo», 2011. – 196 p.

6. Prikaz № 20 ot 18.01.2010 g. Federal`nogo agentstva po ry`bolovstvu «Ob utverzhdenii normativov kachestva vody` vodny`x ob``ektov ry`boxozyajstvennogo znacheniya» // Garant.ru. Informacionno-pravovoj portal. URL: http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/2070984/ (data obrashheniya: 20.04.2018).

7. Zamana L.V., Usmanova L.I. Gidroximiya poverxnostny`x vod v rajone g. Chity` // XV soveshhanie geografov Sibiri i Dal`nego Vostoka: materialy` soveshhaniya (g. Ulan-Ude`, 10–13 sentyabrya 2015 g.) – Irkutsk: Izd-vo Instituta geografii im. V.B. Sochavy` SO RAN, 2015. – pp. 81–83.

8. Alekin O.A. Osnovy` gidroximii / O.A. Alekin. – L.: Gidrometeoizdat, 1970. – 443 p.

9. Usmanova L.I. Vliyanie zolootvalov Chitinskix TE`Cz-1 i TE`Cz-2 na prirodny`e vody` prilegayushhix territorij / L.I. Usmanova, M.T. Usmanov // Vestnik KRAUNCz. – 2010. – № 16. – pp. 167–178.

10. Shvarcev S.L. Gidrogeoximiya zony` gipergeneza / S.L. Shvarcev. – 2-e izd., ispr. i dop. – M.: Izd-vo «Nedra», 1998. – 365 p.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 911.2:626.8

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ И ЦИФРОВАЯ МЕЛИОРАЦИЯ: МЕТОДИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Напрасников А.Т.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: r.kodar@mail.ru

В современных условиях возникла необходимость обоснования эффективной цифровой мелиорации, приемлемой в периоды строительства мелиоративных систем – от выбора местоположения, проектирования, рекультивации до эксплуатации. Цифровая мелиорация обосновывается как модель оптимального и оперативного землепользования. Показана структура мелиоративной системы. Она содержит одновременно природные, хозяйственные и технические элементы. В мелиоративной системе ландшафты преобразуются, но сохраняют установленные человеком экологические ограничения. Обеспечивается формирование целевых природно-технических систем, не представляющих экологическую опасность природе, хозяйству и обществу. Задача решалась на положениях географии: физико-географическом процессе, как движущей природной силы; концепции сотворчества человека и природы, направленной на увеличение природного потенциала. Раскрыты статистические критерии формирования биологической продуктивности. Использовалась система «человек – мелиоративный объект», основанная на взаимодействии прямых и обратных связей. Уточнено понятие «мелиоративная система». Это не только комплекс взаимосвязанных сооружений и устройств, обеспечивающих создание благоприятных для растений воздушного и питательного режима. Они включают структуру и режимы почв, информационную сферу, в пределах ландшафта, приземной и свободной атмосферы, гидрогеологических горизонтов. Этим обосновывается принадлежность систем к природным и общественным объектам, функционирующих по согласованным географическим и социальным законам. Обосновано представление о «геоинформационной и цифровой мелиорации». Это система автоматического управления или саморегулирования мелиоративным процессом. Цифровая информация определяет передачу данных посредством цифр в форме уравнений, графиков, любых лингвистических и электронных средств или цифровых моделей. Географический информационный фактор представлен принадлежностью к земному пространству, географическим координатам. Необходимость геоинформационного и цифрового сопровождения современной мелиорации определена также анализом двух внешних мощных факторов: переходана рыночные отношения и наступившего глобального потепления климата. Россия располагает уникальным опытом экологического землепользования во всех природных зонах – от арктических до аридных.

Ключевые слова: геоинформация, цифровая мелиорация, мелиоративная система, природообустройство, экология, ноосфера, коэволюция

GEOINFORMATION-BASED AND DIGITAL RECLAMATION: METHODOLOGICAL ASPECTS

Naprasnikov A.T.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkytsk, e-mail: r.kodar@mail.ru

In the modern context, there is a need to substantiate effective digital reclamation which would be acceptable in periods of the construction of the reclamation system – from site selection, through design and recultivation to operation. Digital reclamation is substantiated as the model of optimal and efficient land use. The structure of the reclamation system is shown. It contains natural, economic and technical elements in combination. In the reclamation system, landscapes are transformed but retain the environmental restrictions imposed by man. This ensures formation of target-oriented natural-technological systems which do not pose an environmental danger for nature, economy and society. The problem was dealt with from the geographical perspective: the physical-geographical process as the driving natural force; the concept of man nature co-creative work aimed at an increase in natural potential. Statistical criteria for the formation of biological productivity are identified. Use was made of the «man- reclamation object» system, based on the interaction of direct links and feedbacks. The notion of the ‘reclamation system» is refined. It is not only a complex of interconnected structures and devices ensuring the creation of favorable air and nutritive regime for plants. They include the structure and regimes of soils, and the information sphere. This provides justification for the belonging of the systems to natural and social object functioning according to coherent geographical laws and laws of society. A rationale is given to the idea of «geoinformation-based and digital reclamation». It is automatic control and self-regulation system for the reclamation process. Digital information determines the transmission of data via numbers in the form of equations, plots and any linguistic and electronic means or digital models. The geographical information factor is represented by the belonging to terrestrial space, the geographical coordinates. The need for the geoinformation and digital support of modern reclamation is also determined by the analysis of two external powerful factors: change-over to market relations, and current global climate warming. Russia has unique experience concerning environmental-friendly land use in all natural zones – from arctic to arid.

Keywords: geoinformation, digital reclamation, reclamation system, environmental engineering, ecology, noosphere, coevolution

Мелиорация осуществляется практически во всех ландшафтах планеты, частично их преобразовывает. Однако все ее виды и способы традиционно однообразные, технические, не отражают природную системность. Эта проблема решалась в фундаментальных работах А.Н. Голованова с соавторами [1, 2], И.П. Айдарова [3],

Н.Н. Дубенок [4]. Дополнительно проанализировано еще около 50 работ по мелиорации за последние 10 лет. Однако ни в одной из них не отражено главное свойство мелиорации планеты – ее системное единство с географией, выраженное посредством географической и цифровой информации. Поэтому объектом исследований данной работы явилась геоинформационная и цифровая мелиорация, предметом – теоретико-методическое направление в современной мелиорации. Основная цель работы – обоснование оптимизации экологических процессов и мелиоративной деятельности.

Основы географические и цифровые мелиорации

Основные положения географии отражают ее общность с мелиорацией. Так, все географические явления любых форм принадлежат планете Земля и определяются ее признаками. Географические системы – это переменные состояния природных комплексов, к ним относятся и мелиоративные объекты. Природно-технические системы функционируют по согласованным природным и социальным законам. Приведенные признаки отражают единство и различие мелиоративных и географических систем.

В XX веке выполнены фундаментальные исследования по интенсивности физико-географического процесса [5–7]. В них обосновано оптимальное развитие процесса с эквивалентным равенством ресурсов тепла и влаги. При нем формируется максимальная биологическая продуктивность растений. Здесь ресурсы тепла и влаги, продуктивность растений оказались оптимальными мелиоративными характеристиками. Они определяют не только вектор развития географического процесса, но и являются точкой отсчета норм орошения и осушения в мелиорации. Практически – физико-географический процесс определил географо-цифровую модель построения, эксплуатации и создания совершенных природно-технических системы с характерными свойствами управления, экологического и экономического сопровождения.

Имеется множество предложений по управлению такими системами. Более детально проанализированы приемы управления водными режимами мелиорируемых полей в работах И.М. Михайленко [8], Л.А. Александровской с соавт. [9], Е.А. Захаровой с соавт. [10]. Однако все они, локальные или региональные, могут быть некоторым примером функционирования систем будущего. Возникает необходимость в поиске единой стратегии управления мелиоративным процессов в разномасштабных системах. Предстоит строить мелиоративные системы с заранее установленным автоматическим или саморегулирующим управлением с необходимыми экологическими ограничениями. Это особый блок оптимального управления мелиоративными объектами, охватывающий практически все природные системы. Он должен быть подобен универсальному физико-географическому процессу. При решении данной задачи прекратятся споры о способах управления водными режимами почв. В науке уже известны подобные ситуации. Так, В.Р. Вильямс [11], несмотря на ряд ошибочных мелиоративных положений, четко сформулировал представление об эволюции органического мира, как главной движущей силы эволюции почв. Его концепция совпала с биогеохимическими идеями В.И. Вернадского [12]. Видимо, стратегическое (планетарное) решение задач управления географическими системами, их переменными мелиоративными состояниями следует соизмерять с эволюцией почв, с экологией ландшафтов.

Методической проблемой остается сравнительная оценка экологических и экономических затрат на эффективную деятельность природно-технических систем – безопасных для природы и человека. Данной проблеме посвящено много работ [3, 13–15]. Эти научно-практические исследования крайне необходимы. Однако в них односторонне и регионально освещаются приоритеты экологии или экономики. Нет масштабного сравнительного анализа – пределов ограничения экологических или мелиоративных эффектов, определения их равноценности, безвредного влияния на среду обитания человека. С этих позиций новую мелиорацию следует рассматривать как систему, в которой взаимодействие природы и общества осуществляется в пределах соразмерных экологических и экономических затрат, с экологическим приоритетом.

Проблема цифровой мелиорации появилась давно. Однако применялись математические приемы практически раздельно при выборе местоположения, рекультивации, строительстве, эксплуатации и сборе урожая. Это не всегда обеспечивало ожидаемый эффект. Возникла необходимость в создании единой математической модели всего мелиоративного процесса, как согла-

сованных множественных взаимодействующих этапов мелиоративной деятельности. Задача определяется не только созданием стратегических приемов формирования для всех частей мелиоративной системы, но и обеспечением методических основ их взаимной согласованности и оптимизации. Современный научно-технический прогресс уже может решить данную задачу.

Важной проблемой остается поиск географической и цифровой информации не только в самих системах, в центрах, управляемых ими, но и в пределах географической оболочки и прилегающих к ней сфера, оказывающих прямое или косвенное влияние. Масштаб информационной среды оказывается планетарно-космическим, ограниченным тепловым излучением Солнца. В данных информационных пределах между составляющими природы, хозяйств и техники следует обосновывать решения целевых задач наземной мелиорации.

Таким образом, геоинформационная и цифровая мелиорация – это система мероприятий строительства и совершенствования мелиоративного объекта с информационной структурой. Информационное поле мелиоративной системы обширное: от элементарного наземного объекта, биосферы, географической оболочки до космического пространства. Здесь особенно следует знать сферу мелиоративного воздействия [16, 17].

В анализируемом мелиоративном пространстве важное место занимает «диалог» человека с мелиоративной системой. Потребность в нем возникла в связи с поиском управления человеком мелиоративным объектом, а также с совершенствованием его отдельных структур и режимов. Конкретно «диалог» определяется взаимодействием человека с элементами системы, основанным на прямых и обратных связях между ними.

Статистические пределы формирования мелиоративных и биологических систем

В мелиоративных системах сохранились многие экологические свойства прежней природы, но привнесены и новые. Состав культурных растений оказался с низким биоразнообразием, высокой продуктивностью, но с пониженной устойчивостью [18].

В природе имеют место несколько подобные естественные состояния географических систем – лесостепи, саванны, прерии, разделяющие влажные и аридные ландшафты. Определяются они как «экотон» – с максимальной продуктивностью. Это зоны равенства тепла и влаги с неустойчивым, переменным режимом отражают оптимальные сочетания тепла и влаги при наименьшей влагоемкости почв.

В мелиоративном почвоведении наименьшая влагоемкость рассматривается как средняя арифметическая величина оптимального увлажнения почв, обеспечивающая оптимальную (максимальную) биологическую продуктивность растений. Крайние отклонения от нее – это критические состояния увлажнения, при которых продуктивность растений минимальная или совсем не воспроизводится. Так, в условиях избыточного увлажнения полная влагоемкость почв превышает наименьшую (НВ) в 1,33 раза, а влажность завядания составляет 0,68–0,72 НВ. В обоих случаях отклонения от НВ находятся в пределах 30–34 %.

В статистике при стандартной (квадратической) величине, равной ±1, двухстороннее отклонение от среднего арифметического значения, охватывает 68 % всех отклонений. Одностороннее составляет 34 %. С большим приближением коэффициент парной корреляции в диапазоне ±σ (68 %) возможно принять за предел максимальной вероятности развития растений суши. Однако в природе даже после катастрофических климатических изменений растительность, благодаря сохранившейся корневой системе, быстро восстанавливается [7]. В данном случае растительность выступает мощнейшим стабилизирующим фактором.

Приведенные мелиоративные изменения влажности почв следует оценивать как пределы применения геоинформационной и цифровой мелиорации. За данными пределами имеют место естественные проявления катастрофических природных процессов и рисков.

Географические пределы пространственных изменений ресурсов тепла и влаги

В Иркутской области, Республике Бурятия и Забайкальском крае выявлено от 4 до 9 пространственных корреляций температур и осадков с высотами местности. Это внутриконтинентальные региональные географические системы дисперсные, но с единым функционированием в пределах 90000 до 150000 км^2. Их информация представлена локальными данными метеорологических станций, изолированных в географическом пространстве.

Формирование в одном природном объекте нескольких дисперсных систем осу-

ществляется наличием в нем независимых инвариантных структур, ограничивающих пространственное распределение влаги и тепла. Такими являются формы рельефа, которые по-разному прогреваются солнечным теплом и обеспечиваются разным количеством атмосферной влаги. Подобное явление возможно объяснить процессом диффузии – ограничивающим взаимодействие природных систем с разными энергетическим и вещественным потенциалами. В них интенсивность взаимодействия обеспечивается температурами и завершается установлением их равновесия. С высотами местности воздух расширяется, температуры понижаются, взаимодействие между географическими системами уменьшается и на определенных высотах полностью прекращается, сравнивается. Начинает формироваться единый тепловой фон приземной атмосферы.

Диффузия совместно с адиабатическим процессом существенно понижают процесс формирования осадков высоких облаков. Эти процессы с испарением капель дождя не только ограничивают приземное увлажнение, но и его прекращают. К подобным дисперсно-адиабатическим системам относятся субконтинентальные физико-географические области и природные зоны. Обусловлены они особым строением земной коры и круговоротом «континент – океан». Если множественные типы увлажнения планеты разделить по ландшафтным признакам, то суммарная величина переувлажненных почв составит 68 млн км^2 (46%), сухих – 61 млн км^2 (44%), оптимального увлажнения – 4,4 млн км^2 (3%). Их планетарный баланс подтверждает однотипное независимое увлажнение и в то же время нахождение в единой дисперсно-адиабатической географической системе.

Главное свойство дисперсно-функционирующих географических и мелиоративных систем – это сетевое распределение элементов природы земной поверхности. Составляют они специализированный класс природных объектов, которые не охватывают все пространство. Если по каким-то причинам естественный процесс замещается иным более мощным пространственным явлением, дисперсно-функционирующие системы разрушаются, приобретают иные экстремальные свойства.

Экстремальные природные явления

Геоинформационная и цифровая мелиорация сформировалась из недр хозяйственной деятельности человек. Выявлено, что любое природопользование трансформирует географическую оболочку. Возникла проблема сохранения экосистем планеты. Истории известен факт гибели ассиро-вавилонской цивилизации. В шестом веке до новой эры была осуществлена попытка расширения ирригационной системы в бассейне Тигра и Евфрата за счет вод гор. Мощные водные потоки выносили много горных пород на поля. Мелиоративные системы перестали выполнять хозяйственные функции, что привело к гибели цивилизации.

Н.Н. Моисеев [19] осуществил моделирование глобальной окружающей природной среды применительно к разным сценариям развития мира и выявил, что угроза ядерной войны является не военной, а антропогенной, глобальной экологической катастрофой планетарного масштаба, выраженной «ядерной ночью» или «ядерной зимой».

Известны и «вулканические зимы», которые порождаются мощными извержениями вулканов, накоплением пыли в атмосфере, сокращением притока солнечного тепла. Сопровождаются сильнейшими холодами и снегопадами. Ряд ученых утверждают, что извержение вулкана Тобо на о. Суматра сократило численность людей планеты до 10 тыс., а землетрясение в Карпатах стало причиной вымирания неандертальцев. В настоящее время в Америке предсказывают извержение супервулкана Иеллоустона. Его последствия могут погубить природу и человечество всего северного континента. В этой связи проанализируем явление – «черные ландшафты». Имеется в виду превращение земель суши в агроландшафты. Вспаханная земля, как черное тело, получает максимальное количество тепла. В естественных ландшафтах приток тепла меньший. При их мелиорации разница в притоке тепла может увеличиваться на 10–20%. Это не столь огромные изменения. Распаханные земли составляют около 10% площади суши Земли. Они быстро зарастают, покрываются снегом в умеренных и арктических широтах [20]. В итоге «черные ландшафты» не представляют угрозу человечеству. Однако региональные изменения могут быть существенными: увеличится испарение с полей, уменьшится сток, возрастет водная эрозия во время ливней.

Мелиоратор преобразовывает не только почву, но с ней изменяет бесчисленные связи между компонентами природы. Необходимо учитывать экологические процессы в любой мелиоративной деятельности. Ме-

лиорация не улучшает природу, не охраняет ее, а лишь преобразует отдельные ее составляющие. В улучшении природа не нуждается, она естественно эволюционирует. При достижении предельных воздействий они могут трансформироваться и формировать планетарные катастрофы.

Формирование мелиорации в новой России

Проанализированные положения геоинформационной и цифровой мелиорации рассмотрены на фоне хозяйственной деятельности России. На протяжении последних трех десятилетий природа и общество России существенно трансформировались. Мелиорацию России преобразовали два фактора – переход на капиталистический путь развития и глобальное потепление. Мелиорация оказалась в государственно-хозяйственной неопределенности. Что касается климата, то вопрос остается дискуссионным: чего ждать – глобального потепления или ледникового периода [21]?

В данной неопределенности наука и практика отреагировали обоснованием не переменных, а более обоснованных инвариантных факторов развития новой мелиорации [22, 23]. Ее сдвиг произошел в предсказуемые информационные поля законов множественных фундаментальных наук: физики, географии, биологии, климатологии, почвоведении. Началась формироваться мелиорация как фундаментальная наука о природно-технических системах, включающих элементы природы, общества, информационную сферу. При этом обоснование объекта мелиорации, установление его функциональных, информационных основ стало главным. С таким содержанием сформировалась мелиоративная матрица России – «Геоинформационная и цифровая мелиорация». Прежняя мелиорация выполнила историческое назначение, а новая начала формироваться на эколого-экономических и географических основах [17]. Ряд её положений были опубликованы автором работы ранее [24, 25].

Заключение

Обосновано новое направление – географическая и цифровая мелиорация на положениях оптимального географического и эколого-хозяйственного функционирования мелиоративных систем. Запрограммированы они на сохранение экосистем и эффективную мелиоративную деятельность.

Дано определение новой мелиорации – геоинформационной и цифровой, как системе с мелиоративным объектом (ядром), информационной сферой и механизмом, управляемой человеком. Обоснована информационная среда мелиоративного объекта, которая изменяется от элементарного природного комплекса до планетарно-космического. Установлена структура мелиоративной системы. Она содержит согласованное единство географических, биологических, социальных и технических свойств системы. На данной согласованности проанализирован ряд мелиоративных аспектов, обеспечивающих формирование оптимизированных природно-технических систем.

Концепции ноосферы, коэволюции, природообустройства явились определяющим вектором современного научного познания мелиоративного единства природы и общества. Началось формирование прогрессивного научно-производственного направления – геоинформационная и цифровая мелиорация. Это взаимодействие природных и технических систем направлено на решение проблем продовольственной безопасности и эффективного жизнеобеспечения человека.

Список литературы

1. Основы природообустройства / А.И. Голованов, Т.И. Сурикова, Ю.И. Сухарев, Ф.М. Зимин. – М.: Колос, 2001. – 262 с.

2. Голованов А.И. Мелиорация земель / А.И Голованов, И.П. Айдаров. – М.: Изд-во Колос, 2012. – 824 с.

3. Айдаров И.П. Экологические основы мелиорации земель / И.П. Айдаров // Природообустройство. – 2012. – № 3. – С. 10–16.

4. Дубенок Н.Н. Мелиорация земель – основа успешного развития агропромышленного комплекса / Н.Н. Дубенок // Мелиорация и водное хозяйство. – 2013. – № 3. – С. 7–9.

5. Григорьев А.А. Закономерности строения и развития географической среды / А.А. Григорьев. – М.: Мысль, 1966. – 383 с.

6. Мезенцев В.С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич. – Л.: Гидрометеоиздат, 1969. – 168 с.

7. Базилевич Н.И. Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в природных наземных экосистемах / Н.И. Базилевич, А.А. Титлянова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008. – 380 с.

8. Михайленко И.М. Современные этапы развития теории мелиорации сельскохозяйственных земель / И.М. Михайленко // Агрофизика. – 2012. – № 1 (15). – С. 10–17.

9. Александровская Л.А. Формирование инструментально-структурного механизма управления мелиорацией земель / Л.А. Александровская, А.С. Чешев, Н.А. Шевченко // Экономика и экология территориальных образований. – 2015. – № 1. – С. 2–11.

10. Захарова Е.А. Мелиорация земель в системе управления развитием агропредприятий / Е.А. Захарова, Д.С. Лиличенко // Экономика сельского хозяйства России. – 2015. – № 6. – С. 71–77.

11. Вильямс В.Р. Избранные произведения / В.Р. Вильямс. – М.: Колос, 1950. – Т. 1. – 790 с.

12. Вернадский В.И. Биосфера / В.И. Вернадский. – М.: Мысль, 1967. – 376 с.

13. Журавский П.П. Основные направления совершенствования методов оценки экономической эффективности инвестиций в мелиорацию сельскохозяйственных земель / П.П. Журавский, В.Н. Краснощеков // Природообустройство. – 2014. – № 3. – С. 87–92.

14. Черняев А.А. Проблемы мелиорации и экологии земель в Поволжье / А.А. Черняев // Аграрный научный журнал. – 2012. – № 5. – С. 97–99.

15. Кулик К.Н. Концепция адаптивного природопользования на юге России / К.Н. Кулик // Роль мелиорации земель в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства. – Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. – С. 29–35.

16. Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов / Ф.Р. Зайдельман. – М.: КДУ, 2009. – 720 с.

17. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирования агроландшафтов / В.И. Кирюшин. – М.: Колос, 2011. – 443 с.

18. Глазовский Н.Н. Устойчивость развития биосферы / Н.Н. Глазовский. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009 – Т. 2. – 386 с.

19. Моисеев Н.Н. Коэволюция человека и биосферы: кибернетические аспекты / Н.Н. Моисеев // Природа. – 1984. – № 1. – С. 59–67.

20. Тишков А.А. Российская Арктика: экологические ограничения хозяйственной деятельности // Россия и ее регионы: интеграционный потенциал, риски, пути перехода к устойчивому развитию / А.А. Тишков. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2012. – С. 425–454.

21. Глобальное изменение климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России. – М.: Россельхозакадемия, 2009. – 518 с.

22. Капустина Т.А. Информационные технологии планирования поливов как основа ресурсосберегающего орошаемого земледелия / Т.А. Капустина, Ф.К. Цекоева // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 7. – С. 4–48.

23. Дубенок Н.Н. Роль мелиорации в реализации государственной научно-технической политики в интересах устойчивого развития сельского хозяйства / Н.Н. Дубенок. – Волгоград: ВНИИОЗ, 2017. – С. 25–29.

24. Напрасников А.Т. Континентально-океанические геосистемы: географо-гидрологическое единство и различие / А.Т Напрасников // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 1. – С. 64–71.

25. Напрасников А.Т. Географическое начало в гидрологии и мелиорации / А.Т. Напрасников // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 9. – С. 82–88.

References

1. Osnovy` prirodoobustrojstva / A.I. Golovanov, T.I. Surikova, Yu.I. Suxarev, F.M. Zimin. – M.: Kolos, 2001. – 262 p.

2. Golovanov A.I. Melioraciya zemel` / A.I Golovanov, I.P. Ajdarov. – M.: Izd-vo Kolos, 2012. – 824 p.

3. Ajdarov I.P. E`kologicheskie osnovy` melioracii zemel` / I.P. Ajdarov // Prirodoobustrojstvo. – 2012. – № 3. – pp. 10–16.

4. Dubenok N.N. Melioraciya zemel` – osnova uspeshnogo razvitiya agropromy`shlennogo kompleksa / N.N. Dubenok // Melioraciya i vodnoe xozyajstvo. – 2013. – № 3. – pp. 7–9.

5. Grigor`ev A.A. Zakonomernosti stroeniya i razvitiya geograficheskoj sredy` / A.A. Grigor`ev. – M.: My`sl`, 1966. – 383 p.

6. Mezencev V.S. Uvlazhnennost` Zapadno-Sibirskoj ravniny` / V.S. Mezencev, I.V. Karnacevich. – L.: Gidrometeoizdat, 1969. – 168 p.

7. Bazilevich N.I. Bioticheskij krugovorot na pyati kontinentax: azot i zol`ny`e e`lementy` v prirodny`x nazemny`x e`kosistemax / N.I. Bazilevich, A.A. Titlyanova. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2008. – 380 p.

8. Mixajlenko I.M. Sovremenny`e e`tapy` razvitiya teorii melioracii sel`skoxozyajstvenny`x zemel` / I.M. Mixajlenko // Agrofizika. – 2012. – № 1 (15). – pp. 10–17.

9. Aleksandrovskaya L.A. Formirovanie instrumental`nostrukturnogo mexanizma upravleniya melioraciej zemel` / L.A. Aleksandrovskaya, A.S. Cheshev, N.A. Shevchenko // E`konomika i e`kologiya territorial`ny`x obrazovanij. – 2015. – № 1. – pp. 2–11.

10. Zaxarova E.A. Melioraciya zemel` v sisteme upravleniya razvitiem agropredpriyatij / E.A. Zaxarova, D.S. Linichenko // E`konomika sel`skogo xozyajstva Rossii. – 2015. – № 6. – S. 71–77.

11. Vil`yams V.R. Izbranny`e proizvedeniya / V.R. Vil`yams. – M.: Kolos, 1950. – T. 1. – 790 p.

12. Vernadskij V.I. Biosfera / V.I. Vernadskij. – M.: My`sl`, 1967. – 376 p.

13. Zhuravskij P.P. Osnovny`e napravleniya sovershenstvovaniya metodov ocenki e`konomicheskoj e`ffektivnosti investicij v melioraciyu sel`skoxozyajstvenny`x zemel` / P.P. Zhuravskij, V.N. Krasnoshhekov // Prirodoobustrojstvo. – 2014. – № 3. – pp. 87–92.

14. Chernyaev A.A. Problemy` melioracii i e`kologii zemel` v Povolzh`e / A.A. Chernyaev // Agrarny`j nauchny`j zhurnal. – 2012. – № 5. – pp. 97–99.

15. Kulik K.N. Koncepciya adaptivnogo prirodopol`zovaniya na yuge Rossii / K.N. Kulik // Rol` melioracii zemel` v realizacii gosudarstvennoj nauchno-texnicheskoj politiki v interesax ustojchivogo razvitiya sel`skogo xozyajstva. – Volgograd: VNIIOZ, 2017. – pp. 29–35.

16. Zajdel`man F.R. Genezis i e`kologicheskie osnovy` melioracii pochv i landshaftov / F.R. Zajdel`man. – M.: KDU, 2009. – 720 p.

17. Kiryushin V.I. Teoriya adaptivno-landshaftnogo zemledeliya i proektirovaniya agrolandshaftov / V.I. Kiryushin. – M.: Kolos, 2011. – 443 p.

18. Glazovskij N.N. Ustojchivost` razvitiya biosfery` / N.N. Glazovskij. – M.: Tovarishhestvo nauchny`x izdanij KMK, 2009 – T. 2. – 386 p.

19. Moiseev N.N. Koe`volyuciya cheloveka i biosfery`: kiberneticheskie aspekty` / N.N. Moiseev // Priroda. – 1984. – № 1. – pp. 59–67.

20. Tishkov A.A. Rossijskaya Arktika: e`kologicheskie ogranicheniya xozyajstvennoj deyatel`nosti // Rossiya i ee regiony`: integracionny`j potencial, riski, puti perexoda k ustojchivomu razvitiyu / A.A. Tishkov. – M.: Tovarishhestvo nauchny`x izdanij KMK, 2012. – pp. 425–454.

21. Global`noe izmenenie klimata i prognoz riskov v sel`skom xozyajstve Rossii. – M.: Rossel`xozakademiya, 2009. – 518 p.

22. Kapustina T.A. Informacionny`e texnologii planirovaniya polivov kak osnova resursosberegayushhego oroshaemogo zemledeliya / T.A. Kapustina, F.K. Cekoeva // Texnika i oborudovanie dlya sela. – 2015. – № 7. – pp. 4–48.

23. Dubenok N.N. Rol` melioracii v realizacii gosudarstvennoj nauchno-texnicheskoj politiki v interesax ustojchivogo razvitiya sel`skogo xozyajstva / N.N. Dubenok. – Volgograd: VNIIOZ, 2017. – pp. 25–29.

24. Naprasnikov A.T. Kontinental`no-okeanicheskie geosistemy`: geografo-gidrologicheskoe edinstvo i razlichie / A.T Naprasnikov // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2017. – № 1. – pp. 64–71.

25. Naprasnikov A.T. Geograficheskoe nachalo v gidrologii i melioracii / A.T. Naprasnikov // Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2017. – № 9. – pp. 82–88.