УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 11 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» – 70878

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., 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.б.н. Сибикеев С.Н. (Саратов); д.с.-х.н., доцент Сокольская О.Б. (Саратов); д.т.н., проф. Степанов В.В. (Санкт-Петербург); д.т.н., проф. Тарасенко А.А. (Тюмень); д.т.н. Теплухин В.К. (Октябрьский); д.э.н., проф. Титов В.А. (Москва); д.с.-х.н., проф. Титов В.Н. (Саратов); д.с.-х.н., проф. Тихановский А.Н. (Салехард); д.г.-м.н., проф. Трофименко С.В. (Нерюнгри); д.т.н., проф. Ульрих Е.В. (Кемерово); д.г.н., проф. Чодураев Т.М. (Бишкек); д.с.-х.н., проф. Шамшиев Б.Н. (Ош); д.т.н., проф. Шантарин В.Д. (Тюмень); д.т.н., проф. Шатов А.А. (Уфа); д.ф.-м.н., проф. Ширапов Д.Ш. (Улан-Удэ); д.т.н., проф. Шишелова Т.И. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Шугунов Л.Ж. (Нальчик); д.г.-м.н., проф. Юргенсон Г.А. (Чита); д.г.н., проф. Яковенко Н.В. (Воронеж); д.т.н., проф. Ямалетдинова К.Ш. (Челябинск)

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

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатен.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,560.

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 – 02.11.2018
Дата выхода номера – 02.12.2018

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. 24,5
Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/11-2018
Подписной индекс 70878

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД В ТЕСТАХ НА РАСТЕНИЯХ
Акатьева Т.Г. 7

ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ НОВЫХ КРИСТАЛЛОВ $LIMS_2$ (M = B, AL, GA, IN)
Басалаев Ю.М., Дугинов Е.В., Дугинова Е.Б. 12

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ФОТОАКТИВНОСТИ ЛИСТЬЯМИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
Амелин А.В., Чекалин Е.И., Заикин В.В., Кулешова И.В., Мазалов В.И., Сагин А.В. 18

ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ УДОБРЕНИЙ НА ВЫРАЩИВАНИЕ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ
Галдина Т.Е., Самошин С.Е. 24

РОСТ И РАЗВИТИЕ AMARANTHUS CRUENTUS L. В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
Дмитриева О.Ф. 30

ВЛИЯНИЕ ПРИДОРОЖНЫХ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ НА ШУМОПОГЛОЩЕНИЕ И ОСВЕЩЕННОСТЬ
Иванисова Н.В., Давыденко Н.М., Куринская Л.В., Колесников С.И. 37

РОСТ ТОПОЛЯ ЧЕРНОГО (POPULUS NIGRA L.) В УСЛОВИЯХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ
Кружилин С.Н., Мишенина М.П., Кирюшин Н.О., Таскаев Д.А. 43

ОЦЕНКА МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ
Кузнецов Е.В., Хаджиди А.Е., Куртнезиров А.Н., Кузнецова М.Е. 49

РАЗРАБОТКА ТАБЛИЦ ОБЪЕМОВ СТВОЛОВ БЕРЕЗЫ ДЛЯ ОЗЕЛЕНИТЕЛЬНЫХ ПОСАДОК ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРОГРАММНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ FIELD-MAP
Нуриев Д.Н., Шевелина И.В., Нагимов З.Я. 54

ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ КАК ФАКТОРА АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ХОДЕ ВЕРМИКУЛЬТИВИРОВАНИЯ
Резниченко И.С. 61

МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ДЕРЕВЬЕВ РОДА POPULUS, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОЗЕЛЕНЕНИИ ГОРОДОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ
Рунова Е.М., Аношкина Л.В. 66

МИНИМИЗАЦИЯ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСНЫХ МАШИН НА ЭКОСИСТЕМЫ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ ЛЕСОЗАГОТОВОК
Шегельман И.Р., Будник П.В., Баклагин В.Н. 72

Науки о Земле (25.00.00)

ГИДРОХИМИЯ ОЗЕРА ИРИМНОЕ
Алимова Г.С., Токарева А.Ю. 79

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОЗЕРА
Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Гагаринова О.В., Янчук М.С., Лопатина Д.Н. 85

СТАТИСТИКА КОЭФФИЦИЕНТА ПОРЫВИСТОСТИ ВЕТРА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ
Гладких В.А., Невзорова И.В., Одинцов С.Л. 96

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ НА ОСНОВЕ GPS ДАННЫХ
Жижерин В.С., Серов М.А., Холобуда С.П. *103*

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СРЕДНЕГОДОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕК ЯКУТИИ
Капитонова Т.А., Слепцов О.И., Кусатов К.И., Стручкова Г.П. *109*

ПРОЯВЛЕНИЕ РОСОМАХА – ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫЙ ТИП FE-ОКСИДНОЙ-CU-AU МИНЕРАЛИЗАЦИИ В БАЗАЛЬТАХ ХРЕБТА СЕТТЕ-ДАБАН
Костин А.В. *115*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ОЧИСТНОГО ПРОСТРАНСТВА ВЫСОКОМЕХАНИЗИРОВАННЫХ РОССЫПНЫХ ШАХТ КРИОЛИТОЗОНЫ
Курилко А.С., Соловьёв Д.Е. *122*

ВОЗРАСТНАЯ ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ TAXUS BACCATA В ПРЕДГОРНОМ ДАГЕСТАНЕ
Омарова П.К. *129*

РУСЛОВАЯ МОРФОДИНАМИКА РЕКИ ИРКУТ ЗА ПОСЛЕДНИЕ СОРОК ЛЕТ (ВЕРХНЕЕ ПРИАНГАРЬЕ)
Опекунова М.Ю., Силаев А.В. *136*

ИЗУЧЕНИЕ САДОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВ КАК НАПРАВЛЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ
Рудский В.В. *141*

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ СТОКА В БАССЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ
Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М. *146*

ГИС «АЛАСЫ МЕГИНО-КАНГАЛАССКОГО РАЙОНА (УЛУСА)»
Торговкин Я.И., Шестакова А.А. *152*

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА ЯКУТИИ
Федорова Л.Л., Куляндин Г.А. *160*

УСТАНОВЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОТАИВАНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД НА ЮГЕ ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОРАДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
Чимитдоржиева Г.Д., Хаптанов В.Б., Цыбенов Ю.Б. *166*

ЦИРКОН В ЗОНАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛАХ БЕРИЛЛА ШЕРЛОВОЙ ГОРЫ (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)
Юргенсон Г.А., Борзенко А.А. *173*

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОДНОГО ПРОСЛОЯ УГЛЯ НА КАА-ХЕМСКОМ КАМЕННОУГОЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ
Янчат Н.Н., Тас-оол Л.Х. *179*

Научный обзор

Науки о Земле

ПОТЕРЯННЫЕ ОРУДИЯ ЛОВА: ОЦЕНКА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ И ПУТИ РЕШЕНИЯ
Майсс А.А., Блиновская Я.Ю., Высоцкая М.В. *185*

CONTENTS

Chemical sciences (02.00.00)

COMPARATIVE ANALYSIS OF SEWAGE WATER QUALITY IN TESTS ON PLANTS
Akateva T.G. 7

ELECTRONIC STRUCTURE OF NEW CRYSTALS $LIMS_2$ (M = B, AL, GA, IN)
Basalaev Yu.M., Duginov E.V., Duginova E.B. 12

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

GENOTYPIC CHARACTERISTICS OF PHOTOACTIVITY MANIFESTATION BY WINTER WHEAT LEAVES
Amelin A.V., Chekalin E.I., Zaikin V.V., Kuleshova I.V., Mazalov V.I., Sagin A.V. 18

INFLUENCE OF UNCONVENTIONAL FERTILIZERS ON PLANTING MATERIAL GROWING IN FOREST NURSERIES
Galdina T.E., Samoshin S.E. 24

GROWTH AND DEVELOPMENT OF AMARANTHUS CRUENTUS L. UNDER SOIL AND CLIMATIC CONDITIONS OF THE CHUVASH REPUBLIC
Dmitrieva O.F. 30

THE IMPACT OF ROADSIDE PLANTATION ON THE SOUND ABSORPTION AND LIGHTING
Ivanisova N.V., Davydenko N.M., Kurinskaya L.V., Kolesnikov S.I. 37

THE GROWTH OF BLACK POPLAR (POPULUS NIGRA L.) UNDER CONDITIONS OF DRY STEPPE ZONE OF THE ROSTOV REGION
Kruzhilin S.N., Mishenina M.P., Kiryushin N.O., Taskaev D.A. 43

ESTIMATION OF THE MELIORATIVE STATE OF SOILS OF IRRIGATION SYSTEMS
Kuznetsov E.V., Khadzhidi A.E., Kurtnezirov A.N., Kuznetsova M.E. 49

DEVELOPMENT OF THE STEM VOLUME TABLES OF BIRCH BASED ON DATA RECEIVED BY USING FIELD-MAP TECHNOLOGY FOR URBAN PLANTINGS IN EKATERINBURG
Nuriev D.N., Shevelina I.V., Nagimov Z.Ya. 54

CHANGE OF SOIL ACIDITY AS A FACTOR OF HEAVY METALS ACCUMULATION IN VERMICULTURE PROCESS
Reznichenko I.S. 61

FROST RESISTANCE OF GENUS POPULUS TREES USED IN THE GREENING OF EASTERN SIBERIA CITIES
Runova E.M., Anoshkina L.V. 66

MINIMIZATION OF TECHNOGENIC EFFECTS OF FOREST MACHINES ON FOREST ECOSYSTEMS BASED ON THE CLUSTERING OF NATURAL-PRODUCTION CONDITIONS FOR FORESTRY
Shegelman I.R., Budnik P.V., Baklagin V.N. 72

Earth sciences (25.00.00)

HYDROCHEMISTRY OF THE IRIMNOYE LAKE
Alimova G.S., Tokareva A.Yu. 79

ECOLOGICAL STATUS OF THE COAST OF LAKE BAIKAL AND ITS INFLUENCE ON THE LAKE POLLUTION
Belozertseva I.A., Vorobeva I.B., Vlasova N.V., Gagarinova O.V., Yanchuk M.S., Lopatina D.N. 85

WIND GUST STATISTICS IN THE ATMOSPHERIC SURFACE LAYER
Gladkikh V.A., Nevzorova I.V., Odintsov S.L. 96

MODELING OF GEODYNAMIC PROCESSES OF THE UPPER AMUR REGION BASED ON GPS DATA
Zhizherin V.S., Serov M.A., Kholobuda S.P. *103*

ANALYSIS OF LONG-TERM FLUCTUATIONS IN AVERAGE ANNUAL WATER CONSUMPTION OF THE YAKUTIA RIVERS
Kapitonova T.A., Sleptsov O.I., Kusatov K.I., Struchkova G.P. *109*

THE MANIFESTATION ROSOMAKHA – HIGH-PRODUCTIVE TYPE OF FE-OXIDE-CU-AU MINERALIZATION IN BASALTS OF THE RIDGE SETTE-DABAN
Kostin A.V. *115*

MODELING OF THERMAL MODE IN STOPES OF HIGHLY MECHANIZED OF CRYOLITHOZONE PLACER MINES
Kurilko A.S., Solovev D.E. *122*

AGE INTRA POPULATION VARIABILITY OF GENERATIVE BODIES OF TAXUS BACCATA IN FOOTHILL OF DAGESTAN
Omarova P.K. *129*

CHANNEL MORPHODYNAMICS OF THE IRKUT-RIVER FOR THE LAST FORTY YEARS (UPPER PRIANGARIE)
Opekunova M.Yu., Silaev A.V. *136*

THE STUDY OF HORTICULTURAL FARMS AS THE DIRECTION OF RECREATIONAL ACTIVITIES OF THE POPULATION
Rudskiy V.V. *141*

NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS OF RIVER FLOW TRANSFORMATION IN THE URAL RIVER BASIN
Sivokhip Zh.T., Pavleychik V.M. *146*

GIS «ALASES OF THE MEGINO-KANGALASSKY REGION (ULUS)»
Torgovkin Ya.I., Shestakova A.A. *152*

EXPERIENCE IN APPLYING THE GPR METHOD IN THE EXPLORATION OF PLACER GOLD DEPOSITS OF YAKUTIA
Fedorova L.L., Kulyandin G.A. *160*

ESTABLISHMENT OF THE MELTING DEPTH OF MULTILATERAL FROZEN ROCKS ON THE SOUTH OF THE VITIM PLANE WITH THE USE OF GEO RADAR SENSING
Chimitdorzhieva G.D., Khaptanov V.B., Tsybenov Yu.B. *166*

ZIRCON IN ZONAL CRYSTALS OF BERYL SHERLOVAYA GORA (SOUTHEAST TRANSBAIKALIA)
Yurgenson G.A., Borzenko A.A. *173*

ZIRCON IN ZONAL BERYLL CRYSTALS IN SHERLOVAYA MOUNTAIN (SOUTH EAST OF ZABAIKALIE)
Yanchat N.N., Tas-ool L.Kh. *179*

Scientific review

Earth sciences

THE LOST FISHING GEARS: ASSESSMENT, ECOLOGICAL CONSEQUENCES AND SOLUTIONS
Mayss A.A., Blinovskaya Ya.Yu., Vysotskaya M.V. *185*

УДК 543.97

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАЧЕСТВА СТОЧНЫХ ВОД В ТЕСТАХ НА РАСТЕНИЯХ

Акатьева Т.Г.

ФГБОУ «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», Тюмень, e-mail: akatyevat@mail.ru

Загрязнение пресных вод стало столь значительным, что вызывает тревогу во многих странах. В современных условиях природная вода участвует не только в естественном, но и в антропогенном круговороте. В антропогенном цикле вода из природного водоема используется в энергетике, промышленности, сельском хозяйстве, для питьевого водоснабжения, коммунально-бытовых нужд. Значительная часть воды после ее использования возвращается в водоем в виде городских и промышленных сточных вод. В результате интенсивного развития промышленного производства и роста населения значительно возрос объем промышленных и бытовых стоков. В результате в природных водах уменьшается количество растворённого кислорода, ухудшаются условия разложения органических веществ, которые интенсивно накапливаются, увеличиваются концентрации азота, фосфора, различных металлов, хлорорганических и других вредных соединений. Для изучения качества сточных вод были выбраны два предприятия: имеющее очистные сооружения и сбрасывающее стоки в городской коллектор без очистки. Компонентный состав стоков определяли химическим методом, влияние на злаковые растения – методом биотестирования. Для этого были использованы три зерновые культуры: ячмень Hordeum vulgare, овес Avena sativa L., пшеница Tríticum aestivum. В течение всего срока наблюдений растительные образцы периодически поливали сточными водами, регистрировали всхожесть семян и изменение морфологических показателей. Результаты химического анализа свидетельствуют о том, что качество сточных вод предприятия, имеющего очистные сооружения, соответствовало установленным требованиям, а стоки, не прошедшие предварительную очистку перед сбросом, содержали повышенные количества различных веществ. Данные проведенного биотестирования показали, что сточные воды не оказывали токсического действия на всхожесть злаковых культур, но изменяли ростовые характеристики злаков. Более значимыми эти изменения отмечались у растений, обрабатываемых неочищенными стоками.

Ключевые слова: очистные сооружения, сточные воды, загрязняющие вещества, тест-объекты, злаковые культуры

COMPARATIVE ANALYSIS OF SEWAGE WATER QUALITY IN TESTS ON PLANTS

Akateva T.G.

Federal State Budgetary Educational Institution «State Agrarian University of Northern Zauralye», Tyumen, e-mail: akatyevat@mail.ru

The pollution of fresh water has become so significant that it causes alarm in many countries. In modern conditions, natural water participates not only in the natural, but also in the anthropogenic cycle. In anthropogenic cycle, water from a natural reservoir is used in power engineering, industry, agriculture, for drinking water supply, and for domestic needs. A significant part of the water after its use is returned to the reservoir in the form of urban and industrial wastewater. As a result of intensive development of industrial production and population growth, the volume of industrial and domestic wastewater has significantly increased. As a result, the amount of dissolved oxygen decreases in natural waters, the decomposition conditions of organic substances that accumulate intensively, the concentrations of nitrogen, phosphorus, various metals, organochlorine and other harmful compounds increase. To study the quality of wastewater, two enterprises were selected: having treatment facilities and discharging effluents to a city sewer without treatment. The component composition of the effluents was determined by the chemical method, the effect on cereals – by the method of biotesting. For this, three crops were used: barley Hordeum vulgare, oats Avena sativa L., wheat Tríticum aestivum. Throughout the observation period, the plant samples were periodically watered with sewage, the seed germination and morphological parameters were recorded. The results of the chemical analysis indicate that the quality of the sewage of an enterprise having a treatment plant complies with the established requirements, and the effluents that did not undergo pre-treatment before discharging contained increased amounts of various substances. The data of the biotesting carried out showed that the wastewater did not exert a toxic effect on the germination capacity of the cereal crops, but the growth characteristics of the cereals were changed. More significant, these changes were noted in plants treated with untreated sewage.

Keywords: sewage treatment plants, pollutants, test facilities, cereals

В числе глобальных экологических проблем – сохранение чистоты природных водоемов занимает особое место. Неравномерность географического распределения источников пресной воды и подверженность их загрязнениям определяют существование критически острых ситуаций дефицита доброкачественной воды во многих регионах земного шара [1]. В настоящее время основным источником загрязнения водоемов, приводящим к ухудшению качества воды и нарушению нормальных условий жизнедеятельности гидробионтов, являются сбросы стоков промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также коммунально-бытовых служб. Источника-

ми загрязнения признаются объекты, с которых осуществляется сброс или иное поступление в водоемы вредных веществ, ухудшающих качество поверхностных вод, ограничивающих их использование, а также негативное влияние на состояние дна и береговых водных объектов [2].

В реки и озера ежегодно поступают свыше 450 км³ стоков. Спуск неочищенных и необезвреженных сточных вод загрязняет и заражает естественные водоемы, лишает их значения как источников водоснабжения. Загрязняющие вещества, поступая в природные воды, вызывают изменение физических свойств среды (нарушение первоначальной прозрачности и окраски, появление неприятных запахов и привкусов и т.п.); изменение химического состава, в частности появления в ней вредных веществ; появление плавающих веществ на поверхности воды и отложений на дне; сокращение в воде количества растворенного кислорода вследствие расхода его на окисление поступающих в водоем органических веществ загрязнения; появление новых бактерий, в том числе и болезнетворных [3].

Цель исследования заключалась в изучении качества сточных вод некоторых предприятий г. Тюмени, осуществляющих очистку сточных вод и сбрасывающих образующиеся стоки без очистки.

Для этого были поставлены следующие задачи:

– проанализировать состав сточных вод предприятий;

– изучить токсичность стоков для злаковых культур;

– выявить чувствительную и устойчивую культуры;

– определить чувствительную тест-функцию растений.

Материалы и методы исследования

Для изучения компонентного состава сточных вод пробы отбирались с двух предприятий г. Тюмени: имеющего очистные сооружения и сбрасывающего производственные стоки без очистки, согласно ГОСТа [4], с последнего распределительного колодца. Отсюда сбрасываемые воды через городской коллектор попадают на канализационные очистные сооружения города для дополнительной очистки, и после этого производится сброс их в р. Туру. Качество сточных вод оценивали по результатам химического анализа и биотестирования.

При определении компонентного состава стоков использовались методики и методические указания, предназначенные для лабораторий и предприятий, осуществляющих производственный контроль, а также обеспечивающие государственный и ведомственный надзор за качеством сточных вод [5, 6]. При этом анализировали наличие приоритетных загрязняющих веществ. Например, содержание массовых концентраций *железа, меди, никеля, и цинка* в пробах сточных вод производили методом атомно-адсорбционной спектрометрии, который основан на измерении резонансного поглощения света свободными атомами определяемого элемента при прохождении света через атомный пар исследуемого образца образующийся в пламени [7]. Содержание металла в пробе рассчитывали по формуле

$$X = A \cdot V_1 / V, \qquad (1)$$

где A – содержание металла в анализизируемой пробе воды, мг/дм³;
V_1 – объем колбы, см³;
V – объем пробы анализируемой воды, см³.

Метод измерений массовой концентрации *фосфатов* основан на образовании в кислой среде молибдофосфорной кислоты, восстановлением её аскорбиновой кислотой в присутствии хлорида сурьмы и последующем измерении оптической плотности полученных растворов, окрашенных в синий цвет (молибденовой сини), при длине волны (880–890) нм [8]. Содержание фосфатов рассчитывали по формуле

$$X = \frac{C \cdot 50}{V}, \qquad (2)$$

где C – концентрация фосфат-ионов, мг/дм³;
V – объем, взятый для анализа, см³.

Степень токсичности стоков оценивали методом биотестирования. Под *биотестированием* понимают процедуру установления токсичности среды с помощью тест-объектов, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения жизненно важных функций у тест-объектов. Благодаря простоте, оперативности и доступности биотестирование получило широкое признание во всем мире и его чаще используют наряду с методами аналитической химии [9]. Преимуществом такого метода перед физико-химическими методами является интегральный характер ответных реакций организмов. В качестве тест-объектов были использованы три зерновые культуры: ячмень *Hordeum vulgare*, овес *Avena sativa L.*, пшеница *Tríticum aestivum*, которые, наряду с другими культурными растениями (кресс-

салат, редис) широко используются в биологических исследованиях.

Для этого на дно чашек Петри помещали бумажные фильтры, увлажняли их исследуемой водой и равномерно распределяли зерна каждой культуры, по 20 штук в каждой из из трех повторностей В течение всего срока наблюдений (14 суток) образцы периодически поливали сточными и чистой (контроль) водами. В качестве контроля использовали водопроводную воду, предварительно отстоянную. На протяжении опыта отмечали всхожесть семян, по окончанию – измеряли длину корней и надземной части растений. Результаты эксперимента были обработаны методом вариационной статистики [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Как показал анализ данных химического анализа, сточные воды, не прошедшие предварительную очистку, содержали повышенные количества тяжелых металлов (железо, медь, цинк) и фосфатов (средние значения за трехлетний период наблюдений) в сравнении с установленным нормативом (табл. 1). Наибольшие отличия от НДС отмечались по содержанию фосфатов, что, вероятно, связано с попаданием в сточные воды различных поверхностно-активных веществ, используемых в технологическом цикле предприятия.

Данные химического анализа стоков, *прошедших этап очистки*, характеризуются тем, что содержание определяемых компонентов не превышало установленных значений норматива (табл. 1). Это свидетельствует об эффективной работе очистных сооружений.

Сравнивая полученные результаты, можно заметить, что в очищенных стоках количество определяемых веществ существенно ниже, чем содержание их в сточных водах, не прошедших очистку. Так, например, более существенной разница была по количеству фосфатов и никеля: меньше в 3,1 и 3,4 раза соответственно. Аналогичная закономерность сохранялась и по содержанию других веществ.

Таким образом, установленные очистные сооружения на производственных предприятиях, уменьшают количество загрязняющих веществ в сточных водах, тем самым улучшая их качество. Вследствие этого природные водоемы не испытывают столь сильного негативного влияния.

Степень *токсичности стоков* оценивали методом биотестирования по всхожести и изменению морфологических показателей злаков.

Результаты исследований показали, что разница с контролем по всхожести *овса*, обрабатываемого очищенной сточной водой, составила 12 %, тогда как в опытах с использованием неочищенной сточной воды всхожесть растений была на уровне контроля. По длине корня различий с контрольными образцами практически не наблюдалось, а по длине надземной части – тенденция к стимуляции в обоих вариантах опыта (разница с контролем составляла 19 %) (табл. 2).

Таблица 1

Сравнение содержания химических веществ в сточных водах

Показатели	НДС, мг/дм^3	Неочищенные сточные воды	Очищенные сточные воды
pH	6,0–8,0	7,6	7,58
Взвешенные вещества	120,0	73,0	60,0
Нефтепродукты	1,09	1,01	0,56
Железо общее	2,052	3,07	1,61
Медь	0,0718	0,084	0,042
Цинк	0,143	0,238	0,07
Никель	0,118	0,02	0,032
Свинец	0,108	0,05	0,045
Фосфаты	5,44	13,1	4,24

Таблица 2

Морфологические показатели ($X \pm m_x$) овса *Avena sativa*

Показатели	Контроль	Сточная вода	
		очищенная	без очистки
Всхожесть, шт.	17,3 ± 1,5	15,3 ± 0,6	17,0 ± 1,0
Длина корня, мм	123,5 ± 11,7	122,7 ± 11,8	119,5 ± 4,6
Длина надземной части, мм	98,0 ± 14,3	116,7 ± 22,4	116,6 ± 23,8

Таблица 3

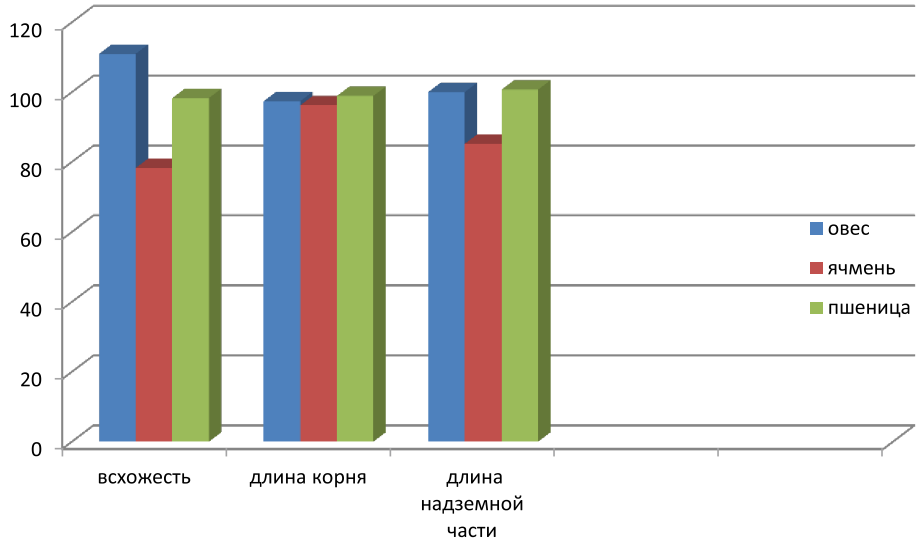
Морфологические показатели ($X \pm m_x$) ячменя *Hordeum sativum*

Показатели	Контроль	Сточная вода	
		очищенная	без очистки
Всхожесть, шт.	17,3 ± 0,7	16,6 ± 0,7	13,0 ± 3,0
Длина корня, мм	94,8 ± 5,8	89,1 ± 13,1	85,7 ± 15
Длина надземной части, мм	97,9 ± 16,2	114,5 ± 12,1	97,5 ± 11,5

Таблица 4

Морфологические показатели ($X \pm m_x$) пшеницы *Triticum aestivum*

Показатели	Контроль	Сточная вода	
		очищенная	без очистки
Всхожесть, шт.	16,0 ± 0,0	17,6 ± 0,4	17,3 ± 0,7
Длина корня, мм	92,4 ± 20,6	108,2 ± 15,5	107,0 ± 5,4
Длина надземной части, мм	117,5 ± 11,8	119,5 ± 11	120,4 ± 16,3



Показатели растений, обработанных водой без очистки (% к значениям растений, обработанных очищенной сточной водой)

Изучение действия сточных вод на *ячмень* показало, что всхожесть злаков в варианте опыта с очищенной сточной водой практически не отличалась от контрольных значений, тогда как при влиянии неочищенных стоков эта разница составляла 24,9%. По длине корня растений существенных отклонений от контроля не наблюдалось. В то же время по длине надземной части всходов в варианте с очищенной сточной водой отмечалась явная стимуляция: разница с контролем составила 17%. В опыте с водой без очистки этот показатель был на уровне контрольных значений (табл. 3).

В опытах со сточной водой обоих заводов биотестирование определило стимуляцию по всхожести и длине корня *пшеницы*: различия со значениями в контроле составили 12–15 и 17% соответственно. По длине побега различий с контрольными растениями практически не наблюдалось (табл. 4).

Наблюдаемый эффект, вероятно, связан с действием присутствующих в стоках тяжелых металлов (меди, цинка, железа, никеля), которые на первоначальном этапе стимулируют рост и развитие злаков, а по мере накопления отмечается угнетающее действие на растения [11].

Таким образом, в результате проведенных исследований сравнение действия сточных вод на растения показало их неоднозначное влияние: одни культуры испытывали угнетающее действие неочищенных стоков, у других учитываемые показатели

были на уровне таковых с растениями, обрабатываемыми очищенной сточной водой.

Так, например, у *овса* всхожесть семян в варианте опыта с водой без очистки превышала таковой показатель растений из опыта с очищенной водой на 11%. Другие тест-функции практически не отличались. Сравнение результатов экспериментов с другими культурами (*ячмень, пшеница*) свидетельствовали о более значимых отличиях учитываемых показателей злаков. Наиболее существенно они отмечались по длине побега и всхожести ячменя: разница в вариантах опыта составила 14,8–21,7% соответственно. У пшеницы отличий по вариантам опытов не выявлено (рисунок).

Как видим, результаты биотестирования свидетельствуют о том, что в течение эксперимента действие сточных вод на злаки вызывало как некоторый стимулирующий, так и угнетающий эффект.

Данные результатов биотестирования позволили выявить устойчивую и чувствительную культуры. Так, наиболее чувствительным оказался ячмень обыкновенный: по длине надземной части разница с контрольным уровнем составляла 14,8%, тогда как у других культур по данному показателю отличий не наблюдалось.

Наиболее устойчивым злаком определен овес посевной: всхожесть растений даже превышала контрольный уровень, а морфологические показатели не отличались от таковых в контроле. Более чувствительной тест-функцией можно назвать всхожесть семян: у ячменя она была ниже (вариант с неочищенными стоками), чем у контрольных растений, на 25%.

Выводы

1. Результаты химического анализа свидетельствуют о том, что за весь период наблюдений в сточных водах без очистки отмечалось превышение нормативов по содержанию железа, меди, цинка, сульфатов в 1,17–2,4 раза. Качество сточных вод, прошедших очистку, за исследованный период оставалось удовлетворительным: содержание веществ не превышало установленных нормативов, что указывает на эффективную работу очистных сооружений.

2. Результаты биотестирования показали, что сточные воды обоих предприятий оказывали острое токсическое действие на злаковые культуры, проявляющееся в снижении всхожести семян в опытных вариантах на 15–25% относительно контроля. При более длительном воздействии отмечались изменения морфологических показателей – длины корня и длины надземной части.

3. По данным биотестирования определены чувствительная (ячмень обыкновенный) и устойчивая (овес посевной) культуры. Более чувствительной тест-функцией оказалась всхожесть семян: у ячменя она была ниже (вариант с неочищенными стоками), чем у контрольных растений, на 25%.

Список литературы / References

1. Бикбулатов Э.С. Биоэлементы и их трансформация в водных экосистемах. Рыбинск: Рыбинский дом печати, 2009. 289 с.

Bikbulatov E.S. Bioelements and their transformation in aquatic ecosystems. Rybinsk: Rybinsk press house, 2009. 289 p. (in Russian).

2. Акатьева Т.Г. Изучение качества сточных вод предприятия «Жилищно-коммунальное хозяйство п. Боровский» с помощью Daphnia magna Straus // Современная экология: образование, наука, практика. 2017. С. 278–282.

Akatyeva T.G. Study of the quality of sewage of the enterprise «Housing and communal services p. Borowski» using Daphnia magna Straus // Modern ecology: education, science, practice. 2017. P. 278–282 (in Russian).

3. Влияние сточных вод на водоем и санитарные правила их спуска [Электронный ресурс]. URL: http://www.activestudy.info/vliyanie-stochnyx-vod-na-vodoem-i-sanitarnye-pravila-ix-spuska (дата обращения: 02.10.2018).

The impact of wastewater on the pond and sanitary rules of their descent [Электронный ресурс]. URL: http://www.activestudy.info/vliyanie-stochnyx-vod-na-vodoem-i-sanitarnye-pravila-ix-spuska (date of access: 02.10.2018) (in Russian).

4. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2013. 32 с.

5. Государственный контроль качества воды. М.: Издательство стандартов, 2001. 209 с.

State control of water quality. M.: Publishing house of standards, 2001. 209 p. (in Russian).

6. Водопользование (водопотребление и водоотведение): сборник нормативных документов. Екатеринбург: ИД «Урал Юр Издат», 2007. 304 с.

Water use (water consumption and sanitation): collection of normative documents. Ekaterinburg: publishing house «Ural Yur Izdat», 2007. 304 p. (in Russian).

7. ПНД Ф 16.2.2:2.3.71-2011 Количественных химический анализ почв. Методика измерений массовых долей металлов в осадках сточных вод, донных отложениях, образцах растительного происхождения спектральными методами [Электронный ресурс]. URL: http://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293793/4293793107.htm (дата обращения: 02.10.2018).

8. ПНД Ф 14.1:2:4.248-07 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовых концентраций ортофосфатов, полифосфатов и фосфора общего в пробах питьевых, природных и сточных вод, фотометрическим методом [Электронный ресурс]. URL: http://libnorm.ru/Files2/1/4293773/4293773265.htm (дата обращения: 02.10.2018).

9. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование / Ред. О.П. Мелехова, Е.И. Сарапульцева. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 288 с.

Biological control of the environment: bioindication and biotesting / Ed. O.P. Melekhova, E.I. Sarapultseva. M.: Publishing center «Academy», 2010. 288 p. (in Russian).

10. Зверев А.А., Зефиров Т.Л. Статистические методы в биологии: учебно-методическое пособие. Казань: КФУ, 2013. 42 с.

Zverev A.A., Zefirov T L. Statistical methods in biology: teaching manual. Kazan: KFU, 2013. 42 p. (in Russian).

11. Петухова Г.А., Акатьева Т.Г., Петухова Е.С., Артеменко С.В. Оценка токсического влияния поверхностных вод, загрязненных нефтью, в тестах на растениях и животных // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2010. № 7. С. 57–66.

Petukhova G.A., Akatyeva T.G., Petukhova E.S., Artemenko S.V. Assessment of toxic effect of surface waters contaminated with oil in tests on plants and animals. Bulletin of Tyumen state University. Ecology and nature management. 2010. No. 7. P. 57–66 (in Russian).

УДК 544.225:544.223

ЭЛЕКТРОННОЕ СТРОЕНИЕ НОВЫХ КРИСТАЛЛОВ $LIMS_2$ (M = B, AL, GA, IN)

[1,2]Басалаев Ю.М., [2]Дугинов Е.В., [2]Дугинова Е.Б.

[1]Кемеровский государственный университет, Кемерово, e-mail: ymbas@mail.ru;
[2]Кемеровский государственный сельскохозяйственный институт, Кемерово, e-mail: kit.katy@mail.ru

Проведено компьютерное моделирование гипотетических кристаллов $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In) в нетипичной для них структурной модификации, подобной структуре халькопирита. Для моделирования использовались возможности программного кода CRYSTAL14, основанного на теории функционала плотности DFT (density functional theory). В рамках теории функционала плотности с помощью стандартной процедуры оптимизации геометрии кристалла определены равновесные параметры кристаллической структуры исследуемых изоэлектронных соединений (a, c, в Å): $LiBS_2$ (5,4632, 8,1464), $LiAlS_2$ (5,6770, 10,1316), $LiGaS_2$ (5,6902, 10,3749), $LiInS_2$ (5,8090, 11,2801). Установлено, что кристаллы $LiBS_2$, $LiAlS_2$ и $LiGaS_2$ являются сильно сжатыми вдоль тетрагональной оси (отношение c/a<<2). Впервые вычислены энергетические зонные спектры и плотности состояний, дающие представление о формировании валентной зоны кристаллов с учетом их химического состава и кристаллической структуры. Анализ структуры краев валентной зоны и зоны проводимости показал, что все кристаллы $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In) являются прямозонными с оптической шириной запрещенной зоны соответственно равной 4,13; 3,98; 5,24 и 2,87 эВ. Кристаллическое расщепление убывает с ростом атомного номера катиона M: 0,85; 0,23; 0,21; 0,09 эВ. Получены карты распределения деформационной плотности заряда валентных электронов, характеризующие химическую связь в кристаллах $LiMS_2$ как ионно-ковалентную. Связь Li-S длиннее связи M-S, они обе увеличиваются с ростом атомного номера катиона M и становятся почти одинаковыми в $LiInS_2$ (2,4916 и 2,4909Å). Установленные для моделируемых соединений равновесные параметры кристаллической структуры, выявленные особенности электронного строения и химической связи представляют научный и практический интерес, при поиске условий синтеза кристаллов $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In) в структуре халькопирита.

Ключевые слова: халькопирит, функционал плотности, $LiBS_2$, $LiAlS_2$, $LiGaS_2$, $LiInS_2$

ELECTRONIC STRUCTURE OF NEW CRYSTALS $LIMS_2$ (M = B, AL, GA, IN)

[1,2]Basalaev Yu.M., [2]Duginov E.V., [2]Duginova E.B.

[1]Kemerovo State University, Kemerovo, e-mail: ymbas@mail.ru;
[2]Kemerovo State Agricultural Institute, Kemerovo, e-mail: kit.katy@mail.ru

Computer simulation of hypothetical $LiMS_2$ crystals (M = B, Al, Ga, In) was carried out in an atypical structural modification similar to chalcopyrite. For the simulation, the possibilities of the program code CRYSTAL14, based on the theory of the density functional density (DFT) were used. In the framework of the density functional theory, the equilibrium parameters of the crystal structure of the investigated isoelectronic compounds (a, c, in Å) are determined using the standard procedure for optimizing the geometry of the crystal: $LiBS_2$ (5.4632, 8.1464), $LiAlS_2$ (5.6770, 10.1316), $LiGaS_2$ (5.6902, 10.3749), $LiInS_2$ (5.8090, 11.2801). It was established that $LiBS_2$, $LiAlS_2$, and $LiGaS_2$ crystals are strongly compressed along the tetragonal axis (c/a << 2 ratio). For the first time, energy band spectra and densities of states are calculated, which give an idea of the formation of the valence band of crystals, taking into account their chemical composition and crystal structure. Analysis of the structure of the edges of the valence band and the conduction band showed that all $LiMS_2$ crystals (M = B, Al, Ga, In) are direct-band crystals with an optical band gap of 4.13, 3.98, 5.24 and 2.87 eV, respectively. The crystal splitting decreases with increasing atomic number of the cation M: 0.85, 0.23, 0.21, 0.09 eV. Maps of distribution of deformation charge density of valence electrons, characterizing the chemical bond in $LiMS_2$ crystals, as ion-covalent, are obtained. The Li-S bond is longer than the M-S bond, they both increase with the atomic number of the M cation and become almost identical in $LiInS_2$ (2.4916 and 2.4909Å). The equilibrium parameters of the crystal structure established for the simulated compounds, the revealed features of the electronic structure and the chemical bond are of scientific and practical interest when searching for the conditions for the synthesis of $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In) crystals in the chalcopyrite structure.

Keywords: chalcopyrite, density functional, $LiBS_2$, $LiAlS_2$, $LiGaS_2$, $LiInS_2$

Поиск новых материалов для нелинейной оптики среднего ИК-диапазона и развитие технологий синтеза все более сложных по составу и структуре веществ стимулировали получение и экспериментальное исследование Li-содержащих соединений, принадлежащих семейству хорошо изученных к настоящему времени алмазоподобных соединений I–III–VI_2. Повышенный интерес к кристаллам LiMX_2 (M = B, Al, In, Ga; X = O, S, Se, Te) вызван наличием ряда физических и физико-химических свойств (относительно большая ширина запрещенной зоны, высокий коэффициент теплопроводности, низкая анизотропия линейного теплового расширения и др.), делающих кристаллы LiMX_2 более перспективными по сравнению с их кристаллохимическими аналогами, например, CuMX_2 и AgMX_2. Благодаря проведенным за последние десять лет исследованиям был накоплен большой массив экспериментальных данных, полу-

ченных в нашей стране группой Л.И. Исаенко из Новосибирска [1–3] и их зарубежными коллегами, осуществившими успешное выращивание и изучение свойств тройных Li-содержащих халькогенидов [4–6]. Теоретические исследования из первых принципов электронной структуры и колебательных свойств кристаллов LiMX_2 появились сравнительно недавно и посвящены изучению кристаллов в структурах β-феррита натрия (орторомбическая фаза типа β-$NaFeO_2$) [7, 8] или халькопирита (тетрагональная фаза типа $CuFeS_2$) [9–11]. Электронное и колебательное строение кристаллов LiMS$_2$, которые обычно кристаллизуются в орторомбической фазе, частично изучены и полученные из эксперимента или с помощью теоретических расчетов данные представлены в перечисленных выше работах. Что касается тетрагональной фазы, то какие-либо сведения о синтезе или компьютерном моделировании кристаллов LiMS$_2$ со структурой халькопирита в литературе отсутствуют.

Цель исследования: моделирование и исследование с использованием методов теории функционала плотности энергетической зонной структуры и химической связи в алмазоподобных кристаллах LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In) с решеткой халькопирита.

Материалы и методы исследования

Подобие орторомбической и тетрагональной кристаллических структур, характерных для кристаллов LiMX_2, было подробно рассмотрено и проанализировано в работе [12] на примере реальных кристаллов $LiInSe_2$, синтезированных в структурах халькопирита и β-феррита натрия. В настоящей работе мы моделируем кристаллы LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In) в структуре халькопирита (рис. 1), которая является производной от структуры сфалерита (увеличенной вдвое по оси z из-за наличия катионов двух сортов) и характеризуется параметрами решетки a и c, их отношением $\gamma = c/a$ (тетрагональное сжатие) и смещением анионов из узлов гранецентрированной подрешетки, определяемым их координатой x. Элементарная ячейка халькопирита содержит 8 атомов с координатами: Li – (0,0,0) (0,½,¼); M – (0,0,½) (0,½,–¼); S – (x,¼,⅛) (–x,¼,⅛) (–¼,x,–⅛) (¼,-x,-⅛), в единицах a(1,1,γ).

В структуре халькопирита катионы (Li, M) окружены четырьмя эквивалентными анионами S, а каждый анион S окружен парой атомов Li и парой атомов сорта M, таким образом, что формируются катионные LiS_4, MS_4 и анионные Li_2SM_2 тетраэдры.

Постоянные решетки a, c и смещение анионов x из узлов ГЦК подрешетки, определяющие размер кристаллической ячейки и положение анионов в структуре халькопирита, были вычислены по формулам из работы [13]. Полученные таким образом значения a, c и x путем оптимизации геометрии кристалла были приведены к равновесным значениям, которые представлены в таблице и использовались нами в расчетах электронного строения кристаллов LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In).

Параметры кристаллической структуры кристаллов LiMS$_2$

Параметры	$LiBS_2$	$LiAlS_2$	$LiGaS_2$	$LiInS_2$
a, Å	5,4632	5,6770	5,6902	5,8090
c, Å	8,1464	10,1316	10,3749	11,2801
x	0,3249	0,2797	0,2744	0,2501
γ	1,491	1,785	1,823	1,942
$R_{Li\text{-}S}$, Å	2,460	2,478	2,479	2,492
$R_{M\text{-}S}$, Å	1,954	2,276	2,314	2,491

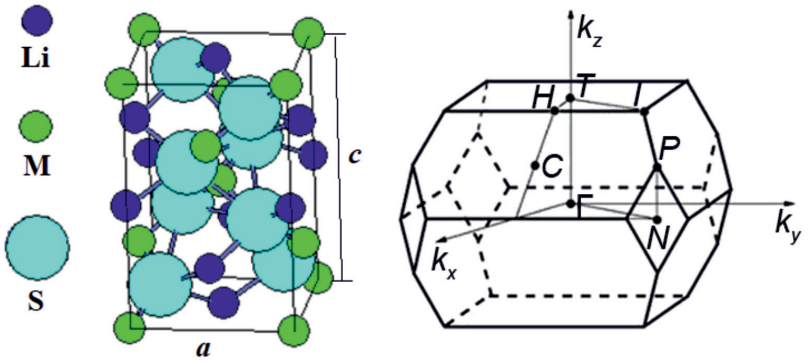


Рис. 1. Кристаллическая ячейка и зона Бриллюэна соединений $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In) со структурой халькопирита

Кристаллическая ячейка кристаллов LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In) со структурой халькопирита (пространственная группа № 122, D_{2d}^{12} или I-42d) содержит две формульные единицы с четырьмя неэквивалентными атомами и является сильно деформированной, так как тетрагональное сжатие $\gamma = c/a$ кристаллов LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga) много меньше «идеального» значения $\gamma = 2{,}00$. Параметр смещения анионов (S) для кристаллов LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga) также сильно отличается от «идеального» $x = 0{,}25$, что обусловлено существенным различием длин связей Li-S и M-S: от 21% в LiBS$_2$ до 7% в LiGaS$_2$. Исключение представляет кристалл LiInS$_2$, в котором длины связей практически равны, и соответственно, кристаллические параметры a, c и x близки к идеальным.

Теория функционала плотности – DFT (density functional theory) хорошо себя зарекомендовала в исследованиях электронного строения различных по составу кристаллических твердых тел и составляет основу большинства современных программных кодов. Мы применили данную теорию с целью реализации модельных расчетов из первых принципов (*ab initio*) для группы гомологических кристаллов LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In). Оптимизация геометрии и вычисления зонной структуры E(k), плотности состояний N(E) и распределения электронной плотности ρ(r) проводились в рамках теории функционала плотности с использованием программного кода CRYSTAL [14] и заложенного в нем гибридного метода *ab initio* расчета B3LYP, который, в частности, считается одним из лучших при вычислении ширины запрещенной зоны. Высокая точность расчетов и сходимость по полной энергии обеспечивались разбиением зоны Бриллюэна (рис. 1) на сетку из специальных точек 16×16×16 и обрывом энергии при 40 ридбергах.

Результаты исследования и их обсуждение

Зонные спектры E(k) исследуемых кристаллов LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In), вычисленные в наиболее характерных для зоны Бриллюэна халькопирита (рис. 1) точках высокой симметрии T = (001), Γ = (000), N = (½½0), а также вдоль соединяющих их линий в единицах $2\pi/a(1,1,1/\gamma)$, представлены на рис. 2.

За начало шкалы энергий выбрана вершина валентной зоны кристалла LiBS$_2$, серым цветом выделена запрещенная зона E$_g$, значения которой приведены на рис. 1. Цифрами (1, 4, 5) на рисунке вблизи краев зоны проводимости (c) и валентной зоны (v) обозначены соответствующие неприводимые представления (Γ_{1C}, Γ_{4V}, Γ_{5V}).

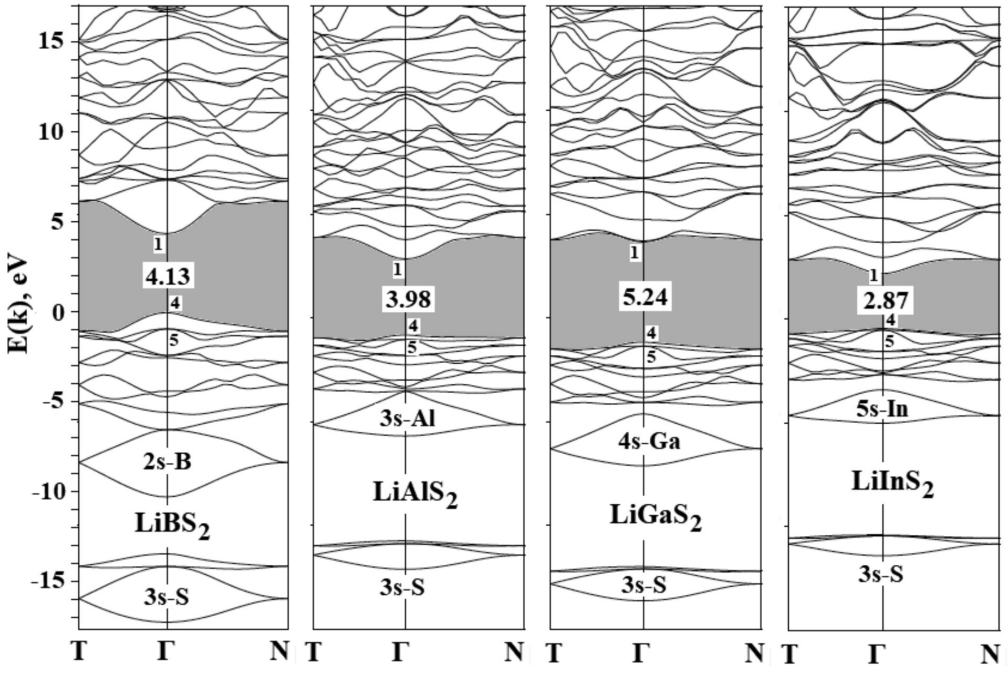


Рис. 2. Зонная структура кристаллов LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In)

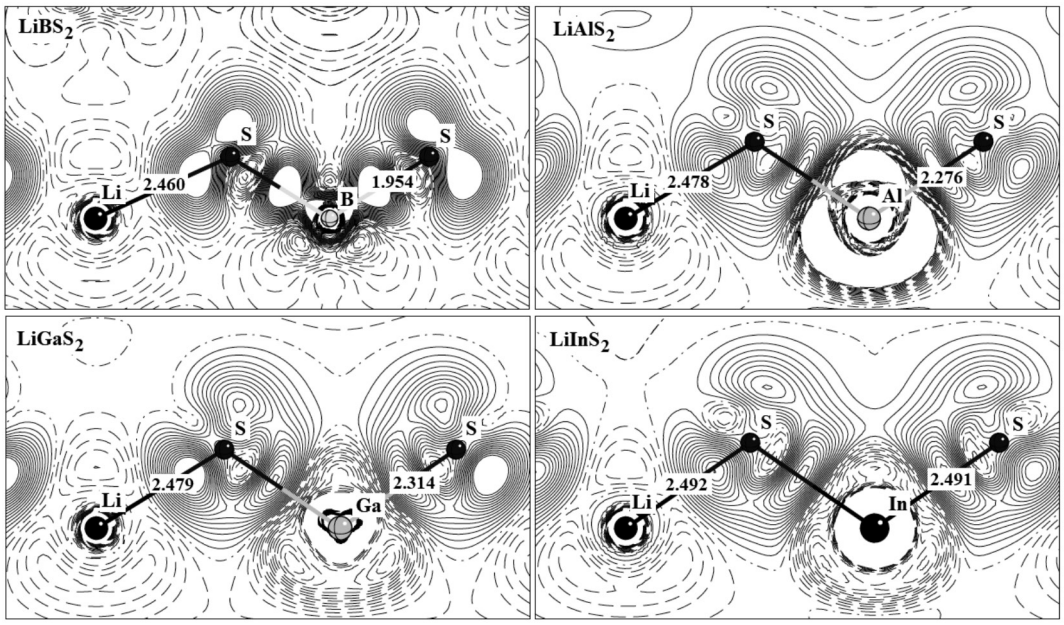


Рис. 3. Деформационная плотность Δρ(r) кристаллов $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In)

В целом валентная зона кристаллов $LiMS_2$ (M = B, Al, Ga, In) имеет типичный для кристаллов $LiMX_2$ со структурой халькопирита вид [11, 12]. Можно видеть три разрешенные подзоны, разделенные двумя запрещенными участками энергии, как в кристаллах $LiGaS_2$ и $LiInS_2$. В кристаллах $LiBS_2$ и $LiAlS_2$ эти подзоны можно только проследить, так как две верхние подзоны перекрываются между собой. Причиной такого перекрывания является сильное тетрагональное сжатие ($\gamma < 1{,}8$), как в случае $LiBO_2$ [11]. Во всех кристаллах $LiMS_2$ нижняя подзона из четырех уровней энергии содержит преимущественно вклады 3s-состояний атомов S. Следующая подзона из двух энергетических уровней включает преобладающие вклады s-состояний атомов M (Ga, In). В кристаллах $LiBS_2$ и $LiAlS_2$ эта подзона состоит из четырех уровней энергии, которые вплотную прилегают к верхней подзоне, состоящей из десяти энергетических уровней, образованных в основном из p-состояний атомов S. Полная ширина валентной зоны ΔE_V уменьшается от ~16 до 12 эВ в ряду $LiBS_2 \rightarrow LiAlS_2 \rightarrow LiGaS_2 \rightarrow LiInS_2$. Рассмотрение изоанионного ряда сульфидов $LiMS_2$ показало, что при замещении катионов B→Al→Ga→In (рис. 2) прослеживаются отделение второй связки зон от верхней связки валентных зон и нелинейное изменение структуры валентных зон, которые коррелируют с нелинейным изменением ковалентных радиусов (r_M) и электроотрицательностей (χ), равных соответственно: B(0,89, 1,4)→Al(1,34, 1,35)→Ga(1,29, 1,5)→In(1,49, 1,6).

Экстремумы валентной зоны и зоны проводимости кристаллов $LiMS_2$ реализуются в центре зоны Бриллюэна (точка Γ). Поскольку абсолютный минимум зоны проводимости (Γ_{1C} – неприводимое представление) и абсолютный максимум валентной зоны (Γ_{4V}) расположены в одной точке зоны Бриллюэна, а прямой переход $\Gamma_{4V} \rightarrow \Gamma_{1C}$ разрешен, то исследуемые кристаллы являются прямозонными. Разность между этими уровнями определяет ширину запрещенной зоны E_g, значения которой изменяются следующим образом (рис. 2): 4,13 ($LiBS_2$), 3,98 ($LiAlS_2$), 5,24 ($LiGaS_2$), 2,87 ($LiInS_2$) эВ. Кристаллическое расщепление, равное разности между двумя верхними уровнями вершины валентной зоны $\Delta_{KP} = E(\Gamma_{4V})$-$E(\Gamma_{5V})$ убывает в изоанионном ряду с увеличением атомного номера катиона M (B, Al, Ga, In): 0,85 ($LiBS_2$), 0,23 ($LiAlS_2$), 0,21 ($LiGaS_2$), 0,09 ($LiInS_2$) эВ.

Из расчетов парциальных плотностей состояний N(E) установлено, что дно зоны проводимости содержит в основном p-состояния атомов S, с примесью s-состояний атомов M (B, Al, Ga, In), как в случае других орторомбических и тетрагональных кристаллов $LiMX_2$, рассмотренных в работах [11, 12].

Вычислены полные ρ(r) и деформационные Δρ(r) плотности распределения заряда валентных электронов и исследованы особенности образования химической связи в кристаллах LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In) со структурой халькопирита. Деформационная плотность исследуемых кристаллов получается в результате вычитания из кристаллической электронной плотности ρ(r) суммы электронных плотностей атомов, входящих в состав кристалла. На рис. 3 представлены карты распределения деформационной Δρ(r) электронной плотности кристаллов LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In) со структурой халькопирита в плоскости содержащей атомы разного сорта. Анализ карт распределения полной электронной плотности показывает, что основной заряд сосредоточен на анионе (S). Такое распределение типично и для других кристаллов LiMX_2 с различной структурной модификацией [11, 12].

На картах деформационной плотности Δρ(r) хорошо видны локализованные на связях Li-S и M-S заряды, характеризующие ковалентную составляющую химической связи между катионами и анионами. Связи Li-S являются в большей степени ионными и менее прочными, чем связи M-S, что можно проследить по картам на рис. 3. Увеличение длин связей свидетельствует об их ослаблении в ряду $LiBS_2 \rightarrow LiAlS_2 \rightarrow LiGaS_2 \rightarrow LiInS_2$.

Заключение

Изучение электронного строения изоэлектронного ряда $LiBS_2 \rightarrow LiAlS_2 \rightarrow LiGaS_2 \rightarrow LiInS_2$ в рамках единого подхода на основе теории функционала плотности обеспечило возможность получить достоверные данные об энергетической зонной структуре и особенностях формирования химической связи, обусловленных изменением химического состава в исследуемых кристаллах. Получены равновесные структурные параметры четырех новых кристаллов со структурой халькопирита. Все кристаллы LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In) являются широкозонными $E_g > 2{,}5$ эВ, что делает их перспективными материалами для практического применения в оптоэлектронике и устройствах, работающих в среднем ИК-диапазоне, как большинство кристаллов LiMX_2 с различной структурной модификацией. Полученные карты распределения деформационной электронной плотности в кристаллах LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In) хорошо иллюстрируют особенности ионно-ковалентной связи в них. Результаты расчетов зонной структуры и деформационной плотности Δρ(**r**) не противоречат данным, полученным ранее для других кристаллов семейства халькопирита. Первопринципное моделирование кристаллической структуры, установленные из расчетов особенности электронного строения, количественные характеристики энергетической зонной структуры, тип химической связи и выявленное влияние химического состава в рассмотренных кристаллах LiMS$_2$ (M = B, Al, Ga, In) на их свойства, могут быть полезны с научной точки зрения. Они также имеют практическое значение для специалистов, занимающихся поиском новых полупроводниковых материалов с уникальными оптическими свойствами и подбирающих условия их синтеза в структуре халькопирита, которая, согласно расчетам, является вполне реальной и может быть получена при высоких температурах как фаза высокого давления.

Список литературы / References

1. Isaenko L., Vasilyeva I., Yelisseyev A., Lobanov S., Malakhov V., Dovlitova L., Zondy J.-J., Kavun I.I. Growth and characterization of $LiInS_2$ single crystals. J. Cryst. Growth. 2000. vol. 218. no. 2-4. P. 313-322. DOI: 10.1016/S0022-0248(00)00565-0.

2. Isaenko L., Vasilyeva I., Merkulov A., Yelisseyev A., Lobanov S. Growth of new nonlinear crystals $LiMX_2$ (M = Al, In, Ga, X = S, Se, Te) for the mid-IR optics. J. Cryst. Growth. 2005. vol. 275. no. 1–2. P. 217−223. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2004.10.089.

3. Isaenko L.I., Vasilyeva I.G. Nonlinear $LiB^{III}C^{VI}_2$ crystals for mid-IR and far-IR: novel aspects in crystal growth. J. Cryst. Growth. 2008. vol. 310. no. 7–9. P. 1954−1960. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2007.11.201.

4. Tupitsyn E., Bhattacharya P., Rowe E., Matei L., Cui Y., Buliga V., Groza M., Wiggins B., Burger A., A. Stowe Lithium containing chalcogenide single crystals for neutron detection. J. Cryst. Growth. 2014. vol. 393. no. 1. P. 23–27. https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2013.10.054.

5. Drebushchak V.A., Isaenko L.I., Lobanov S.I., Krinitsin P.G., Grazhdannikov S.A. Experimental heat capacity of $LiInS_2$, $LiInSe_2$, $LiGaS_2$, $LiGaSe_2$, and $LiGaTe_2$ from 180 to 460 K. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry 2017. vol. 129. no. 1. P.103-108. DOI: 10.1007/s10973-017-6176-9.

6. Drebushchak V.A. Model-free temperature scaling for heat capacity. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2017. vol. 130. no. 1. P. 5–13. DOI: 10.1007/s10973-017-6447-5.

7. Long-HuaLi, Jun-QianLi, Li-MingWu. Electronic structures and optical properties of wurtzite type $LiBSe_2$ (B = Al, Ga, In): A first-principles study. Journal of Solid State Chemistry. 2008. vol. 181. no. 9. P. 2462–2468. DOI: 10.1016/j.jssc.2008.05.047

8. Reshak Ali H., Auluck S., Kityk I.V., Al-Douri Y., Khenata R., A. Bouhemadou Electronic properties of orthorhombic $LiGaS_2$ and $LiGaSe_2$. Applied Physics A. 2009. vol. 94. no. 2. P. 315–320. DOI: 10.1007/s00339-008-4794-6.

9. Басалаев Ю.М., Журавлев Ю.Н., Китова Е.Б., Поплавной А.С. Химическая связь в тройных изоструктурных

Li-содержащих халькогенидах. Журнал структурной химии. 2007. Т. 48, № 6. С. 1067–1071.

Basalaev Yu.M., Zhuravlev Yu.N., Kitova E.B., Poplavnoi A.S. Chemical bonding in isostructural Li-containing ternary chalcogenides. Journal of structural chemistry. 2007. vol. 48, no. 6. P. 1001–1005. DOI: 10.1007/s10947-007-0163-0.

10. Kosobutsky A.V., Basalaev Yu.M., Poplavnoi A.S. Lattice dynamics of chalcopyrite semiconductors $LiAlTe_2$, $LiGaTe_2$ and $LiInTe_2$. Phys. Stat. Sol. (b). 2009. vol. 246. no. 2. P. 364–371. DOI: 10.1002/pssb.200844283.

11. Basalaev Yu.M., Poplavnoi A.S. Crystal chemistry, electronic and vibrational structure of compounds with chalcopyrite lattice. In: Chalcopyrite: Chemical Composition, Occurrence and Uses / Ed. Deborah Cronin. Nova Science Publishers, Inc.: N.Y. USA. 2014. P. 194 (pp. 115–173).

12. Дугинова Е.Б. Энергетическая структура и химическая связь в кристаллах $LiMX_2$ (M = Al, Ga, In; X = S, Se, Te) и $LiGaO_2$: дис. … канд. физ.-мат. наук. Кемерово, 2009. 124 с.

Duginova E.B. Energy structure and chemical bonding in $LiMX_2$ crystals (M = Al, Ga, In, X = S, Se, Te) and $LiGaO_2$: dis. ... cand. fiz.-mat. nauk. Kemerovo. 2009. 124 p. (in Russian).

13. Jaffe J.E., Zunger A. Theory of the band-gap anomaly in ABC_2 chalcopyrite semiconductors. Phys. Rev. B. 1984. vol. 29, no. 4. P. 1882–1906. DOI: 10.1103/PhysRevB.29.1882.

14. Dovesi R., Orlando R., Erba A., Zicovich-Wilson C.M., Civalleri B., Casassa S., Maschio L., Ferrabone M., De La Pierre M., D'Arco P., Noel Y., Causa M., Rerat M., Kirtman B. CRYSTAL14: A program for the ab initio investigation of crystalline solids. Int. J. Quantum Chem. 2014. vol. 114. no. 19. P. 1287–1326. https://doi.org/10.1002/qua.24658.

УДК 631.52:633.11"324":581.132

ГЕНОТИПИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ФОТОАКТИВНОСТИ ЛИСТЬЯМИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

[1]Амелин А.В., [1]Чекалин Е.И., [1]Заикин В.В., [2]Кулешова И.В., [3]Мазалов В.И., [3]Сагин А.В.

[1]ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», Орел, e-mail: amelin_100@mail.ru;

[2]ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина», Белгородская обл., п. Майский;

[3]Шатиловская сельскохозяйственная опытная станция ФГБНУ ВНИИ зернобобовых и крупяных культур, Орловская область, п. Шатилово

Проведена 3-летняя полевая оценка интенсивности фотосинтеза листьев у 35 новых сортов озимой пшеницы, созданных в ведущих селекционных учреждениях страны. Установлен интервал варьирования данного признака в зависимости от погодных условий вегетации растений, биологических особенностей культуры и сорта. Наибольшая величина интенсивности фотосинтеза листьев зафиксирована в 2017 г., когда в период формирования и налива зерновок отмечались умеренная температура воздуха и количество атмосферных осадков. При ухудшении метеоусловий значение интенсивности фотосинтеза (ИФ) в данный период развития растений резко снижалось: в 2015 г. она была меньше на 33,6%, а в 2016 г. – на 52,7%, по сравнению с 2017 г. Но независимо от условий вегетации, наследственная специфика проявления активности фотосинтеза у растений культуры сохранялась. В годы исследований диапазон генотипического варьирования среднего значения интенсивности фотосинтеза у опытных образцов находился в пределах от 1,97 до 18,65 μмоль/м^{2}с. В относительно благоприятных условиях наибольшее значение интенсивности фотосинтеза (в среднем 25,63 μмольCO_2/м^{2}с) отмечено у сортов преимущественно южного происхождения, тогда как в более экстремальных погодных условиях активнее фотосинтезировали листья сортов северного экотипа. В онтогенезе растений интенсивность фотосинтеза листьев начинает активно расти с фазы кущения, достигая максимальной величины в период «цветение – образование и налив зерновок», а затем, по мере старения, ее значение начинает по нарастающей снижаться. У сортов с высокой фотоактивностью листьев в среднем за вегетацию, максимальное значение интенсивности фотосинтеза отмечалось в период массового налива зерновок, у сортов со средней фотоактивностью – во время цветения, а с низкой – в фазу колошения.

Ключевые слова: селекция, физиология растений, сорт, фотосинтез, озимая пшеница, интенсивность фотосинтеза

GENOTYPIC CHARACTERISTICS OF PHOTOACTIVITY MANIFESTATION BY WINTER WHEAT LEAVES

[1]Amelin A.V., [1]Chekalin E.I., [1]Zaikin V.V., [2]Kuleshova I.V., [3]Mazalov V.I., [3]Sagin A.V.

[1]Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, Orel, e-mail: amelin_100@mail.ru;

[2]Belgorod State Agricultural University named after V.Ya. Gorin, Belgorod region, Maisky;

[3]Shatilovskaya agricultural experimental station FGBNU VNII of leguminous and cereal crops, Orlov region, Shatilovo

A 3-year field assessment of leaf photosynthesis intensity was carried out in 35 new winter wheat varieties created in the leading breeding institutions of the country. The interval of variation of this characteristic has been established depending on the weather conditions of the growing season of plants, the biological characteristics of the crop and the variety. The highest intensity of leaves photosynthesis was recorded in 2017, when during the period of formation and grain filling moderate air temperature and the amount of precipitation were observed. With the deterioration of weather conditions, the value of the intensity of photosynthesis (IF) during this period of plant development sharply decreased: in 2015 it was less by 33.6%, and in 2016 – by 52.7%, compared to 2017. But regardless of the growing conditions, the hereditary specificity of the manifestation of photosynthesis activity in plants of culture remained. During the years of research, the range of genotypic variation of the average value of the photosynthesis intensity in the experimental sample ranged from 1.97 to 18.65 μmol / m2s. Under relatively favorable conditions, the highest intensity of photosynthesis (an average of 25.63 μmCO_2 / m^{2}s) was observed in varieties of predominantly southern origin, whereas in more extreme weather conditions, photos of the northern ecotype were more actively photosynthesized. In the ontogeny of plants, the photosynthesis rate of leaves begins to grow actively from the tillering stage, reaching a maximum value during the «flowering – formation and pouring grains» period, and then, as it ages, its value begins to increase. In varieties with high photoactivity of leaves on average during the growing season, the maximum intensity of photosynthesis was noted during the mass loading of grains, in varieties with medium photoactivity during flowering, and from low in the earing phase.

Keywords: breeding, plant physiology, varieties, photosynthesis, winter wheat, photosynthesis intensity

Фотосинтетической активностью фактически обладают все хлорофиллсодержащие органы растений, но при формировании урожая основная фотосинтетическая нагрузка в системе целого растения приходится на листья. У пшеницы их вклад в формирование урожая может оцениваться как 82% [1]. Фотосинтетическая роль дру-

гих органов (стебель, колос) существенно возрастает на завершающих этапах развития растений [2], а в фазу формирования и налива зерновок основной вклад вносят флаговый лист и колос растения [3, 4]. Поэтому научное обоснование, прежде всего, структурно-функциональных параметров листьев у перспективного сорта имеет для селекции приоритетное значение.

В настоящее время у многих современных сортов пшеницы фотосинтетический потенциал достиг своих предельных размеров. Поэтому активно проводится поиск других механизмов роста урожайности, в том числе за счет повышения активности и эффективности фотосинтеза [1, 5].

С учетом вышеотмеченного, в 2015 г. нами совместно с селекционерами Белгородского ГАУ имени В.Я. Горина были начаты научные исследования по разработке методических подходов создания сортов озимой пшеницы нового поколения – с повышенной эффективностью использования фотосинтезом растений возобновляемого природного источника энергии солнца, где имеются огромные, но пока слабо используемые резервы. Целью данного исследования являлось выявление генотипической специфики проявления интенсивности фотосинтеза у современных сортов озимой пшеницы в зависимости от фазы роста растений, яруса листа и погодных условий произрастания. Результатам проведенной работы и посвящена данная научная статья.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2015–2017 гг. в соответствии с тематическим планом-заданием Министерства сельского хозяйства в рамках комплексного проекта по селекции ЦКП Орловского ГАУ «Генетические ресурсы растений и их использование», Белгородского ГАУ им. В.Я. Горина и Шатиловской СХОС ФГБНУ Всероссийского НИИ зернобобовых и крупяных культур.

Объектами основных исследований являлись 35 новых сортов культуры ведущих селекционных учреждений РФ, которые условно были разделены по географическому происхождению на 13 групп: сорта Московского НИИСХ («Немчиновка») – Московская 39, Памяти Федина, Московская 56, Немчиновская 57, Немчиновская 17, Московская 40; ФГБНУ Юго-Востока – Жемчужина Поволжья, Саратовская 17; ФГБНУ «ДЗНИИСХ» – Губернатор Дона, Донэра, Октава 15; ФГБНУ ВНИИЗК Зерноград – Аскет, Донской сюрприз; Белгородский ГАУ – Белгородская 16, Майская юбилейная; Белгородский НИИСХ – Казачья, Ариадна; Поволжский НИИСХ – Поволжская 86, Лютесценс 3608; Беларусь – Богатка, Финезия; Воронежский НИИСХ – Крастал, Черноземка 115; Ставропольский НИИСХ – Багира, Анисимовка; Ершовская опытная станция – Джангаль; Рязанский НИИСХ – Глафира, Ангелина; Краснодарский НИИСХ – Антонина, Бригада, Курень, Морозко, Табор, Трио, Юка.

Опытный материал выращивали на делянках площадью 25 м^2 в 3–4-кратной повторности, размещение делянок – систематическое.

Интенсивность фотосинтеза определяли в полевых условиях у интактных растений в режиме реального времени с помощью портативного газоанализатора GFS-3000 FL. немецкой фирмы Walz. Учет проводили с 9–00 до 11–00 часов на флаговом, предфлаговом и нижерасположенном листьях при интенсивности освещения в камере-прищепке 1000 мкмоль/м^{2}с и температуре воздуха 25 °С. Замеры осуществлялись каждую неделю в основные фазы роста: кущение, выход в трубку, колошение, цветение, налив, молочно-восковая спелость. Выборка состояла из 5–7 типичных растений для сорта, произраставших в середине делянки.

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что интенсивность фотосинтеза листьев сельскохозяйственных культур существенно зависит от условий вегетации растений: режима освещения, температуры, увлажнения и минерального питания растений [6, 7].

У изученных сортов пшеницы озимой наибольшая ее величина (15,93 μмоль/м^{2}с) была зафиксирована в 2017 г., когда в период формирования и налива зерновок отмечались умеренная температура воздуха (не выше 25 °С) и количество атмосферных осадков (125 мм) в виде периодически идущих кратковременных дождей. При ухудшении метеоусловий в данный период развития растений значение интенсивности фотосинтеза (ИФ) резко снижалось: в 2015 г. она была на 33,6 %, а в 2016 г. на 52,7 % меньше, по сравнению с 2017 г.

В 2015 г. период «формирование колоса – налив зерновок» (конец мая – середина июля) у растений культуры характеризовался выраженной засушливостью: количество осадков выпало в 2 раза меньше среднемноголетней нормы, а температура

была ее выше на 2,5 °С. В 2016 г. погодные условия в период генеративного развития были еще жёстче. Во время формирования зерновок и их начального налива стояла сухая и жаркая погода: осадки отсутствовали, а температура превышала среднемноголетнее значение на 5 °С, что и оказало соответствующее влияние на фотосинтетическую активность листьев (рис. 1).

Но, независимо от условий вегетации, генотипические особенности проявления активности фотосинтеза у растений культуры сохранялись. В относительно благоприятных метеоусловиях 2017 г., наибольшее значение интенсивности фотосинтеза (в среднем 25,63 μмольCO_2/м^{2}с) было зафиксировано у сортов преимущественно южного происхождения. Среди них лидерами являлись сорта Краснодарского (Трио, Бригада, Морозко, Черноземка 115), Поволжского (Лютесценс 3608, Поволжская 86) и НИИ сельского хозяйства Юго-Востока (Джангаль). Тогда как в более экстремальных погодных условиях 2015 и 2016 гг. большей интенсивностью фотосинтеза отличались «северные» сорта – Московского НИИСХ: Московская 40, Немчиновская 17 и Немчиновская 57 (18,41…18,16…16,57 μмоль CO_2/м^{2}с, соответственно). Группу с низкой интенсивностью фотосинтеза (менее 10 μмоль CO_2/м^{2}с) в основном составляли южные сорта, за исключением Галины. Интервал варьирования признака в этой группе находился в диапазоне от 2,36 до 9,63 μмоль CO_2/м^{2}с.

Данные такого характера свидетельствуют и о том, что интенсивность фотосинтеза у растений озимой пшеницы имеет высокую наследственную обусловленность, во многом связанную с происхождением сорта. В годы исследований диапазон генотипического варьирования среднего значения интенсивности фотосинтеза у опытных образцов культуры находился в пределах от 1,97 до 18,65 μмоль/м^{2}с., в том числе в 2015 г. он составлял 2,36 – 18,41 μмоль CO_2/м^{2}с, 2016 г. – 3,99–10,30 μмоль CO_2/м^{2}с, а в 2017 г. – 10,32 – 25,63 μмоль CO_2/м^{2}с.

В онтогенезе растений интенсивность фотосинтеза листьев начинает активно расти с фазы кущения, достигая максимальной величины в период «цветение – образование и налив зерновок», очевидно, по причине того, что в это время резко возрастает спрос на фотоассимиляты. Но затем, по мере старения листьев, ее значение начинает по нарастающей снижаться вплоть до фазы молочно-восковой спелости зерновок. В фазу цветения величина этого показателя у опытных сортообразцов была в среднем на 18% больше, по сравнению с фазами «кущение», «выход в трубку» и «молочно-восковая спелость».

При этом и здесь проявляется определенная генотипическая специфика. У сортов с высокой фотоактивностью листьев в среднем за вегетацию, максимальное значение интенсивности фотосинтеза отмечалось в период массового налива зерновок, тогда как у сортов со средней фотоактивностью – во время цветения, а низкой – в фазу колошения (рис. 2).

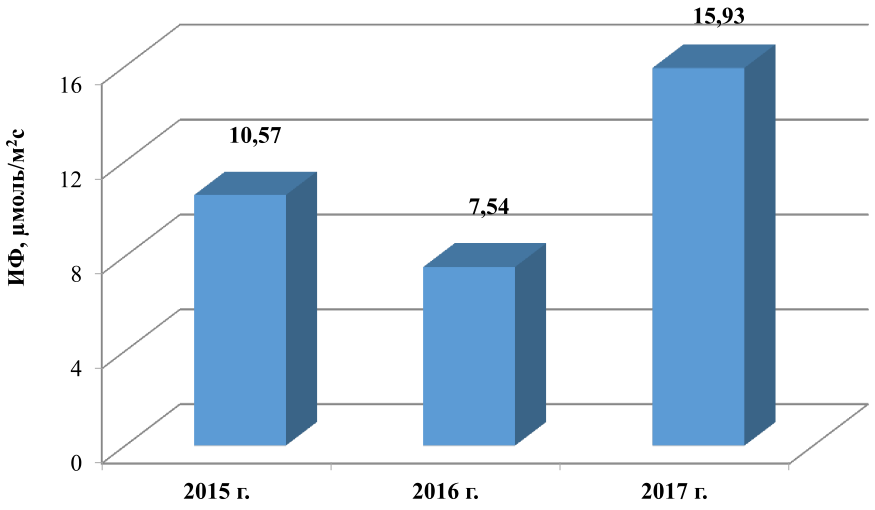


Рис. 1. Интенсивность фотосинтеза (ИФ) листьев озимой пшеницы в разные годы исследований, период налива зерновок

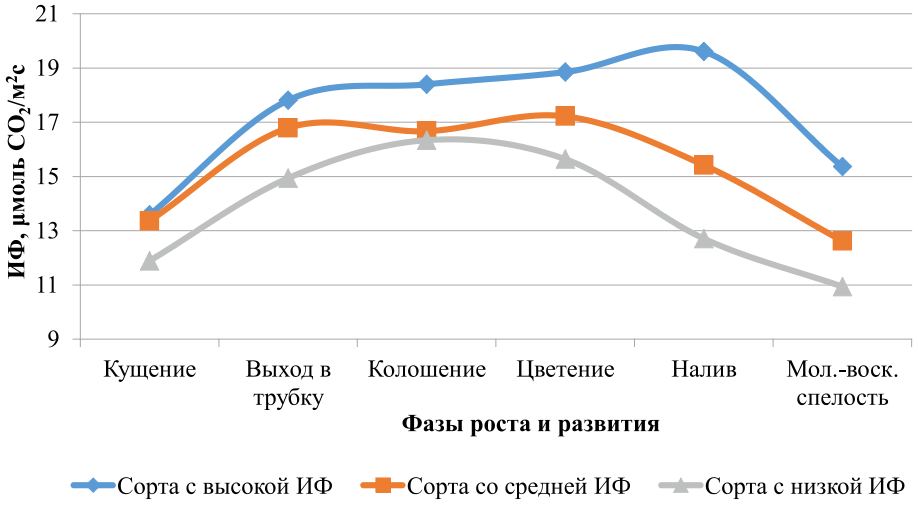


Рис. 2. Интенсивность фотосинтеза (ИФ) листьев в онтогенезе разных по фотоактивности сортовых групп озимой пшеницы

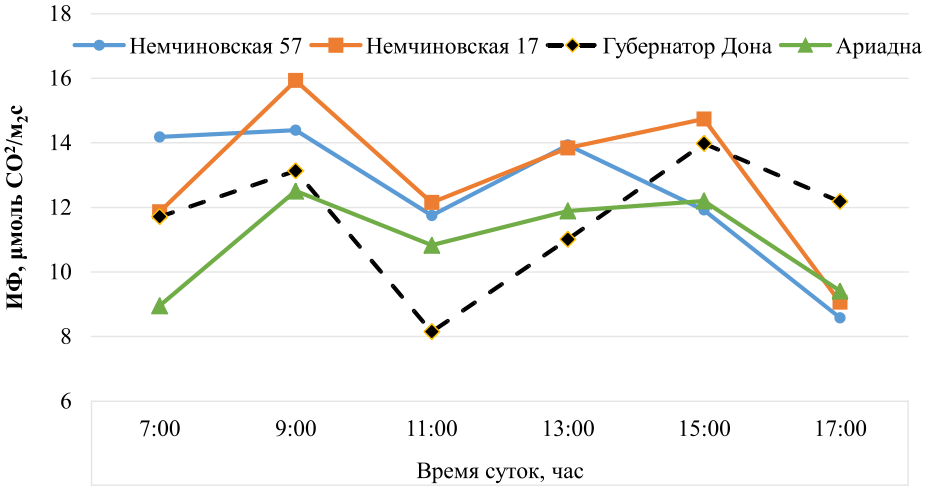


Рис. 3. Дневной ход интенсивности фотосинтеза флагового листа у сортов озимой пшеницы в фазу колошения, 2017 г.

Существенные различия по интенсивности фотосинтеза у сортов озимой пшеницы проявляются и в течение дня. В годы исследований самой высокой дневной активностью фотосинтеза отличались сорта Немчиновская 17 и Немчиновская 57 (в среднем 12,93 и 12,46 µмоль CO_2/м²с соответственно), а самой низкой – Ариадна и Губернатор Дона (в среднем 10,97 и 11,69 µмоль CO_2/м²с). При этом отмечаются два пика фотоактивности – в 9:00 и 15:00 по московскому времени. Значение первого пика активности было в среднем на 6% больше, чем второго. В первый пик лидировали сорта Немчиновская 17 и Немчиновская 57, а во второй – Немчиновская 17 и Губернатор Дона. К обеденному времени фотосинтетическая активность снижалась на 23%, достигая минимума в 11:00. В послеобеденное время (с 13:00 до 15:00) интенсивность фотосинтеза листьев снова увеличивалась (в 15:00 превышение составляло 23%, по сравнению с учетом в 11 ч), а затем выраженно убывало, достигая к 17.00 уровня значений, сопоставимых с учетами в 7.00 и 11.00 по московскому времени (рис. 3).

Важно отметить, что связь между интенсивностью фотосинтеза и урожайностью сорта была не существенной. В годы исследований ее величина была более заметной

в экстремальных погодных условиях – 0,30 (2016) и почти не проявлялась в благоприятных – 0,01 (2017).

Не удалось установить положительную устойчивую связь между фотоактивностью листьев и урожайностью сорта и другим ученым в более ранних исследованиях с пшеницей, показавшим, что удвоение урожайности зерновых культур в период зеленой революции не сопровождалось повышением скорости протекания фотосинтеза на единицу площади поверхности листа, а достигнуто в основном за счет увеличения фотосинтетического потенциала [8, 9].

Но этот путь селекции в настоящее время фактически исчерпал свои возможности. У многих современных сортов пшеницы фотосинтетический потенциал уже достиг своих предельных размеров. Поэтому необходим активный поиск научно-методических подходов по увеличению активности и эффективности фотосинтетической системы растений. Нами показано, что у растений озимой пшеницы, как и других сельскохозяйственных культур, наибольшей интенсивностью фотосинтеза в период генеративного развития обладают листья, прежде всего расположенные в верхних ярусах растений. По данным полевого опыта 2017 г., интенсивность фотосинтеза флагового листа в фазу цветения составляла 16,16 μмоль $CO_2/м^2с$, предфлагового – 11,51 μмоль $CO_2/м^2с$, а нижерасположенного – 8,04 μмоль $CO_2/м^2с$ (рис. 4). То есть активность фотосинтеза флагового листа у растений озимой пшеницы в 1,4 раза выше предфлагового, и 2 раза – нижерасположенных, что подтверждает их ведущую роль в снабжении колоса ассимилятами с фазы колошения [10].

Причем и в данном случае отмечаются существенные генотипические различия. Среди изученных сортов, в среднем по ярусам наиболее интенсивно ассимилировали CO_2 из воздуха листья Московской 40, Немчиновской 17 и Ариадны, которые могут представлять определенный интерес для селекции. Но флаговый лист более активным был у сортов Губернатор Дона и Немчиновская 17 (таблица).

Интенсивность фотосинтеза (ИФ, μмоль $CO_2/м^2с$) в зависимости от яруса листьев у современных сортов озимой пшеницы в фазу цветения, 2017 г.

Сорт	Ярусы растения			среднее
	нижний	средний (предфлаговый)	верхний (флаговый)	
Губернатор Дона	6,39	9,14	18,91	11,48
Немчиновская 17	9,57	12,08	18,64	13,43
Московская 40	9,45	15,71	15,99	13,72
Ариадна	10,74	11,23	15,29	12,42
Белгородская 16	6,97	11,44	14,07	10,83
Немчиновская 57	5,13	9,46	14,08	9,56
$НСР_{05}$	1,57	3,61	2,70	–

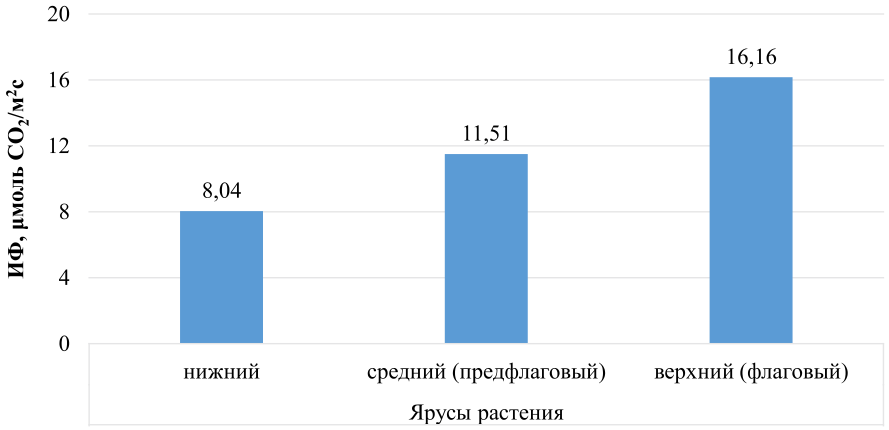


Рис. 4. Интенсивность фотосинтеза (ИФ) листьев в зависимости от их ярусного расположения у растений озимой пшеницы в фазу цветения, 2017 г.

Е.Н. Николаевой [11], на основе результатов физиологического анализа большого количества сортов озимой пшеницы, установлена высокая положительная корреляция между массой зерна главного колоса, интенсивностью фотосинтеза флагового листа и активностью первичных реакций фотосинтеза хлоропластов, что указывает на возможность использования показателей активности фотосинтеза в селекционных программах по созданию высокопродуктивных сортов культуры. Последние достижения селекции показывают, что данная работа вполне может быть успешной. Получено множество экспериментальных доказательств, что высокоурожайные сорта озимой пшеницы характеризуются высокой активностью реакций не только световой, но и темновой фазы фотосинтеза [12, 13].

Заключение

Проведенные исследования показали, что, несмотря на существенное влияние погодных условий вегетации, интенсивность фотосинтеза у растений озимой пшеницы имеет высокую наследственную обусловленность и широкий диапазон генотипического варьирования, что позволяет вести целенаправленную селекцию культуры по созданию сортов с повышенной фотоактивностью листьев. Оценку генофонда и отбор перспективных форм по интенсивности фотосинтеза следует проводить на флаговом листе в период «цветение – образование зерновок» в утренние часы с 8:00 до 10:00.

Список литературы / References

1. Кумаков В.А. Фотосинтетическая деятельность растений в аспекте селекции // Физиология фотосинтеза. М.: Наука, 1982. С. 283–293.

Kumakov V.A. Photosynthetic activity of plants in the aspect of breeding // Fiziologiya fotosinteza. M.: Nauka, 1982. P. 283–293 (in Russian).

2. Чиков В.И., Лозовая В.В., Тарчевский И.А. Дневная динамика фотосинтеза целого растения пшеницы // Физиология растений. 1977. Т. 24. № 4. С. 691–698.

Chikov V.I., Lozovaya V.V., Tarchevskiy I.A. The daily dynamics of photosynthesis of an entire wheat plant // Fiziologiya rasteniy. 1977. T. 24. № 4. P. 691–698 (in Russian).

3. Sanchez-Bragado R., Molero G., Reynolds M.P., Araus J.L. Photosynthetic contribution of the ear to grain filling in wheat: a comparison of different methodologies for evaluation. Journal of Experimental Botany. 2016. Vol. 67. No. 9. P. 2787–2798. DOI: 10.1093/jxb/erw116.

4. Maydup M.L., Antonietta M., Guiamet J.J., Graciano C., López J.R., Tambussi E.A. The contribution of ear photosynthesis to grain filling in bread wheat (Triticum aestivum L.). Field Crops Research. 2010. № 119. P. 48–58. DOI: 10.1016/j.fcr.2010.06.014

5. Leakey A.B.D., Xu F., Gillespie K.M. et al. Genomic basis for stimulated respiration by plants growing under elevated carbon dioxide? Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 2009. 106. P. 3597–3602. DOI: 10.1073/pnas.0810955106.

6. Makino A. Photosynthesis, grain yield, and nitrogen utilization in rice and wheat. Plant Physiology. 2011. № 155. P. 125–129. DOI: 10.1104/pp.110.165076.

7. Kaznina N.M.,Titov A.F. Effekt of Zinc Deficiency and Excess on the Growth and Photosynthesis of Winter Wheat. Journal of Stress Physiology & Biochemistry. 2017. Vol. 13. No 4. P. 88–94.

8. Моргун В.В., Прядкина Г.А. Эффективность фотосинтеза и перспективы повышения продуктивности озимой пшеницы // Физиология растений и генетика. 2014. Т. 46. № 4. С. 279–301.

Morgun V.V., Pryadkina G.A. Efficiency of photosynthesis and prospects of increasing the productivity of winter wheat // Fiziologiya rasteniy i genetika. 2014. T. 46. № 4. P. 279–301 (in Russian).

9. Ort D.R., Merchant S.S., Alric J., Barkan A., Blankenship R.E., Bock R. et al. Redesigning photosynthesis to sustainably meet global food and bioenergy demand. PNAS. 2015. V. 112. P. 8529–8536. DOI: 10.1073/pnas.1424031112.

10. Reynolds M., Foulkes J., Furbank R.T. et al. Achieving yield gains in wheat. Plant Cell Environment. 2012. 35. P. 1799–1823. DOI: 10.1111/j.1365-3040.2012.02588.x.

11. Николаева Е.К. Особенности первичных реакций фотосинтеза у высокопродуктивных сортов озимой пшеницы: дис. … канд. биол. наук. Москва, 1983. 189 с.

Nikolayeva Ye.K. Features of primary photosynthesis reactions in highly productive varieties of winter wheat: dis. … kand. biol. nauk. Moskva, 1983. 189 p. (in Russian).

12. Ростунов А.А. Сравнительный анализ физиологических процессов двух сортов озимой пшеницы, различающихся по высоте стебля и продуктивности // Альманах современной науки и образования. 2014. № 8 (86). С. 143–149.

Rostunov A.A. Comparative analysis of physiological processes of two varieties of winter wheat, differing in height of stem and productivity // Al'manakh sovremennoy nauki i obrazovaniya. 2014. № 8 (86). P. 143–149 (in Russian).

13. Sadras V.O., Lawson C. Genetic gain in yield and associated changes in phenotype, trait plasticity and competitive ability of South Australian wheat varieties released between 1958 and 2007. Crop Pasture Science. 2011. № 62. P. 533–549. DOI: 10.1071/CP11060.

УДК 630*114.52:630*232.322.4

ВЛИЯНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ УДОБРЕНИЙ НА ВЫРАЩИВАНИЕ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ

Галдина Т.Е., Самошин С.Е.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», Воронеж, e-mail: invitro11@bk

Улучшение почвенного плодородия питомников для выращивания сеянцев для лесокультурных работ является основным условием гарантированного получения качественного посадочного материала. В статье представлены результаты исследований эффективности внесения различных видов и доз нетрадиционных удобрений при выращивании одно- и двухлетних сеянцев сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) в лесном питомнике УОЛ ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Экспериментально установлено, что в качестве удобрений при выращивании посадочного материала сосны обыкновенной можно использовать бытовые отходы, древесные опилки, древесные отходы, отходы сельхозкультур, птичий помет. Из пяти видов лучшие результаты по средней высоте двухлетних сеянцев получены при внесении нетрадиционных отходов при подготовке почвы древесные опилки, древесные отходы, отходы сельхозкультур, птичий помет. Внесение в почву нетрадиционных удобрений при подготовке почвы является эффективным приемом улучшения почвообразовательных процессов, способствующих улучшению структуры почв, повышению плодородия грунтов, а также обогащению необходимыми для хорошего роста и развития растений микроэлементами. Эффективным приемом является внесение удобрений при подготовке почвы. Эффективность такого приема прослеживается на протяжении всего срока выращивания посадочного материала. При выращивании однолетних сеянцев лучше вносить древесные отходы при подготовке почвы, что позволяет повысить плодородие и улучшить структуру почв в питомнике, благоприятно влияющие на всхожесть и рост сеянцев сосны обыкновенной. Вносить древесные отходы в дозе 2000 кг/га, бытовые отходы, древесные опилки, отходы сельхозкультур в дозе 3000 кг/га. В качестве внекорневой подкормки эффективно применение птичьего помета (1000 кг/га), древесные отходы (500 кг/га), бытовые отходы (1000 кг/га).

Ключевые слова: нетрадиционные удобрения, сеянцы сосны, всхожесть, сохранность, прирост по высоте, биометрические показатели

INFLUENCE OF UNCONVENTIONAL FERTILIZERS ON PLANTING MATERIAL GROWING IN FOREST NURSERIES

Galdina T.E., Samoshin S.E.

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: invitro11@bk

Improvements in the soil fertility of nurseries for the cultivation of seedlings for silvicultural work is the main condition for the guaranteed receipt of quality planting material. The article presents the results of research on the effectiveness of introducing different types and doses of non-traditional fertilizers in growing one- and two-year-old Pinus sylvestris seedlings (Pinussylvestris L.) in the forest nursery of Education and Training Forestry of VSUFT named after G.F. Morozov. It has been experimentally established that household waste, sawdust, wood waste, agricultural waste, poultry manure can be used as fertilizers for growing pine planting stock. In the five species, the best results for the average height of year-old seedlings have been obtained with introduction of unconventional wastes (sawdust, wood waste, sewage sludge, bird manure) during preparation of soil. Introducing unconventional fertilizers into the soil during soil preparation is an effective method of improving soil formation processes, contributing to the improvement of soil structure, increase of soil fertility, as well as enrichment with microelements necessary for good growth and development of plants. An effective method is the introduction of fertilizers in the preparation of soil. The effectiveness of this method can be traced throughout the entire period of growing the planting material. When growing annual seedlings, it is better to introduce wood waste when preparing soil, which makes it possible to increase fertility and improve the soil structure in the nursery that favorably influences the germination and growth of Scots pine seedlings. Wood waste must be introduced at a dose of 2000 kg/ha, household waste, sawdust, crop waste – in a dose of 3000 kg/ha. Use of bird manure (1000 kg/ha), wood waste (500 kg/ha), household waste (1000 kg/ha) is possible as an out-of-root feeding.

Keywords: unconventional fertilizers, pine seedlings, germination, safety, height gain, biometric indicators

При выращивании посадочного устойчивого материала в условиях интенсивной антропогенной нагрузки важнейшим направлением экологических исследований является разработка экологически обоснованных норм и способов воздействия хозяйственной деятельности человека на живую природу, в том числе оптимизация питания растений с учетом назначения, возможностей и потребностей возделываемых культур [1, 2].

Одним из путей решения этой проблемы является применение подкормки, улучшающей почву, а соответственно стимулирующей рост и качество посадочного материала. Качество посадочного материала напрямую связано с приживаемостью и интенсивностью роста культур,

что, в свою очередь, предопределяет продуктивность будущих древостоев, их состав и санитарное состояние. Высокого качества посадочного материала можно добиться лишь при использовании самых современных интенсивных технологий его выращивания. Однако применение интенсивных технологий никаким образом не должно наносить вред природным ресурсам.

В мировой практике по улучшению плодородия и структуры почвы очень эффективно стали применять нетрадиционные удобрения: отходы сточных вод, бытовые отходы, древесные опилки, древесные отходы, отходы сельхозкультур [3, 4].

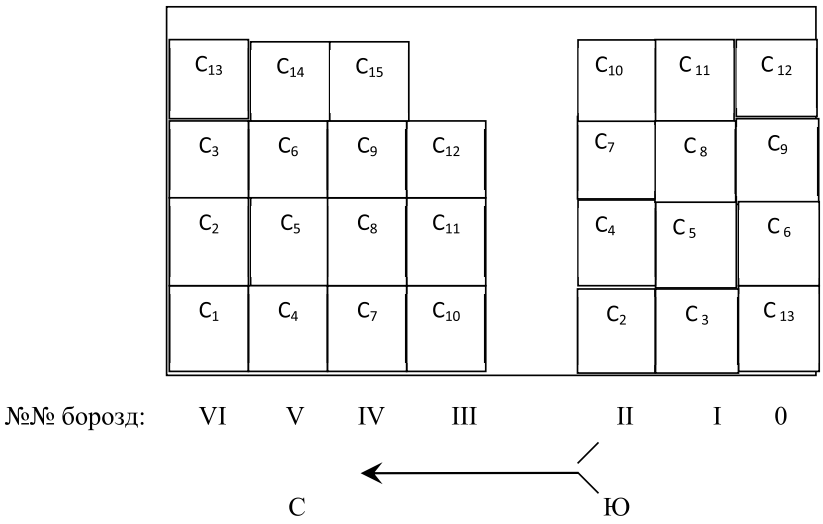
Бытовые отходы содержат много азота в виде белковых соединений, фосфора в рыбных остатках, калия в картофельных и овощных очистках. Древесные опилки служат ценным материалом для пополнения запасов органического вещества в почве. Древесные отходы дают полноценные органические удобрения, пополняющие запасы почвенного перегноя, калия, фосфора, азота [5].

Цель исследования: разработка эффективных технологий выращивания посадочного материала с применением нетрадиционных удобрений в лесном питомнике в условиях Центрально-Черноземного района (Воронежская область).

Материалы и методы исследования

В 2016–2017 гг. объектами наблюдений являлись сеянцы сосны обыкновенной первого и второго года выращивания на питомнике с предварительным внесением удобрений и внекорневой подкормкой.

Схема размещения сеянцев для испытания применения нетрадиционных удобрений приведена на рис. 1.



Условные обозначения

1	Контроль (вода)	6	Древесные отходы* (3000)	11	Отходы сельхозкультур** (1000)
2	Бытовые отходы*** (1000)	7	Древесные опилки (1000)	12	Отходы сельхозкультур** (3000)
3	Бытовые отходы*** (3000)	8	Древесные опилки (2000)	13	Птичий помет (1000)
4	Древесные отходы* (500)	9	Древесные опилки (4000)	14	Птичий помет (1500)
5	Древесные отходы* (1000,0)	10	Отходы сельхозкультур** (500)	15	Органические удобрения NPK (16:16:16)

*Рис. 1. Схема размещения сеянцев сосны обыкновенной (Pinus silvestris L.): *Древесные отходы – остатки древесного сырья, образующиеся в процессе рубок ухода за лесом, предварительно мелко измельчённые; **Отходы сельхозкультур – мелко измельчённая солома злаковых и бобовых культур; ***Бытовые отходы – это пищевые и растительные отходы, прошедшие предварительное компостирование*

Почвы питомника в основном представлены дерново-среднеподзолистой окультуренной намытой среднесуглинистой на древних флювиогляциальных отложениях (56,9 %) и дерново-среднеподзолистой окультуренной среднесуглинистой на древних флювиогляциальных отложениях (15,1 %) почвами. Опытный участок, включающий как контрольные, так и опытные посевы, по своему механическому составу относится к среднему суглинку, характеризуется средней обеспеченностью элементами минерального питания на глубине до 30 см (подвижный фосфор – 21 мг/100 г почвы, подвижный калий – 9 мг/100 г почвы), имеет кислотность 5,5 и содержание гумуса в корнеобитаемом слое (15 см) – 2,5 %.

Опыт по изучению влияния нетрадиционных удобрений в питомнике УОЛ на рост сеянцев включал в себя: предпосевное внесение в почву удобрений и внекорневую подкормку. Опыт заложен в посевных грядах. Каждая гряда разделена на две части. Первая часть – предварительное внесение удобрений при подготовке почвы, вторая часть – без предварительного внесения удобрений. В дальнейшем на этой части гряды на полученных сеянцах заложен опыт по внекорневой подкормке.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследования, проведенные в 2016–2017 гг., показали эффективность применения нетрадиционных удобрений при выращивании сеянцев сосны из семян с улучшенными наследственными свойствами.

Данные по высоте и состоянию сеянцев сосны обыкновенной по результатам учета (сентябрь – октябрь 2016 г.) приведены в табл. 1.

При выращивании сеянцев сосны наиболее эффективным была предварительное внесение удобрений при подготовке почвы (табл. 1). При всех концентрациях удобрений рост сеянцев усилился по сравнению с контролем и в результате 2-летние сеянцы достигли размеров 10,5–12,0 см по сравнению с 9,6 см в контроле. При наиболее низкой из выбранных концентраций (0,2 мл/л) стимулирующий эффект проявился не только по отношению к надземной части, но и к корням сеянцев, длина которых достоверно отличалась от контрольных на 11 %, а диаметр сеянцев превосходил контрольные показатели в 1,5 раза. В этом же варианте сеянцы имели и большую массу, как корней, так и надземной части.

Предпосевное внесение удобрений на первом году выращивания положительно отразилось на росте сеянцев в высоту во всех вариантах. Исключением стали древесные опилки (500).

Высота сеянцев сосны в опытных вариантах была выше на 42–86 % по отношению к контролю. Наибольший эффект стимуляции роста сеянцев сосны отмечен в вариантах при внесении бытовых отходов (1000; 3000), древесных отходов (1000; 3000), древесных опилок (1000; 2000; 4000), отходов сельхозкультур (3000), птичьего помета (1000).

Благодаря целому ряду морфологических и функциональных особенностей, например ксероморфности листового аппарата, пластичности корневой системы сосна обыкновенная способна произрастать в условиях засухи. В этом плане она по ряду показателей превосходит остальные хвойные породы. Сосна обыкновенная является одной из самых засухоустойчивых пород, экономно расходующей влагу на транспирации. Для каждого испытуемого вида сосны существует определенный температурный порог для вступления в первые фазы вегетации, изменения роста и направленности метаболизма.

Поскольку продолжительность фотосинтетического периода у сосны зависит от климатических условий произрастания (умеренно континентального, неустойчивого с большими суточными, сезонными и годовыми колебаниями) представляется важным проследить за изменением роста сеянцев в сезонной динамике, с использованием разных видов и доз внесения удобрений при подготовке почвы (рис. 2).

Установлено, что сезонная изменчивость роста по высоте сеянцев сосны на данном возрастном этапе онтогенеза у контрольных и опытных образцов сходна и обусловлена сезонной динамикой климатических показателей (температура, свет, влагообеспеченность) места их размещения. Однако интересны и практически значимы отмеченные различия между видами в сроках достижения стандартных размеров в соответствии с требованиями, предъявляемыми к качеству посадочного материала. У сеянцев сосны – к середине июня. Это позволяет определить для каждого вида свои сроки проведения агротехнических мероприятий.

Выявленный эффект стимуляции роста сеянцев сосны на первом году выращивания по этим же удобрениям подтвердился и во второй год их вегетации (табл. 2).

Таблица 1

Средняя высота однолетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*), выращенных в питомнике с предварительным внесением удобрений при подготовке почвы

№ п/п	Концентрация стимулятора (мл/л)	Высота, см		Процент от контроля
		M ± m	$t_{факт.}$	
1	Контроль (вода)	2,4 ± 0,10	–	100,0
2	Бытовые отходы (1000)	4,2 ± 0,14	10,3*	171,9
3	Бытовые отходы (3000)	4,0 ± 0,13	9,2*	164,5
4	Древесные отходы (3000)	4,3 ± 0,14	11,0*	177,3
5	Древесные отходы (500,0)	2,3 ± 0,10	–0,6	96,3
6	Древесные отходы (1000)	3,6 ± 0,15	6,6*	149,3
7	Древесные опилки (1000)	3,5 ± 0,14	4,8*	146,2
8	Древесные опилки (2000)	3,9 ± 0,11	10,0*	162,1
9	Древесные опилки (4000)	3,4 ± 0,12	6,4*	142,5
10	Отходы сельхозкультур (500)	2,4 ± 0,05	0,04	100,2
11	Отходы сельхозкультур (1000)	2,4 ± 0,06	0,3	101,4
12	Отходы сельхозкультур (3000)	3,2 ± 0,12	5,1*	153,8
13	Птичий помет (1000)	4,5 ± 0,16	11,0*	186,2
14	Птичий помет (1500)	2,8 ± 0,08	3,1*	115,7
15	Органические удобрения NPK (16:16:16)	2,5 ± 0,07	0,3	101,8

Примечание. Здесь и далее: 1) * – $t_{факт.} \geq t_{табл.}$ (различие по сравнению с контролем достоверно при $НСР_{05}$); 2) $t_{табл.} = 1,98$.

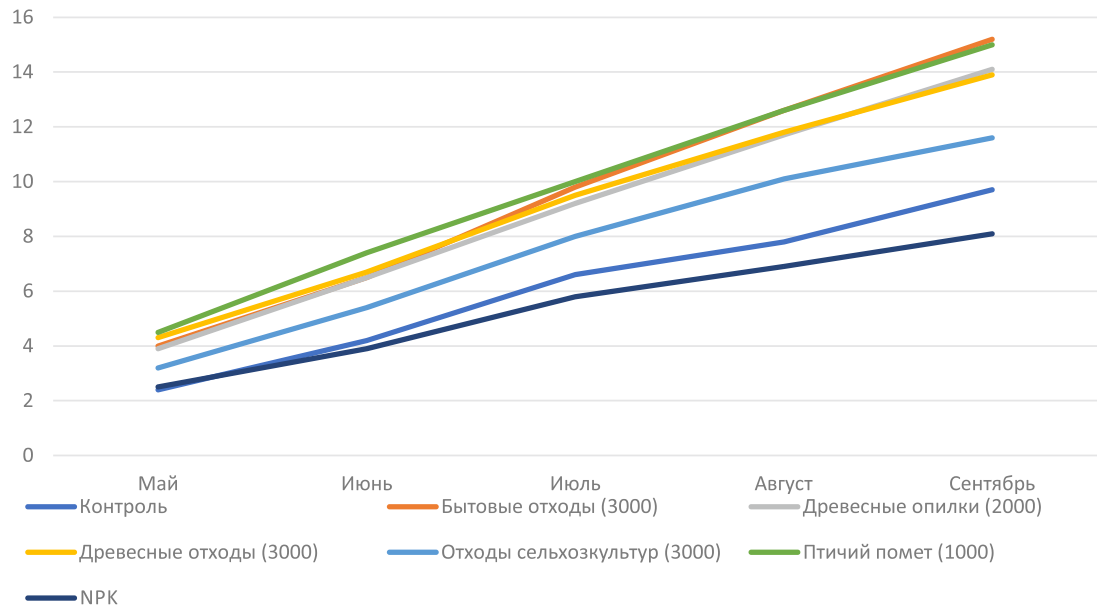


Рис. 2. Динамика роста в высоту 2-летних сеянцев сосны обыкновенной на участках с предварительным внесением удобрений при подготовке почвы

Наибольший положительный эффект по высоте и накоплению биомассы у сеянцев сосны отмечен после действия удобрений в вариантах Бытовые отходы (3000), Древесные отходы (3000), Древесные опилки (2000, 4000), птичий помет (1000) (табл. 2).

В результате усиления роста опытные сеянцы сосны достигали стандартных размеров 13,6–15,2 см (в контроле – 9,7 см) и отвечали требованиям, предъявляемым к качеству посадочного материала (рис. 3).

В конце мая 2017 г. проводим на второй части опыта внекорневую подкормку сеянцев сосны обыкновенной путем россыпи на грядку под корень удобрений.

Результаты внекорневой подкормки сеянцев удобрениями приведены в табл. 3.

При внекорневой подкормке сеянцев сосны обыкновенной лучшие результаты дали бытовые отходы (1000 кг/га), древесные отходы (500 кг/га), птичий помет (1000 кг/га).

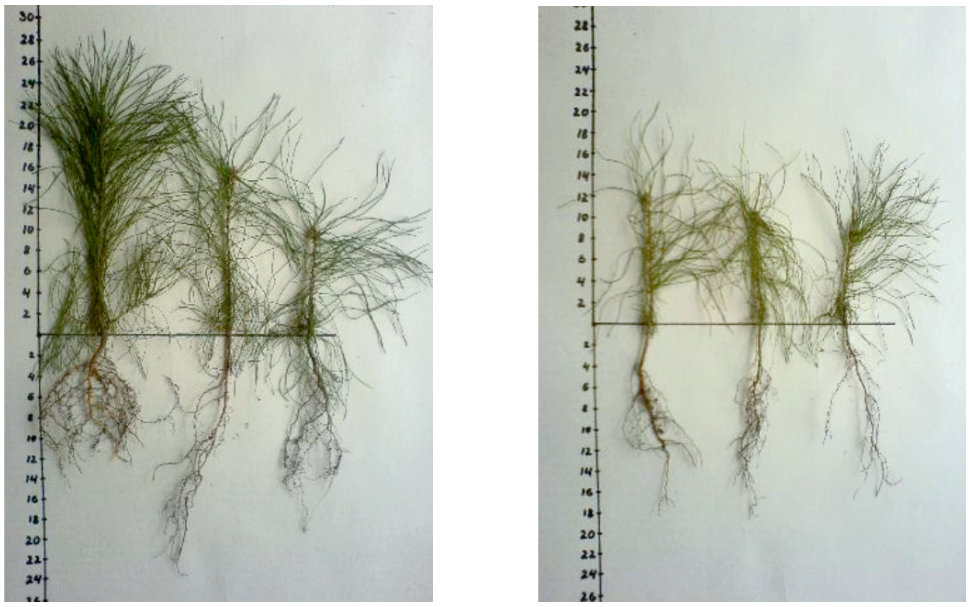
Подкормка древесными опилками (2000; 4000), бытовыми отходами (3000 кг/га), отходами сельхозкультур (1000; 3000) дали отрицательный результат по сохранности. Сохранность составила по сравнению с контролем 42,3–95,9 %.

Таблица 2

Средние высота и воздушно-сухой вес двухлетних сеянцев сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) при внесении удобрений при подготовке почвы, 2017 г.

№ п/п	Концентрация стимулятора (мл/л)	Высота, см			Биомасса, г	
		M ± m	$t_{факт.}$	% от контроля	M	% от контроля
1	Контроль (вода)	9,7 ± 0,48	–	100,0	93,0	100,0
2	Бытовые отходы (1000)	13,6 ± 0,45	5,8*	140,0	203,0	218,3
3	Бытовые отходы (3000)	15,2 ± 0,47	8,6*	156,6	180,0	193,5
4	Древесные отходы (3000)	13,9 ± 0,43	6,6*	143,7	154,0	165,6
5	Древесные отходы (500,0)	10,0 ± 0,41	0,4	102,8	72,5	78,0
6	Древесные отходы (1000)	12,8 ± 0,45	4,6*	131,7	62,4	67,1
7	Древесные опилки (1000)	12,5 ± 0,36	4,6*	128,7	94,1	101,2
8	Древесные опилки (2000)	14,1 ± 0,46	6,6*	144,6	112,5	120,4
9	Древесные опилки (4000)	13,7 ± 0,49	5,8*	141,2	69,0	74,2
10	Отходы сельхозкультур (500)	7,5 ± 0,27	–4,0	77,4	54,7	58,8
11	Отходы сельхозкультур (1000)	8,9 ± 0,28	–1,2	91,8	75,0	80,6
12	Отходы сельхозкультур (3000)	11,6 ± 0,48	2,8*	119,8	96,2	103,4
13	Птичий помет (1000)	15,0 ± 0,49	7,7*	154,5	120,5	129,6
14	Птичий помет (1500)	7,9 ± 0,32	–3,1	81,2	48,5	52,2
15	Органические удобрения NPK (16:16:16)	8,1 ± 0,31	–2,9	82,7	78,5	84,4

Примечание. 1) * – $t_{факт.} \geq t_{табл.}$ (различие по сравнению с контролем достоверно при $НСР_{05}$); 2) $t_{табл.} = 1,98$.



а) *б)*

Рис. 3. Изменчивость линейных размеров сеянцев сосны обыкновенной второго года выращивания: а) с применение удобрений;б) контроль (вода)

Таблица 3

Сохранность и средняя высота двухлетних сеянцев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) после внекорневой подкормки удобрениями на 1.06.16

№ п/п	Концентрация стимулятора (мл/л)	Сохранность сеянцев		Погонные метры	Высота, см		Процент от контроля
		количество, шт.	процент от контроля		M ± m	$t_{факт.}$	
1	Контроль (вода)	641	100,0	8,4	9,7 ± 0,46	–	100,0
2	Бытовые отходы (1000)	884	137,9	9,8	14,5 ± 0,42	6,1*	135,0
3	Бытовые отходы (3000)	615	95,9	9,0	15,8 ± 0,46	7,7*	147,1
4	Древесные отходы (500)	843	131,5	9,8	14,0 ± 0,47	5,0*	130,4
5	Древесные отходы (1000,0)	752	117,3	8,2	10,0 ± 0,38	–1,2	93,4
6	Древесные отходы (3000)	756	117,9	8,9	12,8 ± 0,41	3,4*	119,7
7	Древесные опилки (1000)	644	100,5	7,8	12,7 ± 0,31	3,6*	118,4
8	Древесные опилки (2000)	446	59,6	6,3	14,1 ± 0,45	5,3*	131,4
9	Древесные опилки (4000)	307	47,9	4,6	14,1 ± 0,47	5,1*	131,1
10	Отходы сельхозкульт. (500)	648	101,1	6,9	7,8 ± 0,24	–5,5	73,3
11	Отходы сельхозкульт. (1000)	491	76,6	7,5	9,5 ± 0,27	–2,3	88,3
12	Отходы сельхозкульт. (3000)	271	42,3	5,2	12,3 ± 0,45	2,2*	114,3
13	Птичий помет (1000)	770	120,1	8,3	15,9 ± 0,43	8,3*	148,9
	Всего	8812	–	110			

Примечание. 1) * – $t_{факт.} \geq t_{табл.}$ (различие по сравнению с контролем достоверно при $НСР_{05}$); 2) $t_{табл.} = 1,98$.

Выводы

Улучшение почвенного плодородия питомников для выращивания сеянцев для лесокультурных работ является основным условием гарантированного получения качественного посадочного материала.

Внесение в почву нетрадиционных удобрений при подготовке почвы является эффективным приемом улучшения почвообразовательных процессов, способствующим улучшению структуры почв, повышения плодородия грунтов, а также обогащению необходимыми для хорошего роста и развития растений микроэлементами. Эффективным приемом является внесение удобрений при подготовке почвы, что позволило увеличить скорость роста на 60–80% и качество сеянцев 50–65%. Эффективность такого приема прослеживается на протяжении всего срока выращивания посадочного материала. Однако следует отметить и отрицательные стороны воздействия на сеянцы определенных групп и концентраций, которые замедляют рост и снижают качество сеянцев более чем на 30%. К ним относятся отходы сельхозкультур (500), отходы сельхозкультур (1000), птичий помет (1500).

Внекорневая подкормка менее эффективна, а при ряде случаев, таких как подкормка древесными опилками (2000; 4000), бытовыми отходами (3000 кг/га), отходами сельхозкультур (1000; 3000), даже оказывает отрицательное воздействие, то есть снижает рост и биомассу наземной части более чем на 30%.

Список литературы / References

1 Антонов Г.И., Кондакова О.Э., Барченков А.П., Сорокин Н.Д., Антонов Г.И. Оптимизация лесовыращивания с использованием биоконверсии древесно-опилочной массы в условиях красноярской лесостепи // Лесоведение. 2018. № 1. С. 56–64

Antonov G.I., Kondakova O.E., Barchenkov A.P., Sorokin N.D., Antonov G.I. Optimization of forest growth using bioconversion of wood-sawdust mass in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe // Lesovedenie. 2018. № 1. P. 56–64 (in Russian).

2. Ковалева Н.М., Собачкин Р.С. Влияние азотного удобрения на формирование нижних ярусов в сосняках красноярской лесостепи // Лесоведение. 2016. № 1. С. 25–33.

Kovaleva N.M., Sobachkin R.S. Influence of nitrogen fertilizer on the formation of lower tiers in pine forests of the Krasnoyarsk forest-steppe // Lesovedenie. 2016. № 1. P. 25–33 (in Russian).

3. Залесов С.В., Магасумова А.Г., Платонов Е.П., Фролова Е.А., Вайсман Я.И. Влияние нетрадиционных удобрений на рост сеянцев сосны обыкновенной (Pinus Sylvestris L.) // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.; URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=14823 (date of access: 19.09.2018).

Zalesov S.V., Magasumova A.G., Platonov E.P., Frolova E.A., Vaysman Ya.I. The influence of non-traditional fertilizers on the growth of Scots pine seedlings (Pinus Sylvestris L.) // Modern problems of science and education. 2014. No. 5. URL: http://science-education.ru/ru/article/view?id=14823 (дата обращения: 19.09.2018) (in Russian).

4. Мухортов Д.И., Романов Е.М., Мамаев А.А. Оптимизация технологических параметров производства нетрадиционных органических удобрений в лесных питомниках // Лесное хозяйство. 2011. № 3. С. 21–23.

Mukhortov D.I., Romanov E.M., Mamaev A.A Optimization of technological parameters of production of non-traditional organic fertilizers in forest nurseries // Forestry. 2011. № 3. P. 21–23 (in Russian).

5. Орлова О.В., Петухова Н.А., Архипченко И.А Ускорение дозревания компоста из ТБО при введении активирующих биоорганических добавок // Экология и промышленность России. 2008. № 10. С. 38–40.

Orlova O.V., Petukhova N.A., Arkhipchenko I.A.Иссл Accelerating the ripening of compost from solid waste with the introduction of activating bioorganic additives // Ecology and Industry of Russia. 2008. № 10. P. 38–40 (in Russian).

УДК 633.2:631.524.84(470.344)

РОСТ И РАЗВИТИЕ AMARANTHUS CRUENTUS L. В ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Дмитриева О.Ф.

ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им И.Н. Ульянова», Чебоксары, e-mail: dofa1967@mail.ru

В статье представлены результаты исследований по изучению сроков и способов посева амаранта на зеленую массу и зерно в почвенно-климатических условиях Чувашской Республики. Для начала представлено теоретическое обоснование продуктивности амаранта на основе определения возможной урожайности зеленой массы и зерна по основным факторам климата республики, а именно по теплообеспеченности и влагообеспеченности вегетационного периода, аккумулированию урожаем приходящей солнечной энергии и на основании этого обоснования возможности возделывания данной культуры, используя различные сроки посева. Одним из таких показателей является биоклиматический потенциал (БКП), баллы которого были рассчитаны и обоснованы на основе анализа сложившихся агрометеорологических условий в годы исследований. Рассчитаны приход фотосинтетически активной радиации (ФАР) и потенциальная биологическая урожайность зеленой массы и зерна амаранта для определения впоследствии теоретических коэффициентов, необходимых для расчета продуктивности культуры по БКП. На основании этого в полевых опытных исследованиях изучены биологические особенности роста и развития амаранта при различных сроках и способах посева, обратив особое внимание на фенологические и морфологические изменения по фазам роста и развития в разные по метеоусловиям годы исследований. Определена продуктивность одного из наиболее распространенных вида амаранта (Amaranthus cruentus L.) при трех способах и трех сроках посева. В результате проведенных исследований получены и углублены необходимые сведения по биологическим особенностям амаранта и возможностью возделывания данной культуры на кормовые и зерновые цели в конкретных почвенно-климатических условиях Чувашской Республики.

Ключевые слова: амарант, вегетация, рост, развитие, всходы, отрастание, цветение, созревание, почвы, климат, фотосинтез, посев, урожай, зелёная масса

GROWTH AND DEVELOPMENT OF AMARANTHUS CRUENTUS L. UNDER SOIL AND CLIMATIC CONDITIONS OF THE CHUVASH REPUBLIC

Dmitrieva O.F.

Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, e-mail: dofa1967@mail.ru

The article presents the results of studies on the timing and methods of sowing amaranth on green mass and grain under soil and climatic conditions of the Chuvash Republic. A theoretical justification of amaranth productivity is presented on the basis of determining the possible yield of green mass and grain by the main factors of the climate of the Republic, namely, heat and moisture supply of the growing season, accumulation of incoming solar energy by the crop and on the basis of this justification of the possibility of cultivation of this crop using different sowing dates. One of these indicators is bioclimatic potential, the scores of which were calculated and justified on the basis of the analysis of existing agrometeorological conditions in the years of research. The arrival of photosynthetically active radiation and the potential biological yield of green mass and amaranth grain to subsequently determine the theoretical indexes necessary for calculating the productivity of a crop on BCP were calculated. On this basis in the field experimental studies the biological features of growth and development of amaranth at different times and methods of sowing, paying special attention to the phenological and morphological changes in the phases of growth and development in different weather conditions years of research were studies. Productivity of one of the most widespread type of amaranth (Amaranthus cruentus L.) is defined at three ways and three terms of sowing. As a result, the necessary information on the biological characteristics of amaranth and the possibility of cultivation of this crop for fodder and grain purposes in specific soil and climatic conditions of the Chuvash Republic were obtained and deepened.

Keywords: amaranth, vegetation, growth, development, shoots, regrowth, flowering, maturation, soil, climate, photosynthesis, sowing, crop, green mass

Амарант отличает высокая биологическая урожайность зеленой массы (до 1200 ц/га) и семян (до 45 ц/га). В семенах содержится 16–18 % белка с высокой полноценностью аминокислотного состава, гораздо большей, чем у белка пшеницы, кукурузы и даже молока. Незаменимой аминокислоты лизина содержится в два раза больше, чем в белке кукурузы. Зеленая масса амаранта хорошо и отлично поедается всеми видами животных. Из нее готовят гранулы, брикеты, травяную муку, а в смеси с зеленой массой кукурузы и подсолнечника – хороший комбинированный силос, сбалансированный по белку и другим питательным веществам [1] и обладает антиокс-активностью [2] Сочетание высокой интенсивности фотосинтеза и эффективного использования доступных запасов воды с достаточно активными белоксинтезирующими системами делает это растение перспективным для развития кормовой

базы в определенных агроэкологических условиях [3].

Цель исследования: на основании изучения особенностей роста и развития *A. cruentus* L. в конкретных почвенно-климатических условиях Чувашской Республики выявить возможности использования различных способов и сроков посева вида на зеленую массу.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2014–2017 гг. Почва опытного участка светло-серая лесная, среднеподзолистая. pH солевой вытяжки составляет 5,4, содержание гумуса по Тюрину – 2,2 %, подвижного фосфора по Кирсанову – 12 мг/100 г почвы, обменного калия по Масловой – 12 мг/100 г, сумма поглощенных оснований – 19,6 мг-экв. на 100 г почвы. Мощность пахотного горизонта 21–23 см, рельеф ровный. Судя по агрохимической характеристике, почвы опытного участка не обладают свойствами для получения высоких урожаев амаранта без внесения минеральных удобрений. В опыте был один фон минерального питания. Минеральные удобрения рассчитаны на получение 850 ц/га зеленой массы амаранта балансовым методом согласно общепринятой методике. В итоге, в среднем за годы исследований на фоне расчетных норм удобрений внесено N_{150} P_{190} K_{230}. Надо добавить, что почва в районе расположения участка на правом берегу реки Волга является загрязненной с экологической точки зрения из-за действия заводов и ТЭЦ. Исследования экологов показали, что выявлено превышение уровня ПДК по содержанию таких веществ, как свинец, формальдегид и ряд других элементов, в почве опытного участка [4]. Но при этом не было замечено каких-либо отклонений в развитии амаранта. Это доказывает, что данное растение имеет способность расти и развиваться на загрязненных почвах. Существуют исследования, и они доказывают высокую устойчивость амаранта к действию вредных элементов из-за выделения корневой системой специальных веществ, очищающих пахотный слой почвы [5].

В опыте сравнивались сроки и способы посева амаранта на зеленую массу и зерно (табл. 1).

Объектом исследований был амарант метельчатый или багряный – *Amaranthus cruentus* L. С чистотой 96 % и всхожестью семян 90 %. Следует отметить, что амарант относится к мелкосемянным растениям (масса 1000 семян 0,3 г), и часто возникают трудности при проведении посева на глубину 1–1,5 см. Также важно, что данное растение отличается длительным сроком сохранения жизнеспособности и всхожести семян до 20–25 лет [6]. В своих опытах мы использовали семена одного года урожая во все годы исследований и проводили прогревание семян перед посевом. В связи с этим на наш взгляд является актуальным рассмотрение вопроса о возможности использования рассадного способа возделывания амаранта. В этом направлении предусматривается проведение более детальных исследований. По нашему мнению, этот прием особенно актуален при использовании амаранта на декоративные цели, что в настоящее время очень широко применяется в связи с достаточно высокими декоративными свойствами надземной массы и соцветий данного вида растения [7].

В течение вегетационного периода проводились фенологические наблюдения, определяли густоту растений, динамику роста и накопления сырой и сухой биомассы, измеряли площадь листьев, рассчитывали использование приходящей ФАР и ее аккумулированию листовым аппаратом, определялась продуктивность зеленой массы и зерна амаранта при различных сроках и способах посева.

Таблица 1

Схема опыта

Срок посева	Способ посева	Ширина междурядий, см	Густота, тыс. шт /га	Норма высева, кг/га	Срок уборки	
					На зеленую массу	На зерно
25.05.	Рядовой	15	600	1,8	25.08.	15.09.
	Широкорядный	45	300	0,9		
	Широкорядный	70	200	0,6		
5.06.	Рядовой	15	600	1,8	5.09.	25.09.
	Широкорядный	45	300	0,9		
	Широкорядный	70	200	0,6		
15.06.	Рядовой	15	600	1,8	15.09.	–
	Широкорядный	45	300	0,9		
	Широкорядный	70	200	0,6		

Результаты исследования и их обсуждение

Биоклиматический потенциал (БКП) является показателем, при помощи которого есть возможность рассчитать продуктивность растения в конкретных агрометеорологических условиях любого региона. Поэтому он положен в основу агроклиматического районирования растений и до настоящего времени не имеет более веских аналогов [8]. Его рассчитывают по следующей формуле:

$$БКП = К_{увл} \sum t > 10\,°C / 1000\,°C,$$

где БКП – биоклиматический показатель продуктивности, баллы;
$К_{увл}$ – коэффициент увлажнения;
$\sum t > 10\,°C$ – сумма температур выше 10 °С за вегетацию;
1000 °С – сумма температур на границе открытого земледелия.

БКП определялся следующим образом. По агроклиматическому справочнику и бюллетеням [9] находили коэффициент увлажнения и сумму активных положительных температур выше 10 °С, накапливаемую как в целом за вегетацию, так и за любой межфазный период роста и развития растения. Далее необходимо знать коэффициент (β) для конкретного прихода фотосинтетически активной радиации (ФАР). Далее биологическую урожайность определяют по формуле

$$У = \beta\ БКП.$$

β рассчитывают по результатам экспериментальных исследований. Для этого определяют потенциальную урожайность. $У_{пу}$ – это та величина, которая может быть получена в идеальных метеорологических условиях (воды, тепла, воздуха и питательных веществ достаточно). Она зависит от прихода ФАР, агрофона, биологических особенностей растений и уровня агротехники. Последние три фактора определяют КПД посева в идеальных метеорологических условиях. $У_{пу}$ (ц/га товарной продукции) рассчитывают по формуле

$$У_{пу} = 10^4\ \eta\ К_m \Sigma Q / q\ [10],$$

где η – КПД ФАР, %;
ΣQ – суммарная ФАР за период вегетации, кДж/ см^2;
Q – калорийность биомассы, кДж/кг;
$К_m$ – доля основной продукции (зеленой массы или зерна) в общей биологической массе.

При возделывании амаранта на зеленую массу и зерно за период вегетации аккумулируется различная сумма активных температур, так как уборку зеленой массы амаранта начинают через 90 дней вегетации, зерна – 110 дней. В опытные годы сумма положительных температур за период вегетации и соответственно баллы БКП были различны (табл. 2). При более благоприятных климатических условиях (режим увлажнения и теплообеспеченность) баллы БКП выше. А это является условием для получения более высоких урожаев зеленой массы и зерна амаранта. Наиболее оптимальным и благоприятным годом в Чувашии по теплообеспеченности являются 2016 и 2017 гг., когда суммы температур были на 100–200 °С выше, чем в остальные годы, и соответственно баллы БКП на 0,1–0,2 оказались выше.

Таблица 2

Биоклиматический потенциал продуктивности посевов амаранта, баллы

Срок посева	Σt > 10°С		Коэффициент увлажнения						
	зеленая масса	зерно	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1,0
25.05.	1542		1,08	1,16	1,24	1,31	1,39	1,47	1,55
		1813	1,27	1,36	1,45	1,54	1,63	1,72	1,81
5.06.	1539		1,08	1,15	1,23	1,31	1,38	1,46	1,54
		1808	1,27	1,36	1,45	1,54	1,63	1,72	1,81
15.06.	1513	–	1,06	1,13	1,21	1,29	1,36	1,44	1,46

В среднем же за годы опытов из-за более растянутой вегетации, а значит, и большей суммы температур, при возделывании амаранта на зерно БКП увеличивался на 0,21–0,26 балла, чем при получении зеленой массы, и составлял в зависимости от коэффициента увлажнения от 1,27 до 1,81 балла. Здесь также следует отметить, что от ранних сроков посева к поздним БКП почти не изменялся как при возделывании на зерно в первые два срока посева, так и на зеленую массу во все три изучаемые срока посева. Так, при уборке зеленой массы БКП равен 1,09–1,56 баллам при посеве 25 мая; 1,08–1,54 – 5 июня

и 1,06–1,51 баллам – 15 июня при различных условиях увлажнения. В случае уборки на зерно БКП имел одинаковые значения – от 1,27 до 1,81 балла при посеве 25 мая и 5 июня. Отсюда следует, что от ранних сроков посева к более поздним БКП практически не изменялся, что приводит к заключению о реальной возможности возделывания амаранта в конкретных климатических условиях Чувашии с конца мая до середины июня.

Чтобы определить потенциальную урожайность зеленой массы и зерна амаранта при различных сроках посева в Чувашии, надо знать приход ФАР за период вегетации, теплотворную способность зеленой массы и зерна и переводной коэффициент $К_m$ [11].

По расчетам за период вегетации амаранта на зеленую массу приход суммарной ФАР составляет 90 кДж/см^2, на зерно – 101,4 кДж/см^2 при посеве 25 мая; соответственно 84 и 95 кДж/см^2 – 5 июня; 79 кДж/см^2 – 15 июня (зерно не вызревало во все годы исследований). Теплотворная способность 1 кг зеленой массы равна 20110 кДж, 1 кг зерна – 21771 кДж. Коэффициент $К_m$ при расчете на 82 %-ную влажность зеленой массы составляет 5,556 (100 %:18 %). При соотношении зерна к листостебельной массе, равном 1:7,5, $К_m$ составляет 0,118 (1:8,5) при расчёте на абсолютно сухое зерно или 0,134 – на зерно с 12 %-ной влажностью. Соответственно, используя все данные для формулы, при оптимальном усвоении 3 % ФАР потенциальная товарная урожайность составила 738 ц/га зеленой массы (табл. 3) и 18,7 ц/га зерна. Здесь следует отметить, что в своих исследованиях мы рассчитали потенциальную урожайность амаранта в изучаемые сроки посева при всех возможных уровнях использования доступной солнечной энергии от 1 % до 5 % усвоения ФАР. Например, при среднем уровне коэффициента использования ФАР в 2 % урожайность равна 490 ц/га зеленой массы при посеве 25 мая, 455 ц/га – 5 июня и 423 ц/га – 5 июня. При высоком агрофоне, оптимальных почвенно-климатических условиях и учитывая высокую продуктивность надземной массы амаранта, т.е. при 5 % использования ФАР урожайность соответственно срокам посева составляла 1110, 1145 и 1060 ц/га. Данные показатели говорят о высоком потенциале амаранта накапливать биомассу при посеве в различные сроки, вплоть до конца июня в условиях Чувашии, что связано с принадлежностью амаранта к группе С4-растений с более активным прохождением фотосинтетических реакций [12].

Коэффициент β, приходящий на каждый балл БКП при коэффициенте увлажнения, равном 1,0, составляет 509 ц/га зеленой массы (738 ц/га:1,45 балла) и 11,3 ц/га зерна (18,7 ц/га:1,66 балла). Нами рассчитаны потенциальные урожайности зеленой массы и зерна и теоретические коэффициенты β соответственно всем изучаемым срокам посева при различных баллах БКП для условий Чувашии.

Нами отмечено, что с некоторым уменьшением прихода ФАР от ранних сроков посева к более поздним потенциальная урожайность зеленой массы снижалась незначительно, а именно, на 36 ц/га от первого ко второму и на 51 ц/га – от второго к третьему срокам посева. Разница в урожайности зерна составляла всего 1,2 ц/га. При одном уровне урожая зеленой массы и зерна теоретический коэффициент β, приходящийся на каждый балл климата, уменьшался с увеличением коэффициента увлажнения, суммы температур и самого БКП. Чем менее благоприятны климатические условия, тем больший коэффициент β должен соответствовать каждому баллу БКП. Так, в наших исследованиях при посеве 25 мая с увеличением БКП с 1,08 до 1,55 баллов теоретически обоснованный коэффициент β снижался от 681 при коэффициенте увлажнения 0,7 до 474 ц/га зеленой массы при коэффициенте увлажнения 1,0. Аналогичная ситуация сложилась и с другими сроками посева. А именно, при посеве 5 июня β снизился от 674 до 454 ц/га; 15 июня – от 611 до 429 ц/га зеленой массы. В среднем же на каждый балл климата приходилось 450–690 ц/га зеленой массы амаранта. В случае с зерном β снижался соответственно от 14,7 до 10,8 ц/га – 25 мая и от 13,8 до 9,7 ц/га – 5 июня.

Таким образом, используя биоклиматический потенциал продуктивности, который объединяет в себе основные факторы климата, можно прогнозировать продуктивность амаранта при различных сроках его посева. Реальные же условия климата Чувашии в целом соответствуют требованиям амаранта и гарантируют получение стабильных и достаточно высоких урожаев зеленой массы во все три изученные сроки посева и зерна при посеве в более ранние сроки.

Таблица 3

Потенциальная урожайность по приходу ФАР и фактическая урожайность зеленой массы амаранта при различных сроках и способах посева, ц/га (среднее за 2014–2017 гг.)

Срок посева	Способ посева	Ширина междурядья, см	Потенциальная урожайность, ц/га при КПД ФАР					Фактическая урожайность, ц/га
			1%	2%	3%	4%	5%	
25.05.	Рядовой	15	246	492	738	984	1230	640
	Широкорядный	45						800
	Широкорядный	70						840
5.06.	Рядовой	15	233	466	699	932	1165	530
	Широкорядный	45						860
	Широкорядный	70						880
15.06.	Рядовой	15	216	432	648	864	1080	650
	Широкорядный	45						910
	Широкорядный	70						950
$НСР_{0,5}$								52,3
$НСР^{А}_{0,5}$ (способ посева)								30,1
$НСР^{В}_{0,5}$ (срок посева)								30,1

За период вегетации амарант проходит следующие фазы роста и развития: всходы, отрастание, выметывание, цветение и созревание семян, которое проходит в три этапа (молочная, молочно-восковая и полная спелость) [13]. В исследованиях нами установлены сроки наступления всех фаз и отмечены межфазные периоды в зависимости от сроков и способов посева. Нами отмечено, что наступление фенологических фаз и их продолжительность зависят от температурного режима воздуха и почвы, количества осадков, влажности почвы, способов посева и в небольшой степени от сроков посева.

Установлено, что лимитирующим фактором для появления всходов амаранта являются температура воздуха и почвы на глубине 10 см в более ранние сроки посева и влажность почвы при посеве в более поздние сроки. Поэтому продолжительность появления всходов колебалась не только по годам, но и по срокам посева. В более благоприятные годы всходы начали появляться на 4–5 день, в менее благоприятные – только через 10–12 дней.

Наиболее растянутой фазой развития является фаза отрастания, которая составляла 25–35 дней в зависимости от температурного режима, способов посева, в меньшей степени от условий увлажнения и сроков посева. В начале данной фазы растения росли очень медленно, но при этом развивалась активно корневая система. Начиная с середины данной фазы интенсивность роста достигала до 4–5 см в сутки. Было отмечено, что растения второго и третьего сроков посева быстрее переходили к активным ростовым процессам и формировали более мощную надземную массу по причине более высоких температур воздуха в этот период лета. Способ посева повлиял на продолжительность, и во все годы исследований, начиная с этого момента в развитии амаранта наблюдалась разница в продолжительности прохождения остальных будущих фаз. В широкорядных посевах, особенно с шириной междурядий 70 см, все межфазные периоды были короче на 3–5 дней, чем в рядовых посевах, что связано с конкуренцией крупных светолюбивых растений за свет в более загущенных посевах. Наиболее короткой фенофазой является выметывание, которое длилось в зависимости от условий освещения 8–12 дней. Растения к этому периоду достигают максимальной высоты, но продолжают расти менее активными темпами.

Отдельно хотелось бы остановиться на развитии листовой поверхности в этот период, так как именно листостебельная масса формирует будущую мощную продуктивность растения. По нашим данным и данным ряда авторов [14, 15] независимо от сроков и способов посева в середине фазы отрастания площадь листьев одного растения была незначительной, но к уборке она возрастала в 6–7 раз в рядовых посевах и в 10–13 раз – в широкорядных.

Так как амарант является засухоустойчивой культурой, то количество выпадающих осадков при всех способах и сроках

посева не оказывали заметного влияния на продолжительность фенофаз, за исключением последующих фаз цветения и созревания семян. Цветение амаранта также очень продолжительное и в наших исследованиях составляло от 27 до 35 дней в зависимости от погодных условий. Были случаи, когда в условиях пасмурной и прохладной погоды цветение продолжалось более 40 дней. В такие годы обычно не происходит полноценного опыления цветков и не наблюдается образование большого количества семян. С середины августа у амаранта начинается созревание семян. Полная спелость семян в условиях Чувашии возможна только при посеве в более ранние сроки, при сухой и солнечной осенней погоде и в широкорядных посевах, особенно с шириной междурядий 70 см.

Следует также отметить, что амарант относится к растениям короткого дня, и поэтому в наших условиях длинного светового дня он обладал гигантизмом и, соответственно хорошо наращивал надземную листостебельную массу при посеве 5 и 15 июня, когда начальное развитие растений происходило при самых длинных световых днях (табл. 3).

Поэтому при более поздних и в широкорядных посевах урожайность зеленой массы составила 880–950 ц/га, в рядовых посевах и в более ранние сроки посева урожайность была соответственно ниже и колебалась в годы исследований от 550 до 650 ц/га. Урожайность зерна в широкорядных посевах при первом сроке посева колебалась в зависимости от погодных условий от 18 до 20 ц/га, в рядовых посевах и во второй-третий сроки посева вызревание семян до полной спелости не наблюдалось.

Заключение

Таким образом, используя биоклиматический потенциал продуктивности, можно прогнозировать возможности возделывания амаранта в почвенно-климатических условиях Чувашской Республики. По результатам исследований доказано, что амарант для получения зеленой массы можно высевать различными способами посева с шириной междурядий 15, 45 и 70 см и в различные сроки, вплоть до конца июня. Зеленую массу поздних сроков посева можно использовать в качестве подкормки при скармливании животным в свежем виде до конца сентября. Это может позволить решить проблему дефицита белка в системе зеленого конвейера. Исследования, проведенные по уточнению способа и срока посева на зерно, показали преимущество широкорядных посевов перед рядовыми и ранних сроков посева в конце мая перед более поздними в июне.

Список литературы / References

1. Бекузарова С.А., Кузнецов И.Ю., Гасиев В.И. Амарант – универсальная культура. Владикавказ: Colibri, 2014. 180 с.

Bekuzarova S.A., Kuznetsov I.Yu., Gasiyev V.I. An amaranth – universal culture. Vladikavkaz: Colibri, 2014. 180 p. (in Russian).

2. Баранова Т.В., Соколенко Г.Г. Исследования антиоксидантной активности амаранта в условиях Центрально-Черноземного региона // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2012. № 7. С. 24–27.

Baranova T.V., Sokolenko G.G. A study into the antyoxidantive activity of amaranth in the conditions of a black-soil region // Vestnik Baltijskogo federal`nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvenny`e i medicinskie nauki. 2012. № 7. P. 24–27 (in Russian).

3. Саратовский Л.И., Саратовский А.Л. Зерновой и кормовой амарант: монография. Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2014. 254 с.

Saratov L.I., Saratov A.L. Zernova and fodder amaranth: monograph. Voronezh: FGBOU VPO Voronezh GAU, 2014. 254 p. (in Russian).

4. Иванов С.А., Дмитриева О.Ф., Кульмакова Н.И., Димитриев Ю.О. Загрязненность токсичными веществами почвы береговой зоны реки Волги в окрестностях Чебоксарской ГЭС // Экология человека. 2016. № 5. С. 3–8.

Ivanov S.A., Dmitrieva O F., Kulmakova N.I., Dimitriev Yu.O. Soil Pollution from Toxins of the Volga River Shoreland in the Area of Cheboksary Hydropower Station // Ekologiya cheloveka [Human Ecology]. 2016. № 5. P. 3–8 (in Russian).

5. Дмитриева О.Ф. Особенности роста и развития амаранта в почвенно-климатических условиях чувашской республики // Единство и идентичность науки: проблемы и пути решения. Сборник статей по итогам международной научно-практической конференции (Тюмень, 8 февраля 2018 г.). Уфа: Агентство международных исследований, 2018. С. 4–6.

Dmitriyev O.F. Features of growth and development of an amaranth in soil climatic conditions of the Chuvash Republic // Unity and identity of science: problems and solutions. The collection of articles following the results of the international scientific and practical conference (Tyumen, on February 8, 2018). Ufa: Agency of the international researches, 2018. P. 4–6 (in Russian).

6. Дмитриева О.Ф. Особенности роста и развития Amaranthus cruentus L. при различных сроках и способах посева в почвенно-климатических условиях Чувашской Республики // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. 2014. № 4 (84). С. 63–67.

Dmitrieva O.F. Characteristics of Growth and Development of Amaranthus Cruentus L. Under Different Terms and Methods of Sowing in the Soil and Climatic Conditions of the Chuvash Republic // Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. I.Ya. Yakovleva. 2014. № 4 (84). P. 63–67 (in Russian).

7. Фадеева Н.А., Дмитриева О.Ф. Влияние сроков посева на развитие рассады мелкосемянных цветочных культур // Рациональное природопользование и социально-экономическое развитие сельских территорий как основа эффективного функционирования АПК региона. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Чебоксары, 2 июня 2017 г.). Чебоксары: ЧГСХА, 2017. С. 45–48.

Fadeyeva N.A., Dmitriyeva O.F. Influence of sowing time on development of seedling of melkosemyanny flower cultures//Rational environmental management and social and

economic development of rural territories as basis of effective functioning of agrarian and industrial complex of the region. Materials of the All-Russian scientific and practical conference (Cheboksary, on June 2, 2017). Cheboksary: ChGSHA, 2017. P. 45–48 (in Russian).

8. Дмитриева О.Ф. Агротехника возделывания амаранта багряного в условиях Чувашии: автореф. дис. ... канд. сел.-хоз. наук. Москва, 1993. 33 с.

Dmitriyev O.F. Agrotekhnika of cultivation of an amaranth crimson in the conditions of Chuvashia: the abstract of the thesis for a degree of the candidate of agricultural sciences. Moscow, 1993. 33 p. (in Russian).

9. Агрометеорологический бюллетень по Чувашской Республике за 2013–2017 гг. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Верхне-Волжское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» [Электронный ресурс]. Режим доступа: https:// www.nnov.meteorf.ru / (дата обращения: 11.09.2018).

The agrometeorological bulletin across the Chuvash Republic for 2013–2017. Federal state budgetary institution «The Upper Volga Department on Hydrometeorology and Monitoring of the Environment» [Electronic resource]. Access mode: https:// www.nnov.meteorf.ru / (date of access: 11.09.2018) (in Russian).

10. Каюмов М.К. Программирование продуктивности полевых культур. М.: Росагропромиздат, 1989. 368 с.

Kayumov M.K. Programming of efficiency of field cultures. M.: Rosagropromizdat, 1989. 368 p. (in Russian).

11. Можаев Н.И., Серикпаев Н.А., Стыбаев Г.Ж. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур: учебное пособие. Астана: Фолиант, 2013. 160 с.

Mozhaev N.I., Serikpayev N.A., Stybayev G.Zh. Programming of harvests of crops: manual. Astana: Foliant, 2013. 160 p. (in Russian).

12. Медведев С.С. Физиология растений: учебник. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 512 с.

Medvedev S.S. Physiology of plants: textbook. SPb.: BHV-St. Petersburg, 2012. 512 p. (in Russian).

13. Железнов А.В. Амарант – хлеб, зрелище и лекарство // Химия и жизнь. 2005. № 6. С. 56–61.

Zheleznov A.V. Amaranth – bread, show and medicine // Ximiya i zhizn`. 2005. № 6. P. 56–61 (in Russian).

14. Саратовский Л.И., Федотов В.А., Комаревцев Е.А. Сроки и способы уборки семян амаранта // Растениеводство: научные итоги и перспективы: сборник научных статей. Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2013. С. 129–133.

Saratov L.I., Fedotov V.A., Komarevtsev E.A. Terms and ways of cleaning of seeds of an amaranth // Crop production: scientific results and prospects: collection of scientific articles. Voronezh: FGBOU VPO Voronezh GAU, 2013. P. 129–133 (in Russian).

15. Саратовский Л.И., Ващенко Е.Г., Федотов В.А., Казазян В.В. Элементы сортовой технологии выращивания амаранта в степной зоне центрального Черноземья // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 1 (56). С. 22–31. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2018.1.22.

Saratovskiy L.I., Vashchenko T.G., Fedotov V.A., Kazazyan V.V. The Elements of Varietal Technology for Amaranth Growing in the Steppe Zone of the Central Chernozem Region // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018. № 1 (56). P. 22–31 (in Russian).

УДК 630*.265/.266

ВЛИЯНИЕ ПРИДОРОЖНЫХ ЛЕСОНАСАЖДЕНИЙ НА ШУМОПОГЛОЩЕНИЕ И ОСВЕЩЕННОСТЬ

[1]Иванисова Н.В., [1]Давыденко Н.М., [1]Куринская Л.В., [2]Колесников С.И.

[1]Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К. Кортунова ФГБОУ ВО «Донской ГАУ», Новочеркасск, e-mail: lyubov.kurinskay@mail.ru;
[2]Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологий, Ростов-на-Дону, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

Воздействие автотранспорта на окружающую среду в настоящее время является одной из самых актуальных экологических проблем современного общества. Поглощение нежелательного шума, вибрации и солнечных лучей – не основная, но немаловажная характеристика придорожной лесополосы (ПЛП). Изучение шумопоглощающих способностей лесных полос различных конструкций, породного состава и схем смешения дает возможность наиболее эффективно выбрать оптимальную ширину придорожной лесной полосы и особенности ее размещения. Также немаловажную роль для безопасного движения на автодорогах играет такой показатель, как интенсивность света – освещенность. Исследования проводились в период 2017–2018 гг. в ПЛП, расположенных вдоль автодорог регионального и федерального значения степной зоны юга России. Для выявления сезонного колебания показателей измерялись показатели шума и освещенности в облиственный период, а также в безлиственный зимний период. Таксационный анализ придорожных лесополос на изучаемых пробных площадях показал, что ПЛП сформированы из следующих видов: Ulmus pumila, Acer negundo, Fraxinus americana, Robinia pseudoacacia, Quercus robur. Выявлено, что пик шумовой нагрузки наблюдается у кромки дорожного полотна. В большинстве случаев показатель уменьшается эквивалентно увеличению расстояния от дороги. Максимально эффективная ширина прикюветной части до ПЛП 50 м. Уровень освещенности значительно сокращается внутри лесонасаждения в летний облиственный период. Более эффективно рассеивают шум и солнечные лучи придорожные лесные полосы, представленные 4–6 рядами в возрасте от 30–50 лет с участием двух или более пород. Для условий степной зоны наиболее себя зарекомендовали такие виды, как Robinia pseudoacacia, Acer negundo, Quercus robur, Ulmus pumila.

Ключевые слова: шум, придорожные лесополосы, автотранспорт, освещенность, загрязнение, насаждения

THE IMPACT OF ROADSIDE PLANTATION ON THE SOUND ABSORPTION AND LIGHTING

[1]Ivanisova N.V., [1]Davydenko N.M., [1]Kurinskaya L.V., [2]Kolesnikov S.I.

[1]Novocherkassk Reclamation Engineering Institute named after A.K. Kortunov, Don State Agrarian University, Novocherkassk, e-mail: lyubov.kurinskay@mail.ru;
[2]Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology, Rostov-on-Don, e-mail: kolesnikov@sfedu.ru

The impact of vehicles on the environment is currently one of the most pressing environmental problems of modern society. The absorption of unwanted noise, vibration and sunlight is not the main, but an important characteristic of the roadside forest belt (PLP). The study of the sound-absorbing abilities of forest strips of different structures, species composition and schemes of mixing make it possible to more effectively select the optimal width of the roadside forest belt and peculiarities of its host. Also, important for the safe movement on the roads plays such an indicator as the intensity of light – illumination. The studies were conducted in the period 2017-2018 in the PLP located along the roads of regional and Federal importance of the steppe zone of the South of Russia. To identify seasonal variations in the indicators, noise and light indicators were measured in the leafy period, as well as in the leafless winter period. The taxation analysis of roadside forest belts on the studied sample areas showed that PLP formed from the following species: Ulmus pumila, Acer negundo, Fraxinus americana, Robinia pseudoacacia, Quercus robur. It is revealed that the peak noise load is observed at the edge of the roadway. In most cases, the decrease is equivalent to an increase in the distance from the road. The maximum effective width of the precum to PLP 50 meters. The level of illumination is significantly reduced inside the forest in the summer leafy period. More effectively dissipate noise and sunlight roadside forest strips represented by 4-6 rows aged 30-50 years with the participation of two or more species. For the conditions of the steppe zone, such species as Robinia pseudoacacia, Acer negundo, Quercus robur, Ulmus pumila have proven themselves.

Keywords: noise, roadside forest belts, motor transport, illumination, pollution, plantings

Автомобильное движение – один из главных источников общественного и экономического развития страны. На обеспечение автотранспортного потока уходит значительное количество ресурсов, в то самое время как и использование автомобиля несет большой урон для экологии придорожного ландшафта [1]. С развитием экономики потребность в дорожном транспорте возрастает с каждым годом. В повседневной жизни также любой вид транспорта играет немаловажную роль. Но, при всей важности транспорта как неотъемлемой части общества, следует сказать, что

он играет негативную роль для экологии. Речь идет как о производстве транспортных средств, прокладке дорожного полотна, так и о непосредственном движении по автомагистралям. Следует отметить, что по сравнению с дорогами местного значения трафик автотранспорта увеличивается на более оживленных трассах, например на крупных дорогах федерального значения. Таким образом, воздействие автотранспорта на окружающую среду в настоящее время является одной из самых актуальных экологических проблем современного общества [2].

Шумовое воздействие является очень сильным дестабилизирующим фактором психологического состояния человека [3]. Шум понимается как раздражающие звуковые колебания в диапазоне частот от 16 Гц до 22 кГц. Автомобильный транспорт резко различается по интенсивности шума (дБ), так, например, легковой автомобиль высокого класса – 65–70 дБ; легковой автомобиль – 70–80 дБ; автобус – 80–85 дБ; грузовой автомобиль с дизельным двигателем – 80–95 дБ; мотоцикл – 90–95 дБ [4].

При движении автомобиля около 80 км/ч шум производят практически все части автомобиля: коробка передач, шины, вентилятор. Однако главным источником звуковых колебаний является двигатель [5].

Более высокие уровни звуковых колебаний наблюдаются на высокоскоростных магистралях, на дорогах федерального значения, имеющих три и более полосы движения [3]. На дорогах местного значения, двухполосных, наблюдается также повышенный уровень шума. Это объясняется меньшим трафиком, но худшим качеством дорожного покрытия.

Также немаловажную роль для безопасного движения на автодорогах играет такой показатель, как интенсивность света – освещенность.

Защитные полосы лесов, расположенные вдоль федеральных и дорог общего пользования, находящихся в собственности субъектов Российской Федерации, занимают площадь 6,49 тыс. га [1]. Создание придорожных лесных полос (ПЛП) является неотъемлемой частью проектирования автодороги. Поглощение нежелательного шума и вибрации – не основная, но немаловажная характеристика придорожной лесополосы. Наибольшей способностью задерживать звуковые колебания обладает многоярусная конструкция лесополос [6]. Плотная зеленая изгородь может состоять из деревьев лиственных пород, подроста, подлеска, кустарников, густой травы в нижнем ярусе. Защитная функция лесонасаждений снижается в безлиственный, зимний период. Разница показателей шумомера может достигать 2–4 дБ [7]. В условиях Ростовской области, с ее низким процентом лесистости эти свойства и достоинства насаждений имеют исключительно важное значение.

С учетом того, что большинство защитных насаждений вдоль дорог создавались в середине двадцатого века, то оценка современного состояния и мелиоративных свойств является актуальным вопросом, который позволил бы в дальнейшем правильно разработать рекомендации по защите и восстановлению защитных придорожных лесных полос.

Согласно СНиП 23-02-2003 можно проследить разницу показателей снижения шума различной конструкцией лесополосы (таблица). Снижение уровня звука установлено в придорожной лесной полосе из одного – двух рядов деревьев с сомкнутыми кронами и плотностью листвы более 0,8. Такая густота достигается при использовании двухъярусной полосы деревьев посадив их в «шахматном» порядке.

Звук, попадая в крону зелени, переходит в другую среду, которую образуют листья. Эта среда, в свою очередь, имеет значительно высокое, чем воздух, акустическое сопротивление, отражает и поглощает звуковую энергию, преобразовывая ее в тепло. В кронах звук отражается и распределяется от массы листовых пластин. Также, уменьшение звуковой энергии достигается за счет эластичности и смещения листовых пластинок [6].

Снижение уровня звука полосами зеленых насаждений [3]

Полоса зеленых насаждений	Ширина полосы, м	Снижение уровня звука, дБ
Однорядная при шахматной посадке деревьев внутри полосы	10–15	4–5
Однорядная при шахматной посадке деревьев внутри полосы	16–20	5–8
Двухрядная при расстоянии между рядами 3 м; ряды аналогичны однорядной посадке	26–30	10–12

Цель исследования: изучить влияние придорожных лесных полос, расположенных на автодорогах федерального и регионального значения на шумопоглощение и освещенность. Установить оптимальную ширину придорожного защитного насаждения, конструкцию и породный состав.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования выбраны лесополосы вдоль дорог регионального значения Новочеркасск – Шахты и федерального М4 – Дон, участок Ростов – Новочеркасск. Места расположения пробных площадей выбраны путем анализа местоположения лесных полос относительно магистрали.

Исследования проводились в период 2017–2018 гг. Для выявления сезонного колебания показателей измерялись показатели шума и освещенности в облиственный период, а также в безлиственный, зимний период. В натуральных условиях уровни звуковых колебаний измерялись шумомером Testo 816-4, показатель освещенности – люксметром «ТКА-Люкс». На каждом пробном участке измерения осуществлялись у кромки дорожного полотна, внутри лесополосы (на расстоянии 50–70 м от края дорожного полотна) и за ПЛП (около 100 м от края автодороги). Одновременно с измерением шума, определялся уровень освещенности. Таксационное описание насаждений выполнено в соответствии с общепринятыми методиками.

Результаты исследования и их обсуждение

На изучаемых пробных площадях в составе придорожной лесополосы произрастают следующие виды растений: вяз приземистый (*Ulmus pumila*), клен ясенелистный (*Acer negundo*), ясень американский (*Fraxinus americana*), робиния псевдоакация (*Robinia pseudoacacia*), дуб черешчатый (*Quercus robur*).

Результаты исследований шумопоглотительной способности придорожных лесных полос в облиственном состоянии представлено на рис. 1, в безлиственном на рис. 2.

ПП1 характеризуется наличием широкой ПЛП (50–60 м). Лесонасаждения образованы 6-рядовой посадкой ясеня и робинии псевдоакации, с подростом вяза. Расстояние от кромки дорожного полотна составляет 30 м. В течение года наблюдается устойчивое снижение шума за ПЛП, в среднем на 25%.

ПП2 характеризуется более узкой лесополосой (10–20 м). ПЛП образована посадкой ясеня и робиний псевдоакацией. Расстояние от кромки дорожного полотна менее 10 м. Поэтому, исходя из графиков (рис. 1–2), шумопоглотительная способность данного участка ПЛП снижается. Шум за ПЛП уменьшается на 10%.

ПП3 характеризуется наличием лесополосы, образованной только из клена, шириной 30 м. Расстояние от кромки дорожного полотна 15 м. Шумопоглотительная способность данного лесонасаждения очень низкая.

ПП 4, 5, 6 находятся на менее загруженной автодороге. ПП4 характеризуется большим расстоянием от кромки дорожного полотна до начала лесонасаждений, а также достаточно широкой ПЛП (40 м). Лесополоса образована 6-рядовой посадкой дуба черешчатого, вяза приземистого, робинии псевдоакации. Шумопоглотительная способность ПЛП – 40%.

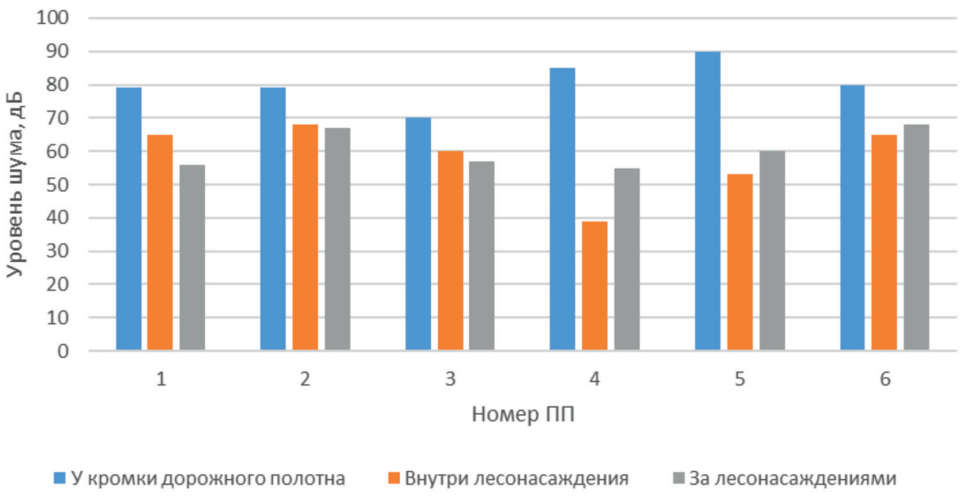


Рис. 1. Значение уровня звука от расстояния от автодороги в облиственный период

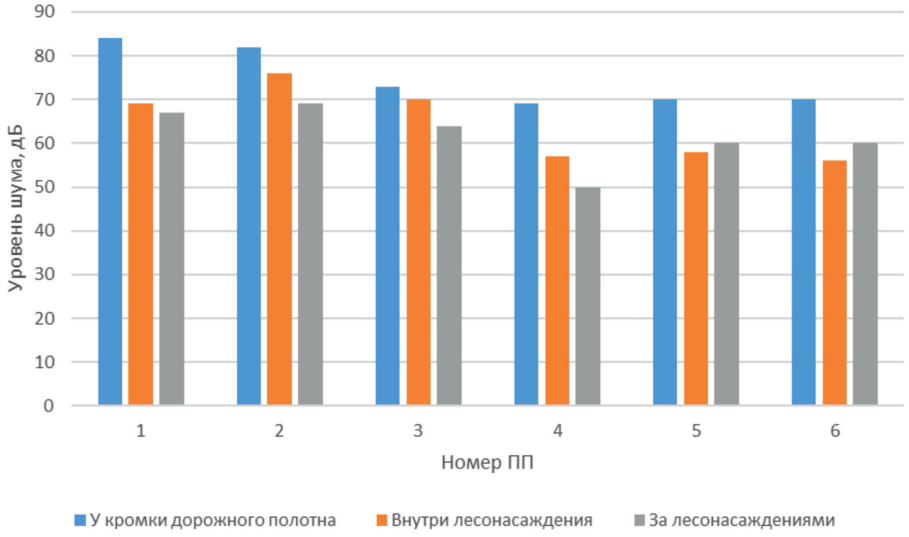


Рис. 2. Значение уровня звука от расстояния от автодороги в безлиственный период

ПП 5 характеризуется большим расстоянием от кромки дорожного полотна до начала лесонасаждений. ПЛП является широким лесонасаждением (около 30 м), образованным ясенем, дубом и робинией пседоакацией. С противоположной стороны ПЛП располагаются железнодорожная дорога Новочеркасск – Каменоломни. Поэтому снижение шума происходит только внутри лесонасаждения на 20 % и более.

ПП 6 характеризуется наличием молодой ПЛП (10–15 лет). Данный участок автодороги имеет дополнительную нагрузку, так как является пересечением двух дорог. Расстояние от кромки дорожного полотна до лесонасаждений – 50 м. ПЛП образована ясенем, подростом вяза, кленом. Шумопоглотительная способность данного лесонасаждения оценивается как очень низкая.

Исходя из графиков, представленных на рис. 1 и 2, пик шумовой нагрузки наблюдается у кромки дорожного полотна. В большинстве случаев показатель уменьшается эквивалентно увеличению расстояния от дороги. Средний показатель уровня шума в летний период составил 67,6 дБ, а в зимний 66,2 дБ.

Уровень освещенности значительно сокращается внутри лесонасаждения в летний облиственный период (рис. 3). Более эффективно рассеиваются солнечные лучи в ПЛП, представленных 4–6 рядами с участием двух или более пород.

Показатель освещенности в ПЛП безлиственном состоянии (рис. 4) незначительно снижается внутри лесной полосы, если ее ширина более 30 м.

Выводы

Поглощение звуковых колебаний придорожными лесонасаждениями зависит от расстояния между автодорогой и ПЛП, состава и структуры лесополосы.

Поглощение шума происходит как в летний облиственный период, так и в зимний, безлиственный период. Средний показатель уровня шума в летний период составил 67,6 дБ, а в зимний 66,2 дБ.

Наибольшим шумопоглощающим эффектом обладают лесные полосы, представленные 4–6 рядами с участием двух или более пород. Снижение уровня шума связано с архитектоникой и биометрическими показателями листовых пластин древесно-кустарниковых растений ПЛП.

При смешении твердолиственных и мягколиственных пород с различной архитектоникой листовых пластин (ПП4, ПП5) наблюдается уменьшение уровня звука в 1,8 раза, по сравнению монокультурными ПЛП (ПП3).

Участие кустарникового пояса высотой до 1,5 м значительно увеличивает шумопоглощающие способности придорожных лесных полос. Но наибольший шумополощающий эффект от кустарникового яруса наблюдается со стороны полотна автодороги.

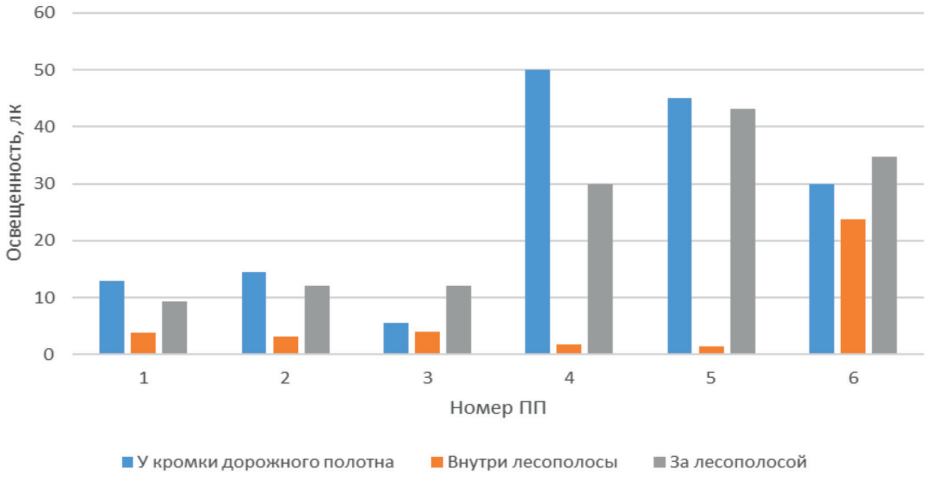


Рис. 3. Динамика уровня освещенности в облиственный период

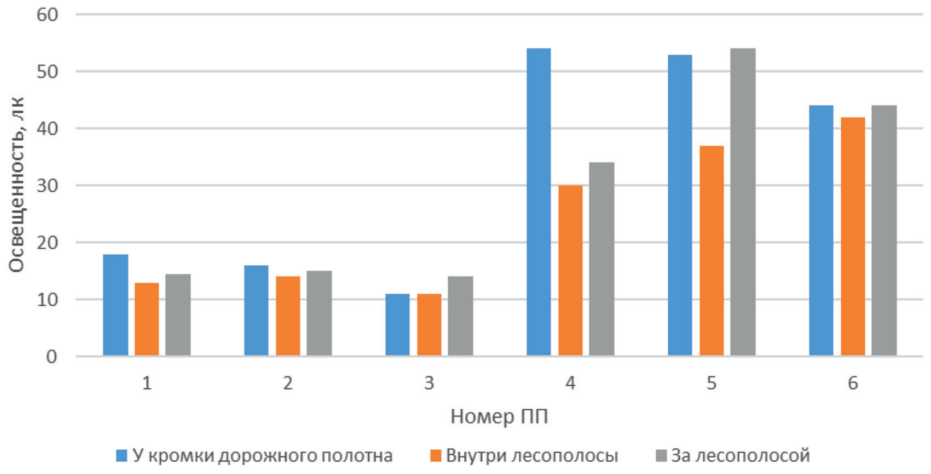


Рис. 4. Динамика уровня освещенности в безлиственный период

Для эффективного рассеивания солнечных лучей в придорожных лесных полосах ее ширина должна быть более 30 м с участием нескольких древесно-кустарниковых пород.

Придорожные лесные полосы плотной непродуваемой конструкции с участием твердолиственных и мягколиственных древесно-кустарниковых пород позволят достичь максимального снижения шума от автодороги и уменьшить освещенность при фронтальном и боковом освещении автополотна.

Список литературы / References

1. Крушель Е.Г., Степанченко И.В., Панфилов А.Э. Экологический мониторинг атмосферного воздуха небольших городов. Модели и алгоритмы М.: Наука, 2012. 118 с.

Krushel E.G., Stepanchenko I.V., Panfilov A.E. Environmental monitoring of atmospheric air in small towns. Models and algorithms. M.: Nauka, 2012. 118 p. (in Russian).

2. Kolesnikov S.I., Petrova N.A., Kazeev K.S., Vernigorova N.A., Minkina T.M., Sushkova S.N. The resistance evaluation of dry subtropics brown soil to heavy metal and oil contamination by biological indicators. American Journal of Agricultural and Biological Science. 2016. Т. 11. № 3. С. 110–116. DOI: 10.3844/ajabssp.2016.110.116/

3. Оценка воздействия транспортных потоков на окружающую среду: учеб. пособие / Под ред. В.М. Гарин, Л.В. Громова. Ростов н/Д.: Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2007. 110 с.

Assessment of the impact of traffic flows on the environment. education guidance / Under edition V.M. Garin, L.V. Gromova. Rostov on/D.: Rostov state University of railway engineering, 2007. 110 p. (in Russian).

4. Иванова А.Н. Влияние параметров придорожных лесных полос на снижение шума вблизи автомобильных дорог (на примере саратовского правобережья): дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2014. 118 с.

Ivanova A.N. Influence of parameters of roadside forest strips on noise reduction near roads (on the example of Saratov right Bank): diss. ... kand. biol. sciences'. Saratov, 2014. 118 p. (in Russian).

5. Крушель Е.Г., Степанченко И.В., Панфилов А.Э., Степанченко О.В. Исследование алгоритма расчета выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта на примере магистрали города Камышина // Сборник научных трудов SWorld. 2013. Т. 6. № 2. С. 76–83.

Krushel E.G., Stepanchenko I.V., Panfilov O.E., Stepanchenko O.V. The study of the algorithm for calculating emissions of pollutants from motor vehicles on the example of the highway of the city of Kamyshin // Collection of scientific works of SWorld. 2013. Vol. 6. № 2. P. 76–83 (in Russian).

6. Ivanisova N.V., Davydenko N.M., Kurinskaya L.V., Kolesnikov S.I. The protective effect of plantations on soil of roadsive landscapes. 18th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2018 CONFERENCE PROCEEDINGS. 2018. P. 635–642.

7. Бечина Д.Н., Бойцова Е.Н. Влияние древесно-кустарниковой растительности на снижение уровня шума на примере Саратова // Эколого-технологические аспекты лесного хозяйства в степи и лесостепи: материалы конф. Саратов: ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2007. С. 108.

Bechina D.N., Bojczova E.N. The influence of trees and shrubs to reduce noise on the example of Saratov // Environmental and technological aspects of forestry in the steppe and forest-steppe: proceedings of the conference. Saratov: FGOU VPO «Saratovskiy GAU», 2007. P. 108 (in Russian).

УДК 630.181:633.878.32(470.61)

РОСТ ТОПОЛЯ ЧЕРНОГО (POPULUS NIGRA L.) В УСЛОВИЯХ СУХОСТЕПНОЙ ЗОНЫ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Кружилин С.Н., Мишенина М.П., Кирюшин Н.О., Таскаев Д.А.

Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортунова – филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет», Новочеркасск, e-mail: mishenina.marina93@mail.ru

Деревья рода тополь являются наиболее распространённой породой в озеленении населённых пунктов Юга России. Несмотря на наличие большого количества точных сведений о тополе, по-прежнему остаются открытыми вопросы его срока жизни в условиях города и открытой степи, устойчивости деревьев и насаждений, кронирования, хода роста, требовательности к почве, влаге, уточнения его эстетических качеств в разных хозяйственных и функциональных зонах. Исследуемые рядовые посадки деревьев тополя чёрного в возрасте 51 года (Populus Nigra L.) произрастают вдоль автомагистрали Ростов – Элиста на территории населённого пункта слобода Большая Орловка Мартыновского района Ростовской области. Цель работы – изучение роста и состояния тополя чёрного в условиях сухостепной зоны, установление перспективных сроков жизни кронированных и не подлежащих кронированию деревьев, определение оптимального возраста (времени) кронирования. В процессе исследования на пробной площади была проведена инвентаризация зелёных насаждений, которая включала в себя: измерения высоты стволов растущих деревьев, прироста вегетативной части кронированных деревьев, диаметра на высоте 1,3 м, также определение категории состояния. По результатам инвентаризации выполнена математико-статистическая обработка результатов инвентаризации кронированных и не подлежащих кронированию деревьев тополя чёрного. Для оценки достаточности количества наблюдений и достоверности полученных результатов были рассчитаны: средний показатель ($Mm_м$), коэффициент вариации (C,%), точность опыта (P,%). На основании данных, полученных в результате исследований, определено, что кронирование благоприятно влияет на рост деревьев тополя чёрного, позволяет безопасно эксплуатировать деревья без риска ветровала и ветролома, ведёт за собой активное последующее развитие порослевой части (за 6 вегетационных периодов с 2011 г. деревья смогли сформировать эстетически привлекательную правильную крону).

Ключевые слова: тополь чёрный, кронированние деревьев, рост тополя черного, прирост вегетативной части деревьев, сухостепная зона

THE GROWTH OF BLACK POPLAR (POPULUS NIGRA L.) UNDER CONDITIONS OF DRY STEPPE ZONE OF THE ROSTOV REGION

Kruzhilin S.N., Mishenina M.P., Kiryushin N.O., Taskaev D.A.

Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute named after A.K. Kortunov – branch «The Don State Agrarian University», Novocherkassk, e-mail: mishenina.marina93@mail.ru

Poplar (Populus) trees are the most common and popular genus used in planting processes in South Russia localities. Although Poplar tree is enough described and scientifically researched, some questions like: trees lifetime in town and open steppe areas, trees stability, tree crown shaping process, growth process control, soil's requirements, moisture, esthetic quality specification for different economic and functional zones, still stay opened. Objects of the current research – Poplar Black trees (age around 51 years) growing along highway Rostov-Elista near sloboda (settlement) Bolshaya Orlovka (Rostov Region). The goal of current research is study of growth process and state of Poplar Black trees, optimal lifetime detection for the crowned and not crowned samples. In research process on the base of test planting area inventory process of tree samples was made. It included stalk height measure process of growing trees, growth difference of vegetative part of crowned tree, tree diameter measuring at point 1,3 m, tree state category detection on the base of inventory methodic. On the base of inventory results of crowned and not crowned Black Poplar trees math and statistic calculations were made: growth indicators comparison for left (west) and right (east) sides for Poplar Black crowned trees. For estimation of sufficient examination quantity and authenticity of received results average Index (Mm_m), variation coefficient (C,%), experiment accuracy (P,%) were calculated. On the base of calculated data made next conclusions: crowning process allows to receive trees samples of Poplar Black stable from falling and stalk breaking processes in condition of strong steppen winds (in 6 vegetative periods – from year 2011 trees samples formed good esthetic crowns).

Keywords: poplar black, cutting trees, the growth of the black poplar, the growth of the vegetative parts of trees, dry steppe zone

Тополь (*Populus* L.) [1] – одна из важных древесных пород для целей защитного лесоразведения, также одна из распространённых пород для озеленения населённых пунктов и автомагистралей [2–4].

Знания о тополе обширные, но есть вопросы о сроке жизни, о устойчивости деревьев и насаждений, о кронировании и др. [3–5].

Исследования роста тополя чёрного (*Populus Nigra* L.) [1] проведены в Мартыновском районе Ростовской области на территории населённого пункта слобода Большая Орловка (северо-западный въезд

в слободу). На рис. 1 показан тополь чёрный на объекте исследований, произрастающие здесь деревья тополя выполняют функцию придорожных насаждений.

В соответствии с особенностями климатических условий территория характеризуется как сухая степь. Здесь отмечается среднегодовое количество осадков – 409 мм; среднегодовая температура воздуха – 8,4 °С; относительная влажность воздуха – 71 %. Коэффициент влагообеспеченности (ГТК по Г.Т. Селянинову) составляет 0,60–0,78.

Основу почвенного покрова формируют чернозёмы южные. Они характеризуются мощным гумусовым горизонтом ($A + B_1$ = 65–100 см) с содержанием гумуса в горизонте А до 4,5 % и кратковременным и неглубоким промерзанием [5, 6].

Как видно из показателей климатических условий, они для роста тополя не самые оптимальные, так как принято считать, что тополь – порода требовательная к влаге и богатству почв [5, 7]. Тем не менее тополь чёрный является популярной породой, применяемой как при озеленении населённых пунктов, так и в защитном лесовыращивании (в частности, насаждения вдоль автомобильных дорог) [3].

Цель исследования: изучить рост и состояние тополя чёрного, определить перспективные сроки жизни, оптимальное время (возраст) кронирования деревьев.

В задачи исследования входило: измерение высоты деревьев (h, м), измерение диаметра на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$, см); измерение прироста вегетативной части кронированных деревьев (z, м); математико-статистическая обработка результатов инвентаризации.

Материалы и методы исследования

В соответствии с методикой [7–9] были исследованы деревья, произрастающие вдоль автомагистрали Ростов – Элиста и автомобильной дороги ул. Революционной, которая проходит через сл. Большая Орловка (рис. 2).

Высота деревьев определялась высотомером-эклиметром ЭВ-1, предназначенным для измерения высоты стволов растущих деревьев при таксации леса, который позволяет производить измерения на базе 10 и 20 м от основания измеряемого объекта, для чего предусмотрены две шкалы с шагом 1 м. От деревьев отмеряли расстояние, равное базису высотомера (20 м) [7]. Высота определялась у каждого дерева в отдельности, после чего находилось среднее значение.

Диаметр деревьев измерялся мерной вилкой в двух взаимно перпендикулярных направлениях на высоте 1,3 м, затем по полученным данным вычислялся средний диаметр (как среднее арифметическое двух замеров). Средний диаметр рассчитывался по общепринятой в таксации методике – через сумму площадей сечений. Для оценки достаточности количества наблюдений и достоверности полученных результатов проводилась математическая обработка, рассчитывали: средний показатель ($Mm_м$), коэффициент вариации (С, %), точность опыта (Р, %), используя методики авторов: Г.Н. Зайцев, 1984, В.М. Ивонин, Н.Д. Пеньковский, 2003 [7–9]. Стандартное значение критерия Стьюдента принимаем на доверительном уровне 99 %, 99,9 % [9, с. 103, 104].

а)

б)

Рис. 1. Исследуемые насаждения тополя чёрного вдоль автомагистрали: а) кронированные деревья; б) некронированные

– кронированные деревья; – некронированные деревья

Рис. 2. Ситуационная схема месторасположения объекта исследований (северо-западный въезд в сл. Большая Орловка) [10]

Фактический критерий существенности (Стьюдента) вычисляли по формуле [5, с. 104]:

$$t_{факт} = \bar{d} / m_{\bar{d}}.$$

При проведении обследования состояние каждого дерева оценивали в соответствии с методикой инвентаризации городских зелёных насаждений (Академия коммунального хозяйства им. Памфилова К.Д., 1997) [11, с. 4, 12, 13] с использованием трехбалльной шкалы с помощью которой определялась категория состояния ($К_{сост}$) [11, с. 4, 14].

При замерах фиксировалась схема посадки деревьев и велась фотосъёмка.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований отражены в табл. 1.

Кронирование деревьев тополя осуществлено в 2011 г. Эта кардинальная технологическая операция была необходима в связи с тем, начиная с возраста 42–45 лет у деревьев тополя черного прогрессировало усыхание ветвей, а имея большую массу, это представляло опасность для автомобилей и жителей. Как видно из табл. 1, за 6 лет у деревьев сформировалась надземная часть высотой 6,42 м. При этом средний прирост порослевой части составляет – 1,07 м.

На отдельном отрезке защитного насаждения из тополя черного кронирование не проводилось. Для полноценной характеристики роста тополя чёрного нами исследованы деревья, которые не подлежали кронированию – это позволяет нам сравнить растения, произрастающие в одинаковых условиях и одинаковом возрасте.

Результаты исследований некронированных деревьев отражены в табл. 2.

Из анализа данных табл. 1 и 2 по таким показателям, как категория состояния ($К_{сост}$) и диаметр на высоте 1,3 м ($d_{1,3}$), видно, что категория состояния у кронированных деревьев находится в пределах от 1,29 до 1,47, из этого следует, что состояние деревьев в соответствии со шкалой (методика К.Д. Панфилова): «хорошее» – растения здоровые с правильной, хорошо развитой кроной, без существенных повреждений (рис. 2, а) [11, с. 4]; в то время у некронированных деревьев этот показатель от 1,99 до 2,19, следовательно, в возрасте 51 года

состояние «удовлетворительное» – растения здоровые, но с неправильно развитой кроной, со значительными, но не угрожающими их жизни ранениями или повреждениями, с дуплами и др. (рис. 2, б) [11, с. 4], предположительно, к 60 годам состояние этих деревьев ухудшится до «неудовлетворительного». Диаметр на высоте 1,3 м у деревьев практически равен, у кронированных находится в пределах от 55,7 см до 57,34 см, у некронированных от 55,46 см до 58,94 см, разница этого показателя составляет 0,68 см. На основании полученных результатов можно судить о том, что кронирование благоприятно влияет на деревья тополя чёрного, на его рост, последующее развитие порослевой части, за 6 вегетационных периодов деревья смогли сформировать эстетически привлекательную крону, без существенных повреждений.

Исследуемые кронированные деревья тополя чёрного формируют двухрядное насаждение, которое имеет направление посадки рядов с северо-запада на юго-восток (рис. 1, а, рис. 2). Нами сделано сравнение показателей роста кронированных деревьев тополя чёрного, произрастающих с левой стороны (западной) и правой стороны (восточной), что отражено в табл. 4 и 5.

Анализируя показатели табл. 4, можно проследить, что разница между высотами деревьев левой и правой стороны 0,71 см. Средний диаметр стволов тополя чёрного на высоте 1,3 м по левой стороне составляет 56,62 см, а по правой стороне 56,43 см, что составляет разницу в 0,19 см. При 99,0 % и 99,9 % достоверном уровне разница высот и диаметров между левой и правой стороной деревьев является несущественной.

Нами также были сравнены две средних величины – прирост порослевой части, обработка данных прироста порослевой части была проведена разностным методом при одинаковом числе повторности (21 измерение), анализ данных представлен в табл. 5.

На основании полученных данных табл. 5 – $t_{факт} < t_{табл}$ (1,47 < 2,9), поэтому несущественна средняя разность прироста порослевой части кронированных деревьев тополя чёрного при доверительных уровнях 99 %, 99,9 %, размах колебаний числовых значений членов ряда (вокруг средней арифметической) слишком велик.

Таблица 1

Результаты исследований тополя черного (кронированный)

Порода	Возраст, лет	Высота, м $h \pm m_h$	Диаметр, см $d_{1,3} \pm m_d$	Прирост порослевой части, м $z \pm m_z$	Высота кронирования, м hкр $\pm m_{h\text{кр}}$	Категория состояния, средний балл $К_{сост} \pm m_{сост}$
Тополь чёрный (*Populus nigra* L.)	51	8,54 ± 0,30	56,52 ± 0,82	6,42 ± 0,31	2,13 ± 0,03	1,38 ± 0,09

Таблица 2

Результаты исследований некронированных деревьев тополя чёрного

Порода	Возраст, лет	Высота, м $h \pm m_h$	Диаметр, см $d_{1,3} \pm m_d$	Категория состояния, средний балл $К_{сост} \pm m_{сост}$
Тополь чёрный (*Populus nigra* L.)	51	23,71 ± 0,60	57,20 ± 1,74	2,09 ± 0,10

Таблица 4

Параметры статистического ряда двухрядной посадки кронированных деревьев

Параметры	Высота дерева, м $\bar{X} \pm m_{\bar{x}}$	Прирост порослевой части, м $\bar{X} \pm m_{\bar{x}}$	Высота кронирования, м $\bar{X} \pm m_{\bar{x}}$	Диаметр ствола на высоте 1,3 м, см $\bar{X} \pm m_{\bar{x}}$	Средний прирост порослевой части
Левая сторона (западная)	8,90 ± 0,43	6,82 ± 0,44	2,07 ± 0,03	56,62 ± 1,23	1,14
Правая сторона (восточная)	8,19 ± 0,41	6,01 ± 0,42	2,18 ± 0,04	56,43 ± 1,09	1,00

Таблица 5

Прирост порослевой части кронированных деревьев тополя чёрного [9]

Повторность	Прирост порослевой части		Разность (d)	Квадрат разности, d^2	Критерий Стьюдента		
	Левая сторона	Правая сторона			$t_{факт}$	$t_{табл}$	
						99%	99,9%
1	4,55	4,35	0,20	0,04	1,47	2,9	3,9
2	4,33	4,93	–0,60	0,36			
3	3,44	4,34	–0,90	0,81			
4	4,5	4,50	0,00	0,00			
5	2,99	7,75	–4,76	22,66			
6	5,2	7,96	–2,76	7,62			
7	8,51	5,43	3,08	9,49			
8	7,93	6,80	1,13	1,28			
9	7,05	10,67	–3,62	13,10			
10	7,5	6,75	0,75	0,56			
11	7,06	1,90	5,16	26,63			
12	8,95	7,15	1,80	3,24			
13	7,7	7,76	–0,06	0,00			
14	7	5,85	1,15	1,32			
15	8,85	6,85	2,00	4,00			
16	6,9	4,50	2,40	5,76			
17	7,05	5,60	1,45	2,10			
18	10,95	8,65	2,30	5,29			
19	9,3	3,64	5,66	32,04			
20	8	5,40	2,60	6,76			
21	5,5	5,40	0,10	0,01			
Сумма	143,26	126,18	17,08	143,07			
Среднее	6,82	6,01	0,81				

Проведённые исследования позволяют сделать следующие выводы и дать практические рекомендации:

1. Кронирование – это прежде всего удаление ненужных, сухих ветвей, которое влечёт за собой улучшение общего и эстетического состояния дерева, также снижает риск повреждения стволов при сильном ветре, период восстановления формы кроны у кронированных деревьев тополя чёрного (*Populus Nigra* L.) составляет 1 год (средний прирост порослевой части составляет – 1,07 м/год, за 6 лет общий прирост в пределах от 6,11 м до 6,73 м).

2. Высота спила при кронировании деревьев тополя черного в условиях сухостепной зоны Ростовской области, принимаемая в пределах 2,0–2,5 м, является допустимой.

3. Кронирование деревьев тополя черного в возрасте 40–45 лет позволит полностью предотвратить риск поломки крупных усохших скелетных ветвей, при этом насаждения полностью обновляются, санитарное состояние из категории – «неудовлетворительное» переходит в категорию «хорошее». Увеличивается безопасный срок эксплуатации насаждений не менее чем на 10 лет.

Список литературы / References

1. Международный кодекс ботанической номенклатуры (Венский кодекс), принятый Семнадцатым международным ботаническим конгрессом, Вена, Австрия, июль 2005 г. // Пер. с английского Т.В. Егоровой и др. Отв. ред. Н.Н. Цвелёв. М.; СПб.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. 282 с.

International Code of Nomenclature for algae, fungi, and plants (Vienna Code), XVII International Botanical Congress, Vienna, Austria, July 2005 // Per. s anglijskogo T.V. Egorovoj i dr. Otv. red. N.N. Cvelyov. M.; SPb.: Tovarishchestvo nauchnyh izdanij KMK, 2009. 282 p. (in Russian).

2. Xiong Li, Yunqiang Yang, Xudong Sun, Huaming Lin, Jinhui Chen, Jian Ren, Xiangyang Hu, Yongping Yang. Comparative Physiological and Proteomic Analyses of Poplar (Populus Yunnanensis L.) Plantlets Exposed to High Temperature and Drought. Published: September 16, 2014 [Электронный ресурс]. URL: https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0107605 (дата обращения: 23.09.2018). DOI: 10.1371/journal.pone.0107605.

3. Кружилин С.Н., Мишенина М.П. Закономерности роста древесных растений рода POPULUS в озеленительных насаждениях урбанизированных территорий Ростовской области // Защитное лесоразведение, мелиорация земель, проблемы агроэкологии и земледелия в Российской Федерации: сборник трудов конференции. Волгоград, 2016. С. 339–343.

Kruzhilin S.N., Mishenina M.P. The regularities of growth of woody plants of the genus populus in the greening plantations of urbanized territories of the Rostov region // Zashchitnoe lesorazvedenie, melioraciya zemel', problemy agroehkologii i zemledeliya v Rossijskoj Federacii: sbornik trudov konferencii. Volgograd, 2016. P. 339–343 (in Russian).

4. Кружилин С.Н., Таран С.С. Экологически обоснованные мероприятия по формированию габитуса тополевых насаждений в условиях урболандшафтов Нижнего Дона // Наука. Мысль. 2014. № 1. URL: wwenews.esrae.ru/1-22 (дата обращения: 24.10.2018).

Kruzhilin S.N., Taran S.S. Jekologicheski obosnovannye meroprijatija po formirovaniju gabitusa topolevyh nasazhdenij v uslovijah urbolandshaftov Nizhnego Dona // «Nauka. Mysl': jelektronnyj periodicheskij zhurnal» 2014. № 1. URL: wwenews.esrae.ru/1-22 (date of access: 24.10.2018) (in Russian).

5. Кружилин С.Н. Рост дуба черешчатого в лесных культурах, созданных с применением разных типов смешения в условиях Нижнего Дона: дис. ... канд. с-х. наук: 06.03.01. Новочеркасск, 2008. 182 с.

Kruzhilin S.N. Growth of pedunculate oak in forest cultures created using different types of mixing in the conditions of the Lower Don: dis. ... kand. s-h. nauk: 06.03.01. Novocherkassk, 2008. 182 p. (in Russian).

6. Хрусталев Ю.П., Василенко В.Н., Свисюк И.В., Панов В.Д., Ларионов Ю.А. Климат и агроклиматические ресурсы Ростовской области. Ростов н/Д.: Батайское книжное изд-во, 2002. 184 с.

Hrustalev Yu.P., Vasilenko V.N., Svisyuk I.V., Panov V.D., Larionov Yu.A. Climate and agro-climatic resources of the Rostov region. Rostov na/D.: Batajskoe knizhnoe izd-vo, 2002. 184 p. (in Russian).

7. Кружилин С.Н., Мишенина М.П. Методика исследования насаждений рода POPULUS // Проблемы природоохранной организации ландшафтов: материалы Международной научной-практической конференции. 2016. С. 201–208.

Kruzhilin S.N., Mishenina M.P. Research methodology plantings of the genus POPULUS // Problemy prirodoohrannoj organizacii landshaftov: materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj-prakticheskoj konferencii. 2016. P. 201–208 (in Russian).

8. Зайцев Г.Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.

Zajcev G.N. Mathematical statistics in experimental botany. M.: Nauka, 1984. 424 p. (in Russian).

9. Ивонин В.М., Пеньковский Н.Д. Лесомелиорация ландшафтов. Научные исследования. Ростов н/Д.: Изд-во СКНЦ ВШ, 2003. 150 с.

Ivonin V.M., Pen'kovskij N.D. Forest reclamation of landscapes. Scientific research. Rostov n/D.: Izd-vo SKNC VSH, 2003. 150 p. (in Russian).

10. Карта, сл. Большая Мартыновка [Электронный ресурс]. URL: https://www.google.ru/maps/@47.3363657,41.2682106,1390m/data=!3m1!1e3?hl=ru (дата обращения: 29.07.2018).

Map, SL. Bol'shaya Martynovka [Электронный ресурс]. URL: https://www.google.ru/maps/@47.3363657,41.2682106,1390m/data=!3m1!1e3?hl=ru (date of access: 29.07.2018) (in Russian).

11. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений. Академия коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова. М.: Минстрой России, 1997. 14 с.

Technique of inventory of city green plantings. Academy of municipal services of K.D. Pamfilov. M.: Minstroj Rossii, 1997. 14 p. (in Russian).

12. Медведева Е.Ю. Биолого-экологические особенности роста и размножения гибридных тополей в городе Екатеринбурге: автореф. дис. ... канд. сел.-хоз. наук: 06.03.03. Екатеринбург, 2015. 20 с.

Medvedeva E.Yu. Biological and ecological features of growth and reproduction of hybrid poplars in Yekaterinburg: avtoref. dis. ... kand. sel.-hoz. nauk: 06.03.03. Ekaterinburg, 2015. 20 p. (in Russian).

13. Постановление Правительства Ростовской области от 30 августа 2012 г. № 819 «Об утверждении Порядка охраны зелёных насаждений в населённых пунктах Ростовской области» // Наше время 12 сентября 2012 г. URL: http://internet.garant.ru/#/document/19504882/paragraph/1:8 (дата обращения: 06.08.2018).

Resolution Of the government of the Rostov region of August 30, 2012 № 819 «On approval Of the order of protection of green spaces in the settlements of the Rostov region» // Nashe vremya 12 sentyabrya 2012 g. URL: http://internet.garant.ru/#/document/19504882/paragraph/1:8 (date of access: 06.08.2018).

14. Ермолова А.С. Состояние, рост и ресурсный потенциал насаждений тополя белого в поймах рек степного Придонья: автореф. дис. ... канд. сел.-хоз. наук: 06.03.02. Пушкино, 2016. 23 с.

Ermolova A.S. Condition, growth and resource potential of white poplar plantations in the floodplains of the steppe don region: avtoref. dis. ... kand. sel.-hoz. nauk: 06.03.02. Pushkino, 2016. 23 p. (in Russian).

УДК 631.67:631.452:633.18

ОЦЕНКА МЕЛИОРАТИВНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ ОРОСИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Кузнецов Е.В., Хаджиди А.Е., Куртнезиров А.Н., Кузнецова М.Е.

ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар, e-mail: dtn-khanna@yandex.ru

Установлено, что значение показателя агроресурсного потенциала оросительных систем полностью зависит от мелиоративного состояния почв агроландшафта. Необходима разработка таких показателей, которые могли бы управлять агроресурсным потенциалом после реконструкции оросительной системы для получения высокого урожая культур. Получены индикаторы мелиоративного состояния почв по рискам, которые позволяют дать оценку агроресурсному потенциалу сельскохозяйственных земель на примере рисовых оросительных систем и управлять мелиоративным состоянием почв после реконструкции оросительных систем. Выполненные исследования позволили разработать шкалу и меру риска для оценки агроресурсного состояния почв. Мера риска определяет мелиоративное состояние оросительных систем возможности по индикаторам: качество планировки плоскости полей; время подачи нормы полива; профиль периферийных канавок; минерализация грунтовых вод; колебание уровня грунтовых вод на полях и др. и находится в диапазоне 0–0,5. Мера риска равная «0» – соответствует оценке агроресурсного состояния «хорошо»; при мере риска «0,5» – оценка агроресурсного состояния «неудовлетворительно». Разработанные индикаторы исследованы на рисовых почвах Федоровской оросительной системы в нескольких хозяйствах за период четырех лет после реконструкции проблемных участков на выделенном массиве. Установлена мера риска в виде интегральной оценки, которая составила 0,13. Оросительная система после реконструкции находится в удовлетворительном состоянии по мелиоративному состоянию почв, что отражает качество проведенных мероприятий отдельных участков. Разработанную оценку мелиоративного состояния почв следует использовать при проведении работ по реконструкции оросительных систем, она позволяет проводить комплексный контроль выполненных работ.

Ключевые слова: оросительная система, мелиорация, плодородие, мелиоративное состояние, индикатор риска

ESTIMATION OF THE MELIORATIVE STATE OF SOILS OF IRRIGATION SYSTEMS

Kuznetsov E.V., Khadzhidi A.E., Kurtnezirov A.N., Kuznetsova M.E.

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar, e-mail: dtn-khanna@yandex.ru

It has been established that the value of the indicator of the agro-resource potential of irrigation systems completely depends on the ameliorative condition of the soil in the agrolandscape. It is necessary to develop such indicators that could manage the agro-resource potential after the reconstruction of the irrigation system for obtaining a high crop yield. Indicators of ameliorative state of soils are obtained on the risks that allow to assess the agro-resource potential of agricultural lands using the example of rice irrigation systems and managing the ameliorative state of soils after the reconstruction of irrigation systems. The carried out researches allowed to develop a scale and a measure of risk for assessing the agro-resource state of soils. The risk measure determines the reclamation state of irrigation systems for the indicators: the quality of the lay-out of the field plane; watering time; profile of peripheral grooves; groundwater mineralization; fluctuations in the level of groundwater in the fields, etc., and is in the range 0-0.5. A measure of risk equal to «0» corresponds to an assessment of the agro-resource state «good»; at a risk of «0.5» the assessment of the agro-resource state is «unsatisfactory». The developed indicators have been studied in rice soils of the Fedorovskaya irrigation system in several farms for a period of four years after the reconstruction of the problem areas on a selected massif. A measure of risk in the form of an integrated assessment was established, which was 0,13. The developed estimation of ameliorative state of soils should be used in the course of works on reconstruction of irrigation systems.

Keywords: irrigation system, melioration, fertility, ameliorative state, risk indicator

Краснодарский край является основным регионом страны по производству сельскохозяйственной продукции, где создан крупный водохозяйственный комплекс, включающий 230 тыс. га рисовых и более 70 тыс. га современных оросительных систем. Учитывая сложившееся положение в обеспечении населения РФ продуктами питания, ставится задача по наращиванию производства риса и увеличению его валовых сборов до 1,0 млн т в год [1]. Влияние природных и антропогенных факторов [2, 3] определяет тенденцию производственников повышения мелиоративного состояния почв (МСП) рисовых мелиорируемых земель за счет их реконструкции, рационального использования водных ресурсов, что в конечном итоге должно привести к качеству и увеличению сельскохозяйственной продукции. Одним из основных показателей после реконструкции следует ожидать повышение агроресурсного потенциала (АРП) оросительных систем, который полностью зависит от МСП. Поэтому необходима раз-

работка таких показателей, которые могли бы управлять агроресурсным потенциалом после реконструкции оросительной системы и следует считать, что её агроресурсный потенциал – это комплексное мелиоративное состояние системы, которая обладает всеми необходимыми ресурсами и достаточным потенциалом для получения высокого урожая культур [4].

Цель исследования: разработать систему индикаторов рисков при оценке агроресурсного потенциала, с помощью которой возможно управлять МСП после реконструкции оросительных систем, а также обосновать меру риска для возможности использования индикаторов в качестве контроля технических параметров оросительных систем: качество планировки плоскости полей; время подачи нормы полива; профиль периферийных канавок; минерализация грунтовых вод; колебание уровня грунтовых вод (УГВ) на полях орошения. Следует ожидать, что выполнение поставленной цели приведет к устойчивому развитию агроландшафтов, где будет формироваться система сельскохозяйственного мелиоративного комплекса.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на Федоровской оросительной системе до и после реконструкции рисовых чеков. Выполнялись инструментальные замеры состояния гидротехнических сооружений, плоскости чеков, периферийных чековых канавок, сбросных сооружений. Планировка плоскости чеков проводилась с помощью длиннобазовых планировщиков с лазером дальномером, что позволяло выполнять контроль поверхности поля с точностью ±3 см. Способ планировки был выбран продольно-челночный. Уровень грунтовых вод (ГВ) определялся в скважинах с помощью поплавков. На исследуемом чеке по длинной стороне было пробурено 3 наблюдательных скважины глубиной 2,0 м и диаметром 50 мм. Скважины устраивались таким образом, чтобы можно было отслеживать не только уровень грунтовых вод, но и влияние оросителя и дренажа на его динамику. Уровень ГВ находился в диапазоне 0–1,2 м. В скважинах определялся химический состав грунтовых вод. Был оборудован наблюдательный пост за уровнем воды на чеке. Обработка опытных данных проводилась с помощью стандартных методик, приборов и оборудования в аттестованных лабораториях и на персональных компьютерах методами математической статистики.

Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки АРП оросительных систем применяются отдельные локальные показатели, такие как плодородие земель, бонитет почв и др., которые учитывают только текущее состояние агроландшафтов и не могут дать комплексной оценки о состоянии орошаемых земель в текущей момент. Для оценки реконструкции оросительной системы необходима разработка меры технических показателей, которые бы в комплексе с плодородием земель давали сравнительный результат до и после выполнения агротехнологий на исследуемом массиве. Поэтому для решения поставленной цели необходимо выполнить основную задачу обоснования технических параметров системы в виде количественных показателей – меры степени работоспособности оросительных систем при выращивании сельскохозяйственных культур.

После реконструкции следует ожидать повышение агроресурсного потенциала агроландшафтов оросительной системы, который определяется «хорошим» МСП. Следовательно, мера оценки «хорошо» должна иметь численный параметр. Принимается произвольно для оценки МСП – «хорошо» мера равная «0», а для оценки МСП «неудовлетворительно» – 0,5. Диапазон установленного интервала 0–0,5 может служить мерой оценки промежуточного состояния МСП, что позволяет более детально исследовать тот или иной показатель технического состояния системы. Рассмотрим формирование показателей для оценки АРП. Главным показателем, который формирует валовый урожай риса, является качество планировки поверхности чеков. Плоскость чеков должна быть «идеальной» плоской с отметками ±3 см на всей площади полей. При отклонении отметок до ±5 см ведет к потере урожая до 10%. Технические параметры – минерализация грунтовых вод и колебание уровня грунтовых вод также оказывают негативное влияние на урожай риса. Потери урожая риса значительно зависят от времени подачи и сброса воды, которое определяется состоянием периферийных канавок.

Для разработки индикаторов контроля агроресурсного состояния полей выполнялись исследования мелиоративного состояния почв на рисовых полях хозяйств «Звезда», «Кубань», «Искра» и малых крестьянских хозяйств, входящих в состав ФОС, на общей площади 10778 га (табл. 1).

Хозяйства располагаются вдоль главного оросителя последовательно, что позволяет проводить анализ мелиоративного состояния полей по мере затопления водой плоскости чеков в начале вегетационного периода и в конце оросительного сезона после сброса воды с чеков. Оценка состояния полей показывает, что площади требуют улучшения как планировки поверхности полей, так и оснащения водоизмерительной техникой. В наихудшем состоянии находятся крестьянские хозяйства, где требуется реконструкция оросительной системы 25% орошаемых площадей. В крупных предприятиях реконструкция полей требуется на 5–16% площадей орошения.

Обследование МСП оросительной системы в хозяйствах (табл. 1) выявило, что наибольшее влияние на урожай и затраты с его выращиванием оказывает степень выровненности поверхности полей, которая тесно связана с управлением слоем воды на чеках. Управление слоем определяется временем подачи воды на плоскость чека, минерализацией грунтовых вод и технологическими сбросами воды с плоскости чека. Все перечисленные параметры зависят от состояния гидротехнических мелиоративных сооружений на системе.

поверхности чеков, на которых превышение отметок более ± 5 см наблюдается на площади не более 6–10% от общей площади чека. При этом состояние МСП – удовлетворительное. Индикатор находится в пределах 0,16–0,50. При увеличении деградированной плоскости чека с отметками более ±5 см индикатор возрастает с 0,5 при 10% до 0,9 при 50%, соответственно. Из анализа (1) следует, что спланированная поверхность чеков до стандартного отклонения ±5 см является удовлетворительным условием, а отклонение ±3 см – это практически идеальное условие выращивания риса [2].

Индикатор контроля времени подачи воды на плоскость чека I_2 определяется по формуле

$$I_2 = 1 - 3/T;\ I_2 = 0,\ T \leq 3 \text{ сут.}, \qquad (2)$$

где T – время затопления чека, сут.

При увеличении срока заливки чека индикатор I_2 возрастает и стремится к 1. Оптимальным сроком полной заливки чека считается 3 суток. Периферийные канавки во время подачи и сброса воды обеспечивают водный режим на чеке. Оптимальной глубиной канавок является $h = 0{,}5$ м [1]. Индикатор будет

$$I_3 = 1 - h_к/h;\ I_3 = 0,\ h_k = 0{,}5 \text{ м}, \qquad (3)$$

где $h_к$ – строительная глубина на чеке, м.

Таблица 1

Характеристика орошаемых земель в разрезе хозяйств ФОС

Наименование хозяйства	Общая площадь орошаемых земель, га	Оценка состояния орошаемых земель (хорошее), га	Площадь, требуемая улучшения земель и технического уровня мелиорации, га
«Звезда»	2637	2637	500
«Кубань»	4838	4563	250
«Искра»	2894	2894	480
Крестьянские хозяйства	409	409	100
Всего	10778	10503	1330

Индикатор контроля высотной планировки плоскости чека определяется значением нарушения плоскости чека по отношению к допустимому пределу отклонения (±5 см) с площадью до $s = 5\%$:

$$I_1 = 1 - S/S_n;\ I_1 = 0,\ S \leq 5 \text{ см}, \qquad (1)$$

где s_n – процент площади чека с отметками более ±5 см.

При s_n более 5% происходит падение урожайности риса на 5–20% [1], индикатор стремится к единице $I_1 \to 1$. Оценке МСП хорошо соответствует индикатор I_1, равный 0. Установлено, что качество спланированной

При $h_к = 0{,}5$ м, $I_3 = 0$. При уменьшении глубины индикатор увеличивается и при $h_к = 0{,}1$ м, $I_3 = 0{,}8$. Глубина канавок должна находиться в диапазоне 0,3–0,5 м.

Минерализация грунтовых вод определяет риски от засоления почвы при подъеме уровня минерализованных грунтовых вод – I_4. Подъем уровня минерализованных грунтовых вод при подтоплении агроландшафтов вызывает вторичное засоление активного (корнеобитаемого) слоя почвы. При засолении почвы происходит изменение состава катионов, почва засоляется, становится малопригодной для выращива-

ния риса. Риски по степени минерализации грунтовых вод:

$$I_4 = f(C);\ I_4 = 0,\ C \neq 0, \quad (4)$$

где C – минерализация ГВ, г/л;
$I_4 = 1$, при $C < 1$ г/л – «хорошо»; $I_4 = 2$, при $C = 1$ г/л – «удовлетворительно»; $I_4 = 3$, при 1 г/л $< C \leq 2$ г/л– «неудовлетворительно»; $I_4 = 4$, при $C > 2$ г/л – необходимо не допускать подъёма УГВ к поверхности чека.

Подтопление чеков в межполивной период оказывает значительное влияние на своевременную предпосевную обработку и сев риса в оптимальные сроки [5]. Поэтому необходимо контролировать и управлять уровнем ГВ на плоскости чеков. Для этого используется индикатор контроля подтопления горизонта почвы (А) – I_5:

$$I_5 = f\left(1 - \frac{h}{H_o}\right);\ I_5 = 0,\ h \geq 0{,}4, \quad (5)$$

где h – УГВ в чеке, м; H_o – норма осушения рисового поля ($H_o = 0{,}4$ м), м.

При $h = H_o = 0{,}4$ м – УГВ не оказывает влияния на уборку риса, чек считается подготовленным к уборке, $I_5 = 0$ – МСП «хорошо». При подъеме УГВ выше 0,4 м начинается процесс переувлажнения почвы чека.

На мелиоративное состояние чеков влияют технологические сбросы воды с плоскости чека. От своевременного сброса воды зависит борьба с сорной растительностью (количество обработок риса гербицидами), потери урожайности риса в конце вегетации. Для этого разработан I_6 – индикатор управления временем сброса воды с плоскости чека. Индикатор можно определить из выражения

$$I_6 = 1 - 3/t, \quad (6)$$

где t – время сброса воды с плоскости чека, сут.

С учетом индикаторов (1)–(6) и диапазона меры риска 0–0,5 разработана шкала оценки рисков мелиоративного состояния почв агроландшафтов оросительных систем (табл. 2) [6].

Таблица 2

Шкала оценки рисков мелиоративного состояния почв агроландшафтов оросительных систем

Локальный риск	Характеристика риска МСП рисовых чеков (индикаторов рисков)	Шкала рисков	Мера риска
I_1	Индикатор контроля высотной планировки плоскости чека	±3 см	0
		±5 см	0,1
		≥ ±5 см до 10% площади	0,2
		≥ ±5 см на всей площади	0,5
I_2	Индикатор контроля времени подачи воды на плоскость чека, сут	$I_5 = 3$	0
		$I_5 \leq 4$	0,1
		$I_5 \geq 4$	0,2
		подача затруднена	0,5
I_3	Индикатор контроля профиля периферийных чековых канавок	профиль не нарушен	0
		профиль чековых канавок нарушен на 10%;	0,1
		профиль чековых канавок нарушен ≥ 10%;	0,2
		профиль чековых канавок нарушен ≥ 50%;	0,5
I_4	Индикатор степени минерализации УГВ, г/л	$C < 0{,}5$	0
		$C < 1$	0,1
		$C = 1$	0,2
		$C > 2$, не допускать подъёма УГВ к поверхности чека	0,5
I_5	Индикатор контроля подтопления горизонта почвы (А) в межполивной период после выпадения осадков. Положение УГВ, м	$I_8 = 1$	0
		$0{,}5 \leq I_8 \leq 1{,}0$	0,1
		$0{,}5 \leq I_8$	0,2
		уровень грунтовых вод на поверхности (подтопление)	0,5
I_6	Индикатор контроля времени сброса воды с плоскости чека, сут	$I_5 = 3$	0
		$I_5 \leq 4$	0,1
		$I_5 \geq 4$	0,2
		сброс затруднен	0,5

По шкале (табл. 2) приняты меры рисков мелиоративного состояния почв. При соблюдении всех необходимых мероприятий при возделывании риса безразмерный индикатор риска стремится к 0. Если мера риска >0,5, система переходит в неустойчивое состояние.

Исследования для Федоровской оросительной системы показывают, что после реконструкции интегральный показатель меры риска равен 0,13 (по табл. 2: $I_1 = 0{,}5$; $I_2 = 0{,}12$; $I_3 = 0{,}12$; $I_4 = 0{,}24$; $I_5 = 0{,}1$; $I_6 = 0{,}1$) и приближается к оценке МСП «хорошо».

Заключение

Разработана система показателей меры рисков для оценки агроресурсного потенциала в виде шкалы меры рисков (табл. 2), с помощью которой можно определять МСП до и после реконструкции оросительных систем.

Обоснована мера рисков, при которых выполняется контроль технических параметров оросительных систем, например, для рисовой оросительной системы: качество планировки плоскости полей; время подачи нормы полива; профиль периферийных канавок; минерализация грунтовых вод; положение уровня грунтовых вод на полях орошения.

Выполнен анализ состояния ФОС по хозяйствам за 4 года после реконструкции проблемных участков на выделенном массиве по индикаторам риска (1)–(6). Установлена мера риска в виде интегральной оценки, которая составила 0,13. Оросительная система после реконструкции находится в удовлетворительном состоянии по МСП, что отражает качество проведенных мероприятий отдельных участков. Требуется дальнейшая реконструкция рисовой оросительной системы, особенно в крестьянских хозяйствах.

Разработанную методику следует использовать при проведении работ по реконструкции оросительных систем, она позволяет проводить комплексный контроль выполненных работ.

Список литературы / References

1. Кузнецов Е.В., Чеботарев М.И., Хаджиди А.Е. Ресурсные технологии повышения мелиоративного состояния рисовых систем. Краснодар: КубГАУ, 2017. 87 с.

Kuznetsov E.V., Chebotarev M.I., Khadzhidi A.E. Resource technologies for improving the meliorative state of rice systems. Krasnodar: KubSAU, 2017. 87 p. (in Russian).

2. Гаркуша С.В., Трубилин А.И., Владимиров С.А. Основы экологического рисоводства в Краснодарском крае. Краснодар: ООО «ТИС ТЕХНОЛОДЖИ», 2013. 104 с.

Garkusha S.V., Trubilin A.I., Vladimirov S.A. The fundamentals of ecological rice growing in the Krasnodar Territory. Krasnodar: OOO «TIS TECHNOLOGIE», 2013. 104 p. (in Russian).

3. Голованов А.И. О целях и сущности мелиорации земель // Вестник сельскохозяйственной науки науки. 1991. Вып. № 12. С. 21–23.

Golovanov A.I. About the purposes and essence of land reclamation // Vestnik sel`skoxozyajstvennoj nauki nauki. 1991. № 12. P. 21–23 (in Russian).

4. Амелин В.П., Владимиров С.А. Режим орошения как основной компонент ресурсосберегающей безгербицидной технологии возделывания риса // Научные основы индустриальной технологии возделывания риса на Кубани: сб. науч. тр. КубГАУ. 1986. Вып. № 266 (294). С. 31–40.

Amelin V.P., Vladimirov S.A. Irrigation regime as the main component of resource-saving non-herbicidal technology of rice cultivation // Scientific foundations of industrial technology of rice cultivation in the Kuban: coll. sci. tr. KubSAU. 1986. Вып № 266 (294). P. 31–40 (in Russian).

5. Рекс Л.М., Умывакин В.М., Сафронова Т.И., Приходько И.А. Математическая модель экологической ситуации на рисовой оросительной системе // Научный журнал КубГАУ. 2008. № 44(10) [Электронный ресурс]. URL: http://ej.kubagro.ru/2008/10/pdf/03.pdf (дата обращения: 17.08.2018).

Rex L.M., Umyvakin V.M., Safronova T.I., Prikhod'ko I.A. Mathematical model of the ecological situation in the rice irrigation system // Scientific journal of KubSAU. 2008. № 44 (10) [Electronic resource]. URL: http://ej.kubagro.ru/2008/10/pdf/03.pdf (date of access: 08/17/2018) (in Russian).

6. Кузнецов Е.В., Хаджиди А.Е. Методы количественной оценки мелиоративного состояния агроландшафта и риски управления системой сельскохозяйственного мелиоративного комплекса // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2013. № 43. С. 266–270.

Kuznetsov E.V., Khadzhidi A.E. Methods for quantifying the meliorative state of the agrolandscape and the risks of managing the system of the agricultural reclamation complex // Trudy` Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 43. P. 266–270 (in Russian).

УДК 630*524.2:633.878.43(470.54)

РАЗРАБОТКА ТАБЛИЦ ОБЪЕМОВ СТВОЛОВ БЕРЕЗЫ ДЛЯ ОЗЕЛЕНИТЕЛЬНЫХ ПОСАДОК ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА НА ОСНОВЕ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ ПРОГРАММНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ FIELD-MAP

Нуриев Д.Н., Шевелина И.В., Нагимов З.Я.

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

Впервые для условий г. Екатеринбурга разработаны таблицы объемов стволов деревьев березы повислой, произрастающих в озеленительных посадках. Экспериментальный материал для создания таблиц получен с использованием программно-измерительного комплекса на базе ГИС Field-Map без рубки деревьев. Для условий города целесообразно иметь таблицы объемов с тремя входами: диаметром на высоте груди, высотой и вторым коэффициентом формы. Они наиболее выдержаны в теоретическом отношении и обеспечивают лучшие результаты при таксации небольших по объему выборок деревьев. Второй коэффициент формы q_2 у деревьев березы в городских озеленительных посадках изменяется в достаточно широком диапазоне от 0,352 до 0,730, что обусловливает необходимость разработки таблиц для трех категорий деревьев по форме: полнодревесных, среднесбежистых и сбежистых. По нашим данным у полнодревесных стволов q_2 изменяется в пределах от 0,62 до 0,73, у среднесбежистых – от 0,48 до 0,62 и у сбежистых – от 0,35 до 0,48. По этой шкале 63 % всех учетных деревьев характеризуются как среднесбежистые, 23 % – как сбежистые и 14 % – как полнодревесные. Процедура разработки таблиц решена с применением методов множественной регрессии. В качестве определяющих факторов в уравнении использованы диаметр, высота и второй коэффициент формы, которые вместе объясняют более 95 % изменчивости объемов. Разработанное уравнение и составленные на его основе нормативные таблицы при определении объема стволов обеспечивают вполне приемлемые для производства результаты: систематическая ошибка составляет +3,11 %, а среднеквадратическая – ±10,66 %. Средняя ошибка, рассчитанная по 95 учетным деревьям, оказалась равной ±1,09 %.

Ключевые слова: городские озеленительные посадки, таблицы объемов, береза повислая, программно-измерительный комплекс на базе ГИС Field-Map

DEVELOPMENT OF THE STEM VOLUME TABLES OF BIRCH BASED ON DATA RECEIVED BY USING FIELD-MAP TECHNOLOGY FOR URBAN PLANTINGS IN EKATERINBURG

Nuriev D.N., Shevelina I.V., Nagimov Z.Ya.

Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, e-mail: shilovkand@mail.ru

Novel Ekaterinburg-specific stem volume tables were developed for silver birch trees that are part of local green infrastructure. Input data for the tables were collected using non-invasive Field-Map software and hardware measurement system. For urban environments, it is reasonable to compile three-entry volume tables including the following parameters: diameter at breast height, height and q_2 form quotient. The three-entry volume tables are more scientifically sound and yield more accurate results when estimating small-size sample populations of trees. q_2 form quotient for urban birch trees varies within quite a wide range: from 0.352 to 0.730, which requires compiling volume tables for three categories of trees depending on their shapes: trees with non-tapered, medium-tapered or tapered stems. According to our data, it will be for non-tapered – from 0.62 to 0.73, for medium-tapered – from 0.48 to 0.62, and for tapered stems – from 0.35 to 0.48. According to this scale, 63 % of all accounting trees are characterized as medium-tapered, 23 % are as tapered stems, and 14 % are as non-tapered. The stem volume tables were produced using multiple regression techniques. Diameter, height and q_2 form quotient which account for more than 95 % of volume variability were applied as determining factors in the equation. The resulting equation and the equation-based reference tables applied to determine stem volume provide quite consistent results for urban forest management purposes, with systematic error being +3.11 % and root-mean-square error being ±10.66 %. The average error calculated for 95 accounting trees was equal to ±1.09 %.

Keywords: urban plantings, volume tables, Betula pendula, Field-Map technology

Условия произрастания деревьев и их совокупностей в городской черте и естественной природной среде существенно отличаются [1–3]. В отличие от естественных сомкнутых насаждений, городские озеленительные посадки характеризуются строго равномерным и более редким размещением деревьев по площади и зачастую абсолютной одновозрастностью. В этой связи особенности роста и развития деревьев и древостоев в условиях города не вписываются в общеизвестные закономерности, наблюдающиеся в сомкнутых естественных насаждениях. Следовательно, использование при ведении зеленого хозяйства нормативных материалов, в частности таблиц объемов стволов, применяемых при таксации лесов в регионе, будет некорректным. Однако в настоящее время это имеет место и связано с отсутствием специальной норматив-

но-справочной базы для оценки городских насаждений. Последнее объясняется тем, что при составлении лесооценочных нормативов требуется значительное количество данных, которые можно получить только у срубленных деревьев. В городских условиях эта работа практически не выполнима.

В последние годы возможности составления лесотаксационных таблиц значительно расширились. Во многом это связано с внедрением программно-измерительных комплексов (ПИК), позволяющих получать необходимую информацию у растущих деревьях [4]. Но в связи с их дороговизной и спецификой использования, они зачастую применяются лишь для закладки пробных площадей при лесоустройстве и государственной инвентаризации лесов в России, а также для инвентаризации и картировании городских зеленых насаждений и оценки запасов углерода и биомассы в насаждениях за рубежом [5–6].

Целью настоящих исследований явилась разработка таблиц объемов стволов березы в озеленительных посадках г. Екатеринбурга на основе данных, полученных при помощи ПИК без рубки деревьев.

Материалы и методы исследования

Важная роль в озеленении населенных мест со сложными экологическими условиями отводится аборигенным видам. Одним из таких видов в городах Среднего Урала является береза повислая (*Betula pendula* Roth), характеризующаяся в городских условиях высокими баллами санитарного состояния. В этой связи объектом исследований послужили деревья березы в системе озеленения г. Екатеринбурга

Методической предпосылкой в работе явилось использование соответствующих данных, полученных программно-измерительным комплексом на базе геоинформационной системы Field-Map на растущих деревьях, для составления таблиц объема стволов.

Программно-измерительный комплекс является автоматической системой сбора данных, позволяющей дистанционно определять расстояние до дерева, его высоту, размеры кроны (диаметр и длина), диаметры ствола на разных высотах и некоторые другие показатели. В его состав входят лазерный дальномер-высотомер Laser Technology TruPulse 360°B, планшетный компьютер Getac T800 с установленной ГИС Field-Map и электронная мерная вилка Masser BT Caliper. Все измеряемые показатели деревьев в автоматическом режиме передаются в программу Field-Map на планшет Getac по каналу связи Bluetooth и сохраняются в базе данных.

ПИК в настоящее время находит применение в таксационных и инвентаризационных работах в лесу и обеспечивает необходимую для производства точность. При составлении таблиц объемов таксационные показатели деревьев должны быть определены с определенной точностью. Поэтому нами была выполнена опытная работа по оценке точности определения таксационных показателей растущих деревьев программно-измерительным комплексом. Ее результаты показали, что таксационные показатели деревьев, в том числе и их объем, с помощью ПИК определяются с достаточной для составления лесооценочных нормативов точностью [7].

Для составления таблиц использованы материалы, полученные на 19 пробных участках рядовых озеленительных посадок березы повислой. Пробные участки заложены в разных районах города в наиболее типичных условиях. Ими охвачены зеленые насаждения березы разного возраста (от 6 до 85 лет) с различным шагом посадки. На пробных участках механическим путем были отобраны 95 учетных деревьев, у которых были определены следующие биометрические показатели: возраст, высота (Н, м), и диаметр ствола на разных высотах от основания дерева. Известно, что для определения объема по секционным формулам диаметр ствола измеряется на серединах одно- (при высоте дерева до 10–12 м) или двухметровых (при большей высоте) секций, на которые может быть разделен ствол. Эта методика таксации отдельных деревьев положена и в основу наших исследований. Однако у растущих деревьев развитие и габитус кроны не всегда позволяли измерить диаметр ствола строго на серединах таких секций. Измерения производились на тех высотных отметках, на которых от пункта наблюдения четко просматривался ствол. При таком положении ствол оказывался разделенным на секции разной длины: в нижней хорошо просматриваемой части ствола в большинстве случаев длина секций была короче одного (двух) метров, в верхней кроновой части, наоборот, длиннее. Причем измерения производились таким образом, чтобы общее количество секций всегда было не меньше, чем при делении ствола на секции одинаковой длины. Такой подход вполне оправдан, так как в нижней половине ство-

ла сосредоточено около 80% древесины. В этой связи более детальная оценка этой зоны ствола, безусловно, повышает точность определения объема.

В камеральных условиях объем дерева определялся путем суммирования объемов секций разной длины. При этом диаметры ствола на серединах секций вычислялись методом интерполяции на основе диаметров, измеренных на растущих деревьях при помощи ПИК Field-Map по апробированной ранее методике [7]. Объем отдельно взятой секции определялся путем умножения ее длины на площадь поперечного сечения на середине.

Все расчетные и графические работы производились в программе MS Office Excel и в статистико-графическом пакете Statistica 10.

Результаты исследования и их обсуждение

В основе составления таблиц объемов лежит положение о том, что древостои, средние деревья которых имеют одни и те же таксационные показатели (диаметр, высоту, видовое число или второй коэффициент формы), характеризуются одинаковыми средними объемами для отдельных ступеней толщины, независимо от возраста, полноты, бонитета и других показателей самих древостоев [8]. В зависимости от сочетания таксационных показателей, на основе которых определяется объем ствола, выделяют три основных видов таблиц:

– таблицы объемов типа баварских, в которых объемы даны для диаметра и высоты для некоторой средней формы ствола;

– таблицы объемов по разрядам высот, в которых объемы приводятся в зависимости от диаметра и разряда высоты для некоторой средней формы стволов;

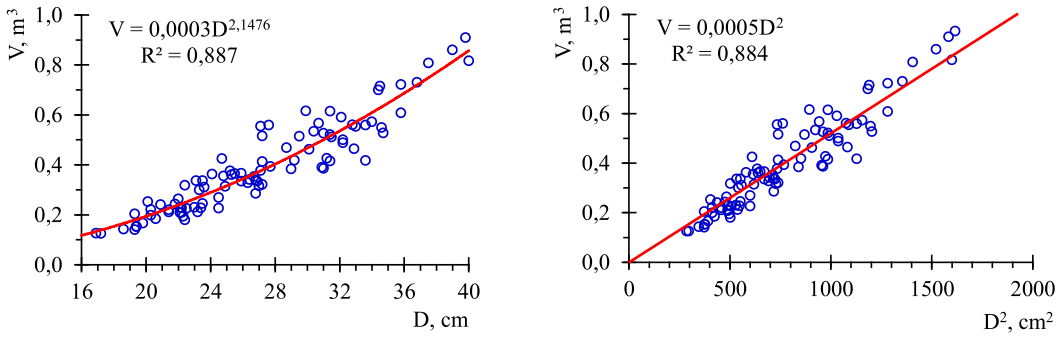
– таблицы объемов по коэффициентам формы (q_2), в которых объемы стволов определяются на основе трех показателей – диаметра, высоты и формы ствола.

Из приведенных трех видов таблиц наиболее обоснованными с теоретических позиций являются таблицы по коэффициентам формы. Следует заметить, что таблицы объемов предназначены для таксации объемов (запасов) совокупностей деревьев. При определении по ним объемов отдельных деревьев или небольшого их числа ошибки могут быть значительными, особенно при пользовании первыми двумя видами таблиц. Учитывая, что при ведении зеленого хозяйства приходится в основном оценивать небольшие по объему выборки деревьев для городских условий, предпочтение следует отдать разработке таблиц объемов по коэффициентам формы.

В этой связи для всех учетных деревьев помимо объема был определен второй коэффициент формы (q_2), как отношение диаметра ствола на высоте груди (D) к диаметру на половине высоты дерева ($D_{1/2}$). Анализ значений q_2 показал, что этот показатель у деревьев березы в городских озеленительных посадках изменяется в достаточно широком диапазоне – от 0,352 до 0,730. Известно, что в существующих таблицах объемов для сомкнутых древостоев изменение коэффициента формы на 0,01 приводит к изменению объема на 1,5–2%. В этой связи с учетом диапазона варьирования q_2 таблицы объемов для повышения их точности целесообразно составить для высшего (полнодревесных стволов), среднего (среднесбежистых стволов) и низшего (сбежистых стволов) коэффициентов формы. По нашим данным у полнодревесных стволов q_2 изменяется в пределах от 0,62 до 0,73, у среднесбежистых – от 0,48 до 0,62 и у сбежистых – от 0,35 до 0,48. По этой шкале 63% всех учетных деревьев характеризуются как среднесбежистые, 23% – как сбежистые и 14% – как полнодревесные.

При составлении таблиц объемов стволов на первом этапе исследовались связи объема ствола от объемообразующих таксационных показателей: диаметра, высоты и коэффициента формы. На рис. 1 приведены графики зависимости объема от диаметра ствола (D) и диаметра ствола возведенного в квадрат (D^2), построенные по данным учетных деревьев. Выявляется, что зависимость объема стволов от их диаметра очень тесная (коэффициент детерминации $R^2 = 0,887$) и носит криволинейный характер. Связь же объема от диаметра в квадрате передается прямой линией. Это связано с тем, что объемы тел вращения пропорциональны квадрату диаметра. Рассчитанное для этой связи значение R^2 составляет 0,884. Таким образом, в уравнениях зависимости объема от таксационных показателей целесообразно использовать квадрат диаметра.

На объем стволов кроме диаметра на высоте груди заметное влияние оказывают их высота и форма (рис. 2). Как видно из графических данных, объем ствола при фиксированных значениях высоты существенно увеличивается с возрастанием второго коэффициента формы.



а) *б)*

Рис. 1. Зависимости объема стволов деревьев (V) от их диаметра (D) (а) и диаметра в квадрате (D^2) (б) в городских озеленительных посадках березы повислой

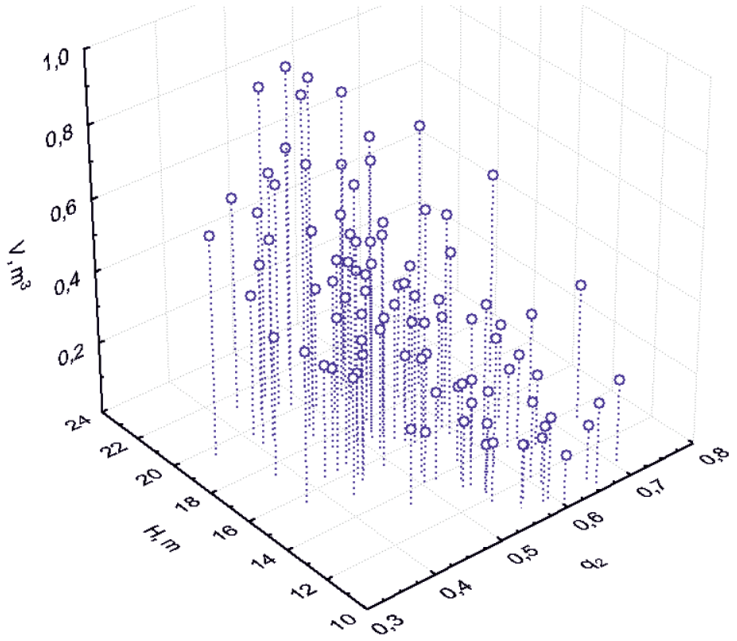


Рис. 2. Зависимость объемов стволов деревьев березы повислой от высоты (H) и формы ствола (q_2) в городских озеленительных посадках березы повислой

Это вполне объяснимо, так как при одинаковой высоте ствол с большим значением q_2 является более полнодревесным. При одинаковых значениях q_2 объем ствола возрастает с увеличением высоты. Этот факт вполне логичен и не требует особых пояснений. Таким образом, представленные графические данные подтверждают целесообразность разработки таблиц объемов стволов для городских посадок с тремя входами: диаметром на высоте груди, высотой и вторым коэффициентом формы.

На современном этапе при наличии компьютерной техники и специальных программ, позволяющих производить глубокий статистический анализ природных зависимостей между различными показателями и получить их аналитическое выражение, коренным образом меняется техника составления таксационных нормативов, в том числе таблиц объемов стволов. Классические методы, основанные на последовательной группировке экспериментальных материалов по ступеням таксационных показателей и нахождении в пределах установленных ступеней средних значений объема, могут быть корректно заменены методами множественного регрессионного анализа.

Объемы стволов деревьев березы повислой в городских озеленительных посадках при q_2 = 0,55

D, см	Объемы стволов деревьев, $м_3$, при высоте, м																
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	0,0833	0,0849	0,0865	0,0881	0,0897	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	0,0905	0,0930	0,0955	0,0980	0,1005	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12	0,0993	0,1029	0,1065	0,1101	0,1137	0,1172	0,1208	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14	0,1097	0,1146	0,1194	0,1243	0,1292	0,1341	0,1390	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16	0,1216	0,1280	0,1344	0,1408	0,1472	0,1536	0,1600	0,1663	0,1727	–	–	–	–	–	–	–	–
18	0,1352	0,1433	0,1514	0,1595	0,1675	0,1756	0,1837	0,1918	0,1999	–	–	–	–	–	–	–	–
20	0,1504	0,1604	0,1703	0,1803	0,1903	0,2003	0,2103	0,2202	0,2302	0,2402	0,2502	0,2601	0,2701	–	–	–	–
22	0,1671	0,1792	0,1913	0,2034	0,2154	0,2275	0,2396	0,2517	0,2637	0,2758	0,2879	0,3000	0,3120	–	–	–	–
24	0,1855	0,1999	0,2142	0,2286	0,2430	0,2574	0,2717	0,2861	0,3005	0,3148	0,3292	0,3436	0,3579	0,3723	0,3867	–	–
26	–	0,2223	0,2392	0,2561	0,2729	0,2898	0,3067	0,3235	0,3404	0,3572	0,3741	0,3910	0,4078	0,4247	0,4416	–	–
28	–	0,2466	0,2661	0,2857	0,3053	0,3248	0,3444	0,3639	0,3835	0,4030	0,4226	0,4422	0,4617	0,4813	0,5008	0,5204	0,5400
30	–	–	–	0,3175	0,3400	0,3624	0,3849	0,4073	0,4298	0,4522	0,4747	0,4972	0,5196	0,5421	0,5645	0,5870	0,6094
32	–	–	–	0,3516	0,3771	0,4026	0,4282	0,4537	0,4793	0,5048	0,5304	0,5559	0,5815	0,6070	0,6326	0,6581	0,6837
34	–	–	–	–	–	–	0,4743	0,5031	0,5320	0,5608	0,5897	0,6185	0,6473	0,6762	0,7050	0,7339	0,7627
36	–	–	–	–	–	–	0,5232	0,5555	0,5879	0,6202	0,6525	0,6849	0,7172	0,7495	0,7819	0,8142	0,8465
38	–	–	–	–	–	–	–	0,6109	0,6469	0,6830	0,7190	0,7550	0,7910	0,8271	0,8631	0,8991	0,9351
40	–	–	–	–	–	–	–	0,6693	0,7092	0,7491	0,7890	0,8290	0,8689	0,9088	0,9487	0,9886	1,0285
42	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8187	0,8627	0,9067	0,9507	0,9947	1,0387	1,0827	1,1267
44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8916	0,9399	0,9882	1,0365	1,0848	1,1331	1,1814	1,2297
46	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0735	1,1263	1,1791	1,2319	1,2847	1,3375
48	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,1627	1,2201	1,2776	1,3351	1,3926	1,4500
50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,2556	1,3179	1,3803	1,4427	1,5050	1,5674
52	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,3523	1,4197	1,4872	1,5546	1,6221	1,6895
54	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,6710	1,7437	1,8165
56	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,7917	1,8700	1,9482

В нашей работе с учетом характера зависимости объема стволов от их диаметра, высоты и коэффициента формы, в качестве базового принято следующее уравнение множественной регрессии:

$$V = f(D^2, H, D^2 \cdot H, q_2).$$

В базовую модель включена комбинация переменных $D^2 \cdot H$, с целью учета возможных совместных эффектов, объясняющих нелинейную часть их воздействия

В программе Statistica были рассчитаны уравнения с различным набором определяющих факторов. При выборе лучшего уравнения ориентировались на значения коэффициента детерминации, t-критериев Стьюдента, а также на возможность пояснения действительного характера влияния включенных переменных на объем стволов. С учетом вышеизложенного выбрано следующее уравнение:

$$V = 0{,}000025 \cdot D^2 \cdot H + 0{,}128269 \cdot q_2,\ R^2 = 0{,}953.$$

Область использования разработанного уравнения ограничивается диапазоном варьирования значений использованных переменных (диаметра, высоты и коэффициента формы). Коэффициенты переменных в уравнении в высшей степени достоверны: значение t-статистики для переменной $D^2 \cdot H$ составляет 49,10, для q_2 – 9,16. Совокупность всех трех определяющих факторов объясняет более 95 % изменчивости объема стволов. В целом статистические показатели разработанного уравнения позволяют считать его адекватным и корректным экспериментальным данным.

На его основе составлены три таблицы объемов стволов березы в озеленительных посадках. Первая таблица предназначена для определения объема полнодревесных стволов, вторая – среднесбежистых и третья – сбежистых. В качестве примера приведена таблица для среднесбежистых стволов (таблица).

На заключительном этапе исследований проведена оценка точности определения объема стволов растущих деревьев на основе разработанных нормативов. Для этого проводилось сопоставление объема ствола, определенного по уравнению с объемами (истинными) учетных деревьев, определенными в ходе натурных исследований. Оно сопровождалось вычислением систематической и среднеквадратической ошибок. В ходе этой процедуры выявлено, что разработанное уравнение при определении объема стволов обеспечивает вполне приемлемые результаты: систематическая ошибка составляет +3,11 %, а среднеквадратическая – ±10,66 %. Средняя ошибка, рассчитанная по 95 учетным деревьям, оказалась равной ±1,09 %. Таким образом, разработанные нормативы могут успешно применяться на производстве.

Заключение

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что ПИК Field-Map позволяет оперативно измерить объемообразующие таксационные показатели на растущих деревьях. На основе этих измерений с достаточной для составления лесотаксационных нормативов точностью определяется объем стволов. Полученные объемы стволов растущих деревьев могут служить экспериментальной базой для составления таблиц объемов. Для условий города целесообразно иметь таблицы объемов с тремя входами: диаметром на высоте груди, высотой и вторым коэффициентом формы. Они наиболее выдержаны в теоретическом отношении и обеспечивают лучшие результаты при таксации небольших по объему выборок деревьев. Второй коэффициент формы q_2 у деревьев березы в городских озеленительных посадках изменяется в достаточно широком диапазоне, что обусловливает необходимость разработки таблиц для трех категорий деревьев по форме: полнодревесных, среднесбежистых и сбежистых. Процедура разработки таблиц объемов корректно решается с использованием уравнений множественной регрессии. Совокупность трех определяющих факторов (диаметра, высоты и коэффициента формы), включенных в уравнение объясняют более 95 % изменчивости объемов. Разработанное уравнение и составленные на его основе таблицы при определении объема стволов обеспечивает вполне приемлемые результаты: систематическая ошибка составляет +3,11 %, а среднеквадратическая – ±10,66 %. Таким образом, разработанные нормативы могут успешно применяться в городском озеленительном хозяйстве и ландшафтном строительстве г. Екатеринбурга и других городов Уральского региона при таксации и инвентаризации городских насаждений, а также для расчета сметной документации при рубке деревьев.

Список литературы / References

1. Басыйров А.М. Экология города: Казань: Казанский фед. ун-т, 2013. 96 с.

Basyjrov A.M. Ecology of the city: Kazan: Kazanskiy fed. un-t, 2013. 96 p. (in Russian).

2. Хомич В.С., Какарека С.В., Кухарчик Т.И., Кравчук Л.А., Струк М.И., Кадацкая О.В., Быкова Н.К., Городецкий Д.Ю., Живнач С.Г., Казыренко М.И., Комаровский М.Е., Круковская О.Ю., Курман П.В., Овчарова Е.П., Рыжиков В.А., Савченко С.В., Санец Е.В. Городская среда: геоэкологические аспекты. Минск: Беларус. наука, 2013. 301 с.

Homich V.S. Kakareka S.V., Kuharchik T.I., Kravchuk L.A., Struk M.I., Kadatskaya O.V., Byikova N.K., Gorodetskiy D.Yu., Zhivnach S.G., Kazyirenko M.I., Komarovskiy M.E., Krukovskaya O.Yu., Kurman P.V., Ovcharova E.P., Ryizhikov V.A., Savchenko S.V., Sanets E.V. Urban environment: geoecological aspects. Minsk: Belarus. nauka, 2013. 301 p. (in Russian).

3. Бухарина И.Л., Журавлева А.Н., Болышова О.Г. Городские насаждения: экологический аспект. Ижевск: Удмурт. гос. ун-т, 2012. 206 с.

Buharina I.L., Zhuravleva A.N., Bolyishova O.G. Urban stands: the ecological aspect. Izhevsk: Udmurt. gos. un-t, 2012. 206 p. (in Russian).

4. Букша И.Ф., Пастернак В.П., Пивовар Т.С., Букша М.И. Применение полевой ГИС-технологии Field-Map в ландшафтном строительстве для инвентаризации и картирования городских зеленых насаждений // Современное состояние и перспективы применения ГИС-технологий и аэрокосмических методов в лесном хозяйстве и садово-парковом строительстве. Особенности преподавания данных дисциплин в высших и средних учебных заведениях. Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2008. С. 93–100.

Buksha I.F., Pasternak V.P., Pivovar T.S., Buksha M.I. Use of Field-Map GIS-technology in landscape construction for inventory and mapping of urban green stands // The current state and the prospects of use of GIS-technologies and space methods in forestry and landscape gardening construction. Features of teaching these disciplines in the highest and average educational institutions. Yoshkar-Ola: Mariyskiy gos. tehn. un-t, 2008. P. 93–100 (in Russian).

5. Вишневский В.С. Полевые испытания ГИС Field-Map / Оборудование и инструмент для профессионалов. 2009. № 5–6. С. 74–75.

Vishnevskij V.S. Field Testing of Geoinformation System Field-Map / Oborudovanie i instrument dlya professionalov. 2009. № 5–6. P. 74–75 (in Russian).

6. Zianis D., Muukkonen P., Mäkipää R., Mencuccini M. Biomass and Stem Volume Equations For Tree Species in Europe. Silva Fennica Monographs. No. 4. 2005. 63 p.

7. Шевелина И.В., Суслов А.В., Нуриев Д.Н., Нагимов З.Я., Марковцева А.Н., Дунаев И.С. Оценка возможности применения программно-измерительного комплекса на базе ГИС Field-Map при разработке таблиц объемов стволов в городских условиях // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 62–67.

Shevelina I.V., Suslov A.V., Nuriev D.N., Nagimov Z.Ya., Markovtseva A.N., Dunaev I.S. Estimation of using Field-Map technology in development of the stem volume tables in urban environment // Advances in current natural sciences. 2018. vol. 1. P. 62–67 (in Russian).

8. Горский П.В. Руководство для составления таблиц. М.: Гослесбумиздат, 1962. 93 с.

Gorskiy P.V. Guide for compilation of tables. M.: Goslesbumizdat, 1962. 93 p. (in Russian).

УДК 631.453:631.415.26: 57.084.1

ИЗМЕНЕНИЕ КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ КАК ФАКТОРА АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ХОДЕ ВЕРМИКУЛЬТИВИРОВАНИЯ

Резниченко И.С.

ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», Омск, e-mail: biotech@omgpu.ru

Изучено изменение pH водной вытяжки почвенно-подстилочного субстрата, полученного в ходе вермикультивирования биогумуса. В эксперименте были использованы три почвенно-подстилочных вида дождевых червей Lumbricus rubellus, Perelia diplotetratheca, Eisenia nordenskioldi и один собственно почвенный вид Aporrectodea caliginosa. В результате, вид L. rubellus характеризуется аккумуляцией по отношению к Zn и элиминацией по отношению к Pb, Cu, Cd. Цинк относится к менее токсичным и незаменимым микроэлементам, обусловливающим жизненно важные функции в организме дождевых червей, в том числе и работе ферментов. В отличие от почвенно-подстилочных морфотипов люмбрицид, у почвенного вида A. caliginosa наблюдается не аккумуляция, а элиминация цинка. В ходе вермикультивирования наблюдается статистически значимое различие ($p < 0,05$) в увеличении pH по сравнению с исходным субстратом. Для L. rubellus и E. nordenskioldi показатель pH повысился на 0,11 ед., при вермикультивировании P. diplotetratheca показатель кислотности отличался от исходного субстрата ($p < 0,05$), но был самым низким в серии экспериментов. Наибольшее повышение ($p < 0,05$) pH водной вытяжки наблюдается при вермикультивировании почвенного вида A. caliginosa. Для вида P. diplotetratheca, уровень корреляции между кислотностью почвы и накоплением Cd оказался низким, это произошло из-за ступенчатого накопления элемента, за которым следовал процесс элиминации. Для вида E. nordenskioldi показатель корреляции оказался низким и не достоверным. Оптимальным по вышеописанным показателям оказался вид L. rubellus, который рекомендуем к использованию для ремедиации почв для повышения pH вместе с искусственным внесением карбоната кальция.

Ключевые слова: тяжелые металлы, кислотность, дождевые черви, почва, рекультивация

CHANGE OF SOIL ACIDITY AS A FACTOR OF HEAVY METALS ACCUMULATION IN VERMICULTURE PROCESS

Reznichenko I.S.

Omsk State Pedagogical University, Omsk, e-mail: biotech@omgpu.ru

The change in the actual pH of the soil-litter substrate obtained during vermiculture process of biohumus have been studied. Three soil-littering species of earthworms Lumbricus rubellus, Perelia diplotetratheca, Eisenia nordenskioldi and one proper soil species Aporrectodea caliginosa were used in the experiment. As a result, the species L. rubellus is characterized by accumulation with respect to Zn and elimination with respect to Pb, Cu, Cd. Zinc refers to less toxic and irreplaceable trace elements, which determine the vital functions in the body of earthworms, including the work of enzymes. Unlike the soil-litter morphotypes of lyumbricide, the soil type A. caliginosa does not accumulate, but eliminate zinc. During vermicultivation, a statistically significant difference ($p < 0.05$) is observed in the increase in pH compared with the initial substrate. For L. rubellus and E. nordenskioldi, the pH increased by 0.11%; with P. diplotetratheca vermicultivation, the acidity index differed from the initial substrate ($p < 0.05$), but was the lowest in a series of experiments. The highest increase ($p < 0.05$) in the pH of the aqueous extract is observed when vermicultivating the soil species A. caliginosa. For the P.diplotetratheca species, the level of correlation between soil acidity and Cd accumulation was low, this was due to the stepwise accumulation of the element, followed by the elimination process. For the species E. nordenskioldi, the correlation index was low and not reliable. Optimal for the above indicators was the type of L. rubellus, which is recommended for use for soil remediation to increase the pH along with the artificial introduction of calcium carbonate.

Keywords: heavy metal, acidity, earthworms, soil, reclamation

Почву рассматривают как депо поллютантов или среду обитания педобионтов, которые и используют в качестве чувствительных индикаторов техногенных нагрузок [1, с. 188]. При изучении базовых характеристик почв (таких как гранулометрический состав, содержание обменных форм кальция и магния) кислотность, как правило, определяется не только типом преобладающих почв, но и внешними факторами. Из биотических факторов окружающей среды на кислотность почв могут влиять растительность и разлагающийся опад, из абиотических факторов – вымывание кислотных солей из подстилающих почву пород. В настоящее время на изменение кислотности почв наибольшее влияние оказывает антропогенный фактор.

Более детальному исследованию подвергаются параметры почв пригодных к земледелию территорий, поскольку эти параметры влияют на экологическую безопасность получаемой продукции. Так, подкисление почвы может увеличить биодоступность тяжелых металлов, которые накапливаются в дальнейшемпо пищевой цепи. Например, при понижении значения pH зарегистрировано увеличение под-

вижных форм меди как в поверхностном слое почвы, так и в готовой продукции [2, с. 1095]. Таким образом, подкисление почвы представляет собой серьезную проблему деградации земель, угрожающую сельскому хозяйству.

Баланс pH почвы может быть улучшен путем применения извести ($CaCO_3$) [3, с. 640]. Однако депонирование механически заделанной извести к корневой зоне растений происходит очень медленно. К тому же подобные мелиоративные работы не всегда целесообразны из-за рельефа местности или на территории круглогодичного выпаса скота.

Дождевые черви из-за их тесного контакта с почвой являются подходящими организмами для оценки биодоступности загрязняющих веществ в почве с возможностью оценки попадания этих загрязняющих веществ в земные экосистемы [4, с. 162]. Было доказано, что дождевые черви содействуют перемещению агрегатов из верхних слоев почвы в нижние, а также карбоната кальция. Глубина перемещения в первую очередь зависит от вида дождевых червей. Так полевые эксперименты показали увеличение pH на 0,3 единицы в верхнем слое почвы (10 см) через 5 месяцев после внесения на поля вида *Aporrectodea trapezoides*, в то же время вид *Aporrectodea rosea* никаких статистически значимых изменений в кислотность почвы не привнес. Другие исследования свидетельствуют о более высокой эффективности воздействия *Aporrectodea longa* на увеличение pH почвы на глубине до 15 см. Исследователи полагали, что механизм, лежащий в основе депонирования $CaCO_3$ в почву, косвенно опосредован влиянием дождевых червей, поскольку, как полагают авторы, известь просачивается в почву вместе с дождевой водой по ходам люмбрицид [5, с. 33]. Однако исследователи не учитывают тот факт, что дождевые черви обладают собственными известковыми железами – парными боковыми придатками пищевода, которые накапливают карбонат кальция для нейтрализации гуминовых кислот, содержащихся в пище люмбрицид.

Цель настоящего исследования заключалась, с одной стороны, в изучении результатов количественного измерения показателя кислотности почвы в ходе вермикультивирования в лабораторных условиях четырех видов дождевых червей, относящихся к почвенно-подстилочному типу (*Lumbricus rubellus, Perelia diplotetratheca, Eisenia nordenskioldi*) и собственно почвенному типу (*Aporrectodea caliginosa*). С другой стороны, исследование обусловлено необходимостью изучить накопление тяжелых металлов в тканях дождевых червей и выявить закономерности накопления в связи с изменением pH среды, а также дать рекомендации по выбору оптимального для проведения мелиоративных работ вида дождевых червей.

Материалы и методы исследования

Материалом для работы послужили сборные образцы серой лесной почвы, собранные на буферной территории (5 км), по содержанию поллютантов от Среднеуральского медеплавильного завода. Среднеуральский медеплавильный завод (СУМЗ) расположен около г. Ревды Свердловской области. Основные ингредиенты выбросов – SO_2 и полиметаллическая пыль, в которой преобладают Cu, Pb, Zn, Cd, As [6, с 588]. Выбор данной территории обусловлен, с одной стороны, типом почв, который широко используется в сельском хозяйстве Урала, с другой стороны – близостью к искусственному источнику выбросов тяжелых металлов на фоне подкисления почв.

Сбор видов *Lumbricus rubellus, Perelia diplotetratheca* осуществлялся на фоновой территории (30 км) по содержанию поллютантов от СУМЗа. Виды *Eisenia nordenskioldi* и *Aporrectodea caliginosa* были собраны в экологически благополучной по содержанию тяжелых металлов территории Омской области. Вермикультивирование проводили по модифицированной методике Д. Баррета. Каждый вид люмбрицид помещался отдельно в двухлитровые полипропиленовые контейнеры с почвенно-подстилочным субстратом, каждую неделю субстрат увлажнялся из пульверизатора. Опыт проводился в пятикратной повторности для каждого вида, в одном контейнере содержалось по 30 особей. По истечении 90 суток дождевые черви вынимались из контейнера, и проходилась пробоподготовка для анализа на тяжелые металлы. В полученный биогумус повторно помещались люмбрициды с фоновой территории, по вышеописанной схеме, с экспозицией в 90 суток.

Очищение желудочно-кишечного тракта люмбрицид проводили по методике А.Д. Покаржевского [7, с. 1157], модифицированной под условия лаборатории. Методика основана на замещении содержимого желудочно-кишечного тракта дождевых червей микробиологическим агар-агаром. Для приготовления замещающего субстра-

та использовали агар-агар из расчета 3,0 г сухого вещества на один литр деионизированной воды. Агар-агар растворяли в воде температурой 60 °С и доводили до 100 °С, после чего разливали смесь в полипропиленовые контейнеры объемом 300 мл. После остывания смеси в контейнеры помещали по 15 червей; контейнер покрывали хлопчатобумажной тканью, которую прочно фиксировали резиновым кольцом. Контейнеры экспонировали в темноте при температуре 21 °С в течение трех суток, ежедневно проводился осмотр и удаление погибших особей. После завершения выдержки каждую особь просматривали под бинокуляром для обнаружения остатков почвы в кишечнике (таких особей не использовали для анализа).

Усыпление червей проводили в морозильной камере при температуре –10 °С после однократного промывания, затем помещали червей в деионизированную воду и сушили в чашках Петри, используя сушильный шкаф (50 °С, t = 10 ч)

Химический анализ

Для измерения содержания подвижных форм Cd, Pb,Cu, Zn использовали 5 %-ную вытяжку HNO_3. Для измерения содержания металлов в тканях червей использовали по 0,5 г материала (навеску взвешивали с точностью 0.0001 г); образцы озоляли в тефлоновых сосудах в микроволновом озоляторе Минотавр-2 в течение 60 мин после добавления 5 мл концентрированной HNO_3 при максимальном давлении 950 кПа и максимальной температуре 170 °С. Концентрации металлов (Cu, Pb, Cd, Zn) в тканях измерили на атомно-абсорбционном спектрометре Квант-Z с пламенным методом атомизации в лаборатории систематики и экологии беспозвоночных животных Омского государственного педагогического университета.

Измеряли pH водной вытяжки при помощи стационарного pH-метра по ГОСТ 26423-85с дискретностью измерения 0,01 ед.

Значимость различий в концентрациях элементов между выборками оценивали при помощи однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA). Для описания взаимосвязи кислотности и содержания поллютантов использовали коэффициент корреляции Пирсона.

Результаты исследования и их обсуждение

Исходя из данных табл. 1, уровень pH имеет кислотное значение. Во-первых, это связано с типом почвы (серая лесная), во-вторых – с типом растительности и почвенной подстилки (ельники-пихтарники), в-третьих – с подкислением почв и подстилки выбросами (SO_2) Среднеуральского медеплавильного завода. В начальной стадии эксперимента pH водной вытяжки составляла 4,31 ед. В ходе вермикультивирования наблюдается статистически значимое различие ($p < 0,05$) в увеличении pH по сравнению с исходным субстратом. Для *L. rubellus и E. nordenskioldi* показатель pH повысился на 0,11 ед., при вермикультивировании *P. diplotetratheca* показатель кислотности отличался от исходного субстрата ($p < 0,05$), но был самым низким в серии экспериментов. Наибольшее повышение ($p < 0,05$) pH водной вытяжки наблюдается при вермикультивировании почвенного вида *A. caliginosa.*

Таблица 1

pH водной вытяжки исходного субстрата и биогумуса

Тип субстрата	pH (ед.)			
	P. diplotetratheca	*L. rubellus*	*E. nordenskioldi*	*A. caliginosa*
Биогумус	4,39 ± 0,01 (20)	4,42 ± 0,01 (22)	4,42 ± 0,02 (20)	4,43 ± 0,01 (21)
Исходный субстрат	4,31 ± 0,01 (23)	4,31 ± 0,01 (20)	4,31 ± 0,01 (20)	4,31 ± 0,01 (22)

Примечание: M ± n, где M – среднее значение, n – ошибка среднего значения, в скобках – количество измерений.

Для упрощения интерпретации данных накопление тяжелых металлов было описано при помощи BAF – биологического коэффициента аккумуляции (содержание элемента в тканях дождевых червей/содержание элемента в субстрате).

В 2014 г. нами были изучены концентрации Pb, Zn, Cu, Cd в тканях почвенно-подстилочного вида, эндемика Среднего Урала *P. diplotetratheca*. Данный вид был собран в области умеренного (буфер) и сильного (импакт) загрязнения вышеописанными поллютантами, которые были выброшены Среднеуральским медеплавильным заво-

дом. В результате проведенных измерений концентрации тяжелых металлов в ходе настоящего эксперимента нами не были обнаружены пиковые концентрации поллютантов в тканях люмбрицид, подобные тем, что зафиксированы по итогам полевого сбора дождевых червей. Несмотря на заниженные показатели в ходе эксперимента, при получении биогумуса наблюдалась элиминация дождевых червей по выживаемости. Данный факт объясняется воздействием стрессового фактора – значительного повышения концентрации тяжелых металлов, для приспособления к которому нужно увеличение экспозиции люмбрицид на субстрате или планомерное увеличение содержания поллютантов в почве.

По отношению к концентрации выбранных нами тяжелых металлов наиболее изученным остаются вид *L. rubellus*, который сохраняет тенденции в накоплении поллютантов, отмеченные другими исследователями, а именно: вид характеризуется аккумуляцией по отношению к Zn и элиминацией по отношению к Pb, Cu, Cd [8, с. 97]. Однако, в отличие от почвенно-подстилочных морфотипов люмбрицид, у почвенного вида *A. caliginosa* наблюдается не аккумуляция, а элиминация цинка, что может говорить о разнице в метаболизме и ином типе питания. Как видно из табл. 2, биологический коэффициент аккумуляции, превышающий единицу, наблюдается у цинка, при этом наибольший коэффициент наблюдался у *L. rubellus*, также для данного вида статистически достоверно увеличивается накопление на биогумусе. Вероятно, данное наблюдение может свидетельствовать о предрасположенности данного вида к накоплению тяжелых металлов из-за особенностей обмена веществ. К тому же цинк относится к менее токсичным и незаменимым микроэлементам, обусловливающим жизненно важные функции в организме дождевых червей, в том числе – в работе ферментов [9, с. 417].

Таким образом, при вермикультивировании дождевых червей, относящихся к почвенно-подстилочному типу, на вторичном субстрате (биогумусе) наблюдается уменьшение коэффициента аккумуляции, что может свидетельствовать о снижении активности тяжелых металлов.

Влияние изменения pH на концентрацию поллютантов описано линейной регрессией для аккумуляции тяжелых металлов (табл. 3). Наибольшее значение наблюдается у Zn при вермикультивировании трех почвенно-подстилочных типов дождевых червей. Повышение кадмия описывается только для *P. diplotetratheca* и *E. nordenskioldi.*

Таблица 2

Накопление тяжелых металлов в тканях дождевых червей

Элемент	Коэффициент аккумуляции(ед.)							
	P. diplotetratheca		*L. rubellus*		*E. nordenskioldi*		*A. caliginosa*	
	Почва	Биогумус	Почва	Биогумус	Почва	Биогумус	Почва	Биогумус
Zn	2,3	1,9**	4,2	4,3*	3,1	3,0	0,01	0,01
Cd	1,2	1,1*	0,12	0,01*	1,3	1,2	0,01	0,01
Cu	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Pb	0,21	0,01*	0,15	0,01*	0,16	0,01*	0,01	0,01

Примечание. * – $p < 0,05$, **– $p < 0,01$.

Таблица 3

Зависимость концентрации тяжелых металлов в тканях дождевых червей от кислотности почвенно-подстилочного субстрата

Элемент	Уравнение линейной регрессии		
	P. diplotetratheca	*L. rubellus*	*E. nordenskioldi*
Zn	$y = 185,5 + 12,2x$ $r = 0,57$*	$y = 124 + 7,8x$ $r = 0,54$*	$y = 100 + 4,6x$ $r = 0,62$**
Cd	$y = 66,5 + 22,1x$ $r = 0,32$*	–	$y = 33,5 + 6,1x$ $r = 0,12$

Примечание. y – ожидаемое значение концентрации элемента; x – pH; прочерк – элиминация элемента; r – коэффициент корреляции Пирсона; уровень значимости * – $p < 0,05$, **– $p < 0,01$.

Возможно, данную тенденцию можно объяснить малым временем экспозиции, из-за низкой выживаемости люмбрицид, по причине которой не представляется возможным до конца оценить поведение металлов или измерение концентрации элементов в начале и конце эксперимента, поскольку статистически достоверное изменение уровня pH можно зарегистрировать исходя из чувствительности лабораторного оборудования. К тому же, уровень корреляции для Cd оказался низким, вероятно накопление данного элемента идет ступенчато и после некоторого количества накопления идет процесс элиминации. Данная тенденция наблюдается только у вида *P. diplotetratheca,* для вида *E. nordenskioldi* показатель корреляции оказался низким и недостоверным.

Подобные тенденции изменения pH наблюдались Бейкером с соавторами на виде *A. longa*, при этом исследователи отмечали незначительное изменение показателя даже при дополнительном внесении извести на поверхность почвы и продолжительности эксперимента в 6 недель. Тем не менее полученные результаты свидетельствуют о влиянии кислотности почвенно-подстилочного субстрата на кинетику тяжелых металлов. Данную тенденцию можно объяснить не только снижением или увеличением подвижности тяжелых металлов в процессе депонирования с участием живых организмов, но и физико-химическими свойствами элементов, характеризующимися разной степенью растворимости солей. Поскольку дождевые черви выполняют важную функцию в насыщении почвы карбонат-анионами (CO_3^{2-}), можем предположить, что происходит реакция образования нерастворимых карбонатов, тем самым происходит изменение степени подвижности тяжелых металлов из процесса передвижения в живых организмах.

Исходя из данных о снижении подвижности тяжелых металлов в процессе вермикультивирования, можно дать следующие рекомендации:

1. Если проводить вермикультивирование на территории Среднего Урала, при загрязнении почвы свинцом, рекомендуем использовать доминирующий по биомассе среди люмбрицид местный вид *P. diplotetratheca.*

2. Для большей части России, при загрязнении почв несколькими поллютантами (Cd, Pb) на фоне подкисления, оптимальным видом для биоремедиации является *L. rubellus.*

3. Для всех видов дождевых червей рекомендуется вермикультивирование по методике Д. Баррета для открытых грунтов и закрытых производств, модификация которой была применена нами в лабораторных условиях.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-34-00339 мол_а.

Список литературы / References

1. Кайгородова С.Ю., Воробейчик Е.Л. Трансформация некоторых свойств серых лесных почв под действием выбросов медеплавильного комбината // Экология. 1996. № 3. С. 187–193.

Kaigorodova S.Yu., Vorobeichik E.L. Changes in certain properties of grey forest soil polluted with emissions from a copper-smelting plant // Russian Journal of Ecology. 1996. Т. 27. № 3. P. 177–183.

2. Chopin E.I., Marin B., Mkoungafoko R., Rigaux A., Hopgood M.J., Delannoy E., Cancès B., Laurain M. Factors affecting distribution and mobility of trace elements (Cu, Pb, Zn) in a perennial grapevine (Vitisvinifera L.) in the Champagne region of France. Environ. Pollut. 2008. P. 1092–1098. DOI: 10.1016/j.envpol.2008.04.015.

3. Fan J.H., He Z.L., Ma L., Stoffella P.J. Accumulation and availability of copper in citrus grove soils as affected by fungicide application. J. Soils Sediments. 2011. P. 639–648. DOI: 10.1007/s11368-011-0349-0.

4. Blouin M., Hodson M.E., Delgado E.A., Baker G., Brussaard L., Butt K.R., Dai J., Dendooven L., Tondoh J.E., Cluzeau D., Brun J.-J. A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. Eur. J Soil Sci. 2013. Vol. 64. Issue 2. P. 161–182. DOI: 10.1111/ejss.12025.

5. Carnovalea D., Baker G., Bissett A., P. Thrall. Earthworm composition, diversity and biomass under three land use systems in south-eastern Australia. Applied Soil Ecology. 2015. V. 88 P. 32–40. DOI: 10.1016/j.apsoil.2014.12.002.

6. Nesterkova D.V., Vorobeichik E.L., Reznichenko I.S. The Effect of Heavy Metals on the Soil Earthworm European Mole Food Chain under the Conditions of Environmental Pollution Caused by the Emissions of a Copper Smelting Plant. Contemporary Problems of Ecology. 2014. Vol. 7. No. 5. P. 587–596.

7. Резниченко И.С. Сравнительный анализ методик очищения пищеварительной системы дождевых червей для экотоксикологических исследований на Eisenia fetida (Savigny, 1826) // Фундаментальные исследования. 2013. № 6–5. С. 1156–1159.

Reznichenko I.S. Comparative Analysis of Techniques Cleansing Digestive Tract Earthworms for an Example Ecotoxicological Studies Eisenia Fetida (Savigny, 1826) // Fundamental research. 2013. № 6–5. P. 1156–1159.

8. Jun Dai, Thierry Becquer, James Henri Rouiller, Georges Reversat, France Bernhard-Reversat, Johanne Nahmani, Patrick Lavelle Heavy metal accumulation by two earthworm species and its relationship to total and DTPA-extractable metals in soils. Soil Biol. Biochem. 2004. Vol. 36. no. 1. P. 91–98. DOI: 10.1016/j.soilbio.2003.09.001.

9. Laycock A., Diez-Ortiz M., Larner F., Dybowska A., Spurgeon D., Valsami J., M. Rehkämper, C. Svendsen. Earthworm Uptake Routes and Rates of Ionic Zn and ZnO Nanoparticles at Realistic Concentrations, Traced Using Stable Isotope Labeling. Environ. Sci. Technol. 2016. No. 50. P. 412–419. DOI: 10.1021/acs.est.5b03413.

УДК 630*181.22:633.878.32(571.5)

МОРОЗОУСТОЙЧИВОСТЬ ДЕРЕВЬЕВ РОДА POPULUS, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ОЗЕЛЕНЕНИИ ГОРОДОВ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Рунова Е.М., Аношкина Л.В.

ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Братск, e-mail: runova0710@mail.ru

Работа посвящена изучению морозоустойчивости различных видов деревьев рода Populus в условиях резко континентального климата Восточной Сибири. Дана природно-климатическая характеристика г. Братска, проанализирован видовой состав городских насаждений. В качестве объектов исследования были взяты однолетние побеги деревьев: Populus alba L., Populus alba L. × Populus Bolleana Lauche, Populus balsamifera L., произрастающих в насаждениях общего пользования г. Братска. Образцы собраны в декабре 2017 г. при температуре воздуха –6 °С. Зимостойкость оценивалась по методике М.М. Тюриной и Г.А. Гоголевой, оценка проводилась по I и II компонентам. Устойчивость к ранним морозам (I компонент) оценивалась в естественных условиях, после чего были сделаны поперечные срезы и определена степень повреждения вегетативных органов. Испытания на максимальную морозоустойчивость растений проводились при помощи моделирования низких температур в камере искусственного климата MKF-240. Отмечены повреждения перидермы, флоэмы, камбия, ксилемы, сердцевины. Выполнен анализ повреждений по длине побегов. Степень повреждений древесины оценена по пятибалльной шкале. В среднем промерзание вегетативных органов всех видов однолетних побегов рода Populus не превышают 2 баллов. После испытаний образцов по I компоненту зимостойкости, в большей степени повреждения отмечаются у Populus balsamifera L. – 0,59, после воздействия критических температур в лабораторных условиях – у Populus alba L. – 1,31 балла. Степень повреждения вегетативных органов практически у всех видов Populus уменьшается от перидермы к сердцевине. По результатам исследований сделаны выводы и предложены рекомендации по использованию Populus в озеленении г. Братска. Так как все три вида Populus обладают достаточно хорошей устойчивостью к воздействию низких температур: повреждения однолетних побегов не превышают 1,5 баллов, Populus alba L. и Populus alba L.× Populus Bolleana Lauche предлагается использовать в городском озеленении.

Ключевые слова: морозоустойчивость, Populus alba L., Populus alba L.× Populus Bolleana Lauche, Populus balsamifera L., однолетние побеги, вегетативные органы

FROST RESISTANCE OF GENUS POPULUS TREES USED IN THE GREENING OF EASTERN SIBERIA CITIES

Runova E.M., Anoshkina L.V.

Bratsk State University, Bratsk, e-mail: runova0710@mail.ru

The work is devoted to the study of frost resistance of various species of trees of the genus Populus in the conditions of the sharply continental climate of Eastern Siberia. The natural and climatic characteristics of Bratsk are given in the article, the species composition of urban plantings is analyzed. One-year shoots of trees were taken as the objects of the study: Pospulus alba L., Populus alba L. × Populus Bolleana Lauche, Populus balsamifera L., growing in common plantations in Bratsk. Samples were collected in December 2017 at air temperature –6 °C. Winter hardiness was assessed by the method of M.M. Tyurina and G.A. Gogoleva, the evaluation was carried out for the I and II components. Resistance to early frosts (I component) was evaluated under natural conditions, after which cross sections were made and the degree of damage to the vegetative organs was determined. Tests on the maximum frost resistance of plants were carried out by modeling low temperatures in the chamber of the artificial climate MKF-240. Damage to periderm, phloem, cambium, xylem, and core was noted. The analysis of damage along the length of shoots is performed. The degree of damage to wood is estimated on a five-point scale. On average, the freezing of vegetative organs of all kinds of annual shoots of the genus Populus does not exceed 2 points. After testing the samples for the I component of winter hardiness, the lesions are noted to a greater degree in Populus balsamifera L. – 0.59, after exposure to critical temperatures in the laboratory – in Populus alba L. – 1.31 points. The degree of damage to the vegetative organs in virtually all species of Pompulus decreases from the periderm to the core. Based on the results of the research, conclusions were drawn and recommendations for the use of Populus in the gardening of Bratsk were suggested. Since all three species of Populus have quite good resistance to low temperatures: damage to annual shoots does not exceed 1.5 points, Pospulus alba L. and Populus alba L. × Populus Bolleana Lauche is suggested for use in urban landscaping.

Keywords: frost resistance, Populus alba L., Populus alba L. × Populus Bolleana Lauche, Populus balsamifera L., annual shoots, vegetative organs

Облик города во многом зависит от степени его озеленения и разнообразия используемых при этом древесно-кустарниковых растений. Видовой состав растений, применяемых для озеленения городов севера Восточной Сибири, довольно беден, и ограничивается, прежде всего, способностью растений адаптироваться к условиям сурового резко континентального климата с продолжительными морозными зимами и коротким засушливым летом. Успешность использования интродуцентов в озеленении северных городов зависит от их генетически обусловленных особенностей: зимостойкости и морозоустойчивости. Под зимостойкостью понимают устойчивость

растений к отрицательным температурам, а под морозоустойчивостью – способность переносить резкие понижения температуры ниже –25 °С [1]. В настоящее время достаточно подробно изучены вопросы зимостойкости и морозоустойчивости древесных растений, используемых в озеленении городов европейского севера, Урала, Западной Сибири [1–3]. Недостаточная устойчивость к воздействию низких температур может свидетельствовать в пользу несоответствия экологического потенциала растений их новым условиям существования. Таким образом, при подборе ассортимента растений, используемых в озеленении северных городов, особенно инорайонных, необходимо проведение исследований по их адаптации к длительному воздействию низких температур воздуха.

Целью настоящих исследований является изучение морозоустойчивости различных видов *Populus* в условиях резко континентального климата севера Иркутской области.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были взяты однолетние побеги деревьев: *Populus alba* L., *Populus alba* L.× *Populus Bolleana* Lauche, *Populus balsamifera* L., произрастающих в насаждениях общего пользования г. Братска. Образцы собраны в начале декабря 2017 г. при температуре воздуха –6 °С после ранних морозов (–22–24 °С) и наступившей затем оттепели. С каждого вида взято по 40 образцов. При срезании побегов учитывалась ориентация по сторонам света (собрано по 10 побегов с разных сторон света).

Зимостойкость оценивалась по методике М.М. Тюриной и Г.А. Гоголевой: I компонент – устойчивость вида к ранним морозам; II – максимальная морозоустойчивость в закаленном состоянии; III – способность сохранять высокую устойчивость к морозам в период оттепели; IV компонент – способность восстанавливать морозостойкость при повторной закалке после оттепелей [4]. Оценка проводилась по I и II компонентам.

Устойчивость к ранним морозам (I компонент) оценивалась в естественных условиях. Побеги хранились в течение 5 дней при температуре –5(–6) °С, после чего были сделаны поперечные срезы: в начале, середине и конце побегов – и определена степень повреждения вегетативных органов. Затем были проведены испытания на максимальную морозоустойчивость растений при помощи моделирования низких температур в камере искусственного климата MKF-240. На начальном этапе образцы проходили закалку при температуре –10 °С в течение 24 ч, после чего на 24 ч температура снижалась до –20 °С, далее, на 24 ч температура снижалась до –30 °С, завершающим этапом являлось воздействие температуры –40 °С в течение 18 ч. Скорость снижения температуры в климатической камере была приближена к амплитуде изменения среднесуточных температур при резко континентальном климате. Так, например, в Братске она достигает 20–30 °С. После медленного оттаивания образцов были сделаны поперечные срезы и определены повреждения побегов в закалённом состоянии по II компоненту.

Степень повреждения различных зон: перидермы, флоэмы, камбия, ксилемы, сердцевины оценивалась при помощи микроскопа Микмед-5. Полученные срезы фиксировались с помощью цифровой фотокамеры и выводились на монитор компьютера. Площади повреждённых участков древесины вычислялись при помощи программы AutoCAD. Степень повреждений оценивалась по пятибалльной шкале: 0 баллов – повреждения отсутствуют; 1 балл – 20 % повреждений; 2 балла – 40 %; 3 балла – 60 %; 4 балла – 80 %; 5 баллов – 100 % повреждений (ткани погибли) [4]. Статистическая обработка результатов исследования проводилась с использованием программы Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно районированию территории РФ по природно-климатическим условиям г. Братск относится к 1В климатическому району. Климат региона резко континентальный, характеризующийся большими колебаниями годовой и суточной температур, высокой солнечной радиацией и неравномерным годовым распределением осадков. В целом за год наблюдается 147 дней с отрицательной температурой, 149 – с положительной и 69 – с положительными дневными и отрицательными ночными температурами. Продолжительность безморозного периода в среднем составляет 114 дней, средняя продолжительность вегетационного периода – 136 дней [5]. Несмотря на тенденцию повышения температуры воздуха последних лет: так, например, в 2016 г. в Иркутской области среднегодовая температура превысила многолетние значения на 1–2 °С, в 2017 г. – на 1–3 °С, в середине зимы отмечаются длительные периоды понижения температуры воздуха до –40 °С

и ниже. В 2016 г. этот период составил 10 дней, в 2017 г. – 16 дней [6, 7].

В городских насаждениях Братска присутствуют как представители местной флоры: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), берёза повислая (*Betula pendula* Roth) и берёза пушистая (*Betula pubescens Ehrh*), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb), рябина сибирская (*Sorbus sibirica* Hedl), так и растения-интродуценты: в основном – это тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) и акация жёлтая (карагана) (*Caragana arborescerns* Lam.), в незначительных количествах присутствуют некоторые другие виды. На долю представителя североамериканской флоры – *Populus balsamifera* L. приходится 67% всех городских насаждений.

В России и сопредельных государствах (в пределах бывшего СССР) произрастает 34 вида и 8 гибридов рода *Populus*, в азиатской части России распространены 11 видов [8]. Род *Populus* отличается быстротой роста, газоустойчивостью, способностью произрастать на малоплодородных уплотненных почвах. Все эти качества делают его незаменимым в условиях повышенных антропогенных нагрузок и техногенного загрязнения промышленных городов сибирского региона.

В озеленении городов наиболее распространен тополь бальзамический. В г. Братске большинство деревьев *Populus balsamifera* L. высаживалось в период массового строительства города – в 1960–1970 гг., и, в настоящее время они имеют критический возраст – 40–50 лет, так как в городских условиях продолжительность жизни древесных растений значительно снижается (в естественных условиях тополь растет 80–90 лет) [9]. Кроме *Populus balsamifera* L. из рода *Populus* на территории г. Братска единично встречаются: тополь белый или серебристый (*Populus alba* L.) и тополь сибирский серебристый, имеющий пирамидальную форму, полученный в результате скрещивания тополя белого и тополя Болле (*Populus alba* L. × *Populus Bolleana* Lauche).

Populus alba L. введен в озеленение во многих городах Сибири (Новосибирске, Красноярске, Абакане) и др. Везде устойчив и плодоносит, только в Иркутске на открытых местах отмечаются повреждения однолетних побегов [8].

Гибрид тополя *Populus alba* L. × *Populus Bolleana* Lauche. выведен в 1980 г. в центральном ботаническом саду г. Новосибирска методом гибридизации тополя белого с тополем Болле (*Populus alba L.*× *Populus Bolleana* Lauche). По ритму сезонного развития он близок к тополю белому. Зимостоек, лишь в очень суровые зимы повреждаются концы однолетних побегов [10].

При исследовании морозоустойчивости деревьев рода *Populus* сделаны поперечные срезы однолетних побегов, наиболее характерные из них представлены в табл. 1.

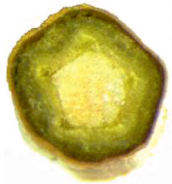
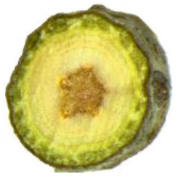
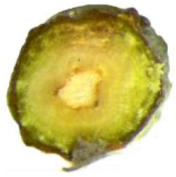
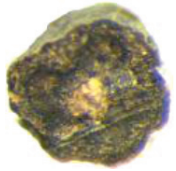
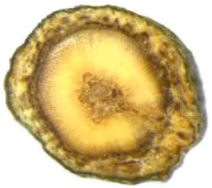
После испытания образцов побегов в естественных условиях по I компоненту зимостойкости у всех трех видов *Populus* отмечены повреждения перидермы: у *Populus alba* L. в среднем – 13,3%, у *Populus balsamifera* L. – 23,4%, у *Populus alba* L. × *Populus Bolleana* Lauche – 24,2%. Флоэма в большей степени повреждена у *Populus balsamifera* L. – 21,4%, в сравнении с *Populus alba* L. – 5,2% и *Populus alba* L.× *Populus Bolleana* Lauche – 6,9%. Повреждения остальных вегетативных органов составляют от 0,2 до 8% (рис. 1, а).

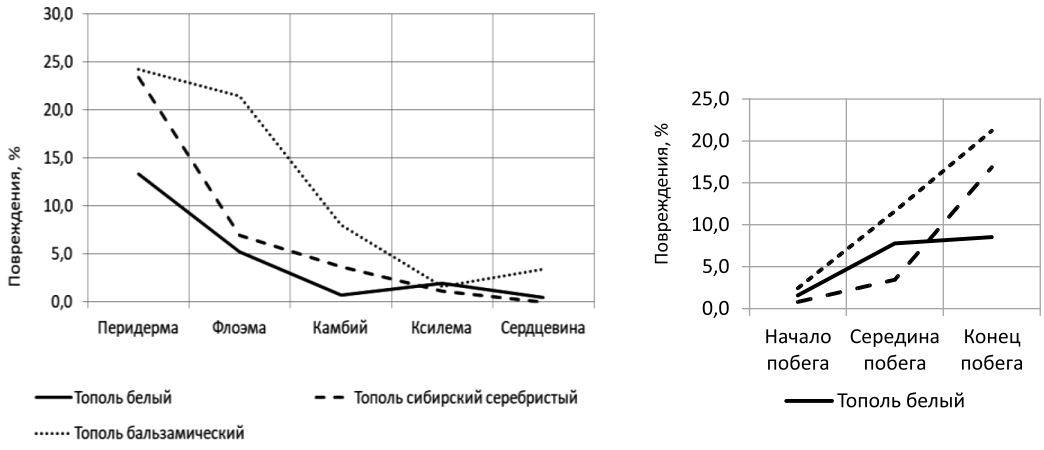
Если проследить наличие повреждений по длине однолетнего побега, можно отметить, что у *Populus balsamifera* L. прослеживается линейная зависимость – меньше всего поврежденных тканей наблюдается в начале побегов – 2,4%, больше всего обмерзают концы побегов – 21,2%. У *Populus alba* L.× *Populus Bolleana* Lauche в начале и середине побегов обмерзание варьирует от 0,8 до 3,5%, а в конце значительно увеличивается – 16,9%. Совершенно другая картина наблюдается у *Populus alba* L. – обмерзание побегов происходит более равномерно по всей длине от 1,6 до 8,5% (рис. 1, б).

Моделирование низких температур в лабораторных условиях вызвало повреждения перидермы у *Populus alba* L. меньше, чем у других видов *Populus* – 32,7%, в сравнении с *Populus balsamifera* L. – 51,2% и *Populus alba* L. × *Populus Bolleana* Lauche. – 57,8%, но начиная с камбиального слоя наблюдается обратная картина: камбий, ксилема и сердцевина однолетних побегов *Populus alba* L. повреждены в значительно большей степени, чем *Populus balsamifera* L. и *Populus alba* L.× *Populus Bolleana* Lauche. (рис. 2, а). Другую зависимость по сравнению с испытанием по I компоненту можно отметить, если проследить наличие повреждений по длине побегов: у *Populus alba* L. В начале и середине побегов отмечаются минимальные повреждения: 5,9 и 8,3% соответственно, а в конце побегов – максимальные значения повреждений – 63,3%, в то время как у других видов *Populus* обмерзание побегов по длине происходит более плавно (рис. 2, б).

Таблица 1

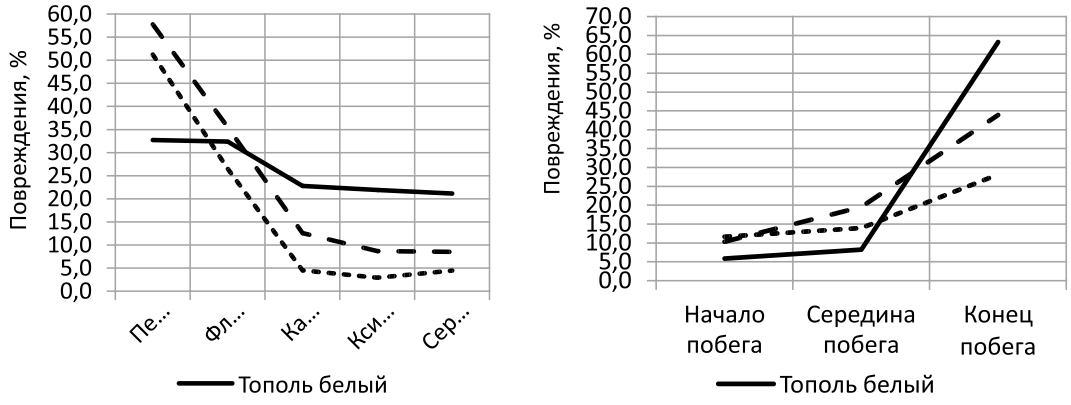
Поперечные срезы однолетних побегов *Populus*

Вид *Populus*	После испытаний по I компоненту			После испытаний по II компоненту		
	Начало побега	Середина побега	Конец побега	Начало побега	Середина побега	Конец побега
Populus balsamifera L.						
Populus alba L.						
Populus alba L. × *Populus Bolleana* Lauche						



а) *б)*

Рис. 1. Обмерзание однолетних побегов древесных растений рода Populus после испытания по I компоненту: а) сравнение повреждений вегетативных органов; б) сравнение повреждений по длине побега



а) *б)*

Рис. 2. Обмерзание однолетних побегов древесных растений рода Populus после испытания по II компоненту: а) сравнение повреждений вегетативных органов; б) сравнение повреждений по длине побега

Таблица 2

Оценка морозоустойчивости *Populus* в баллах

Наименование зоны среза	после I компонента			после II компонента		
	Populus balsamifera L.	*Populus alba* L.	*Populus alba* L.× *Populus Bolleana* Lauche	*Populus balsamifera* L.	*Populus alba* L.	*Populus alba* L.× *Populus Bolleana* Lauche
Перидерма	1,21	0,67	1,17	2,56	1,64	2,89
Флоэма	1,07	0,35	0,35	1,33	1,62	1,78
Камбий	0,40	0,04	0,18	0,23	1,14	0,63
Ксилема	0,08	0,06	0,06	0,15	1,10	0,43
Сердцевина	0,17	0,03	0,00	0,22	1,06	0,42
Средний балл	0,59	0,23	0,35	0,90	1,31	1,23

Далее, степень повреждений побегов оценивалась по пятибалльной шкале [4] (табл. 2).

В среднем промерзание вегетативных органов всех видов однолетних побегов рода *Populus* не превышает 2 баллов. После испытаний образцов по I компоненту зимостойкости в естественных условиях в большей степени повреждения отмечаются у *Populus balsamifera* L. – 0,59, после воздействия критических температур в лабораторных условиях – у *Populus alba* L. – 1,31 балла. Степень повреждения вегетативных органов практически всех видов *Populus* уменьшается от перидермы к сердцевине, только у *Populus balsamifera* L. в большей степени повреждена сердцевина, чем ксилема, после испытания по I и II компонентам зимостойкости. У *Populus alba* L. при испытании по I компоненту повреждения ксилемы незначительно превышают повреждения камбия.

Заключение

Как показали проведенные исследования, все три вида *Populus* после первых морозов в ноябре – начале декабря имеют повреждения, не превышающие 1 балла. Чаще всего у испытуемых побегов наблюдается отслоение коры, другие вегетативные органы повреждены незначительно. Более устойчивым к ранним морозам оказался вид *Populus alba* L. – 0,23 балла; менее устойчивым – *Populus balsamifera* L. – 0,59 балла.

Стрессовые воздействия низких температур при испытании по II компоненту зимостойкости лучше других выдержал *Populus balsamifera* L. – 0,90 балла, в большей степени поврежденным оказался *Populus alba* L. – 1,31 балла.

Что касается распределения повреждений по длине побега, можно отметить, что больше повреждаются концы побегов, но у различных видов *Populus* этот процесс происходит по-разному: при испытании по I компоненту у *Populus alba* L. наблюдается более плавное обмерзание по всей длине побега, а при воздействии температуры –40 °C у данного вида количество повреждений резко увеличивается на концах побегов.

В целом все три вида *Populus*, произрастающие в зеленых насаждениях г. Братска, обладают достаточно хорошей устойчивостью к воздействию низких температур сибирской зимы: повреждения однолетних побегов не превышают 1,5 баллов. Следует отметить, что продолжительность жизни тополя белого и гибрида (тополя сибирского серебристого) превышает сроки жизни тополя бальзамического, что особенно важно в условиях городской среды. С учетом достаточно высокой морозостойкости тополя белого и сибирского серебристого, а также учитывая то, что тополь бальзамический находится в критическом состоянии по возрасту и санитарному состоянию, можно рекомендовать постепенную замену тополя бальзамического на посадки тополя белого и тополя сибирского серебристого.

Список литературы / References

1. Залывская О.С., Бабич Н.А. Зимостойкость и морозоустойчивость интродуцентов // Лесной вестник. 2014. № 1. С. 105–109.

Zalyvskaya O.S., Babich N.A. Winter hardiness and frost resistance of exotic species // Lesnoy vestnik. 2014. № 1. P. 105–109 (in Russian).

2. Мартынов Л.Г. Ритм сезонного развития и зимостойкость европейских видов древесных растений в подзоне средней тайги Республики Коми // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. № 5. С. 155–159.

Martynov L.G. Rhythm of seasonal development and winter hardiness of European species of woody plants in the subzone of the middle taiga of the Komi Republic // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk. 2015. № 5. P. 155–159 (in Russian).

3. Strimbeck G.R., Schaberg P.G., Fossdal C.G., Schröde W.P., Kjellsen T.D. Extreme low temperature tolerance in woody plants. Frontiers in Plant Science. 2015. vol. 6. no. 884. P. 1–15.

4. Тюрина М.М., Гоголева Г.А. Ускоренная оценка зимостойкости плодовых и ягодных растений (методические рекомендации). М., 1978. 48 с.

Tyurina M.M., Gogoleva G.A. Accelerated assessment of winter hardiness of fruit and berry plants (methodical recommendations). M., 1978. 48 p. (in Russian).

5. Шепер Ц.А., Бабиченко В.Н. Климат Братска. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 168 с.

Sheper Ts.A., Babichenko V.N. Climate of Bratsk. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 168 p. (in Russian).

6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2016 году». Иркутск: ООО «Мегапринт», 2017. 274 с.

State report «On the state and protection of the environment in the Irkutsk region in 2016». Irkutsk: OOO «Megaprint», 2017. 274 p. (in Russian).

7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году». Иркутск: ООО «Мегапринт», 2018. 279 с.

State report «On the state and protection of the environment in the Irkutsk region in 2017». Irkutsk: OOO «Megaprint», 2018. 279 p. (in Russian).

8. Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. Новосибирск: Изд-во СО РАН «Гео», 2012. 707 с.

Koropachinskiy I.Yu., Vstovskaya T.N. Woody plants of Asian Russia. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN «Geo», 2012. 707 p. (in Russian).

9. Рунова Е.М., Аношкина Л.В. Populus balsamifera в озеленении Братска // Системы. Методы. Технологии. 2014. № 4 (24). С. 141–143.

Runova E.M., Anoshkina L.V. Populus balsamifera in the landscaping of Bratsk // Sistemy Metody Tekhnologii. 2014. № 4 (24). P. 141–143 (in Russian).

10. Бакулин В.Т., Банаев Е.В., Встовская Т.Н. Древесные растения для озеленения Новосибирска. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2008. 303 с.

Bakulin V.T., Banayev E.V., Vstovskaya T.N. Woody plants for landscaping of Novosibirsk. Novosibirsk: Akademicheskoye izd-vo «Geo», 2008. 303 p. (in Russian).

УДК 630*311:630*307

МИНИМИЗАЦИЯ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСНЫХ МАШИН НА ЭКОСИСТЕМЫ ЛЕСОВ НА ОСНОВЕ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ПРИРОДНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЙ ЛЕСОЗАГОТОВОК

[1]Шегельман И.Р., [2]Будник П.В., [3]Баклагин В.Н.

[1]Карельская региональная общественная организация «Инженерная академия», Петрозаводск, e-mail: shegelman@onego.ru;
[2]ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, e-mail: budnikpavel@yandex.ru;
[3]ФГБУН «Институт водных проблем Севера» Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, e-mail: slava.baklagin@mail.ru

В статье описан подход к повышению экологической безопасности лесозаготовительных работ и обеспечению их экономической эффективности на основе методики аналитической типизации природно-производственных условий (ППУ) лесозаготовок, базирующейся на применении кластерного анализа. Исследования проведены для регионов Европейского Севера России, включая Мурманскую область, Республику Карелия, Архангельскую область, Вологодскую область, Республику Коми. Цель исследований заключалась в выделении зон лесных территорий на Европейском Севере России со схожими ППУ лесозаготовок, а также в разработке для них рекомендаций по применению лесозаготовительных машин, направленных на минимизацию техногенного воздействия на лесную среду в процессе лесозаготовок. Исследования включали следующие этапы: 1) сбор данных, характеризующих ППУ на Европейском Севере России; 2) определение значений индикаторов, характеризующих ППУ; 3) формирование наборов из индикаторов, по которым осуществляется сравнение регионов; 4) типизация регионов на основе кластерного анализа. Исследования проведены на данных лесных планов субъектов Российской Федерации, данных Федерального агентства лесного хозяйства Российской Федерации, картографических материалов регионов Европейского Севера России, находящихся в открытом доступе. В результате проведенных исследований установлено, что может быть выделено 5 зон со схожими ППУ. Зоны получили условные обозначения: А, В, В1, В2, С. Зона А включает Мурманскую область. В зону В входят Республика Карелия, Республика Коми и Архангельская область. В зону С входит Вологодская область. Зона В1 выделена в приграничной с Финляндией зоне Республики Карелия. Зона В2 выделена в восточной части Республики Коми. Для каждой зоны определены системы лесозаготовительных машин, позволяющих снизить негативное воздействие на экосистему леса в ходе лесозаготовок.

Ключевые слова: типизация природно-производственных условий, Европейский Север России, системы лесозаготовительных машин

MINIMIZATION OF TECHNOGENIC EFFECTS OF FOREST MACHINES ON FOREST ECOSYSTEMS BASED ON THE CLUSTERING OF NATURAL-PRODUCTION CONDITIONS FOR FORESTRY

[1]Shegelman I.R., [2]Budnik P.V., [3]Baklagin V.N.

[1]Karelian regional public organization «Engineering Academy», Petrozavodsk, e-mail: shegelman@onego.ru;
[2]Petrozavodsk State University (PetrSU), Petrozavodsk, e-mail: budnikpavel@yandex.ru;
[3] Institute of northern water problems Karelian research center of RAS, Petrozavodsk, e-mail: slava.baklagin@mail.ru

The paper describes an approach to improving the environmental safety of logging operations and ensuring their economic efficiency on the basis of the method of analytical typification of natural-production logging conditions (NPL), based on the use of cluster analysis. Studies have been conducted for the regions of the European North of Russia, including the Murmansk region, the Republic of Karelia, the Arkhangelsk region, the Vologda region, and the Republic of Komi. The purpose of the research was to identify zones of forest areas in the European North of Russia with similar NPL, as well as to develop recommendations on the use of logging machines for zones aimed at minimizing the technogenic impact on the forest environment during forest harvesting. The studies included the following stages: 1) collection of data characterizing NPL of the regions of the European North of Russia; 2) determination of the values of indicators characterizing NPL; 3) the formation of sets of indicators, by which regions are compared; 4) the typification of regions based on cluster analysis. The studies were carried out on the data of forest plans of the subjects of the Russian Federation, data of the Federal Forestry Agency of the Russian Federation, cartographic materials of the regions of the European North of Russia, which are publicly available. As a result of the conducted researches it is established that in the European North of Russia there can be allocated 5 zones with similar NPL. Zones have received conventions A, B, B1, B2, C. Zone A includes the Murmansk region. Zone B includes the Republic of Karelia, the Republic of Komi and the Arkhangelsk Region. Zone C includes the Vologda Region. Zone B1 is allocated in the border zone of the Republic of Karelia with Finland. Zone B2 is allocated in the eastern part of the Komi Republic. For each zone, systems of harvesting machines have been identified, which make it possible to reduce the negative impact on the forest ecosystem during harvesting.

Keywords: typification of natural-production conditions, the European North of Russia, forest machine systems

Эффективное управление лесами требует, с одной стороны, решения задачи поддержания экологической устойчивости природных систем, а с другой – задачи получения максимальной экономической эффективности от освоения биомассы древесины. Решение данного круга задач обуславливается применяемыми лесозаготовительными технологиями и типами лесозаготовительных машин. Экономическая эффективность и экологическая безопасность лесозаготовок зависит от степени адаптации используемых лесозаготовительных машин и технологий к природно-производственным условиям (ППУ).

ППУ варьируются даже в пределах небольших территорий. Поэтому определение ограниченного числа территорий со схожими ППУ и обоснование техники и технологии лесозаготовок, применяемых на таких территориях, является первостепенным вопросом в области сохранения лесов. В России последнее комплексное исследование в данной области выполнено в 1980-х гг. [1]. Исследования были поведены в масштабах всей страны (СССР). Основными факторами выделения зон со схожими ППУ являлись размер деревьев в древостое и рельеф. Современные исследования подтверждают необходимость учитывать размеры деревьев в древостое и рельеф при обосновании техники и технологии лесозаготовок [2, 3]. Однако также необходимо учитывать запас древесины на единицу площади, расположение эксплуатационного фонда и его доступность освоения [4–6], а также почвенно-грунтовые условия и породный состав древостоев [7, 8].

Цель данного исследования заключается в выделении групп лесных территорий на Европейском Севере России (ЕСР) со схожими природно-производственными условиями лесозаготовок.

В настоящее время на ЕСР широко применяются машины тяжелого класса, негативные последствия которых выражены в наибольшей степени. Это обусловлено величиной удельного давления машин на почву, соприкосновением технологического оборудования с элементами экосистемы леса, уровнем выброса газов в атмосферу и др. Для ЕСР имеются отдельные исследования, посвященные обоснованию лесозаготовительных технологий, направленных на минимизацию техногенного воздействия на лесную среду [9]. Результатами исследований такого рода являются рекомендации по использованию определенных типов лесозаготовительных машин. Однако не дается ответ на вопрос о географическом положении территорий, на которых должна применяться техника. Ввиду этого дополнительной целью исследований является разработка рекомендаций для отдельных территорий ЕСР по применению лесозаготовительных машин, направленных на минимизацию техногенного воздействия на лесную среду в процессе лесозаготовок.

Материалы и методы исследования

Решение поставленных задач может быть осуществлено на основе разработанной нами методики аналитической типизации ППУ лесозаготовок. Методика базируется на кластерном анализе. Задача кластерного анализа заключается в том, чтобы на основании некоторой совокупности данных I разбить множество объектов $T_i \in T$ на m подмножеств M_1, M_2 … M_j, так, чтобы каждый объект T_i принадлежал только одному подмножеству, причем объекты в подмножестве должны быть сходными. Совокупность данных I представляет собой индикаторы, характеризующие природно-производственные условия множества объектов T_i. Объекты T_i представляют собой определенные территории, где осуществляется лесозаготовка. Подмножества объектов M_1, M_2 … M_j (кластеры) представляют собой группы территорий со схожими природно-производственными условиями. Попадание в один или разные кластеры объектов определяется понятием расстояния между объектами в n-мерном пространстве, где n это количество выбранных индикаторов, характеризующих природно-производственные условия.

Методики включает следующие основные этапы:

1) сбор данных, характеризующих ППУ регионов;

2) определение значений индикаторов, характеризующих ППУ;

3) формирование наборов из индикаторов, по которым осуществляется сравнение регионов;

4) типизация регионов на основе кластерного анализа.

Исследования проведены для регионов ЕСР: Мурманской области, Республики Карелия, Архангельской области, Вологодской области, Республики Коми. Источниками данных, характеризующих ППУ регионов, являлись лесные планы субъектов Российской Федерации, данные Федерального агентства лесного хозяйства РФ, картографические материалы регионов ЕСР, находящихся в открытом доступе.

В табл. 1 приведены значения индикаторов для регионов ЕСР.

Таблица 1

Индикаторы, характеризующие ППУ для регионов ЕСР

№ п/п	Наименование индикатора	Значения индикаторов				
		Мурманская область	Республика Карелия	Архангельская область	Республика Коми	Вологодская область
1	Средняя ступень толщины, см	20	22	21	22	20
2	Наиболее встречающаяся ступень толщины, см	12	16	16	20	16
3	Максимальная ступень толщины, см	48	56	52	56	52
4	Средний объем хлыста, м^3	0,192	0,205	0,226	0,24	0,328
5	Максимальный объем хлыста, м^3	0,23	0,351	0,296	0,4	0,42
6	Минимальный объем хлыста, м^3	0,17	0,134	0,164	0,12	0,26
7	Средняя высота древостоя, м	18	21	21	21	25
8	Средний класс бонитета	5	4	4	4	3
9	Уклон поверхности до 15°,%	99,9	100	100	99,8	100
10	Уклон поверхности 16–25°,%	0,1	0	0	0,2	0
11	Уклон поверхности более 26°,%	0	0	0	0	0
12	Грунты первой категории,%	16	8	3	4	1
13	Грунты второй категории,%	74	32	27	30	32
14	Грунты третьей категории,%	3	38	30	18	34
15	Грунты четвертой категории,%	7	22	40	48	33
16	Средний запас на га, м^3	44	102	120	101	168
17	Минимальный запас на га, м^3	29	70	81	57	126
18	Максимальный запас на га, м^3	53	200	275	160	229
19	Доля сосны в древостоях,%	53,8	52,4	21,9	27,4	23,4
20	Доля ели в древостоях,%	34,7	35,9	65,1	66,5	26,8
21	Доля березы в древостоях,%	11,5	9,9	10	0,2	36,1
22	Доля осины в древостоях,%	0	1,7	2,6	3,8	12,2
23	Доля других пород в древостоях,%	0	0,1	0,4	2,1	1,5
24	Плотность автомобильных дорог, км/га	0,8	1,84	1,5	1,27	3,1

Таблица 2

Технические характеристики классов машин

Вид машины	Технические характеристики		
	Легкий класс (L)	Средний класс (M)	Тяжелый класс (H)
Харвестер	мощность двигателя: 80–120 кВт; вес: 7–14 т; диаметр обрабатываемого дерева до: 50 см	мощность двигателя: 120–160 кВт; вес: 14–20 т; диаметр обрабатываемого дерева до: 60 см	мощность двигателя: более 160 кВт; вес: более 20 т; диаметр обрабатываемого дерева: более 60 см
Фрвардер	мощность двигателя: 80–120 кВт; грузоподъемность: до 12 т	мощность двигателя: 120–160 кВт; грузоподъемность: 12–15 т	мощность двигателя: более 160 кВт; грузоподъемность: более 15 т
ВПМ	мощность двигателя: до 120 кВт; вес: до 15 т; диаметр обрабатываемого дерева: до 40 см	мощность двигателя: 120–180 кВт; вес: 15–20 т; диаметр обрабатываемого дерева: до 50 см	мощность двигателя: более 180 кВт; вес: более 25 т; диаметр обрабатываемого дерева: более 50 см
Трелевочный трактор	мощность двигателя: до 80 кВт; вес: 5–10 т; объем трелюемой пачки деревьев: до 8 м^3	мощность двигателя: 80–160 кВт; вес: 10–15 т; объем трелюемой пачки деревьев: 8–14 м^3	мощность двигателя: более 160 кВт; вес: более 15 т; объем трелюемой пачки деревьев: более 14 м^3
Процессор	мощность двигателя: 80–120 кВт; вес: до 15 т; диаметр обрабатываемого дерева: до 50 см	мощность двигателя: 120–160 кВт; вес: 15–30 т; диаметр обрабатываемого дерева: до 60 см	мощность двигателя: более 160 кВт; вес: более 30 т; диаметр обрабатываемого дерева: более 60 см

Все индикаторы сгруппированы по пяти наборам. Набор NPS включает индикаторы 1–24 и характеризует ППУ регионов ЕСР по всем индикаторам. Набор ATD включает индикаторы 4, 8, 16, 19–23 и характеризует средние таксационные показатели древостоев. Набор TMed включает индикаторы 1, 4, 7 и характеризует размеры средних деревьев в древостоях. Набор TMax включает индикаторы 3, 5, 7 и характеризует размеры максимальных деревьев в древостоях. Набор CLC включает индикаторы 9–15 и характеризует почвенно-гранатовые условия и условия рельефа.

При кластерном анализе в качестве способа определения близости между объектами использовано Евклидово расстояние. При выделении кластеров использовался метод одиночной связи. Кластерный анализ проводился с использованием программного пакета STATISTICA на ПК.

Наиболее широко применяются две системы машин [10]. Первая система (HF) включает харвестер и форвардер. Вторая система (FSP) состоит из валочно-пакетирующей машины (ВПМ), трелевочного трактора и процессора. Для разработки рекомендаций по применению лесозаготовительных машин проведена их группировка. Выделено три основных класса машин: легкий класс (L), средний класс (M), тяжелый класс (H). Технические характеристик классов машин приведены в табл. 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнение наборов NPS показало, что ППУ в Республике Карелия и Архангельской области наиболее близки. Евклидово расстояние составляет 3,63 (табл. 3). Наиболее различными являются ППУ Мурманской области и Вологодской области. Евклидово расстояние составляет 9,91. ППУ Республики Коми близки к условиям Архангельской области (Евклидово расстояние 4,96) и Республики Карелия (Евклидово расстояние 5.41).

Таблица 3

Матрица расстояний при сравнении наборов NPS

	1	2	3	4	5
1	0	6,45	7,05	7,94	9,91
2	6,45	0	3,63	5,41	6,69
3	7,05	3,63	0	4,96	5,94
4	7,94	5,41	4,96	0	7,76
5	9,91	6,69	5,94	7,76	0

Примечание. 1 – Мурманская область, 2 – Республика Карелия, 3 – Архангельская область, 4 – Республика Коми, 5 – Вологодская область.

Сравнение наборов ATD показало, что наиболее близки средние таксационные показатели древостоев Мурманской области и Республики Карелия. Евклидово расстояния составляет 1,98 (табл. 4). Средние таксационные данные Архангельская область больше всего близки к показателям Республики Коми. Евклидово расстояние составляет 2,08. Наиболее от всех регионов ЕСР по рассматриваемым характеристикам отличается Вологодская область.

Таблица 4

Матрица расстояний при сравнении наборов ATD

	1	2	3	4	5
1	0	1,98	3,53	4,07	6,21
2	1,98	0	2,57	3,31	4,90
3	3,53	2,57	0	2,08	4,51
4	4,07	3,31	2,08	0	4,72
5	6,21	4,90	4,51	4,72	0

Примечание. 1 – Мурманская область, 2 – Республика Карелия, 3 – Архангельская область, 4 – Республика Коми, 5 – Вологодская область.

В табл. 5 и 6 приведены результаты кластерного анализа при сравнении наборов TMed и TMax.

Таблица 5

Матрица расстояний при сравнении наборов TMed

	1	2	3	4	5
1	0	2,35	1,69	2,50	3,79
2	2,35	0	1,07	0,65	3,44
3	1,69	1,07	0	1,03	2,69
4	2,50	0,65	1,03	0	3,05
5	3,79	3,44	2,69	3,05	0

Примечание. 1 – Мурманская область, 2 – Республика Карелия, 3 – Архангельская область, 4 – Республика Коми, 5 – Вологодская область.

Таблица 6

Матрица расстояний при сравнении наборов TMax

	1	2	3	4	5
1	0	3,10	1,90	3,46	3,91
2	3,10	0	1,39	0,63	2,19
3	1,90	1,39	0	1,79	2,26
4	3,46	0,63	1,79	0	2,02
5	3,91	2,19	2,26	2,02	0

Примечание. 1 – Мурманская область, 2 – Республика Карелия, 3 – Архангельская область, 4 – Республика Коми, 5 – Вологодская область.

Размеры деревьев близки в трех регионах (Республика Карелия, Республика Коми и Архангельская область). Значения Евклидова расстояния находятся в диапазоне 0,6–1,07 для наборов TMed и 0,63–1,79 для наборов TMax. Размеры максимальных деревьев и средних деревьев в Вологодской области и Мурманской области наиболее отличаются от максимальных и средних размеров деревьев в других регионах ЕСР. Значения Евклидова расстояния находятся в диапазоне 1,9–3,91 для Мурманской области и 2,02–3,91 для Вологодской области. Наиболее по размерам деревьев отличаются Мурманская и Вологодская области. Значение Евклидова расстояния составляет 3,91.

В табл. 7 приведены результаты сравнения набора CLC.

Таблица 7

Матрица расстояний при сравнении наборов CLC

	1	2	3	4	5
1	0	3,98	4,57	4,39	4,56
2	3,98	0	1,53	3,88	1,39
3	4,57	1,53	0	3,32	0,67
4	4,39	3,88	3,32	0	3,52
5	4,56	1,39	0,67	3,52	0

Примечание. 1 – Мурманская область, 2 – Республика Карелия, 3 – Архангельская область, 4 – Республика Коми, 5 – Вологодская область.

По почвенно-грунтовым условиям наиболее близки Архангельская и Вологодская области. Евклидово расстояние 0,67. Условия Республики Карелия приближаются к условиям указанных регионов. Почвенно-грунтовые условия Мурманской области и Республики Коми значительно отличаются от других регионов ЕСР. Значения Евклидова расстояния для Мурманской области превышают 3,9, а для Республики Коми – 3,3.

Результаты исследований показывают, что ППУ в регионах ЕСР нельзя назвать одинаковыми. Регионы ЕСР за исключением Мурманской области схожи по условиям рельефа и почвенно-грунтовым условиям. По породному запасу древесины регионы ЕСР отличаются друг от друга, при этом сходны преобладающие породы. Наиболее значительно регионы ЕСР отличаются размерами деревьев в древостоях. Исследования показали, что регионы ЕСР по крупности деревьев в древостоях в порядке возрастания находятся в следующей последовательности: Мурманская область, Республика Карелия, Республика Коми, Архангельская область, Вологодская область. Фактически по крупномерности деревьев в древостоях регионы ЕСР можно разделить на три группы. К первой группе, характеризующейся наиболее мелкими размерами деревьев, относится Мурманская область. Ко второй группе, характеризующейся средними размерами деревьев: Республика Карелия, Республика Коми, Архангельская область. К третьей группе, характеризующейся наиболее крупными деревьями в древостоях: Вологодская область.

На основании полученных результатов можно выделить три зоны ППУ для ЕСР (рисунок). Зоны получили условные обозначения: *A*, *B*, *C*.

Зона *A* включает Мурманскую область. В зону *B* входят Республика Карелия, Республика Коми и Архангельская область. В зону С входит Вологодская область. Анализ почвенно-грунтовых условий и индикаторов 9–15 показал, что целесообразно выделить дополнительные зоны, позволяющие учитывать нехарактерные почвенно-грунтовые условия и рельеф в зоне *B* и получившие условные обозначения *B1* и *B2*. Зона *B1* выделена ввиду наличия Западно-Карельской возвышенности, характеризующейся пересеченным рельефом. Зона *B2* выделяет территории Республики Коми, относящиеся к Северному, Приполярному и Полярному Уралу, также характеризующиеся сильно пересеченным рельефом.

Нами был проведен сопоставительный анализ технических характеристик лесозаготовительных машин и ППУ, на основе которого сделаны рекомендации по применяемым системам лесозаготовительных машин. Система HF наиболее применима в регионах ЕСР. В основном это обусловлено небольшими размерами лесосек (в среднем 10–15 га), низким уровнем развития лесных транспортных дорог, относительно небольшими размерами деревьев. Система FSP может использоваться в Вологодской области (в южной части).

М класс лесозаготовительных машин целесообразно использовать в Республике Карелия, Архангельской области и Республике Коми. В отличие от использования Н класса это позволит минимизировать техногенные последствия лесозаготовок. Ввиду относительно небольших размеров деревьев L класс целесообразно использовать в Мурманской области.

За исключением Мурманской области в регионах ЕСР преобладают грунты 3 и 4 категории. Поэтому для минимизации по-

следствия лесозаготовок необходимо использовать либо лесозаготовительные машины на гусеничном шасси, либо на колесном шасси с конфигурацией 6х6 или 8х8, снабженных гибкими цепями. Рекомендации по применяемым системам приведены в табл. 8.

Заключение

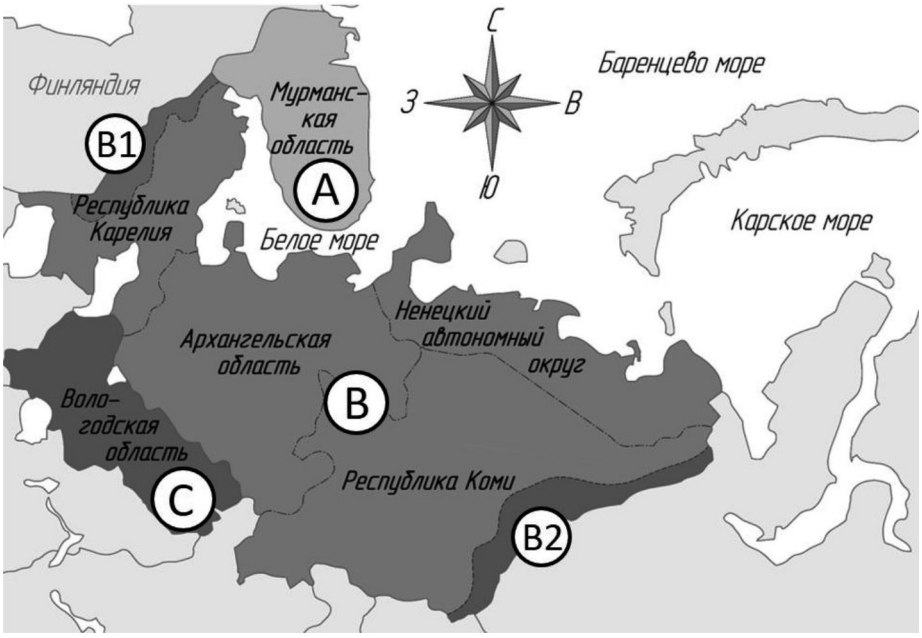
В результате проведенных исследований установлено, что на ЕСР может быть выделено 5 зон со схожими ППУ. ППУ в различных регионах ЕСР близки по условиям рельефа и почвенно-грунтовым условиям. Наиболее значительно регионы ЕСР различаются размерами деревьев в древостоях, средним объемом хлыста, запасом на гектар. Анализ показал, что в зависимости от зоны имеется возможность применения машин всех классов (легкого, среднего и тяжелого).

Результаты исследований могут быть полезными при обосновании лесозаготовительных технологий и техники для регионов ЕСР, обеспечивающих поддержание экологической устойчивости природных систем и экономической эффективности от освоения биомассы древесины.

Таблица 8

Рекомендуемые системы лесозаготовительных машин

		Мурманская область	Республика Карелия		Архангельская область	Республика Коми		Вологодская область
Номер зоны		A	B	B1	B	B	B2	C
Система лесозаготовительных машин		HF	HF	HF	HF	HF	HF	HF/FSP
Класс лесозаготовительных машин		L	M/H	M/H	M/H	M/H	M/H	H
Гусеничное шасси		–	+	–	+	+	–	+
Колесное шасси	Колесная формула	6х6	8х8, 6х6	8х8, 6х6	8х8, 6х6	8х8, 6х6	8х8, 6х6	8х8, 6х6
	Гибкая гусеничная цепь	–	+	+	+	+	+	+



Зоны природно-производственных условий на ЕСР

Исследования проведены в рамках реализации гранта Президента Российской Федерации № МК-5321.2018.8.

Список литературы / References

1. Виногоров Г.К. Типизация природно-производственных условий лесозаготовительных районов. Химки: ЦНИИМЭ, 1986. 23 с.

Vinogorov G.K. Typification of the natural-production conditions of logging areas. Khimki: TSNIME, 1986. 23 p. (in Russian).

2. Pierre Ackerman, Chloe Williams, Simon Ackerman, Carla Nati. Diesel Consumption and Carbon Balance in South African Pine Clear-Felling CTL Operations: a Preliminary Case Study. Croatian Journal of Forest Engineering. 2017. vol. 38. no 1. P. 65–72.

3. Castro G.P., Malinovski J.R., Nutto L., Malinovski R.A. Harvesting Systems. Tropical Forestry Handbook. Springer, Berlin, Heidelberg. 2016. P. 2445–2485.

4. Kormanek M., Baj D. Analysis of Operation Performance in the Process of Machine Wood Harvesting with Fao Far 6840 Mini-Harvester. Agricultural engineering. 2018. vol. 22. no. 1. P. 73–82. DOI: 10.1515/agriceng-2018-0007/

5. Laitila J., Vaataine, K. The cutting productivity in integrated harvesting of pulpwood and delimbed energy wood with a forestry-equipped peat harvesting tractor. Suo. 2013. vol. 64. no 2–3. P. 97–112.

6. Pētersons J. Productivity of harvesters in commercial thinnings in the forest stands of different composition of species. Research for rural development. 2014. no 2. P. 76–82.

7. Proto A.R., Macri G., Visser R., Harrill H., Russo D., Giuseppe Zimbalatti. Factors affecting forwarder productivity. European Journal of Forest Research. 2018. vol. 137. no. 2. P. 143–151. DOI: 10.1007/s10342-017-1088-6.

8. Strandgard M., Mitchell R., Acuna M. Time consumption and productivity of a forwarder operating on a slope in a cut-to-length harvest system in a Pinus radiata D. Don pine plantation. Journal of Forest Science. 2017. vol. 63. no. 7. P. 324–330. DOI: 10.17221/10/2017-JFS.

9. Питухин А.В., Сюнев В.С. Минимизация техногенного воздействия на лесную среду в процессе лесозаготовок // Фундаментальные исследования. 2005. № 9. С. 116–120.

Pitukhin A.V., Syunev V.S. Minimization of the technogenic impact on the forest environment in the process of logging // Fundamental research. 2005. № 9. P. 116–120 (in Russian).

10. Goltsev V., Timo Tolonen, Syunev V., Dahlin B., Gerasimov Y., Karvinen S., Leinonen T., Koponen M., Tolonen T., Jutila L., Valkky E., Vaatainen K., Seliverstrov A., Lopatin E., Monkkonen P. Wood harvesting and logistics in Russia. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. 2011. 210 p. URL: http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp210.htm (date of access: 08.17.2018).

УДК 556.114

ГИДРОХИМИЯ ОЗЕРА ИРИМНОЕ

Алимова Г.С., Токарева А.Ю.

Тобольская комплексная станция Уральского отделения Российской академии наук, Тобольск, e-mail: gulsem76@mail.ru

В 2008 г. исследована гидрохимия воды оз. Иримное, расположенного в Уватском районе Тюменской области. Из гидрохимических показателей качества поверхностных вод были определены температура воды, водородный показатель, содержание кислорода, окисляемости перманганатной, железа общего, хлоридов, сульфатов, кальция, магния и жесткости, неорганических соединений азота – нитратов, нитритов и аммония. Температурный режим воды в озере характерен для озер с глубинами не более 4 м. Вертикальное распределение температуры водной толщи озера изменяется на 0,1 ... 5,6 °С от поверхности до средней глубины – 1 м. Содержание кислорода неоднородно как по длине и глубине озера, так и по времени отбора проб воды. Определены средние прямые связи концентрации кислорода в воде с ее температурой. На глубине 1 м его концентрация минимальна в феврале – 0,6 мг/дм^3 (зимний замор) и максимальна в июне – 9,5 мг/дм^3. Определена слабощелочная реакция воды по среднему значению водородного показателя воды. Наблюдалось повышение значения pH при увеличении концентрации магния, жесткости и аммония в воде озера Иримное. Определены сильные статистически значимые прямые связи между pH и концентрациями магния и жесткости, средние – между pH и концентрацией аммония в воде озера. Содержание железа в летние месяцы достигает до 1 мг/дм^3, зимой увеличивается до 3,9 мг/дм^3. При повышении содержания железа в воде увеличивается окисляемость перманганатная. Значения концентраций аммония, железа и окисляемости перманганатной выше предельно допустимых концентраций для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Ключевые слова: нижнее течение реки Иртыш, озеро Иримное, гидрохимия, коэффициент корреляции Спирмена, водородный показатель

HYDROCHEMISTRY OF THE IRIMNOYE LAKE

Alimova G.S., Tokareva A.Yu.

Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Tobolsk, e-mail: gulsem76@mail.ru

In 2008, the hydrochemistry of the water of Lake Irimnoye, located in the Uvat district of the Tyumen region, was studied. The water temperature, hydrogen index, oxygen content, permanganate oxidation, total iron, chloride, sulfate, calcium, magnesium and hardness, inorganic nitrogen – nitrate, nitrite and ammonium compounds were determined from the hydrochemical indicators of surface water quality. The temperature regime of water in the lake is typical for lakes with depths of no more than 4 meters. The vertical distribution of the temperature of the lake's water column varies by 0.1 ... 5.6 °C from the surface to an average depth of 1 meter. The oxygen content is nonuniform both in length and depth of the lake, and in time of water sampling. The average direct links between the concentration of oxygen in water and its temperature are determined. At a depth of 1 m, its concentration is minimal in February – 0.6 mg / dm^3 (winter kill) and maximum in June – 9.5 mg/dm^3. A slightly alkaline reaction of water was determined from the mean value of the hydrogen index of water. An increase in pH was observed with an increase in magnesium concentration, stiffness and ammonium in the water of Lake Irimnoe. Strong statistically significant direct links between pH and magnesium concentrations and stiffness were determined, and mean between pH and ammonium concentration in lake water. The iron content in the summer months reaches up to 1 mg/dm^3, in winter it increases to 3.9 mg/dm^3. When the iron content in the water increases, the permanganate oxygen consumed increases. Values of concentrations of ammonium, iron and permanganate oxygen consumed above the maximum allowable concentrations for water objects of fishery use.

Keywords: the lower course of the Irtysh River, the Irimnoye Lake, hydrochemistry, Spearman correlation coefficient, hydrogen index

Озеро Иримное (народное название Арынное) – типичный водоём замкнутого типа. Озеро входит в пойменно-русловой комплекс нижнего течения реки Иртыш, территориально находится в Уватском районе Тюменской области. Географически озеро расположено на левобережной пойме Иртыша – 58.735380 с.ш., 68.679617 в.д., в отдалении от меженного русла реки на несколько сотен метров (рис. 1). Общая площадь водного зеркала озера составляет 13 га, протяженность водоёма не превышает 2 км, средняя глубина около 1 м, максимальная – до 4 м. В годы высокого паводка озеро соединяется с руслом Иртыша [1]. Питание озера осуществляется за счет атмосферных осадков и подземного стока. Литературных источников о гидрохимических данных воды озера Иримное, полученных в более ранние годы, не обнаружено. Найдены работы по изучению таксономического состава рыбного населения озера, его распределения по площади и глубине озера [1].

Цель исследования: изучение гидрохимических характеристик поверхностной воды в озере Иримное.

Материалы и методы исследования

Полевые исследования на озере Иримное проведены в течение 2008 г. – в январе, феврале и с мая по октябрь. Координаты точек отбора проб воды: 1 – N 58.736888, E 68.672911; 2 – N 58.735359, E 68.678747; 3 – N 58.734746, E 68.685356 (рисунок). Отбор проб воды с глубины 0,3 и 1 м на озере Иримное осуществлялся по ГОСТ Р 51592–2000.

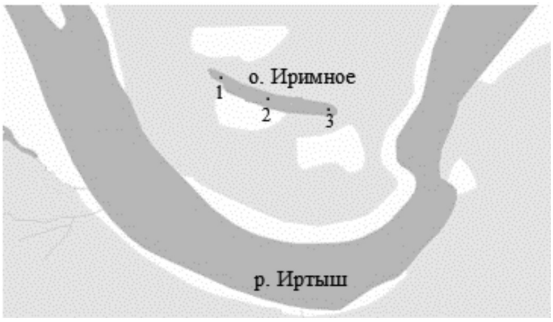


Схема расположения озера Иримное

Из гидрохимических показателей качества поверхностных вод были определены температура, pH, O_2, окисляемость перманганатная, $Fe^{общее}$, Cl^-, SO_4^{2-}, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, жесткость, Ca^{2+}, Mg^{2+}. Исследование ионного состава воды проводилось по общепринятым методикам измерений в аккредитованной лаборатории «Экотоксикология» Тобольской биологической станции Российской академии наук [2]. Измерения pH и температуры воды проведены на анализаторе АНИОН-7050, содержание $Fe^{общее}$, SO_4^{2-}, NH_4^+, NO_2^- и NO_3^- на спектрофотометре UNICO-1200. Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлена в программе Microsoft Excel *с* применением коэффициента корреляции Спирмена r_s ($p < 0,05$).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследований гидрохимических показателей озера Иримное приведены в табл. 1 и 2. В исследуемый период минимальная температура воды в озере наблюдалась в феврале – минус 0,8 °С на глубине ниже 0,8 м. Максимум температуры воды в поверхностном слое до 0,3 м наступает в июне – 25,7 °С. Изменение вертикального распределения температуры водной толщи составило от 0,1 до 5,6 °С. В сентябре – октябре выявлена разница в 4–5,6 °С между температурами воды в поверхностном слое до 0,3 м и глубиной более 1 м. Верхние слои воды в первую очередь подвержены влиянию внешних факторов (взаимодействию с атмосферой, сгонно-нагонным явлениям), т.е. быстрее охлаждаются в осенний период [3]. Водородный показатель воды в озере нестабилен в течение всего периода исследований. Воду озера Иримное по среднему значению pH, равному 7,6 по вертикали, можно отнести к слабощелочным водам, имеющим диапазон 7,5 … 8,5 единиц pH; по медиане, соответствующей 7,3 единицы pH – к нейтральным водам.

Значения pH воды в озере варьировали от слабокислой реакции (6,5) до сильнощелочной (>9,5). В зимние месяцы (январь, февраль) вода имела нейтральную реакцию. В осенний (сентябрь, октябрь) период в воде наблюдалась слабощелочная реакция, в весенние и летние месяцы – от слабокислой до сильнощелочной. Расчет значений коэффициента корреляции Спирмена между значениями pH и концентрациями магния (и жесткости) выявил сильные статистически значимые прямые связи между ними (табл. 3). В августе 2008 г. вода в озере имела сильнощелочную реакцию, при максимальном значении концентрации магния и увеличении жесткости до 5,1 °Ж. В целом по величине общей жесткости вода относится к мягкой (до 2 °Ж). Средние обратные связи обнаружены между значениями pH и концентрациями железа и окисляемости перманганатной ($r_s = –0,3$ и $–0,5$) (табл. 3).

Концентрация железа в летние месяцы достигает 1 мг/л, зимой увеличивается до 3,9 мг/л. Данные значения согласуются с данными, полученными для озер Тюменской области [4]. При повышении содержания железа в воде увеличивается окисляемость перманганатная ($r_s = 0,9$). Значение перманганатной окисляемости воды в зимние месяцы – январь и февраль – в среднем составило 20,7 мгО/дм^3, и содержание железа в этот период было максимально – в среднем – 2,6 мг/дм^3. Высокое значение перманганатной окисляемости воды свидетельствует о том, что в воде озера железо присутствует в большей степени в виде двухвалентного иона Fe (II). Он может окисляться до Fe (III) и выпадать в виде осадка гидроксида железа $Fe(OH)_3$ при низком содержании органических и минеральных веществ, удерживающих преобразование железа из одной формы в другую [5].

Таблица 1

Гидрохимические показатели воды в озере Иримное за январь, февраль, май и июнь 2008 г. (ОП – окисляемость перманганатная, Ж – жесткость, "–" – анализ на данный показатель не проводился)

Показатель, единица измерения	Глубина, м	январь			февраль			май		июнь		
		1	2	3	1	2	3	2*	3	1	2	3
t, °C	0,3	0,4	0,5	0,3	0	–0,1	0,1	14,7	14,4	25,7	25,5	25,1
	1	0,1	–0,1	0,1	–0,8	0,1	0,4	13,7	14,3	23,8	24,6	21,4
pH, ед. pH	0,3	7,1	7,3	7,0	6,5	7,4	7,3	8,6	8,5	7,2	7,2	6,7
	1	7,0	6,9	6,9	7,3	7,2	7,3	8,2	8,6	7,1	7,1	6,2
O_2, мг/дм^3	0,3	–	–	–	2,9	2,8	3,8	7,1	7,5	9,6	9,7	9,0
	1	–	–	–	0,6	5,3	3,5	6,4	8,7	9,5	9,3	3,4
ОП, мгО/дм^3	0,3	17,4	18,2	19,4	19,9	19,7	19,2	8,4	8,7	10,7	8,8	9,8
	1	20,8	22,6	28,8	19,6	21,8	20,6	9,7	9,9	11,9	9,3	10,0
$Fe^{общее}$ мг/дм^3	0,3	2,3	2,0	2,6	3,2	2,6	3,5	0,5	0,5	0,8	0,5	0,8
	1	1,2	1,0	2,9	3,6	2,8	3,9	1,3	0,2	0,6	1,3	0,8
SO_4^{2-}, мг/дм^3	0,3	4,6	12,6	11,3	16,0	11,2	14,5	6,8	10,4	24,9	22,3	13,6
	1	8,4	6,5	9,8	14,8	12,5	12,0	8,6	8,3	18,6	15,5	11,5
Cl^-, мг/дм^3	0,3	12,8	19,2	21,0	27,8	26,9	24,2	23,4	29,5	29,4	27,2	23,8
	1	10,0	21,0	6,4	25,1	22,4	22,4	26,5	28,8	27,4	29,2	22,6
NH_4^+, мг/дм^3	0,3	1,1	7,9	7,6	9,1	5,7	7,2	14,3	12,6	0,6	0,6	12,1
	1	6,7	7,7	1,1	5,8	6,7	9,3	12,7	12,9	0,5	0,4	15,3
NO_2^-, мг/дм^3	0,3	0,02	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0	0,05	0,04
	1	0,04	0,04	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02
NO_3^-, мг/дм^3	0,3	1,7	1,6	1,3	0,8	1,0	0,8	0,9	0,9	0,9	0,2	2,0
	1	1,1	1,2	1,0	1,8	0,9	0,8	0,9	0,8	1,0	0,4	4,9
Ж, °Ж	0,3	–	–	–	–	–	–	1,2	1,4	1,4	1,4	1,1
	1	–	–	–	–	–	–	1,5	1,1	1,2	1,3	1,3
Ca^{2+}, мг-экв/л	0,3	–	–	–	–	–	–	0,7	0,7	1,2	0,7	0,6
	1	–	–	–	–	–	–	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7
Mg^{2+}, мг/дм^3	0,3	–	–	–	–	–	–	6,7	7,7	2,6	8,6	6,1
	1	–	–	–	–	–	–	8,0	4,4	5,2	7,2	7,4

Примечание.* в точке 1 взять пробу воды было невозможно, так как в районе этой точки кругом были установлены рыболовные сети.

Кислородный режим в поверхностных водах формируется за счет фотосинтеза, обмена с атмосферой, биохимического потребления на дыхание живых организмов [3]. Содержание кислорода неоднородно как по длине и глубине озера, так и по времени отбора проб воды. Определены средние прямые связи концентрации кислорода в воде с ее температурой (табл. 3). В летние месяцы (июнь – июль), когда температура воды достигает 24–25 °C в поверхностном слое, содержание кислорода за счет фотосинтеза достигает до 9,0 … 10,0 мг/дм^3. На глубине 1 м его концентрация минимальна в феврале – 0,6 мг/дм^3 и максимальна в июне – 9,5 мг/дм^3. Соединения азота (нитратный, нитритный и аммонийный ионы) относят к биогенным веществам, участвующим в биологических процессах биоты [6]. Зафиксированные концентрации нитрит-

и нитрат-ионов характерны для природных поверхностных вод – 0…0,05 мг/дм^3 и 0,2…4,9 мг/дм^3 соответственно и подтверждаются в работе [7]. Концентрация ионов аммония в озере значительно превышает предельно допустимые нормы для водных объектов рыбохозяйственного назначения (0,5 мг/дм^3). Содержание аммония сильно варьирует как во временном диапазоне, так и по длине озера – от 0,4 до 28,3 мг/дм^3. Максимальные средние концентрации аммония в озере отмечены в мае (13,5 мг/дм^3 – до 0,3 м и 12,8 мг/дм^3 – до 1 м) и в августе (15,3 мг/дм^3 и 22,8 мг/дм^3 соответственно). Высокое содержание аммония приводит к повышению значения водородного показателя [7]. В мае среднее значение pH воды в озере выросло до 8,5 ед. pH, а в августе – 9,7 ед. pH. Выявлена средняя прямая корреляционная зависимость между концентрацией аммония в воде и pH (r_s = 0,3), что согласуется с данными, полученными в работе [8].

Таблица 2

Гидрохимические показатели воды в озере Иримное за июль – октябрь 2008 г.
(ОП – окисляемость перманганатная, Ж – жесткость,
″–″ – анализ на данный показатель не проводился)

Показатель, единица измерения	Глубина, м	июль		август		сентябрь		октябрь	
		2*	3	2	3	2	3	2	3
t, °C	0,3	25,1	24,8	19,6	18,4	13,8	12,5	13,8	12,5
	1	21,4	21,3	18,9	18,5	18,0	18,1	18,0	18,1
pH, ед. pH	0,3	6,7	6,5	9,8	9,7	7,7	7,8	7,8	7,2
	1	6,2	6,1	9,8	9,6	7,7	7,7	7,7	7,8
O_2, мг/дм^3	0,3	9,0	10,0	7,3	6,6	9,2	7,0	5,9	9,3
	1	3,4	3,2	8,2	7,0	8,3	5,9	8,4	5,3
ОП, мгО/дм^3	0,3	9,8	10,2	9,9	8,8	9,3	11,1	10,4	11,4
	1	10,0	11,0	6,9	9,5	6,4	7,4	10,4	12,1
$Fe^{общее}$, мг/дм^3	0,3	0,8	0,3	0,9	0,9	0,2	0,1	1,4	0,4
	1	0,8	0,5	0,9	0,9	0,2	0,2	0,3	0,3
SO_4^{2-}, мг/дм^3	0,3	13,6	11,8	13,8	3,8	7,1	12,0	9,2	6,5
	1	11,5	11,1	21,8	18,3	7,8	11,0	7,3	6,8
Cl^-, мг/дм^3	0,3	23,8	18,8	19,6	36,3	8,2	9,9	11,3	12,0
	1	22,6	23,0	8,2	10,2	9,2	8,5	10,6	13,9
NH_4^+, мг/дм^3	0,3	12,1	8,7	19,8	10,7	5,3	4,6	13,1	10,0
	1	15,3	10,9	17,4	28,3	6,2	8,1	14,5	11,5
NO_2^-, мг/дм^3	0,3	0,04	0,01	0,04	0,04	0,01	0,04	0,04	0,04
	1	0,02	0,02	0,01	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04
NO_3^-, мг/дм^3	0,3	2,0	2,4	2,1	2,4	1,9	0,7	0,8	0,5
	1	4,9	4,0	2,7	1,1	1,6	0,8	0,6	1,4
Ж, °Ж	0,3	1,1	1,1	1,7	1,6	1,2	1,3	1,2	1,1
	1	1,3	1,2	1,5	5,1	1,2	1,3	1,1	2,5
Ca^{2+}, мг-экв/л	0,3	0,6	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-
	1	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	-	-
Mg^{2+}, мг/дм^3	0,3	6,1	5,5	13,6	11,8	7,8	9,1	-	-
	1	7,4	6,3	11,3	55,3	7,1	8,4	-	-

Примечание. * в точке 1 взять пробу воды было невозможно, так как в районе этой точки кругом были установлены рыболовные сети.

Таблица 3

Коэффициент корреляции Спирмена между гидрохимическими показателями воды озера Иримное (ОП – перманганатная окисляемость, Ж – жесткость)

Показатель	t	pH	O_2	ОП	Fe	SO_4^{2-}	Cl^-	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	Ж	Ca^{2+}	Mg^{2+}
t	1	–	0,4	–0,9	–0,8	–	–	–	–	–	–	0,5	–0,4
pH		1	–	–0,5	–0,3	–	–	0,3	–	–	0,8	–0,3	0,8
O_2			1	–0,3	–	–	–	–	–	–	–0,3	0,4	–0,6
ОП				1	0,9	0,4	–	–0,3	–	–	–0,3	–	–
Fe					1	0,3	–	–0,4	–	–	0,3	–	–
SO_4^{2-}						1	–	–	–	–	–	0,7	–
Cl^-							1	–0,5	–	–	0,5	0,4	–
NH_4^+								1	–	–	–	–0,5	0,3
NO_2^-									1	–	0,3	–0,6	0,7
NO_3^-										1	–	–0,4	–
Ж											1	0	0,7
Ca^{2+}												1	–0,7
Mg^{2+}													1

Примечание. «–» – корреляция статистически не значима.

Так как озеро Иримное является водоемом замкнутого типа, то растворенный аммиак может образовываться в результате жизнедеятельности водной растительности, поступать с атмосферными осадками или в результате локального «свежего загрязнения» – возможного гниения рыбы в рыболовных сетях, установленных в большом количестве (до 7–10 сетей) на данном озере. Рыбное население озера было представлено преимущественно серебряным карасём (*Carassius auratus gibelio*) – (>90 %), а также золотым карасём (*Carassius carassius*) [1]. Данные виды рыб являются наиболее устойчивыми к негативным факторам среды, в том числе и заморам в зимнее время, когда содержание кислорода в воде составляет менее 6 мг/дм^3. Среднее содержание хлорид-ионов (20,7 мг/дм^3) и сульфат-ионов (12,6 мг/дм^3) в воде озера имеет природный характер, так как их концентрации находятся в диапазоне значений значительно ниже предельно допустимых концентраций (300 и 100 мг/дм^3 соответственно) для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Выводы

Определены средние прямые связи концентрации кислорода в воде с ее температурой. На глубине 1 м его концентрация минимальна в феврале – 0,6 мг/дм^3 (зимний замор) и максимальна в июне – 9,5 мг/дм^3. Определена слабощелочная реакция воды по среднему значению водородного показателя воды. Наблюдалось повышение значения pH при увеличении концентрации магния, жесткости и аммония в воде озера Иримное. Определены сильные статистически значимые прямые связи между pH и концентрации магния и жесткости, средние – между pH и концентрацией аммония в воде озера. При повышении содержания железа в воде увеличивается окисляемость перманганатная. Значения концентраций аммония, железа и окисляемости перманганатной выше предельно допустимых концентраций для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Статья подготовлена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы ФНИ № 0408-2014-0019 «Миграционные процессы радионуклидов и химических поллютантов в экосистеме водоемов Обь-Иртышского бассейна».

Список литературы / References

1. Борисенко Э.С., Мочек А.Д., Павлов Д.С., Чемагин А.А. Распределение рыб в речной системе Нижнего Иртыша // Вопросы ихтиологии. 2013. Т. 53. № 1. С. 31–43. DOI: 10.7868/S0042875213010049.

Borisenko E.S., Mochek A.D., Pavlov D.S., Chemagin A.A. Distribution of fishes in the river system of the Lower

Irtysh // Journal of Ichthyology. 2013. T. 53. № 1. C. 16–27. DOI: 10.1134/S0032945213010049.

2. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши: в 2 ч. Под ред. Л.В. Боева. Ростов-на-Дону: ГУ: Изд-во «НОК», 2009. 514 с.

Guide to the chemical analysis of a surface water of sushi: in 2 h Under the editorship of L.V. Boev. Rostov-on-Don: GU: NOK publishing house, 2009. 514 p. (in Russian)

3. Ильин Г.В., Матишов Г.Г., Миронов О.Г., Павлова Л.Г., Петров В.С., Щекатурина Т.Л. Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение). Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 404 с.

Ilin G.V., Matishov G.G., Mironov O.G., Pavlova L.G., Petrov V.S., Shekaturina T.L. Chemical processes in the ecosystems of northern seas (chemical hydrology, geochemistry, oil pollution). Apatity: KNCz RAN, 1997. 404 p. (in Russian).

4. Крохалевский В.Р., Гапонов И.А. Гидробиологическая характеристика озёр Упоровского района Тюменской области // Синергия наук. 2018. № 24. С. 1603–1607.

Krohalevskij V.R., Gaponov I.A. Hydrobiological characteristics of lakes in the Uporovskiy district of the Tyumen region // Sinergiya nauk. 2018. № 24. P. 1603–1607 (in Russian).

5. Агбалян Е.В., Шинкарук Е.В., Хорошавин В.Ю. Характеристика химических показателей воды в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2016. № 2 (91). С. 44–49.

Agbalyan E.V., Shinkaruk E.V., Horoshavin V.Yu. Characteristics of chemical water indicators in the Tazovsky region of the Yamal-Nenets Autonomous District // Nauchnyj vestnik Yamalo-Neneckogo avtonomnogo okruga. 2016. № 2 (91). P. 44–49 (in Russian).

6. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Лукин А.А., Кудрявцева Л.П. и др. Антропогенные модификации озера Имандра. Отв. ред. Т.И. Моисеенко. М.: Наука, 2002. 403 с.

Moiseenko T.I., Dauvalter V.A., Lukin A.A., Kudryavceva L.P. et al. Anthropogenic modifications of the Imandra lake. Otv. red. T.I. Moiseenko. M.: Nauka, 2002. 403 p. (in Russian).

7. Никаноров А.М. Фундаментальные и прикладные проблемы гидрохимии и гидроэкологии: учебное пособие. Ростов н/Д.: Изд-во Южного федерального университета, 2015. 572 с.

Nikanorov A.M. Fundamental and applied problems of hydrochemistry and hydroecology: uchebnoe posobie. Rostov n/D.: Izd-vo Yuzhnogo federalnogo universiteta, 2015. 572 p. (in Russian).

8. Гетманец И.А., Артеменко Б.А. Гидрохимическая оценка уровня загрязнения воды реки Миасс на территории Челябинской области // Фундаментальные исследования. 2013. № 10–6. С. 1248–1252.

Getmanec I.A., Artemenko B.A. Hydrochemical assessment of the water pollution level of the Miass River in the Chelyabinsk Region // Fundamental research. 2013. № 10–6. P. 1248–1252 (in Russian).

УДК 551.51:551.578.4(571.5)

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОБЕРЕЖЬЯ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОЗЕРА

Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Гагаринова О.В., Янчук М.С., Лопатина Д.Н.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: belozia@mail.ru

Зимой – весной 2015-2017 гг. авторы провели отбор проб снега с целью идентификации источников загрязнения снежного покрова, который является индикатором атмосферного загрязнения над акваторией оз. Байкал. Отобрано более 300 проб снега на акватории оз. Байкал и прилегающей территории. Параллельно в зимне-весеннее, летнее и осеннее время были отобраны образцы проб воды оз. Байкал и рек, впадающих в него, а также почв побережья – в летний период (всего > 1000 проб). Результаты химического анализа снега показали аномальные концентрации следующих химических элементов и веществ: F, PO_4, Cl, SO_4, NO_3, NO_2, Na, K, NH_4, Si, Fe, Mo, Mn, Ba, Be, Al, Pb, Cu, Ni, V, Cr, Zn, Ti, Sr, Hg, нефтепродукты, превышающие их фоновые значения. Загрязнение снега и атмосферного воздуха выявлено около населенных пунктов побережья оз. Байкал и в устье реки Селенги. Содержания аммония, свинца, бериллия, ртути и нефтепродуктов в снеге превышают ПДК. В результате проведенных исследований установлено, что современный химический состав воды оз. Байкал, с точки зрения ее питьевых качеств, отвечает требованиям санитарных норм вследствие аккумуляции загрязняющих веществ в почвах и аллювиальных отложениях, а также разбавления огромным количеством воды озера. Исключение составляют некоторые локальные участки прибрежной зоны. В почвах побережья обнаружено локальное повышенное содержание Mn, Pb, Ni, Co, Cr, Zn, Cu, превышающее ПДК и ОДК вблизи населенных пунктов. В водах некоторых рек, впадающих в озеро, обнаружены высокие концентрации F, Fe, Pb, Zn, Cu, Ni, PO_4, NH_4. Ландшафты устьевых участков рек являются геохимическим барьером для токсических веществ.

Ключевые слова: атмосфера, снег, вода, почва, загрязнение, озеро Байкал

ECOLOGICAL STATUS OF THE COAST OF LAKE BAIKAL AND ITS INFLUENCE ON THE LAKE POLLUTION

Belozertseva I.A., Vorobeva I.B., Vlasova N.V., Gagarinova O.V., Yanchuk M.S., Lopatina D.N.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: belozia@mail.ru

In the winter and spring periods of 2015-2017, the authors of the current scientific paper collected the snow samples in order to identify the snow cover pollution level which is generally seen as an indicator of the atmosphere pollution in the Baikal water area. More than 300 snow samples have been collected in the water area of Lake Baikal and the adjoining territories. Water samples of Lake Baikal and the rivers flowing into the lake as well as soil samples of its shoreline were also collected at the same period, and in the summer and autumn (total over 1000 samples). The chemical analyses of the snow cover have revealed the anomalies for the following chemical elements and substances: F, PO_4, Cl, SO_4, NO_2, NO_3, K, Na, NH_4, Mo, Mn, Ba, Al, Pb, Ni, Cu, Be, V, Cr, Fe, Si, Zn, Sr, Ti, Hg and petroleum products which all exceed their background concentrations. Air and snow pollution of the lake's water area has been detected near the littoral residential zones and in the estuary of the Selenga River. The concentrations of NH_4, Pb, Be, Hg and petroleum products in the snow water exceed the MAC. According to the research, the current chemical composition of Lake Baikal's water, in terms of its drinking properties, conforms to health and safety standards due to the accumulation of pollutants in soil and alluvial deposits and their delution with a huge amount of lake water. The only exceptions are some local areas of the shoreline. A local increase in the content of Mn, Pb, Ni, Co, Cr, Zn, Cu which all exceed the MAC and the APC values has been detected near the populated areas. High concentrations of F, Fe, Pb, Zn, Cu, Ni, PO_4, NH_4 have been detected in the large rivers flowing into the lake. The landscapes of the rivers' estuaries serve as a geochemical barrier for toxic substances.

Keywords: atmosphere, snow, water, soil, pollution, Lake Baikal

Объекты исследования – снег Центральной экологической зоны Байкальской природной территории (ЦЭЗ БПТ), вода акватории оз. Байкал, а также рек, впадающих в озеро, и почв побережья. Объекты являются уникальными, что определено существованием на этой территории самого чистого и глубокого озера, объекта всемирного наследия. Это самое большое и пресное озеро на планете. Огромные резервы пресной воды в озере, которые составляют 20 % от общей суммы их запасов в мире, а также проблемы нехватки водных ресурсов на земле требуют мирового внимания исследователей. Качество пресной воды оз. Байкал, насыщенной кислородом, с низким содержанием минеральных солей и органических веществ, имеет особую ценность. К сожалению, в Байкальском регионе находятся мощные источники загрязнения окружающей среды. Какую опасность они могут представлять для озера Байкал и его окружающей среды?

Материалы и методы исследования

В феврале – марте 2015–2017 гг. авторами проведен отбор проб снега для идентификации загрязнения снежного покрова, который является индикатором атмосферного загрязнения в ЦЭЗ БПТ. Пробоотбор осуществлялся на ключевых площадках с учетом источников поступления загрязняющих веществ и преобладающих ветров (рис. 1). Отобрано более 300 проб снега на акватории оз. Байкал, побережья и прилегающей территории. Параллельно в зимне-весеннее (февраль – март), летнее (июль – август) и осеннее (сентябрь) время были отобраны образцы проб воды оз. Байкал и рек, впадающих в него, а также почв побережья – в летний период (всего > 1000 проб). Анализы выполнены в химической лаборатории Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН по стандартным методам (ГОСТам) на современном оборудовании. Химическая лаборатория аккредитована и имеет лицензию на проведение анализов. Содержание основных ионов в воде снега определено стандартизированными химическими методами, учитывающими требования ГОСТов. Концентрации макро- и микроэлементов установлены атомно-эмиссионным спектральным методом (Optima 2000 DV). Содержание фтора измерялось на иономере, нефтепродуктов – на флюорате.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенных исследований авторов [1–3], а также изданных работ сотрудников различных научно-исследовательских организаций [4–6] возможно сделать вывод, что основные источники атмосферного загрязнения на оз. Байкал – это расположенные в бассейне и на побережье озера промышленные предприятия, Транссибирская и Байкало-Амурская железнодорожные магистрали, воздушный перенос загрязнителей из Иркутско-Черемховского промышленного узла. Воздушные выбросы предприятий и котельных городов Байкальска, Слюдянки, Северобайкальска и поселков, расположенных в котловине Байкала, имеют самую высокую вероятность (10–100 %) попадания в озеро.

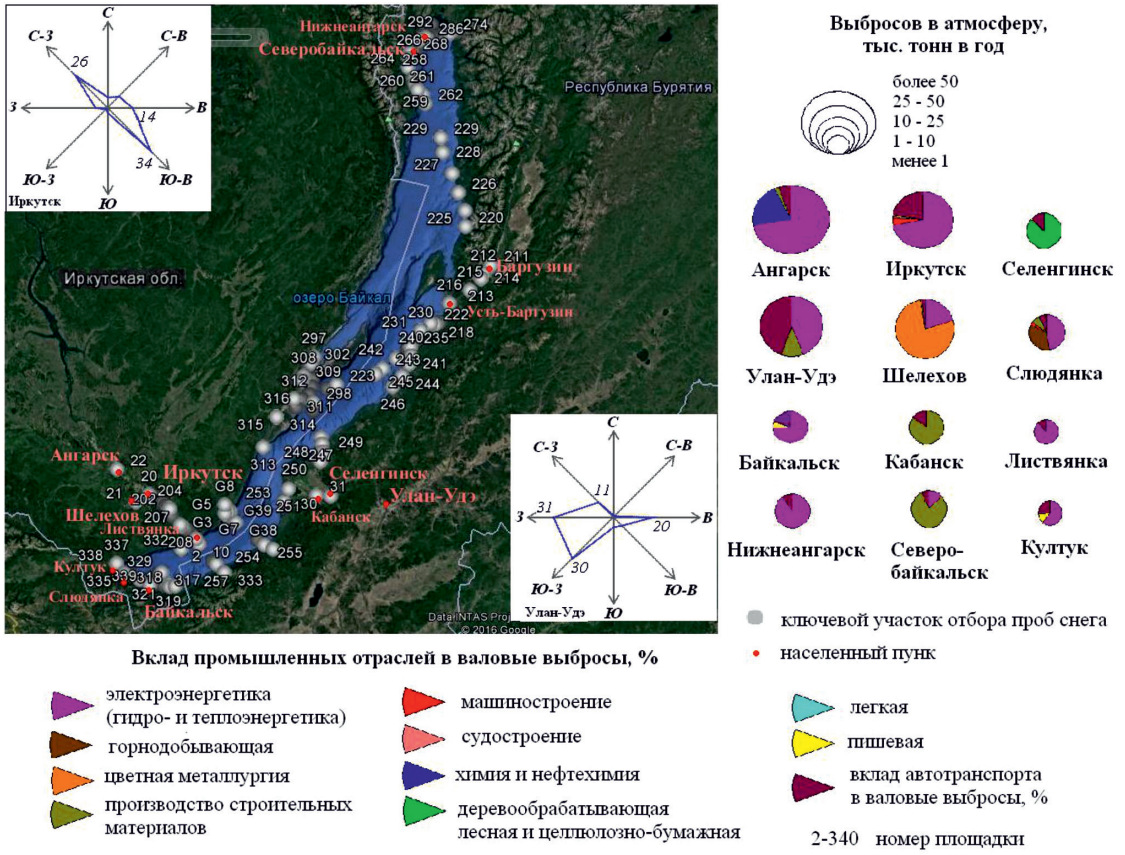


Рис. 1. Точки отбора проб снега и основные источники загрязнения

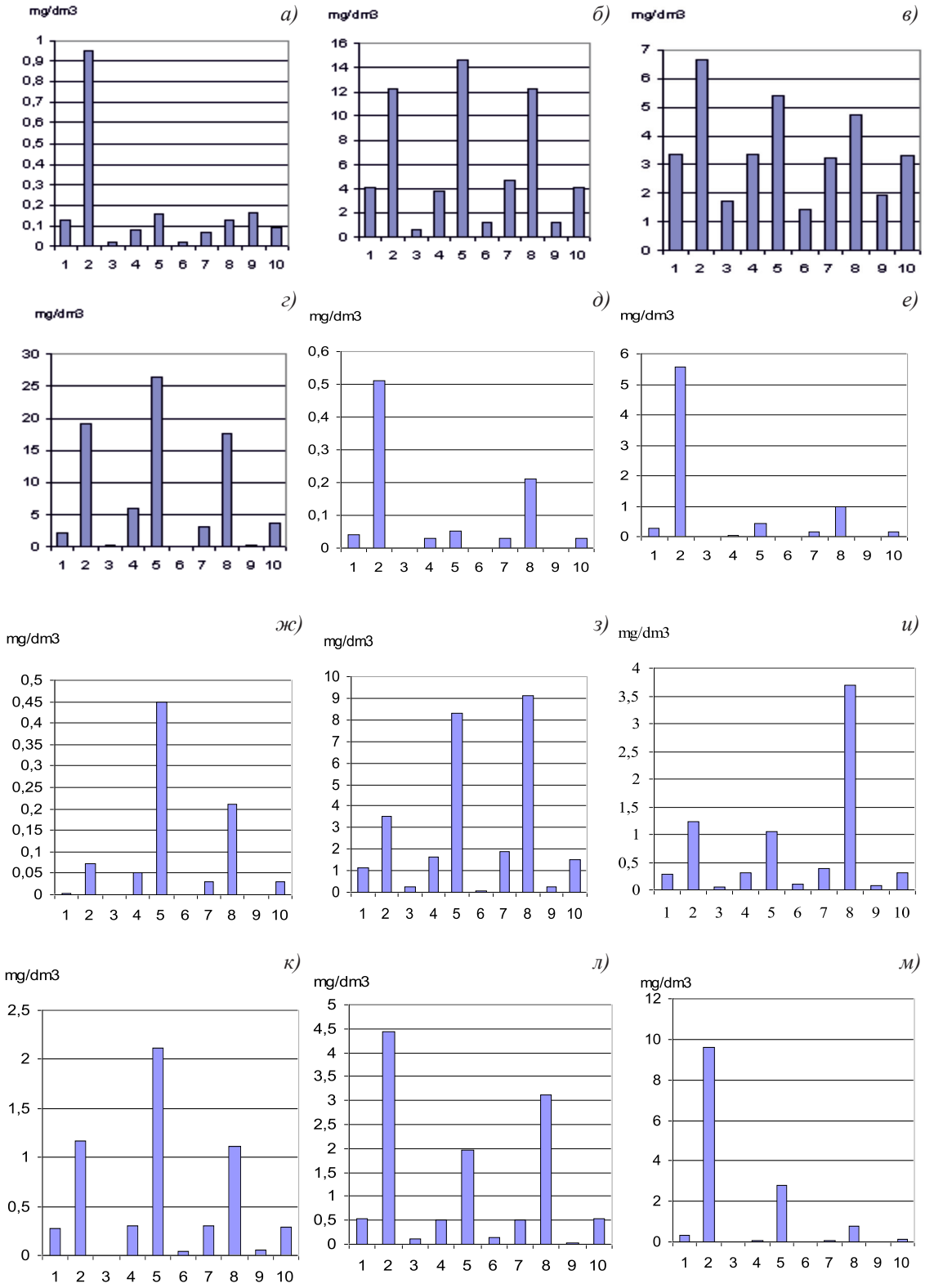


Рис. 2. Содержание химических элементов и веществ а) F, б) HCO_3, в) Cl, г) SO_4, д) NO_2, е) NO_3, ж) PO_4, з) Ca, и) Mg, к) K, л) Na, м) NH_4 в снеговой воде оз. Байкал и прилегающей территории. Южная котловина: 1 – среднее, 2 – макс., 3 – минимальное содержание; Средняя котловина: 4 – среднее, 5 – макс., 6 – минимальное содержание; Северная котловина: 7 – среднее, 8 – макс., 9 – минимальное содержание; озеро Байкал всего: 10 – среднее содержание ПДК, ОДК: F – 0,7-1,5; Cl – 350; SO_4 – 500; NO_3 – 130; PO_4 – 0,001; Ca – 180; Mg – 50; K – 40–50; Na – 120–200; NH_4 – 0,4 mg/dm^3

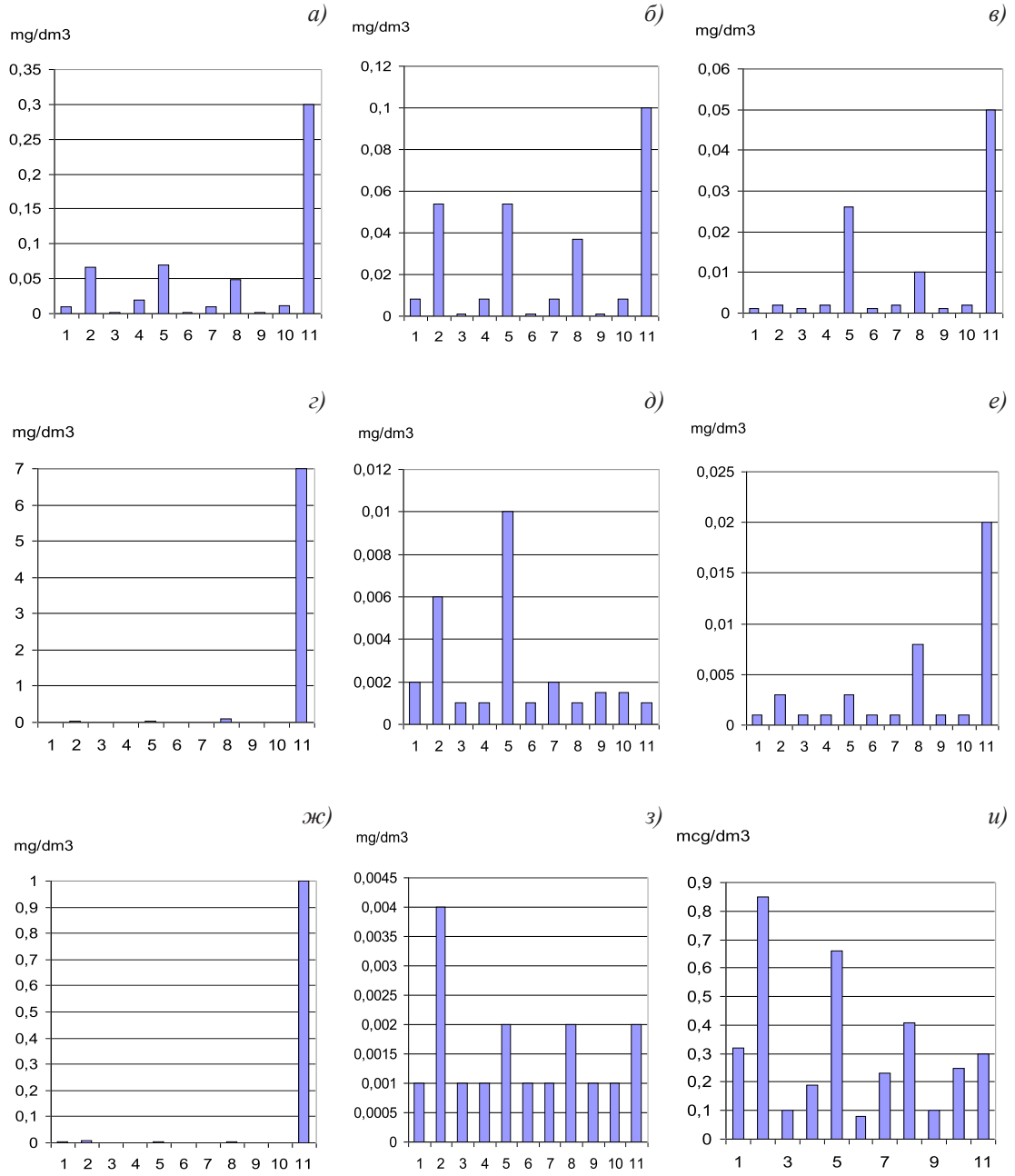


Рис. 3. Содержание а) Fe, б) Mn, в) Cr, г) Zn, д) Pb, е) Ni, ж) Cu, з) Be, и) Hg в снеговой воде озера Байкал и прилегающей территории. Южная котловина: 1 – среднее, 2 – максимальное, 3 – минимальное содержание; Средняя котловина: 4 – среднее, 5 – макс., 6 – мин. содержание; Северная котловина: 7 – среднее, 8 – макс., 9 – мин. содержание; озеро Байкал всего: 10 – среднее содержание; 11 – ПДК, ОДК

Результаты химического анализа снега Южной котловины оз. Байкал и прилегающей территории выявили аномалии, приуроченные к долине реки Ангары и населенным пунктам (н.п.) Листвянка, Слюдянка, Култук, Байкальск с повышенными концентрациями для следующих химических элементов и веществ: NH_4, NO_3, PO_4, NO_2, SO_4, F, Na, K, Cl, Si, Ba, Mn, Zn, Fe, V, Al, Be, Sr, Ti, Mo, Pb, Ni, Cu, Hg и нефтепродукты, превышающие фоновые содержания в 30, 20, 18, 13, 9, 8, 8, 4, 2, 20, 12, 7, 7, 7, 6, 5, 4, 4, 4, 4, 3, 3, 3, 3 и 4 раз соответственно (рис. 2, 3, табл. 1). Фоновые концентрации

большинства химических элементов в снеге низкие. Содержания аммония, свинца, бериллия, ртути и нефтепродуктов в снеговой воде превышают ПДК в 24, 4, 6, 2, 3 раза соответственно. Их максимальные концентрации зафиксированы на побережье озера.

Таблица 1

Содержание нефтепродуктов, минерализация, pH в воде снега озера Байкал и прилегающей территории

Регион	Содержание	pH	Взвешенное вещество мг/дм^3	Минерализация мг/дм^3	Нефтепродукты, мг/дм^3
Южная котловина Байкала	среднее	6,44	0,070	10,8	0,050
	max	7,14	0,559	20,1	0,202
	min	6,06	0,001	5,84	0,008
Средняя котловина Байкала	среднее	6,42	0,130	10,9	0,040
	max	7,39	0,690	28,3	0,140
	min	6,00	0,003	5,47	0,007
Северная котловина Байкала	среднее	6,44	0,070	11,8	0,050
	max	7,03	0,192	27,2	0,117
	min	5,88	0,001	5,95	0,010
Озеро Байкал, всего	среднее	6,43	0,09	11,1	0,050
ПДК, ОДК, ГОСТ 2874-82			–	–	0,050

Примечание. ПДК – Предельно допустимая концентрация; ОДК – Ориентировочно допустимая концентрация; ГОСТ – государственный стандарт; взвешенное вещество – твердый остаток на фильтре (пыль); минерализация – сухой остаток (сумма солей).

Согласно проведенным работам в Средней котловине оз. Байкал выявлены аномальные концентрации химических веществ в снежном покрове в Приольхонье, в устье рек Баргузин и Серенги. Обнаружены локальные аномалии в прибрежной зоне Приольхонья, где наблюдается повышенное содержание химических элементов в снеге, что может быть связано с антропогенной нагрузкой вблизи населенных пунктов и турбаз, а также с терригенной пылью пород и почв. Наблюдаются процессы переноса частиц почв и пород на акваторию озера с бесснежных остепненных участков Приольхонья как последствие сильных ветров. Загрязнение снега акватории озера имеет природный и локальный характер. Выявлены высокие содержания токсичных элементов в устье р. Селенга и Баргузин, что может быть следствием переноса техногенных выбросов по долинам рек от ТЭЦ, котельных, строительных и лесоперерабатывающих предприятий н.п. Кабанск, Селенгинск, Усть-Баргузинск и Баргузин.

Повышенные концентрации в снеге Средней котловины оз. Байкал имеют следующие химические элементы и вещества: NH_4, PO_4, NO_3, K, Na, SO_4, F, Cr, Si, Pb, Mn, Mo, Zn, Sr, Ti, Hg Al, Ni, Ba, V, Fe и нефтепродукты, превышающие фоновые значения в 35, 20, 9, 7, 4, 4, 2, 13, 10, 10, 7, 5, 5, 5, 5, 4, 4, 3, 2, 2, 2 и 4 раз соответственно. Содержания аммония, ртути и нефтепродуктов в снеговом покрове превышают санитарно-гигиенические нормы в 7, 3 и 3 раза. Максимальные значения химических элементов приурочены к побережью озера и имеют локальное распространение.

Анализ проведенных работ в Северной котловине оз. Байкал выявил контрастные аномальные содержания SO_4, PO_4, NH_4, NO_3, Na, K, Si, Ni, Sr, Mn, Cr, Fe, Al, Pb, Mo, Ba, Cu, V и нефтепродуктов, превышающие фоновые значения в 55, 12, 9, 6, 6, 4, 14, 8, 6, 5, 5, 5, 4, 4, 3, 3, 3, 3 и 2 раза около п.г.т. Нижнеангарска и г. Северобайкальска. Концентрации аммония, свинца и нефтепродуктов в снеге превышают ПДК и ОДК в 2, 7 и 2 раза соответственно. Основные источники загрязнения атмосферы – предприятия строительных материалов, котельные и автотранспорт. Загрязнение побережья имеет локальное распространение.

Согласно проведенным химическим анализам вод оз. Байкал и почв побережья установлено, что современный химический состав воды оз. Байкал с точки зрения ее питьевых качеств отвечает требованиям санитарных норм [3, 7] вследствие аккумуляции загрязняющих веществ в почвах и аллювиальных отложениях, а также разбавления огромным количеством воды озера. Однако

в прибрежных водах (в нескольких метрах от береговой линии) локально обнаружены высокие содержания свинца, фосфатов, аммония и нефтепродуктов, превышающие санитарно-гигиенические нормы вблизи оз. Котокель, н.п. Северобайкальск, Нижнеангарск, Сарма, Черноруд, Танхой, Байкальск, Бугульдейка, Усть-Баргузин, Горячинск, Монахово, Посольское, Дубинино (табл. 2).

Концентрации свинца в прибрежных водах оз. Байкал вблизи п. Черноруд достигают 0,009 мг/дм^3, п. Бугульдейка – 0,06 мг/дм^3, п. Танхой – 0,010 мг/дм^3, г. Усть-Баргузин – 0,020 мг/дм^3, с. Горячинск – 0,020 мг/дм^3, г. Нижнеангарск – 0,023 мг/дм^3 (ПДК – 0,001 мг/дм^3), что является сочетанием влияния двух факторов – естественное природное повышенное содержание элемента в почвах и почвообразующих породах [8, 9], а также поступление вследствие сжигания углей и моторного топлива в береговой зоне и со сточными водами.

Содержание никеля в прибрежных водах около с. Горячинск и п.г.т. Усть-Баргузин превышает ПДК в 3 раза. Сравнение содержания данного элемента с фоновыми природными концентрациями в почвах, грунтах и поверхностных водах свидетельствует об антропогенном генезисе превышений ПДК. Повышенное содержание никеля, относящегося к канцерогенным элементам, имеет техногенное происхождение и связано с промышленными (котельные) и бытовыми (сжигание угля) выбросами.

Максимальное содержание PO_4 в прибрежных водах озера около оз. Котокель составляет 0,014 мг/дм^3, п. Сарма – 0,01 мг/дм^3, п. Еланцы – 0,04 мг/дм^3, п. Монахово – 0,009 мг/дм^3, с. Горячинск – 0,06 мг/дм^3, с. Посольское – 0,05 мг/дм^3, п. Бабушкин – 0,01 мг/дм^3, г. Байкальск – 0,02 мг/дм^3, г. Слюдянка – 0,02 мг/дм^3 (ПДК – 0,001 мг/дм^3). Большое количество фосфатов поступает в воду с бытовыми стоками и моющими средствами, что приводит к эвтрофированию водных объектов, в частности пример экологической катастрофы 2008–2011 гг. на оз. Котокель. Развитие возбудителей Гаффской болезни в водах озера по предположению ученых связано с интенсивным развитием хозяйственно-рекреационной деятельности на берегах водоема при недостаточной очистке сточных вод [10].

Максимальные концентрации NH_4 в воде устьевых участков рек Вехняя Ангара, Кичера, Сухая, побережья озера напротив населенных пунктов Танхой, Байкальск, Еланцы, Черноруд, Бугульдейка имеют следующие значения – 1,04; 0,55; 0,40; 0,44; 0,48; 0,55; 0,60; 0,64 мг/дм^3 соответственно (ПДК – 0,4 мг/дм^3). Поступление аммония в озеро обусловлено сбросами канализационных вод и диффузными фильтрациями из индивидуальных септиков. Выявлено высокое содержание меди и цинка в береговых водах, превышающее фоновые концентрации около Ольхонских ворот, н.п. Кубурлик, Горячинск, Выдрино, Большие Коты, Бабушкин, Танхой, Листвянка, Большое Голоустное, Усть-Баргузин, Истомино, составляющее более 0,01 мг/дм^3. Концентрации нефтепродуктов в прибрежных водах вблизи н.п. Большое Голоустное, Слюдянка, Максимовщина, Нижнеангарск составляют от 0,06 до 0,34 мг/дм^3 (ПДК – 0,05 мг/дм^3). Источником загрязнения являются предприятия промышленности, энергетики и автотранспорт.

В почвах побережья оз. Байкал обнаружено локальное высокое содержание Mn, Pb, Ni, Co, Cr, Zn, Cu (более 1500, 35, 45, 20, 100, 100, 130 мг/кг соответственно), превышающее ПДК и ОДК побережья оз. Оренгутай, Котокель, Духовое, Чивыркуйского залива, вблизи н.п. Листвянка, Байкальск, Бабушкин, Большое Голоустное, Сарма, Кабанск, Турка, Танхой, Усть-Баргузин, Северобайкальск и Нижнеангарск [2]. Максимальные концентрации химических элементов в почвах по отношению к фону также имеют: Ba, Sr, V и нефтепродукты (1708, 507, 142 и 258 мг/кг), но не превышают санитарно-гигиенические нормативы. Высокое содержание органического вещества, слабощелочная и щелочная реакция среды способствуют накоплению ТМ в почвах береговой зоны, т.е. являются депонирующей средой – «геохимическим барьером» для поступления загрязняющих веществ в оз. Байкал. Однако следует иметь в виду, что почвы, сформированные на карбонатных породах, часто имеют природное высокое фоновое содержание макро- и микроэлементов, например, в Приольхонье.

В водах рек Селенга, Баргузин, Утулик, Турка, Кичера, Верхняя Ангара, Тыя, Мысовка, Переемная, Сухая, Мантуриха, Сарма, Анга обнаружены высокие концентрации F, Fe, Pb, Zn, Cu, PO_4, NH_4. Содержание свинца, фосфатов, аммония, фторидов и нефтепродуктов в воде рек превышают ПДК и ОДК (табл. 3, 4). В водах рек Малая Черемшанка, Большая Черемшанка, Сеннушка, Крестовка, Банная, Ангасолка, Холл, Култучная, Куркавочная, Осиновка, Шаманка, Максимиха, Бабха, Галутай, Харлакта, Голоустная, Паньковка, Энхалух, Большая речка, Хаара-Мурин, Кика, Похабиха, Хаим загрязнения не обнаружено.

Таблица 2

Содержание химических элементов и веществ в воде озера Байкал

Компонент	Южная котловина оз. Байкал			Средняя котловина оз. Байкал			Северная котловина оз. Байкал			Приб. воды	ПДК, ОДК**
	max	min	сред.	max	min	сред.	max	min	сред.		
pH	7,80	6,97	7,35	7,81	6,78	7,33	7,90	6,66	7,47	8,37	–
F	0,650	0,060	0,270	0,210	0,004	0,122	0,652	0,091	0,443	**1,060**	0,7–1,5
HCO_3	93,33	32,12	57,39	81,74	10,01	40,13	79,30	29,70	50,27	104,07	–
Cl	2,02	0,01	0,24	0,06	0,01	0,03	0,04	0,01	0,02	3,57	350
SO_4	8,80	4,95	6,07	24,75	2,18	7,37	22,00	4,21	6,89	25,08	500
NO_2	0,05	0,01	0,03	0,40	0,01	0,06	0,04	0,01	0,02	1,260	–
NO_3	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	55,00	130
PO_4	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	**0,061**	0,001
Ca	30,52	10,21	17,34	18,63	10,01	15,13	28,05	10,11	14,12	41,10	180
Mg	7,48	2,01	3,88	2,92	2,01	2,78	6,23	2,01	3,16	8,78	50
K	1,99	1,12	1,29	1,98	1,04	1,43	1,85	1,19	1,32	2,18	40–50
Na	4,78	2,24	2,65	3,98	2,01	2,75	2,29	2,05	2,56	8,51	120–200
NH_4	0,100	0,010	0,040	0,030	0,010	0,015	0,030	0,010	0,013	**0,640**	0,4
Mo	0,022	0,001	0,003	0,016	0,001	0,004	0,020	0,001	0,003	0,102	0,25
Mn	0,080	0*	0,012	0,013	0*	0,002	0,008	0*	0,003	0,080	0,1
Ba	0,070	0,007	0,019	0,017	0,009	0,013	0,036	0,008	0,015	0,070	0,7
Al	0,049	0,017	0,026	0,033	0,010	0,017	0,051	0,020	0,026	0,120	0,5
Pb	0,009	0*	0,001	0,010	0*	0,001	0,010	0*	0,001	**0,023**	0,01–0,001
Ni	0,001	0*	0*	0,001	0*	0*	0,001	0*	0*	0,010	0,02
Cu	0,009	0,001	0,004	0,009	0,001	0,003	0,009	0,001	0,004	0,026	1,0
Be	0,001	0*	0*	0,001	0*	0,001	0,001	0*	0,001	0,002	0,002
V	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007	–
Cr	0,002	0*	0,001	0,001	0*	0,001	0,001	0*	0*	0,010	0,05
Fe	0,022	0,001	0,006	0,040	0,001	0,006	0,160	0,002	0,028	0,165	0,3
Si	7,144	0,001	1,122	1,465	0,001	0,219	4,471	1,392	2,325	6,510	10
Zn	0,010	0*	0,003	0,002	0*	0,001	0,001	0*	0*	0,090	5–1
Sr	0,620	0,001	0,107	0,117	0,010	0,044	0,262	0,046	0,093	0,620	7
Ti	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	–
Co	0,002	0*	0,001	0,002	0*	0,001	0,002	0*	0,001	0,002	0,1
Cd	0,001	0*	0,001	0,001	0*	0*	0,001	0*	0,001	0,003	0,001–0,005
Hg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,12	0,3–0,5
Petrol.	0,049	0,011	0,018	0,045	0,010	0,018	0,049	0,005	0,015	**0,338**	0,05
Susp.	0,0086	0,0001	0,0030	0,0262	0,0003	0,0108	0,0290	0,0010	0,0060	0,0110	–
∑***	135,53	63,20	89,25	113,27	37,43	69,38	120,83	53,35	82,00	160,32	–

Примечание. 0* – менее 0,001; ПДК, ОДК** – предельно допустимые и ориентировочные концентрации; ∑*** – минерализация; сред. – среднее содержание; Приб. – прибрежные воды оз. Байкал; Petrol. – нефтепродукты; Susp. – взвешенное вещество (твердый остаток на фильтре, пыль). F, HCO_3, Cl, SO_4, NO_2, NO_3, PO_4, Ca, Mg, K, Na, NH_4, Mo, Mn, Ba, Al, Pb, Ni, Cu, Be, V, Cr, Fe, Si, Zn, Sr, Ti, Co, Cd, нефтепродукты, минерализация (мг/дм^3); Hg (мкг/дм^3); Взвешенные вещества (г/дм^3).

Таблица 3

Содержание химических элементов и веществ в воде
рек Селенга, Баргузин, Верхняя Ангара и Тыя

Компонент	Селенга			Баргузин			Верхняя Ангара			Тыя		
	max	min	сред.	max	min	сред.	max	min	сред.	max	min	сред.
pH	9,72	6,99	7,99	8,05	7,31	7,85	8,37	7,03	7,93	8,01	7,46	7,77
F	**3,140**	0,059	0,162	0,223	0,085	0,164	0,234	0,105	0,195	0,162	0,041	0,105
HCO_3	125,35	18,12	81,84	90,06	36,58	65,27	58,01	40,36	48,75	76,05	37,08	57,29
Cl	3,93	1,78	2,49	18,50	1,60	4,12	2,50	0,19	0,20	2,32	1,96	2,11
SO_4	6,80	1,00	5,50	2,10	1,00	2,70	9,37	1,00	3,56	3,80	0,10	0,70
NO_2	0,101	0,001	0,021	0,200	0,008	0,034	0,041	0,001	0,016	0,021	0,003	0,010
NO_3	63,00	0,01	12,29	11,60	0,01	1,55	0,60	0,01	0,19	3,60	0,01	1,16
PO_4	**0,061**	0,001	0,017	**0,077**	0,001	0,012	**0,100**	0,001	0,005	**0,100**	0,001	0,006
Ca	57,40	4,46	28,92	38,85	16,80	28,95	15,88	10,06	14,32	21,79	16,01	18,13
Mg	10,19	0,83	5,96	8,55	3,39	4,33	3,55	1,64	2,82	6,62	3,21	4,46
K	4,06	0,54	1,76	2,96	0,40	1,94	1,05	0,26	0,75	1,10	0,18	0,74
Na	21,02	0,19	5,55	11,37	1,90	4,86	3,58	1,30	2,69	3,65	0,01	2,11
NH_4	0,150	0,001	0,023	0,250	0,012	0,059	1,040	0,023	0,118	0,225	0,001	0,079
Mo	0,015	0,001	0,006	0,011	0,001	0,003	0,021	0,001	0,009	0,030	0,001	0,011
Mn	0,050	0,001	0,009	0,060	0,001	0,008	0,005	0,001	0,003	0,026	0,001	0,008
Ba	0,040	0,004	0,018	0,024	0,010	0,019	0,030	0,001	0,011	0,020	0,009	0,011
Al	0,060	0,001	0,036	0,050	0,001	0,020	0,030	0,001	0,015	0,325	0,020	0,065
Pb	**0,020**	0,001	0,003	**0,020**	0,001	0,002	0,003	0,001	0,002	0,003	0,001	0,002
Ni	**0,050**	0,001	0,004	0,001	0*	0,001	0,002	0*	0,001	0,002	0*	0,001
Cu	0,020	0,001	0,006	0,004	0,001	0,001	0,008	0,001	0,002	0,005	0,001	0,003
Be	0,002	0,001	0,001	0,001	0*	0,001	0,002	0*	0,001	0,002	0*	0,001
V	0,005	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,008	0,001	0,004	0,010	0,001	0,004
Cr	0,010	0,001	0,004	0,001	0*	0,001	0,001	0*	0,001	0,003	0*	0,002
Fe	0,236	0,001	0,061	0,186	0*	0,043	0,020	0,001	0,010	0,055	0,001	0,016
Si	8,490	0,221	3,513	7,640	0,280	2,691	4,390	0,001	2,020	4,955	0,330	2,540
Zn	0,220	0,001	0,028	0,002	0,001	0,001	0,005	0,001	0,002	0,042	0*	0,014
Sr	0,270	0,020	0,145	0,190	0,035	0,103	0,180	0,002	0,063	0,150	0,042	0,092
Ti	0,020	0,001	0,007	0,005	0,001	0,002	0,006	0,001	0,003	0,008	0,001	0,004
Co	0,010	0,001	0,003	0,002	0*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,010	0,001	0,002
Cd	0,001	0,001	0,001	0,002	0*	0,001	0,001	0*	0,001	0,001	0*	0,001
Hg	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Petrol.	**0,129**	0,001	0,016	**0,082**	0,002	0,004	**0,080**	0,001	0,018	**0,068**	0,003	0,007
Susp.	0,160	0,025	0,096	0,169	0,042	0,111	0,053	0,043	0,048	0,103	0,041	0,056
∑***	214,95	28,05	139,58	120,23	96,51	11,56	84,28	62,11	75,43	108,92	66,45	86,29

Примечание. 0* и другие см. в табл. 2. Расход воды рек: Селенга – 775–2140, Баргузин – 86–175, Верхняя Ангара – 67–128, Тыя – 92–112 л/с.

Таблица 4

Содержание химических элементов и веществ в воде
рек Кичера, Турка, Утулик, Сарма и Анга

Компонент	Кичера			Турка			Утулик			Сарма, Анга		
	max	min	сред.	max	min	сред.	max	min	сред.	max	min	сред.
pH	7,99	7,96	7,97	8,30	7,10	7,83	7,71	7,00	7,50	8,28	7,81	7,98
F	0,181	0,169	0,175	0,195	0,078	0,141	0,158	0,060	0,109	0,191	0,070	0,112
HCO_3	34,11	31,09	32,60	40,12	21,02	30,71	55,32	55,01	55,17	82,02	36,50	60,32
Cl	0,41	0,20	0,20	0,31	0,18	0,24	2,50	0,18	0,21	2,50	0,20	0,67
SO_4	4,10	0,70	1,10	8,50	0,10	1,70	22,00	0,10	4,01	20,10	0,10	5,23
NO_2	0,022	0,022	0,022	0,030	0,008	0,019	0,650	0,008	0,029	0,050	0,004	0,020
NO_3	0,01	0,01	0,01	0,50	0,01	0,11	1,15	0,85	1,00	11,60	0,01	2,67
PO_4	**0,023**	0,005	0,014	**0,021**	0,001	0,004	0,002	0,001	0,002	**0,060**	0,002	0,028
Ca	15,99	10,41	13,20	15,10	9,18	12,41	31,78	13,60	17,69	37,63	16,80	28,24
Mg	3,31	2,15	2,73	3,26	1,10	2,43	7,69	4,95	3,82	8,55	3,41	6,34
K	0,90	0,47	0,69	3,10	0,73	1,43	5,03	0,98	2,10	1,89	0,31	0,75
Na	3,15	1,98	2,57	8,34	1,95	3,86	5,23	4,49	4,86	3,36	0,67	1,73
NH_4	**0,550**	0,020	0,119	0,300	0,002	0,055	0,025	0,015	0,020	0,036	0,005	0,019
Mo	0,005	0,001	0,003	0,014	0,001	0,004	0,009	0,001	0,005	0,009	0,001	0,005
Mn	0,002	0,001	0,002	0,054	0,001	0,009	0,010	0,001	0,007	0,010	0,001	0,007
Ba	0,020	0,010	0,013	0,013	0,006	0,009	0,019	0,009	0,016	0,019	0,009	0,016
Al	0,021	0,018	0,020	0,038	0,001	0,013	0,057	0,001	0,030	0,057	0,001	0,030
Pb	**0,040**	0*	0,002	**0,013**	0,001	0,003	**0,011**	0,001	0,002	**0,011**	0,001	0,002
Ni	0,002	0,001	0,002	0,005	0*	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cu	0,006	0,002	0,004	0,005	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Be	0,002	0*	0,001	0,001	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*	0*
V	0,007	0*	0,004	0,003	0*	0,001	0,004	0,001	0,002	0,004	0,001	0,002
Cr	0,002	0,001	0,001	0,002	0*	0,001	0*	0*	0*	0*	0*	0*
Fe	0,040	0,013	0,024	0,215	0*	0,068	0,080	0*	0,028	0,080	0*	0,028
Si	4,150	0,790	2,016	6,984	0,015	3,472	4,610	2,537	3,769	4,610	2,536	3,769
Zn	0,002	0,001	0,002	0,004	0*	0,001	0,012	0,002	0,009	0,012	0,002	0,009
Sr	0,130	0,055	0,081	0,101	0,050	0,074	0,127	0,058	0,097	0,127	0,058	0,097
Ti	0,005	0,001	0,003	0,010	0*	0,002	0,006	0,001	0,003	0,006	0,001	0,003
Co	0,004	0*	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0*	0*	0,001	0*	0*
Cd	0,002	0*	0,001	0,001	0*	0,001	0,001	0*	0*	0,001	0*	0*
Hg	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Petrol.	0,009	0,007	0,008	0,008	0*	0,005	0,012	0*	0,006	0,016	0,003	0,009
Susp.	0,049	0,047	0,048	0,067	0,047	0,059	0,130	0,041	0,086	0,080	0,035	0,050
∑***	59,84	48,33	54,09	63,99	40,85	53,81	118,90	109,42	114,16	129,62	96,53	109,00

Примечание. 0* и другие см. в табл. 2. Расход воды рек: Кичера – 167–186, Турка – 39–151, Утулик – 19–56, Сарма – 990–1146, Анга – 4687–5690 л/с.

Концентрации фтора в воде реки Селенга и минеральных источников Хакусы достигают более 3 мг/дм^3. Максимальное содержание свинца в воде рек Утулик, Турка, Баргузин, Селенга, Кичера составляет 0,011; 0,013; 0,020; 0,020; 0,40 мг/дм^3 соответственно. Высокие концентрации PO_4 выявлены в реках Турка, Кичера, Селенга, Баргузин, Верхняя Ангара, Тыя, Мысовка, Переемная, Мантуриха, мин. ист. Хакусы имеющие значения – 0,02, 0,02, 0,06, 0,08, 0,10, 0,10, 0,11, 0,13, 0,18, 0,23 мг/дм^3 соответственно. В теплых озерах на р. Снежной отмечается также повышенное содержание фосфатов – 0,02 мг/дм^3.

Максимальные содержания NH_4 обнаружены в воде рек Верхняя Ангара, Кичера и Сухая, составляющие 1,04, 0,55 и 0,40 мг/дм^3. Концентрации нефтепродуктов в воде рек Селенга, Верхняя Ангара, Баргузин, Тыя составляют 0,13; 0,08; 0,08; 0,07 мг/дм^3 соответственно. Поступление биогенных элементов, таких как фосфаты и соединения азота, провоцирует эвтрофирование водных объектов, что наблюдается на многих мелководных участках прибрежной зоны оз. Байкал и представляет предмет экологического риска для озера.

Содержание цинка в водах рек Селенга, Кичера, Баргузин, Тыя, Турка, Пеемная, Большая речка, Мантуриха, минеральных источников Хакусы превышает 0,01 мг/дм^3. Концентрация железа в реках Селенга, Баргузин, Турка, Максимиха, Сухая превышает фоновые содержания и составляет 0,14–0,24 мг/дм^3. Ландшафты устьевых участков рек, являющиеся геохимическим барьером для токсических веществ, аккумулируют загрязняющие вещества. Происходит самоочищение вод рек благодаря загрязнению других компонентов ландшафтов. Не исключено, что при благоприятных условиях, например при перенасыщении или при подкислении среды, может произойти переход токсичных элементов в водные объекты.

Заключение

Полученные результаты проведенных исследований говорят о значительном воздействии промышленных производств на окружающую среду оз. Байкал, которое проявляется на региональном и локальном уровнях. Загрязнение атмосферного воздуха и снега акватории оз. Байкал по результатам проведенных работ отмечается вблизи прибрежных населенных пунктов Листвянка, Култук, Слюдянка, Байкальск, Усть-Баргузин, Нижнеангарск и Северобайкальск и в устье р. Селенги. Концентрации большинства изученных химических элементов и веществ в снеге фоновой территории Байкальского региона низкие, ниже ПДК в десятки – тысячи раз. Вследствие аккумуляции загрязняющих веществ на геохимических барьерах почв и аллювиальных отложений, а также ее разбавления вода Байкала соответствует санитарным нормам. Однако имеются локальные участки с повышенным содержанием токсичных элементов и веществ в прибрежных водах оз. Байкал и почвах вблизи населенных пунктов побережья. Выявлены высокие содержания загрязняющих веществ в реках, впадающих в озеро. Необходимо информировать местное население и туристов об экологическом состоянии окружающей среды рекреационных и санаторно-курортных зон, ограничить или регламентировать использование вод рек, побережья, минеральных источников с опасно высоким содержанием фтора, свинца, никеля и других токсичных элементов и веществ.

Работы проведены при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-05-00286, ФЦП «Охрана оз. Байкал и социально-экономическое развитие БПТ на 2012–2020 гг.», проектов НИР № 0347-2016-0002 и 0347-2016-003.

Список литературы / References

1. Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Янчук М.С., Лопатина Д.Н. Химический состав снега акватории озера Байкал и прилегающей территории // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 90–99. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-1(90-99).

Belozertseva I.A., Vorobjeva I.B., Vlasova N.V., Janchuk M.S., Lopatina D.N. Chemical Composition of Snow in the Water Area of Lake Baikal and on the Adjacent Territory // Geography and Natural Resources, 2017, Vol. 38, № 1 P. 68–77 DOI: 10.1134/S1875372817010097.

2. Белозерцева И.А., Сороковой А.А., Бешенцев А.Н., Пахахинова З.З., Батхишиг О., Оюунчимэг Т. Деградация и загрязнение почв Экологический атлас бассейна озера Байкал. Карта 1:5000000 Мб. Иркутск: Ин-т географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2015. С. 96–98. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_25207934_33392312.pdf (дата обращения: 01.08.2018).

Belozertseva I.A., Sorokovoi A.A., Beshentsev A.H., Pakhakhinova Z.Z., Butkhishig O., Oyunchimeg T. Degradation and Pollution of Soils. Ecological Atlas of the Lake Baikal's basin. Map 1:5000000 Mb. Irkutsk: V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2015. P. 96–98. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_25207934_33392312.pdf (date of access: 08.01.2018) (in Russian).

3. Воробьева И.Б., Белозерцева И.А., Власова Н.В., Янчук М.С. 2018 Современное состояние водотоков в устьевых областях восточного побережья озера Байкал // Успехи современного естествознания. 2018. № 1. С. 86–92.

Vorobyeva I.B., Belozertseva I.A., Vlasova N.V., Janchuk M.S. Current State of the Stream Flows in the Estuary Areas of the Eastern Coast of Lake Baikal // Modern problems of science and education. 2018. № 1. P. 86–92 (in Russian).

4. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. Новосибирск: Наука, 1997. 237 с.

Vetrov V.A. and Kuznetsova A.I. Microelements in the Natural Environments of the Lake Baikal Area. Novosibirsk: Science, 1997. 237 p. (in Russian).

5. Оболкин В.А., Нецветаева О.Г., Голобокова Л.П., Потемкин В.Л., Зимник Е.А., Филлипова У.Г., Ходжер Т.В. Результаты многолетних исследований кислотных выпадений в районе Южного Байкала // География и природные ресурсы. 2013. № 2. С. 66–73.

Obolkin V.A., Netsvetaeva O.G., Golobokova L.G., Potyomkin V.G., Zimkin E.A., Fillipova U.G., Khodzher T.V. Results of long-term investigations on acid deposition in the area of South Baikal. Geography and Natural Resources. 2013. T. 34. № 2. P. 151–157. DOI: 10.1134/S1875372813020078.

6. Ходжер Т.В., Сороковикова Л.М. Оценка поступления растворимых веществ из атмосферы и с речным стоком в озеро Байкал // География и природные ресурсы. 2007. № 3. С. 185–190.

Khodzher T.V. and Sorokovikova L.M. An assessment of the entry of soluble substances from the atmosphere and with the river runoff into Lake Baikal. Geography and Natural Resources, 2007. № 3. P. 185–191 (in Russian).

7. Грачев М.А. Стратегия охраны озера Байкал и Закон «Об охране озера Байкал». Иркутск: Лимнологический институт СО РАН, 2013. 36 с. URL: http://libbabr.com/ext/20798.pdf (дата обращения: 01.08.2018).

Grachev M.A. Lake Baikal Environmental Protection Strategy and Lake Baikal Conservation Law. Moscow SB RAS Limnological Institute, 2013. 36 p. URL: http://libbabr.com/ext/20798.pdf (date of the address: 08.01.2018) (in Russian).

8. Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). Новосибирск: Гео, 2008. 234 с.

Grebenshikova V.I., Lustenberg E.E., Kitayev N.A. and Lomonosov I.S. Geochemistry of the Baikal Environment (Baikal geoecological test site). Novosibirsk: Geo, 2008. 234 p. (in Russian).

9. Убугунов В.Л., Убугунова В.И. Почвообразующие породы – ключ к пониманию самобытности почвообразования в Западном Забайкалье // Природа Внутренней Азии. 2017. № 4 (5). С. 37–50.

Ubugunov V.L., Ubugunova of V.I. Pochvoobrazuyushchiye of breed – a key to understanding of identity of soil formation in the Western Transbaikalia // Nature of Inner Asia. 2017. № 4 (5). P. 37–50 (in Russian).

10. Сороковикова Е.Г., Белых О.И., Гладких А.С., Могильникова Т.А., Федорова Г.А., Кузьмин А.В., Михеева Т.М. Токсичные цветения цианобактерий в оз. Котокельское (Бурятия) – современное состояние проблемы // Вода: химия и экология. 2014. № 2 (67). С. 29–35.

Sorokovikova E.G., White O.I., Smooth Ampere-second., Mogilnikova T.A., Fedorova G.A., Kuzmin A.V., Mikheyev T.M. Toxic blossomings of cyanobacteria in the Lake Kotokelskoye (Buryatia): the current state of a problem // Water: chemistry and ecology. 2014. № 2 (67). P. 29–35 (in Russian).

УДК 551.551

СТАТИСТИКА КОЭФФИЦИЕНТА ПОРЫВИСТОСТИ ВЕТРА В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

Гладких В.А., Невзорова И.В., Одинцов С.Л.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, e-mail: glvl@iao.ru

В статье обсуждается статистика коэффициента порывистости ветра в приземном слое атмосферы над урбанизированной территорией и над естественным ландшафтом. Для анализа использовались результаты работы ультразвуковых анемометров-термометров, размещавшихся на высотах 5 и 10 м (естественный ландшафт) и 17 м (урбанизированная территория) над уровнем подстилающей поверхности. Измерения проводились непрерывно с частотой получения данных 10–11 Гц. Регистрировались три ортогональных компонента вектора ветра, температура и относительная влажность воздуха, а также атмосферное давление. Результаты анализа подтвердили достаточно очевидный факт, что коэффициенты порывистости над урбанизированной территорией больше, чем над естественным ландшафтом. Рассмотрен сезонный и суточный ход коэффициента порывистости. Установлено, что его сезонный ход (изменение среднемесячного значения) практически отсутствует. Это характерно в первую очередь для урбанизированной территории. Средний суточный ход коэффициента порывистости (для каждого месяца отдельно) достаточно хорошо выражен в летние месяцы и практически отсутствует в холодное время года. Кратко рассмотрена его взаимосвязь со средней (за интервал обработки) скоростью ветра. Выявлено, что возможны случаи, когда коэффициент порывистости может иметь большое значение при относительно слабом ветре в порывах. И наоборот – при относительно небольших коэффициентах порывистости могут иметь место сильные порывы ветра. При этом выделено два различных режима порывов – «быстрые» (частое повторение порывов) и «медленные» (между сильными порывами существуют области с некоторым ослаблением среднего потока ветра). Кратко рассмотрена взаимосвязь коэффициента порывистости с вертикальным турбулентным потоком тепла, который может служить признаком типа текущей стратификации приземного слоя атмосферы.

Ключевые слова: порывы ветра, приземный слой, турбулентность

WIND GUST STATISTICS IN THE ATMOSPHERIC SURFACE LAYER

Gladkikh V.A., Nevzorova I.V., Odintsov S.L.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, e-mail: glvl@iao.ru

The statistics of the wind gustiness factor in the surface atmospheric layer over an urban territory and natural landscape is discussed. The findings of ultrasonic anemometers-thermometers installed at heights of 5 and 10 n (natural landscape) and 17 m (urban territory) above the underlying surface were used for the analysis. Measurements were conducted continuously with the data output rate of 10–11 Hz. Three orthogonal components of the wind vector, temperature and relative humidity of air, and atmospheric pressure were measured. The results of the analysis have confirmed the rather obvious fact that the gustiness factor over an urban territory is higher than that over the natural landscape. The seasonal and diurnal dynamics of the gustiness factor was studied. It was found that the seasonal dynamics (variation of the monthly average value) is practically absent. This is characteristic, in the first turn, of the urban territory. The diurnal average dynamics of the gustiness factor (for every month separately) is quite pronounced in the summer months and nearly absent in the cold season. Its correlation with the average (for the processing period) wind velocity was briefly considered. It was found that in some situations the gustiness factor can be rather large at the relatively slight wind in gusts and, to the contrary, big wind gusts may occur at the relatively low gustiness factors. Two different gustiness modes were revealed: fast (frequently occurring) gusts and slow gusts (intervals with somewhat weaker mean wind flow existing between big gusts). The relation of the gustiness factor with the vertical turbulent heat flux, which can serve as an indicator of current stratification of the atmospheric surface layer, is briefly analyzed.

Keywords: wind gusts, surface layer, turbulence

Одной из важных задач динамической метеорологии является изучение и возможность прогнозирования порывов ветра в приземном слое атмосферы. Актуальность решения данной проблемы определяется в том числе ее практической значимостью в различных областях хозяйственной деятельности. Исследованию порывов ветра посвящено большое число публикаций как в отечественной, так и в зарубежной литературе. Например, в работе [1] рассмотрено несколько вариантов прогноза порывов ветра и обсуждается их оправдываемость. Там же имеется и краткий обзор литературы по данной проблеме. Одним из возможных предикторов при прогнозировании порывов ветра в работе [1] используется величина кинетической энергии турбулентности в комбинации со средней скоростью ветра. Поэтому изучение вариаций этой комбинации при различных условиях представляет безусловный интерес.

Цель исследования. Как отмечалось выше, одним из возможных предикторов

порывов ветра в приземном слое атмосферы может служить величина [1]

$$G = \overline{V_h} + 3 \cdot \sqrt{E}\,, \qquad (1)$$

где $\overline{V_h}$ – средняя скорость горизонтального ветра (м/с), $V_h = \sqrt{u^2 + v^2}$ – «мгновенная» скорость горизонтального ветра, u и v – «мгновенные» (случайные) значения продольной и поперечной составляющих горизонтального ветра соответственно (м/с), $E = 0,5 \cdot (\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2)$ – кинетическая энергия турбулентности (м^2/с^2), $\sigma_u^2, \sigma_v^2, \sigma_w^2$ – дисперсии турбулентных составляющих соответственно продольного, поперечного и вертикального ветра (м^2/с^2). Средняя скорость ветра $\overline{V_h}$, а также дисперсии компонентов вектора ветра вычисляются по одному и тому же интервалу времени Δt. При общем анализе порывов целесообразно рассматривать нормированную величину

$$k = G / \overline{V_h} = 1 + 3 \cdot \sqrt{E} / \overline{V_h}\,, \qquad (2)$$

которую можно назвать коэффициентом порывистости [2]. Именно коэффициент порывистости являлся основной целью наших исследований. Была поставлена задача оценить величины и исследовать зависимость этого коэффициента от места и высоты измерений в приземном слое атмосферы, от сезона года и времени суток.

Материалы и методы исследования

Исследование коэффициента порывистости основывалось на экспериментальных данных, полученных с помощью ультразвуковых анемометров-термометров (ультразвуковых метеостанций – далее УЗМ) «Метео-2» [3]. Для анализа использовались измерения, полученные за период с января по июль 2018 г. (включительно) на территории обсерватории Института оптики атмосферы (ИОА) СО РАН «Базовый экспериментальный комплекс – БЭК») в пригороде Томска. Эта территория (естественный ландшафт) характеризуется большой открытой площадью с травяным покрытием, окруженной лесопосадками (на удалении порядка 100 м) не очень большой высоты (до 10 м). Одновременно работали две УЗМ, размещенные на одной мачте на высотах 5 и 10 м. Далее полученные в данном пункте на указанных высотах результаты будут обозначаться как «БЭК-5» и «БЭК-10». Кроме того, для анализа были использованы результаты работы УЗМ «Метео-2», размещенной на крыше лабораторного корпуса ИОА СО РАН на высоте 12 м от подстилающей поверхности (5 м от уровня крыши). Данный пункт наблюдений («Томск») расположен на окраине г. Томска, и его можно характеризовать как урбанизированную территорию (территория Академгородка). Измерения «мгновенных» значений метеорологических характеристик в приземном слое производились круглосуточно 10–11 раз в секунду в зависимости от конкретного экземпляра УЗМ.

Прежде чем приступить к анализу полученных результатов, следует обратить внимание на некоторые методические аспекты, касающиеся обработки экспериментальных данных. Вычисление продольного и поперечного компонентов горизонтального ветра, включая средние значения и пульсационные составляющие, проводилось с использованием скользящих средних с «временн*ы*м окном» $\delta\tau$, как это изложено в работе [4]. Важность корректного выделения турбулентных составляющих для достоверной оценки характеристик турбулентности в приземном слое атмосферы и оправданность применяемой для этого методики мы уже отмечали в работе [4] при исследовании внешних масштабов турбулентности. Представленные далее материалы получены при $\delta\tau$ = 5 мин и Δt = 10 мин. Величина Δt = 10 мин является достаточно типичным интервалом обработки (см., например, [1]). Задание «скользящего окна» размером $\delta\tau$ = 5 мин обусловлено стремлением сохранить в обрабатываемых выборках относительно медленные вариации компонентов вектора ветра, предшествующие порывам ветра. Хотя это может несколько завысить значения дисперсий этих компонентов по сравнению со случаем применения более узкого «окна» $\delta\tau$. Необходимо также отметить, что формула (1) справедлива, как это указано в [1], для случая нормального закона распределения скорости ветра. Однако проведенный нами анализ показал, что этому закону в целом удовлетворяют только поперечная (v) и вертикальная (w) составляющие вектора ветра. В то же время модуль скорости (V_h) и продольная составляющая (u) в основном стремятся к логарифмически-нормальному закону распределения. Тем не менее в дальнейшем для анализа нами все же используется формула (1), точнее, полученная на ее основе формула (2).

Результаты исследования и их обсуждение

Поскольку динамические процессы в приземном слое атмосферы характеризуются большим разнообразием, то их из-

учение вполне естественно проводить с использованием статистического анализа. В представленном далее материале основные результаты будут изложены в виде графиков с соответствующими комментариями и выводами. Прежде всего, приведем примеры разверток во времени коэффициентов порывистости в пунктах «БЭК-5» и «Томск» для всего периода проводившихся наблюдений (рис. 1, а, б). В дальнейшем коэффициенты порывистости будут обозначаться: k_5 для случая «БЭК-5», k_{10} – для случая «БЭК-10», k_T – для случая «Томск». Аналогичные индексы применяются и для других оценок.

Для случая «БЭК-10» коэффициент порывистости k_{10} имеет практически идентичный развертке k_5 вид. Отличия имеются только для небольших значений этих коэффициентов. Это хорошо заметно при сравнении гистограмм распределения k_5 и k_{10}, рассчитанных для всего периода измерений с шагом 0,1 и приведенных на рис. 1, в (обозначены соответственно p_5, p_{10}). В свою очередь коэффициент порывистости k_T для пункта «Томск» заметно отличается от коэффициентов k_5 и k_{10} как по величине, так и по форме гистограммы p_T (близкой к нормальному закону распределения). В качестве дополнительной информации на рис. 1, г, приведены графики интегрального распределения коэффициентов k_5, k_{10} и k_T (обозначены соответственно F_5, F_{10} и F_T).

Приведенные на рис. 1 графики дают общее представление о коэффициентах порывистости в разные сезоны года, в разных по типу подстилающей поверхности пунктах наблюдения, на разных высотах. Более детальную информацию можно получить с помощью табл. 1, где представлены среднемесячные значения коэффициентов k_5, k_{10} и k_T, а также их медианы и среднеквадратические отклонения (СКО).

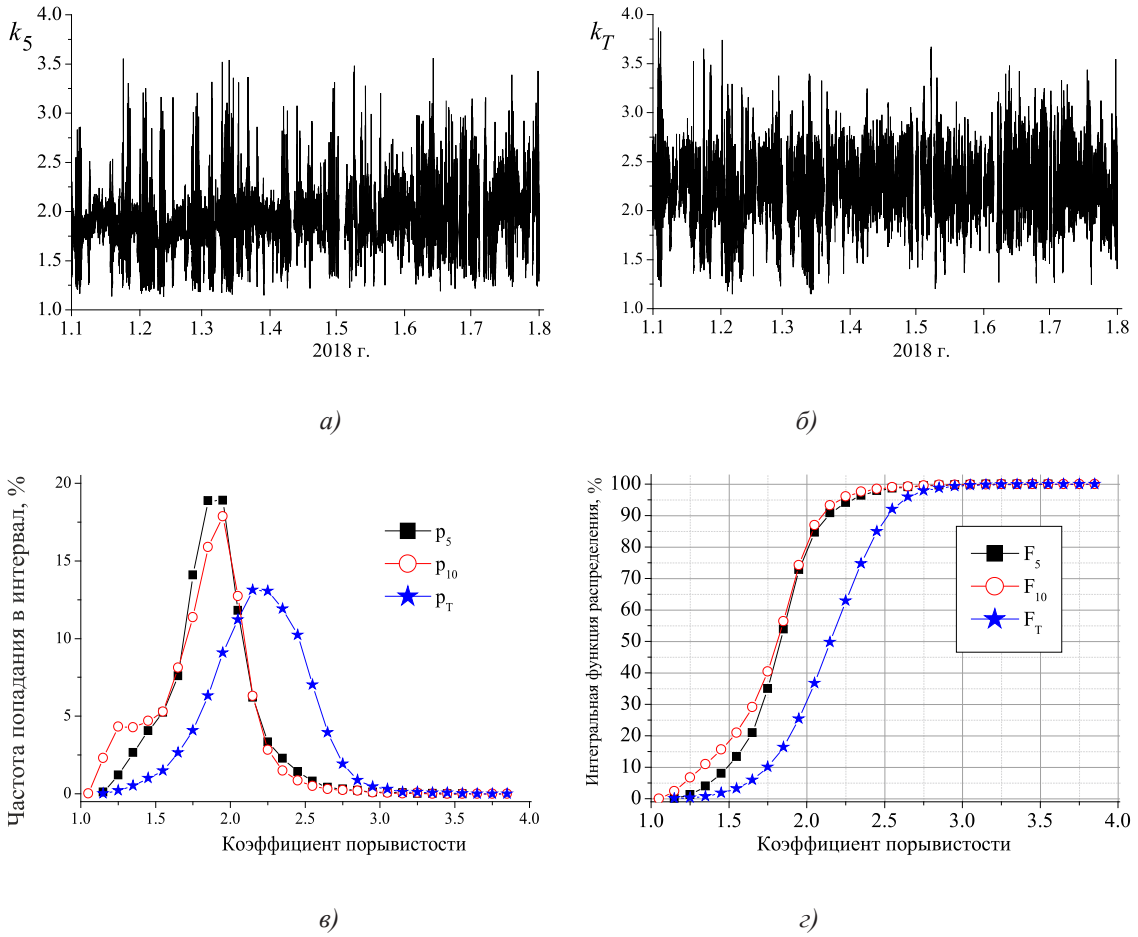


Рис. 1. Коэффициенты порывистости за период с января по июль 2018 г. в пунктах наблюдения «БЭК–5» (а) и «Томск» (б), а также нормированные гистограммы распределения (в) и интегральные функции распределения (г) для всех пунктов наблюдения

Таблица 1

Среднемесячные значения коэффициентов порывистости

2018 г.	БЭК-5 (k_5)		БЭК-10 (k_{10})		Томск (k_T)	
	Среднее / медиана	СКО	Среднее / медиана	СКО	Среднее / медиана	СКО
Январь	1,82 / 1,84	0,21	1,77 / 1,83	0,27	2,17 / 2,17	0,32
Февраль	1,73 / 1,75	0,25	1,66 / 1,69	0,32	2,14 / 2,17	0,35
Март	1,83 / 1,85	0,25	1,81 / 1,86	0,30	2,15 / 2,17	0,32
Апрель	1,89 / 1,89	0,21	1,89 / 1,93	0,29	2,25 / 2,25	0,27
Май	1,93 / 1,91	0,24	1,87 / 1,87	0,21	2,20 / 2,19	0,30
Июнь	1,95 / 1,95	0,27	1,88 / 1,90	0,29	2,25 / 2,25	0,30
Июль	2,03 / 2,03	0,31	1,89 / 1,92	0,32	2,21 / 2,20	0,29
Суммарно за период измерений	1,88 / 1,88	0,27	1,82 / 1,86	0,30	2,19 / 2,20	0,31

Согласно приведенной табл. 1 и графикам на рис. 1 можно констатировать очевидный факт, что во все сезоны года значения коэффициента порывистости в пункте «Томск» (урбанизированная территория) заметно превышают коэффициент порывистости в пункте с естественным ландшафтом. В свою очередь, сезонный ход средних значений коэффициентов порывистости просматривается только для территории с естественным ландшафтом и только для высоты 5 м. Хотя этот ход и не очень значим. Слабое различие коэффициентов k_5 и k_{10} объясняется, по-видимому, слишком малым разносом по высоте измерительных устройств. Однако функции распределения (как интегральные, так и «дифференциальные») это различие все же фиксируют. В целом средние значения коэффициента k_{10} несколько меньше коэффициента k_5, что соответствует результатам, приведенным в [2]. Считаем полезным кратко рассмотреть суточный ход коэффициентов порывистости. На рис. 2 показаны результаты вычисления среднего суточного хода (ССХ) коэффициентов k_5 и k_T для двух зимних (январь и февраль) и двух летних (июнь и июль) месяцев 2018 г. Для января «полуотрезками» показаны значения СКО.

Согласно рис. 2 в зимние месяцы ССХ коэффициентов порывистости выражен слабо (или вообще отсутствует). Однако летом днем значения коэффициентов k_5 и k_T заметно выше, чем ночью. Отметим без дополнительных иллюстраций, что в зимние месяцы СКО при оценках ССХ коэффициентов порывистости в пункте «Томск» несколько превышают СКО в пункте «БЭК». В летние месяцы они примерно совпадают. Этот вывод подтверждает визуальное сравнение «флуктуаций» графиков на рис. 1, а, б.

Понятно, что величины коэффициентов порывистости во многом зависят от типа текущей стратификации, которая может «регулировать» пульсационные составляющие вектора ветра в приземном слое атмосферы. Анализ влияния стратификации на порывистость ветра в конкретных пунктах наблюдения составляет отдельный класс задач и в данной работе не проводится. Однако считаем полезным с помощью рис. 3 проиллюстрировать связь коэффициента порывистости (на примере результатов «БЭК-5») с вертикальным турбулентным потоком тепла Q_w (Вт/м^2), который может характеризовать текущий тип стратификации. Рисунок построен по совокупности всех измерений за период январь – июль 2018 г. Отрицательные значения Q_w в целом характерны для устойчиво стратифицированного приземного слоя. Можно сделать вывод (достаточно очевидный), что повышенные значения коэффициентов порывистости имеют место в основном при неустойчивой и близкой к нейтральной стратификации приземного слоя атмосферы.

Отметим, что приведенные выше оценки коэффициентов порывистости в целом согласуются с результатами, опубликованными, например, в работах [2, 5, 6]. При этом следует учесть, что коэффициенты порывистости рассчитывались нами по «мгновенным» данным, т.е. по результатам измерений с частотой порядка 10 Гц, а в цитируемых работах применялось предварительное «внутреннее» усреднение «мгновенных» данных. Отметим также, что формы гистограмм коэффициента порывистости, опубликованные, например, в [6, 7] для разных пунктов наблюдений, в целом согласуются с формами гистограмм на рис. 1, в (с учетом замечания по поводу «внутреннего» усреднения).

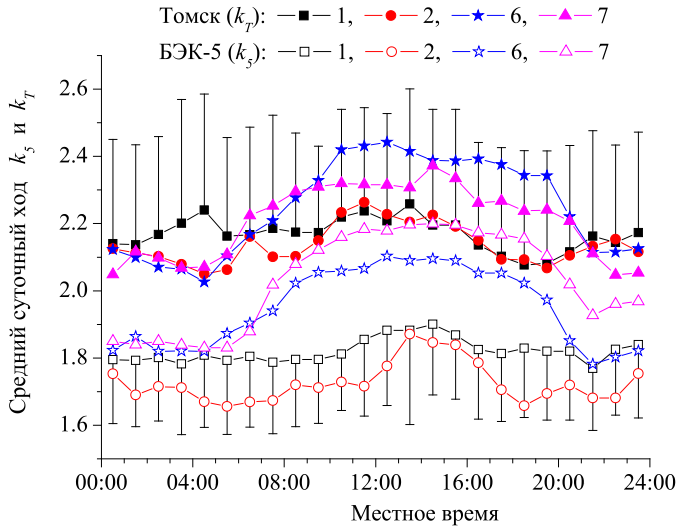


Рис. 2. Средний суточный ход коэффициентов порывистости для некоторых месяцев 2018 г. (указаны на графике) в пунктах наблюдения «БЭК–5» и «Томск»

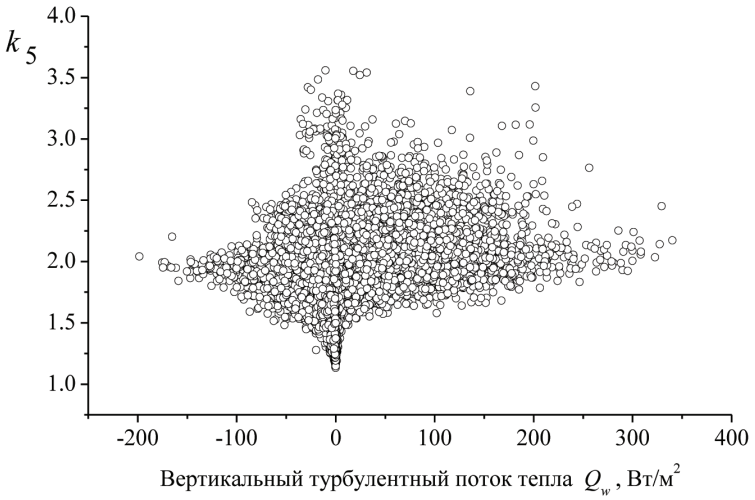


Рис. 3. Зависимость коэффициента порывистости от вертикального турбулентного потока тепла в пункте наблюдения «БЭК-5» за период наблюдения с января по июль 2018 г.

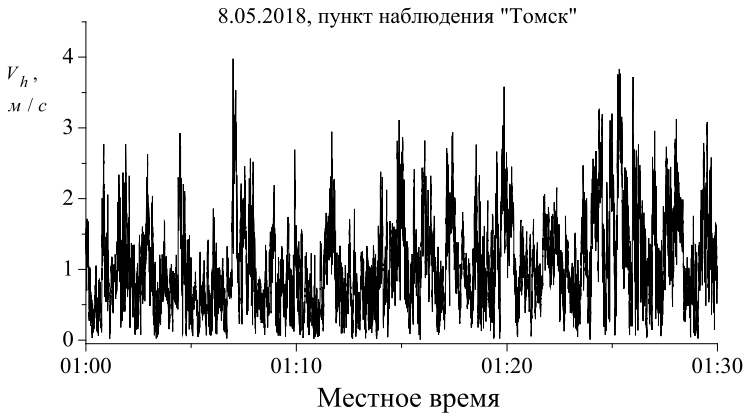


Рис. 4. Скорость горизонтального ветра в пункте наблюдения «Томск» с 01:00 до 01:30 местного времени 8.05.2018

Изложенный выше материал касался анализа коэффициента порывистости вне зависимости от величины среднего ветра на интервале обработки. Однако коэффициент порывистости может иметь большое значение при относительно слабом ветре. Для примера на рис. 4 приведен 30-минутный эпизод с разверткой «мгновенных» значений $V_h(t)$ в пункте наблюдения «Томск».

В это время имели место большие значения коэффициента порывистости k_T при относительно небольшой скорости в порывах ветра. В табл. 2 приведены значения k_T для трех 10-минутных интервалов, а также средние и максимальные значения скорости ветра на этих интервалах.

Таблица 2

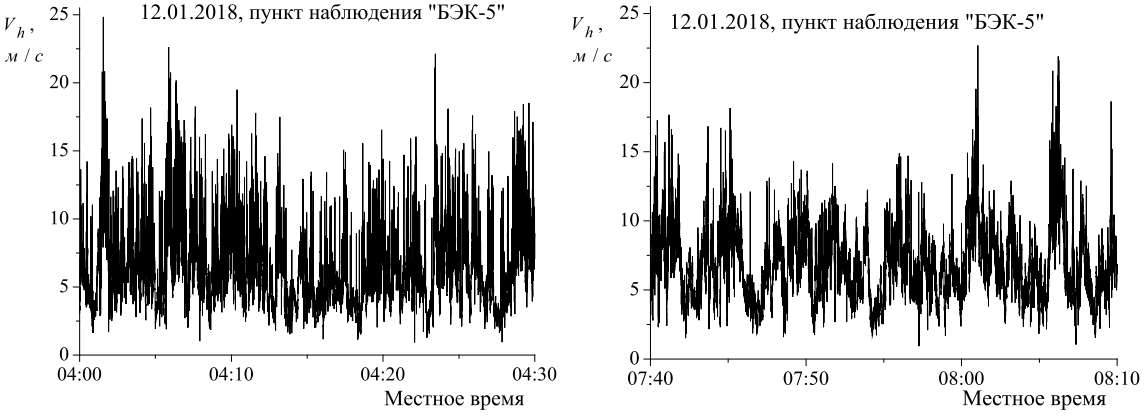
Пункт наблюдения «Томск» 8.05.2018

Интервал времени	Коэффициент порывистости k_T	Средняя скорость ветра, м/с	Максимальная скорость ветра, м/с
01:00–01:10	3,67	0,70	4,0
01:10–01:20	3,47	0,72	3,6
01:20–01:30	3,44	0,72	3,8

Естественно, что наиболее важными являются порывы ветра, способные нанести существенный ущерб при воздействии на природные или искусственные объекты. В этой связи считаем необходимым отметить, что могут реализовываться ситуации с не очень большими значениями коэффициентов порывистости, но с большими порывами ветра. Для примера на рис. 5 приведены эпизоды с 30-минутными развертками «мгновенных» значений $V_h(t)$ в пункте наблюдения «БЭК-5» 12.01.2018. В этих эпизодах имели место большие порывы ветра при относительно небольших значениях k_5. Подобные результаты были опубликованы, например, в [8].

В табл. 3 приведены значения k_5 для соответствующих 10-минутных интервалов времени, отображенных на рис. 5, а также средние и максимальные значения скорости ветра на этих интервалах. В рассматриваемых эпизодах значения k_5 можно отнести, согласно рис. 1, г, к случаю «несколько выше среднего уровня».

Два эпизода, приведенные на рис. 5, выбраны для иллюстрации еще одной особенности структуры порывов ветра. В первом случае (рис. 5, а) частота следования порывов достаточно высокая («быстрые» порывы), а во втором (рис. 5, б) между областями с большими скоростями ветра имеется некоторое «замирание» («медленные» порывы). При этом коэффициенты порывистости в этих эпизодах различаются не очень значительно. Не приводя дополнительных иллюстраций, отметим также, что k_5 и k_{10} были примерно одинаковы, средняя скорость ветра на высоте 10 м была больше, чем на высоте 5 м, в то же время значения максимальных порывов в первом эпизоде на высоте 10 м меньше, а во втором – больше по сравнению с высотой 5 м (за исключением последнего интервала времени). Это отражено в табл. 3.



а) *б)*

Рис. 5. Примеры эпизодов с порывами ветра в пункте наблюдения «БЭК-5» 12.01.2018

Таблица 3

Пункт наблюдения «БЭК» 12.01.2018

Интервал времени	Коэффициент порывистости k_5 / k_{10}	Средняя скорость ветра, м/с 5 м / 10 м	Максимальная скорость ветра, м/с 5 м / 10 м
04:00–04:10	2,18 / 2,15	6,7 / 7,1	24,8 / 22,4
04:10–04:20	2,09 / 2,12	5,6 / 6,0	19,5 / 19,3
04:20–04:30	2,13 / 2,13	6,3 / 6,6	22,1 / 20,2
07:40–07:50	2,05 / 2,02	7,0 / 7,5	18,1 / 20,3
07:50–08:00	2,02 / 2,01	6,5 / 6,9	14,9 / 20,2
08:00–08:10	2,08 / 2,04	7,2 / 7,7	22,7 / 21,7

Заключение

Подводя итог, можно сделать следующие выводы. Коэффициенты порывистости, оценка которых составляла основную задачу проделанной работы, слабо зависят от сезона года (использовались измерения за период январь – июль 2018 г.). При этом они существенно зависят от пункта измерений (сравнивались естественный ландшафт и урбанизированная территория). Средний суточный ход коэффициентов порывистости различен в разные сезоны года: в зимнее время он практически отсутствует, а в теплое время года хорошо выражен (днем заметно больше, чем ночью). Это характерно как для урбанизированной территории, так и для естественного ландшафта. Различие между оценками коэффициентов порывистости на высотах 5 и 10 м (естественный ландшафт) невелико. Тем не менее на высоте 5 м порывистость в целом несколько превышает значения на 10 м. Особо отметим, что большое значение коэффициента порывистости еще не означает обязательную реализацию при этом больших значений непосредственно порывов ветра (способных привести к опасным последствиям). В то же время сильные порывы (превышающие, например, 10–15 м/с) могут иметь место и при не очень больших значениях коэффициента порывистости. Считаем необходимым подчеркнуть, что приведенная статистика коэффициентов порывистости может измениться, если ввести предварительное «внутреннее» усреднение «мгновенных» значений компонентов вектора ветра (например, за период 1 с).

Измерения выполнялись с использованием оборудования ЦКП «Атмосфера» ИОА СО РАН.

Список литературы / References

1. Курбатова М.М. Рубинштейн К.Г. Гибридный метод прогноза порывов ветра // Оптика атмосферы и океана. 2018. Т. 31. № 07. С. 523–529. DOI: 10.15372/AOO20180704.

Kurbatova M.M., Rubinshtein K.G. Hybrid method for wind gust firecast // Optika Atmosfery i Okeana. 2018. V. 31. No. 07. P. 523–529 (in Russian).

2. Бызова Н.Л., Иванов В.Н., Гаргер Е.К. Турбулентность в пограничном слое атмосферы. Л: Гидрометеоиздат, 1989. 264 с.

Byzova N.L., Ivanov V.N., Garger E.K. Turbulence in the boundary layer of the atmosphere. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1989. 264 p. (in Russian).

3. Гладких В.А., Макиенко А.Э. Цифровая ультразвуковая метеостанция // Приборы. 2009. № 7. С. 21–25.

Gladkikh V.A., Makienko A.E. Digital ultrasonic weather station // Pribory. 2009. No. 7. P. 21–25 (in Russian).

4. Гладких В.А., Невзорова И.В., Одинцов С.Л. Методические аспекты определения внешних масштабов турбулентности // Успехи современного естествознания. 2018. № 5. С. 64–70. DOI: 10.17513/use.36756.

Gladkikh V.A., Nevzorova I.V., Odintsov S.L. Methodical aspects of determination of the outer scales of turbulence // Advances in current natural sciences. 2018. № 5. P. 64–70. DOI: 10.17513/use.36756 (in Russian).

5. Born K., Ludvig P., Pinto J.G. Wind gust estimation for Mid-European winter storms: Towards a probabilistic view. Tellus A. 2012. V.64. issue 1. P. 1–17. DOI: 10.3402/tellusa.v64i0.17471.

6. Tyner B., Aiyyer A., Blaes J., Hawkins D.R. An examination of wind decay, sustaind wind speed forecasts, and gust factor for tropical cyclones in the Mid-Atlantic region of the United States. Weather and Forecasting. 2015. V. 30. No. 1. P. 153–176. DOI: 10.1175/WAF-D-13-00125.1.

7. Yu B., Chowdhury A.G. Gust factors and turbulence intensities for tropical cyclone environment. Appl. Meteorol. and Climatology. 2009. V. 48. No. 3. P. 534–552.

8. Mitsuta Y., Tsukamoto O. Studies of spatial structure of wind gust. Applied Meteorology. 1989. V28. No. 1. P. 1155–1160.

УДК 528:551.242(571.61/.62)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ВЕРХНЕГО ПРИАМУРЬЯ НА ОСНОВЕ GPS ДАННЫХ

Жижерин В.С., Серов М.А., Холобуда С.П.

ФГБУН «Институт геологии и природопользования» Дальневосточного отделения Российской академии наук, Благовещенск, e-mail: serov@ascnet.ru

В статье представлены результаты моделирования геодинамических процессов Верхнего Приамурья. Моделирование проводилось на основе проведенных авторами многолетних GPS наблюдений на геодинамическом полигоне, расположенном в области конвергенции Евразийской и Амурской литосферных плит, на западном крыле Байкальской рифтовой зоны. В пределах обозначенной территории происходит взаимодействие тектонических единиц Селенга-Станового и Монголо-Охотского орогенных поясов, Становой гранит-зеленокаменной области Алдано-Станового щита и Аргуно-Мамынского массива Центрально-Азиатского складчатого пояса. Изучаемая область представляет собой коллаж террейнов различных как по вещественному составу слагающих их пород, так и по своим механическим свойствам, выражающимся в различной степени тектонической жесткости и энергонасыщенности. Наблюдения на реперных пунктах проводились один раз в год в течение июля – августа, с целью исключения систематических ошибок, связанных с периодическими сезонными отклонениями в точности. В ходе обработки были использованы точные эфемериды спутников, навигационные данные, а также RINEX файлы станций международной сети IGS, необходимые для привязки регионального решения к глобальной системе отсчета ITRF2008. Используемый в работе подход заключался в получении при помощи программного комплекса Golden Software SURFER интерполированного поля скоростей, на основании которого было вычислено поле дивергенции. Полученные результаты с привлечением других геолого-геофизических данных позволили разработать геодинамическую модель территории Верхнего Приамурья, отображающую характер происходящих геодинамических процессов. Для исследуемой территории установлен вихревой характер геодинамических процессов, амплитуда которых на 2 порядка превышает типичные для внутриплитных областей значения. Обнаружена область смены знака доминирующих тектонических напряжений. Выявлена связь поля деформаций и сейсмичности.

Ключевые слова: Верхнее Приамурье, Амурская плита, моделирование геодинамических процессов, деформации земной коры

MODELING OF GEODYNAMIC PROCESSES OF THE UPPER AMUR REGION BASED ON GPS DATA

Zhizherin V.S., Serov M.A., Kholobuda S.P.

Science federal state budgetary institution Institute of geology and environmental management of Far East office of the Russian Academy of Sciences, Blagoveshchensk, e-mail: serov@ascnet.ru

The article presents the results of geodynamic processes modeling in the Upper Amur region. The simulation was carried out on the basis of the long-term GPS observations made by the authors at the geodynamic range located in the convergence area of the Eurasian and Amur lithospheric plates on the western wing of the Baikal rift zone. Within the designated territory, there is interaction of tectonic units of the Selenga-Stanovoi and Mongolo-Okhotsk orogenic belts, the Stanovoi granite-greenstone area of the Aldan-Stanovoi Shield and the Argun-Mamynsky Massif of the Central Asian Fold Belt. The studied area is a collage of terranes of different types both in terms of the material composition of their constituents and in their mechanical properties, expressed in varying degrees of tectonic rigidity and energy saturation. Observations at the survey points were conducted once a year during July-August, in order to avoid systematic errors associated with periodic seasonal deviations in accuracy. During the processing, precise satellite ephemeris, navigation data, as well as RINEX files of the stations of the international IGS network, necessary for linking the regional solution to the global reference frame ITRF2008, were used. The approach used in the work consisted in obtaining an interpolated velocity field using the Golden Software SURFER software package, on the basis of which the divergence field was calculated. The obtained results involving other geological and geophysical data made it possible to develop a geodynamic model of the Upper Amur River area that reflects the nature of the geodynamic processes. For investigated territory is established the vortex character of geodynamic processes, amplitude of which is 2 orders of magnitude higher than the values typical for intraplate areas. The region of the sign change of the dominant tectonic stresses is found. The relationship between the deformation field and seismicity is revealed.

Keywords: Upper Amur region, Amur plate, modeling of geodynamic processes, deformation of the earth's crust

Согласно современным представлениям теории тектонических плит [1] земная кора поделена на относительно жесткие фрагменты (плиты) перемещающиеся с различной скоростью по астеносферному слою мантии. Природа сил, вызывающих эти перемещения, до конца не установлена, однако считается, что главным движущим механизмом выступает мантийная конвекция, в ходе которой относительно тяжелая кора океанических плит погружается под более легкую кору континентов в зонах субдукции. В рифтовых зонах, где мантийная конвекция создает восходящие потоки

разогретого вещества, происходит процесс образования новой коры, обеспечивая тем самым стабильность размеров планеты.

Максимально установленные скорости субдукции и рифтообразования, в наиболее геодинамических активных областях планеты достигают первых десятков сантиметров год, в то время как типичные скорости смещения внутриплитных участков земной коры обычно не превышают первых десятков миллиметров в год [2].

Земная кора состоит из семи основных литосферных плит и такого же количества малых. Различают три типа границ и соответственно режимов взаимодействия плит: дивергентные границы, по которым происходит раздвижение плит, конвергентные – сближение, трансформные – скольжение одной плиты относительно другой.

Исследуемый в данной работе регион расположен в области конвергентного взаимодействия Евразийской и Амурской плит, является восточным обрамлением Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). Согласно существующим данным [3], кинематика Евразийской и Амурской плит отличается незначительно, однако зона их сочленения отчетливо выражена в плотности разрывных нарушений и сейсмичности.

В данной работе, на основе полученных авторами в ходе полевых работ GPS-данных, представлены вычисленные скорости современных горизонтальных смещений земной коры исследуемого региона. На основе этих оценок, с привлечением других геолого-геофизических данных, была разработана геодинамическая модель территории Верхнего Приамурья, отображающая характер происходящих геодинамических процессов.

Краткое описание исследуемого региона

Тектоническое становление изучаемого региона принято связывать с начавшимся в протерозое, и продолжавшимся по разным оценкам [4] от поздней юры до раннего мела закрытием Монголо-Охотского океана. В ходе аккреции к Северо-Азиатскому кратону присоединялись различные по возрасту, составу, а также условиям формирования террейны, среди которых можно встретить раннедокембрийские метаморфические комплексы, позднеархейские гранито-гнейсы, фрагменты мезозойских офиолитов, габбро-гранитоидов и терригенно-вулканогенных толщ.

В геофизических полях [5] исследуемый регион характеризуется средними для континентов величинами мощности земной коры (40–45 км). Вычисленная толщина литосферы на границе изучаемой области с Алдано-Становым щитом достигает 170 км и значительно уменьшается (до 100 км) при приближении к Монголо-Охотскому складчатому поясу. В геоэлектрических полях наиболее контрастным строением обладают территории, примыкающие к основным разломным структурам региона (Джелтулакский, Северо- и Южно-Тукурингрский разломы). Регион характеризуется общими положительными аномалиями гравитационного поля 20–30 мГал [6]. В Тукурингрской зоне разломов фиксируется протяженный пояс положительных аномалий 45–50 мГал, достигающих иногда значений 65 мГал. Для структур Селенга-Станового блока более характерны незначительные (до –20 мГал) отрицательные аномалии. В распределении выделяемого земной корой теплового потока региону присущи средние для орогенных поясов Дальнего Востока России значения, с юга на север отмечается незначительный рост от 42 до 50 мВт/м^2.

Таким образом, в первом приближении изучаемая область представляет собой коллаж террейнов различных как по вещественному составу слагающих их пород, так и по своим механическим свойствам, выражающимся в различной степени тектонической жесткости и энергонасыщенности. На основании чего можно предположить о существовании тектонически ослабленных зон, в которых амплитуда деформационных процессов должна значительно превышать фоновые значения.

Материалы и методы исследования

Основой исследования выступают многолетние GPS измерения, полученные авторами на Верхне-Амурском геодинамическом полигоне [7–9]. Полигон был заложен в 2007 г. и первоначально состоял из 8 пунктов наблюдений, с этого времени количество пунктов и их пространственное распределение постоянно увеличивается. В настоящее время общее количество действующих пунктов наблюдений достигло 23, таким образом, полигон простирается с запада на восток от от точки EROF с координатами 121.96 в.д. 53.99 с.ш. до точки PIKA 127.43 в.д. 53.77 с.ш., и с юга на север от точки MAGD 125.80 в.д. 53.46 с.ш. до точки STAN 124.86 в.д. 56.04 с.ш.

В пределах обозначенной территории происходит взаимодействие тектонических единиц Селенга-Станового и Монголо-

Охотского орогенных поясов, Становой гранит-зеленокаменной области Алдано-Станового щита и Аргуно-Мамынского массива Центрально-Азиатского складчатого пояса. Основными трудностями при организации полигона являлись: недостаточно развитая транспортная сеть, затрудняющая доставку оборудования к точкам наблюдения, весьма незначительное количество выходов коренных пород, а также выветренность последних. Исходя из этих ограничений и высокой степени залесенности, реперные пункты неравномерно распределены по площади полигона.

Наблюдения на реперных пунктах проводились один раз в год в течение июля – августа, с целью исключения систематических ошибок, связанных с периодическими сезонными отклонениями в точности. Участки наблюдений – скальные выступы или бетонные основания, выбирались таким образом, чтобы исключить влияние склоновых, криогенных и эрозионных процессов, на достаточном удалении от объектов инфраструктурной деятельности.

В ходе проведения полевых работ GPS измерения фиксировались спутниковыми приемниками с 30-секундным интервалом при продолжительности сессии наблюдений не менее 36 ч. Полученные данные наблюдений обрабатывались программным комплексом GAMIT/GLOBK [10], разработанным в массачусетском технологическом институте.

Процедура обработки данных состоит из нескольких этапов. На первом этапе осуществляется подневная обработка данных полевых наблюдений с привлечением глобальных данных включающих в себя: точные эфемериды спутников, параметры ориентации Земли EOP (Earth Orientation Parameters) предоставляемые международной службой вращения Земли IERS (International Earth Rotating Service), таблицы нутации стандарта (IERS/IGS), лунные и солнечные эфемериды, таблицы отклонения системного времени GPS от всемирного координированного времени UTC (Coordinated Universal Time), смещения для кодовых измерений P1-C1 и P1-P2, таблицы гравитационных приливных эффектов, деформирующих земную кору с амплитудой, достигающей у полюсов 10 см. Моделирование тропосферной задержки сигнала осуществлялась на двух часовых интервалах. Минимальный угол восхождения спутника (угол отсечки) над горизонтом принимался за 10 градусов. Также на этом этапе обработки использовались RINEX (Receiver Independent Exchange Format) файлы станций международной сети IGS (International GPS Service), полученные с ftp сервера cddis.gsfc.nasa.gov. Эти данные необходимы для последующего объединения региональных данных с данными глобальных станций мировой IGS сети, входящих в систему отсчета ITRF2008.

На следующем этапе подневные данные (вычисленные координаты пунктов) группировались с помощью программы GLOBK в объединенные для каждой полевой кампании h-файлы, каждый из которых содержит ковариационную матрицу и откорректированные значения априорных параметров.

На заключительном этапе объединялись обработанные данные полевых измерений за несколько лет для получения окончательного решения в виде скоростей смещений пунктов. Для вычисления скоростей была использована система отсчета на основе данных о положении и скоростях 25 IGS станций, принадлежащих различным участкам взаимодействующих плит.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате обработки GPS данных для каждого пункта были получены временные ряды, описывающие изменения координат пунктов во времени, на основании которых было вычислено векторное поле скоростей, отображающее движения участков земной коры изучаемого региона (рис. 1).

На следующем этапе, с помощью программного комплекса Golden Software SURFER, была произведена интерполяция полученного поля скоростей на области, в которых наблюдения не проводились (рис. 2). Для наглядности приводимое на рис. 2 векторное поле пересчитано из глобальных координат в локальные, при этом в качестве неподвижного был выбран пункт DJEL и, соответственно, все вектора были пересчитаны относительно него. Интерполированное поле скоростей отображает вихревой характер происходящих геодинамических процессов, что является следствием глобальных нелинейных свойств геосреды как таковой [12]. Максимальных градиентов поле скоростей достигает на участках, приуроченных к Тукуринград-Джелтулакской зоне разломов, в то время как для Становой и Аргуно-Мамынских областей изменения векторного поля по площади незначительны.

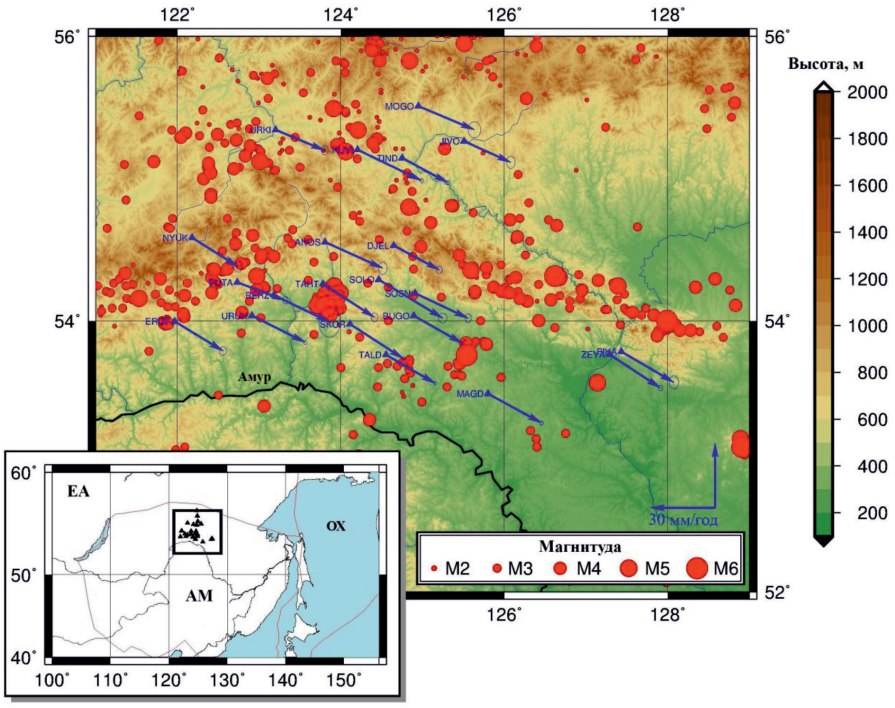


Рис. 1. Схема горизонтальных смещений и эпицентров землетрясений. Синие стрелочки – скорости горизонтальных смещений в системе ITRF2008 за период наблюдений 2007–2017 гг., красные круги – эпицентры землетрясений за период 1993–2017 гг. [11]. Врезка – схема границ литосферных плит. Черный квадрат – исследуемый регион. Красные линии – границы литосферных плит: EA – Евразийская, AM – Амурская, OX – Охотская

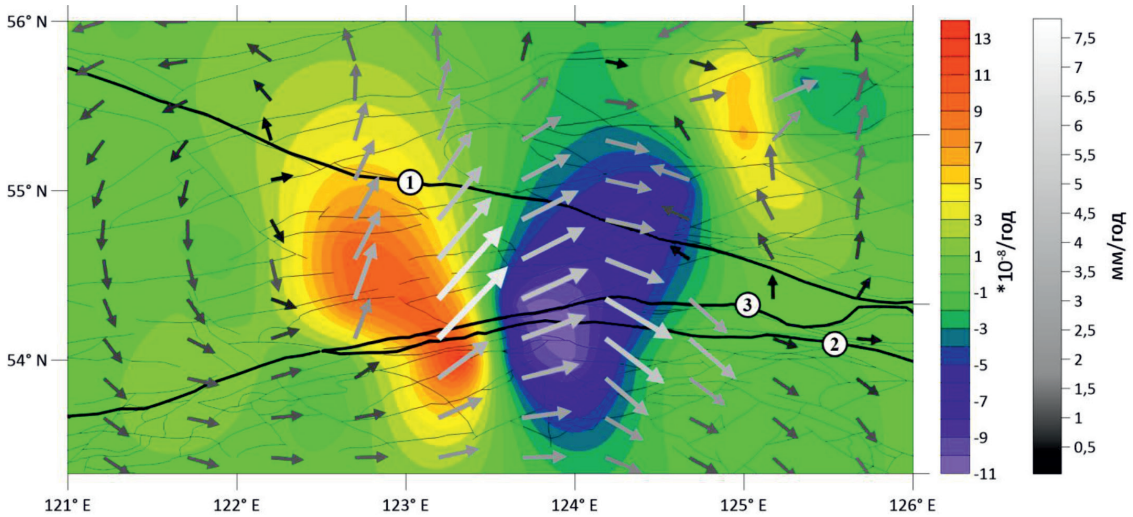


Рис. 2. Схема разломной тектоники [6] с интерполированным полем скоростей и вычисленными значениями дивергенции. Основные разломы: 1 – Джелтулакский, 2 – Северо-Тукурингрский, 3 – Южно-Тукурингрский. Тонкие черные линии – второстепенные разломы

Векторное описание смещений точек земной коры не является инвариантным, т.е. при смене начала отсчета изменяются величины и направления векторов. Для перехода от векторного поля к скалярному воспользуемся первым инвариантом тензора деформации – дивергенцией. Для этого из интерполированного поля скоростей построим регулярную сеть, в которой для каждого узла сети с ячейкой 0,33 на 0,33 граду-

са найдем значения северной и восточной компонент интерполированного вектора. Вычислим дивергенцию для каждого узла сети по формуле

$$divV = \frac{\partial Ve}{\partial e} + \frac{\partial Vn}{\partial n}.$$

Физический смысл этой величины заключается в обнаруживании «источников» (div > 0) и «стоков» (div < 0) векторного поля. Применительно к задачам геодинамики дивергенция позволяет обнаруживать участки, на которых площадь земной поверхности увеличивается или уменьшается, что соответствует областям растяжения или сжатия соответственно.

Вычисленное поле дивергенции отображает наличие двух локально сопряженных областей земной коры, близких по площади, геометрии и амплитуде деформационных процессов, но имеющих разные знаки. Схожие результаты, для Тукурингрской зоны разломов, были получены на основе расчета поля дилатации с использованием других методологических подходов и исходных данных в работе Ашуркова с соавторами [13]. Столь сложная картина, вероятнее всего, обусловлена переходом от кой области перехода было установлено ранее в работе Кример с соавторами [14].

Из материаловедения известно, что породы, слагающие земную кору, имеют различную прочность на растяжение и сжатие, прочность пород на сжатие во много раз превышает прочность на разрыв. Таким образом, в области растяжения земной коры происходит большое количество землетрясений малых энергетических классов, а в области сжатия землетрясения более редкие, но их энергетика более высока. Этот факт отчетливо наблюдается на рис. 3, где помимо дивергенции представлены данные сейсмического мониторинга [11]. В области растяжения наблюдается рассеянное по площади распространение сейсмособытий средних магнитуд, в то время как в области сжатия отмечается компактная область концентрации сейсмособытий, в которой магнитуды землетрясений достигают максимумов для изучаемого региона. Стоит отметить, что предложенный в работе подход вычисления интенсивности деформаций не учитывает сдвиговые процессы, вносящие довольно значительный вклад в пространственное распределение и энергетический класс землетрясений.

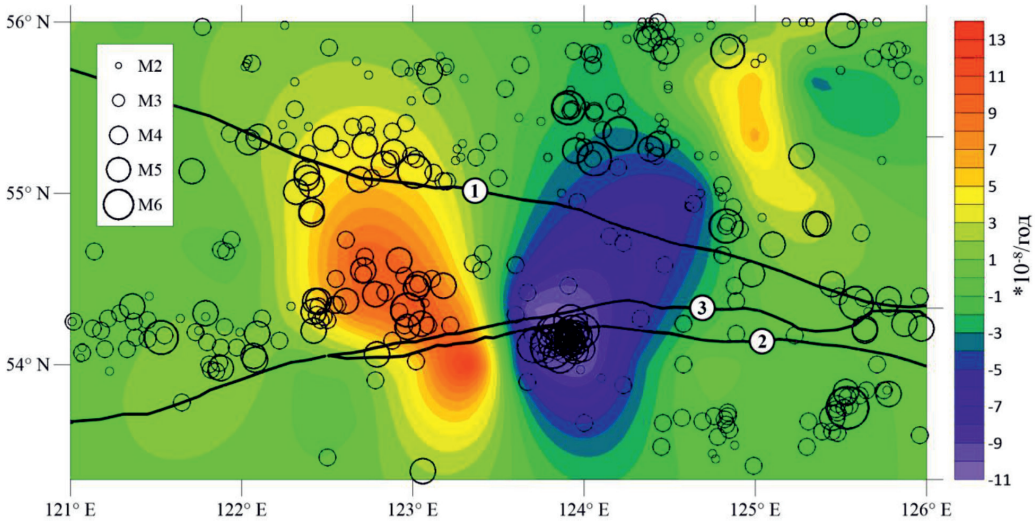


Рис. 3. Схема эпицентров землетрясений [11] и вычисленных значений дивергенции. Основные разломы:1 – Джелтулакский, 2 – Северо-Тукурингрский, 3 – Южно-Тукурингрский

Байкальского типа напряжений к Становому типу. Для первого – характерны процессы растяжения земной коры, для второго – сжатия. На основании глобального моделирования тензорного поля градиента скорости деформации, существование та-

Заключение

Представленная в работе модель геодинамических процессов Верхнего Приамурья отображает их вихревой характер. Наиболее интенсивные деформации, в пределах изучаемого региона, получены на участках,

примыкающих к Тукурингрской зоне разломов, в которых скорости деформаций на 2 порядка превышают типичные для внутриплитных областей значения. Выявлена область смены знака доминирующих тектонических напряжений, маркирующая изменение преобладающих типов геодинамических процессов от байкальского к становому. Показана связь деформационных процессов с сейсмичностью изучаемого региона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00049 и комплексной программы фундаментальных научных исследований ДВО РАН «Дальний Восток» (№ 18-5-024).

Список литературы / References

1. Хаин В.Е., Ломизе М.Г. Геотектоника с основами геодинамики. М: КДУ, 2005. 560 с.

Khain V.E., Lomize M.G. Geotectonics with the basics of geodynamics. M: KDU, 2005. 560 p. (in Russian).

2. Altamimi Z., Rebischung P., Metivier L., Collilieux X. ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions. J. Geophys. Res. Solid Earth. 2016. № 121. P. 6109–6131. DOI: 10.1002/2016JB013098.

3. Тимофеев В.Ю. Казанский А.Ю., Ардюков Д.Г., Метелкин Д.В., Горнов П.Ю., Шестаков Н.В., Бойко Е.В., Тимофеев А.В., Гильманова Г.З. О параметрах вращения сибирского домена и его восточного обрамления в различные геологические эпохи // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 4. С. 21–31.

Timofeev V.Y., Kazansky A.Y., Ardyukov D.G., Metelkin D.V., Timofeev A.V., Gornov P.Y., Gil'manova G.Z., Shestakov N.V. Rotation parameters of the Siberian domain and its eastern surrounding structures during different geological epochs // Russian Journal of Pacific Geology. 2011. Vol. 5. No 4. P. 288–297. DOI: 10.1134/S1819714011040075.

4. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртогоо О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. 2003. Т. 22. № 6. С. 7–41.

Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I., Badarch G., Belichenko V.G., Bulgatov A.N., Dril S.I., Kirillova G.L., Kuzmin M.I., Nokleberg U., Prokopiev A.V., Timofeev V.F., Tomurtogoo O., Yan H. A model for the formation of orogenic belts in Central and Northeast Asia // Pacific Geology. 2003. Vol. 22. No 6. P. 7–41 (in Russian).

5. Глубинное строение и металлогения Восточной Азии / отв. ред. Диденко А.Н., Малышев Ю.Ф., Саксин Б.Г. Владивосток: Дальнаука, 2010. 332 с.

Deep structure and metallogeny of East Asia / otv. Ed. Didenko A.N., Malyshev Yu.F., Saksin B.G. Vladivostok: Dal'nauka, 2010. 332 p. (in Russian).

6. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000. Издание третье. Дальневосточная серия. Лист: N-51 (Сковородино). СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2009.

State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1: 1,000,000. The third edition. Far Eastern series. Sheet: N-51 (Skovorodino). St. Petersburg: Cartagena VSEGEI, 2009 (in Russian).

7. Жижерин В.С., Серов М.А. Кинематика современных тектонических движений в восточной части Монголо-Охотского складчатого пояса // Геология и геофизика. 2016, Т. 57. № 12. С. 2143–2152. DOI: 10.15372/GiG20161203.

Zhizherin V.S., Serov M.A. Kinematics of recent tectonic motions in the east of the Mongol-Okhotsk fold belt // Russian Geology and Geophysics. 2016. Vol. 57. No 12. P. 1688–1695 DOI: 10.1016/j.rgg.2016.04.008.

8. Жижерин В.С., Серов М.А. Современная тектоника западной части Джугджуро-Станового террейна юго-восточного обрамления Северо-Азиатского кратона // Геотектоника. 2017. № 6. С. 66–71. DOI: 10.7868/S0016853X17060108.

Zhizherin V.S., Serov M.A. Present-day tectonics of the western part of the Dzhugdzhur–Stanovoi terrane of the southeastern frame of the North Asian craton // Geotectonics. 2017. Vol. 51. No 6. P. 591–595. DOI: 10.1134/S0016852117060103.

9. Жижерин В.С., Серов М.А., Сорокин А.П. Современная кинематика северной окраины Аргунского континентального массива (восточная часть Центрально-Азиатского складчатого пояса) // Доклады академии наук. 2018. Т. 479. № 1. С. 41–43. DOI: 10.7868/S0869565218010103.

Zhizherin V.S., Serov M.A., Sorokin A.P. Modern kinematics of the northern margin of the Argun continental massif (eastern part of the Central Asian fold belt) // Doklady` akademii nauk. 2018. Vol. 479. No. 1. P. 41–43 (in Russian).

10. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. Introduction to GAMIT/GLOBK Release 10.7. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology. 2018. 54 p.

11. ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (ФИЦ ЕГС РАН) [Электронный ресурс]. URL: http://www.gsras.ru/cgi-bin/new/catalog.pl (дата обращения: 27.09.2018).

FGBUN Federal Research Center «Unified Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences» (FICS EGS RAS) [Electronic resource]. URL: http: //www.gsras.ru/cgi-bin/new/catalog.pl (date of access: 27.09.2018) (in Russian).

12. Ротационные процессы в геологии и физике / Отв. Ред. Е.Е. Милановский. М: КомКнига, 2007. 528 с.

Rotational processes in geology and physics / Otv. Ed. HER. Milanovsky. M: ComKniga, 2007. 528 p. (in Russian).

13. Ашурков С.В., Серов М.А., Жижерин В.С., Имаев В.С. Современные деформации Верхнего Приамурья по данным GPS измерений // Тихоокеанская геология. 2018. Т. 37. № 5. С. 86–96. DOI: 10.30911/0207-4028-2018-37-5-86-96.

Ashurkov S.V., Serov M.A., Zhizherin V.S., Imaev V.S. Present-Day Deformations in the Upper Amur Region from GPS Measurements // Russian Journal of Pacific Geology. 2018. Vol. 12. No. 5. P. 419–428. DOI: 10.1134/S1819714018050020.

14. Kreemer C., Blewitt G., Klein E.C. A geodetic plate motion and Global Strain Rate Model. Geochem. Geophys. Geosyst. 2014. No. 15. P. 3849–3889. DOI: 10.1002/2014GC005407.

УДК 566.166(571.56)

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНИХ КОЛЕБАНИЙ СРЕДНЕГОДОВЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ РЕК ЯКУТИИ

[1]Капитонова Т.А., [1]Слепцов О.И., [2]Кусатов К.И., [1]Стручкова Г.П.

[1]ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера имени В.П. Ларионова» СО РАН, Якутск, e-mail: kapitonova@iptpn.ysn.ru;

[2]Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Якутск

В статье представлены анализ и прогнозная оценка многолетних колебаний среднегодовых расходов воды и синхронности рек восточной и западной части Якутии, которая выполнена с помощью классического метода парных корреляций и графического метода. Ежегодные колебания уровней и расходов воды в реке представляют собой случайные величины, поэтому для построения прогностических моделей используются методы математической статистики. Одним из методов вероятностно-статистического аппарата, который подходят для прогнозирования изменений многолетних колебаний максимальных расходов воды, является метод гармонического анализа временных рядов. Предложенный подход позволяет получать прогнозные оценки многолетних колебаний среднегодовых расходов воды на определенный промежуток времени и строить модели изучаемого процесса (тренда, гармонической и шумовой составляющих) с достаточной точностью. В статье представлены результаты построенных прогностических моделей среднегодовых расходов воды на реках Яна, Колыма, Вилюй до 2011 г. и на их основе составлен числовой прогноз изменения до 2015 г. При установлении синхронности, асинхронности и цикличности колебаний расходов воды рек используются различные показатели и методы. В данной работе кроме метода парной корреляции использовался также графический – сравнение временных трендов среднегодовых расходов воды. Установлено, что в многолетних колебаниях среднегодовых расходов воды исследованных рек синхронность выражена слабо. Результаты исследований, полученные по многолетним данным наблюдений Гидрометцентра с использованием вероятностно-статистических методов, могут быть полезны при планировании и проектировании крупных энергетических и водохозяйственных систем на территории Республики Саха (Якутия).

Ключевые слова: среднегодовые расходы воды, синхронность рек, вероятностно-статистические методы, временные ряды, многолетние данные наблюдений

ANALYSIS OF LONG-TERM FLUCTUATIONS IN AVERAGE ANNUAL WATER CONSUMPTION OF THE YAKUTIA RIVERS

[1]Kapitonova T.A., [1]Sleptsov O.I., [2]Kusatov K.I., [1]Struchkova G.P.

[1]The V.P. Larionov's Institute of Physical-Technical Problems of the North, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, e-mail: kapitonova@iptpn.ysn.ru;

[2]State Institution «Yakutsk Department of Hydrometeorology and environmental monitoring», Yakutsk

The article presents the analysis and forecast estimation of long-term fluctuations of average annual water consumption and synchronicity of the rivers of Eastern and Western part of Yakutia, which is carried out with the help of the classical method of pair correlations and graphical method. Annual fluctuations in water levels and flow rates in the river are random variables, so the methods of mathematical statistics are used to build predictive models. One of the methods of the probabilistic-statistical apparatus, which is suitable for predicting changes in long-term fluctuations in the maximum water flow rate is the method of harmonic analysis of time series. The proposed approach makes it possible to obtain predictive estimates of long-term fluctuations in average annual water consumption for a certain period of time, and to build models of the studied process (trend, harmonic and noise components) with sufficient accuracy. The article presents the results of the constructed prognostic models of average annual water flow on the rivers Yana, Kolyma, Viluy until 2011. and on their basis, we will make a numerical forecast of changes until 2015. Various indicators and methods are used to establish the synchronicity, asynchrony and cyclicity of fluctuations in the water flow of rivers. In this paper, in addition to the pair correlation method, a graphical comparison of time trends of average annual water consumption was also used. It is established that in the multi-annual fluctuations of the average annual water flow of the rivers studied, the synchronicity is weakly expressed. The research results obtained from long-term observations of the hydrometeorological center using probabilistic and statistical methods can be useful in the planning and design of large energy and water systems in the Republic of Sakha (Yakutia).

Keywords: average annual water consumption, synchronicity of rivers, probabilistic and statistical methods, time series, long-term observations

Обширные площади территории Якутии находятся в различных климатических зонах. В республике хорошо развитая речная сеть, которая играет огромную роль в жизнедеятельности и жизнеобеспечении региона как одна из основных транспортных магистралей при перевозке пассажиров и грузов в короткий навигационный период, длительность которого зависит от географической и природно-климатической специфики. Ежегодные колебания уровней и расходов воды в реке представляют собой

случайные величины, поэтому для построения прогностических моделей часто используются методы математической статистики. Статистические модели позволяют учесть некоторые общие закономерности межгодовых колебаний климата, многолетних колебаний среднегодовых расходов воды, его цикличности, синхронности и асинхронности в различных районах и построить прогнозные модели на ближайшие годы. Исследование синхронности колебаний среднегодовых расходов воды в реках имеет важное значение также при решении многих научных и практических гидрологических задач, связанных с комплексным использованием водных ресурсов при планировании и проектировании крупных энергетических и водохозяйственных систем. Синхронность колебаний может быть полезна для установления закономерности изменчивости годового стока вод в арктической зоне, из-за недостаточного количества гидрологических постов. Представленные результаты могут стать основой для экстраполяции выявленных закономерностей расходов воды северных рек на более значительные временные интервалы, а возможно и на другие регионы со схожими природно-климатическими условиями.

Целью данной работы является решение задачи, связанной с анализом, адаптацией существующих и разработкой новых подходов при исследованиях закономерностей многолетних колебаний среднегодовых расходов воды в реках, полученных по многолетним данным наблюдений и статистики Гидрометцентра, используемых для планирования и проектирования крупных энергетических и водохозяйственных систем на территории Республики Саха (Якутия).

В создание методов и моделей, основанных на вероятностной теории описания речного стока, большой вклад был сделан российскими исследователями (Н.А. Картвелишвили, М.Ф. Менкель, В.А. Лобанов, С.Н. Крицкий, Д.А. Бураков и др.). Результаты исследований многолетних изменений основных параметров водного баланса рек и водосборов учитывались и использовались при построении моделей в работах [1–3]. В исследованиях [4–6] рассматривались, анализировались и классифицировались экстремальные гидрологические явления на территории России и других стран, был определен вклад природных и антропогенных влияний в их формирование. На основании полученных прогнозных моделей были построены сценарии развития опасных гидрологических ситуаций, что давало возможность устранения и смягчения негативных последствий, а также использования полученных результатов при проектировании и управлении хозяйственными и промышленными объектами.

Материалы и методы исследования

В данной работе на основе метода парных корреляций и исследования трендов среднегодовых расходов воды выполнен анализ синхронности и пространственной однородности колебаний расходов воды рек Яны, Колымы и Вилюя. Выбор рек производился с учетом следующих критериев: наличие достаточно продолжительного ряда гидрологических наблюдений (более 75 лет); «непересечение» водосборов рек; отсутствие в бассейнах исследуемых водотоков существенных антропогенных воздействий на сток. Исследуемая территория состоит из двух регионов: регион I – реки бассейна Яны; регион II охватывает реки бассейна Колымы и Вилюя.

Река Колыма образуется от слияния рек Аян-Юрях и Кулу, берущих начало на Охотско-Колымском нагорье. Длина 2129 км (от истока реки Кеньеличи, правой составляющей реки Кулу, – 2513 км), из них около 1,4 тыс. км на территории Магаданской области, остальное – на территории Якутии. Площадь бассейна 643 тыс. км². Впадает в Колымский залив Восточно-Сибирского моря тремя главными протоками: Каменная Колыма – правая, судоходная, Походская Колыма и Чукочья. Длина дельты 110 км, площадь 3000 км^2.

Река Яна образуется слиянием рек Сартанг и Дулгалах, которые стекают со склонов Верхоянского хребта. Длина – 872 км, площадь бассейна – 238 000 км^2. При впадении в Янский залив моря Лаптевых река образует дельту площадью 10200 км^2. При разработке методов и моделей прогнозирования поведения временных рядов за некоторый период времени выполняются следующие шаги [5, 6]:

– Необходимо провести предварительный анализ данных;

– Разработка новых или адаптация известных моделей, т.е. выбор кривых, описывающих явление, и численное оценивание параметров модели;

– Проверка адекватности и оценка точности используемых моделей;

– Оценка точечного и интервального прогноза.

Одними из методов вероятностно-статистического аппарата, которые подходят для прогнозирования изменений среднегодовых расходов воды в реках является метод гармонического анализа временных рядов [7, 8]. Построим прогностические модели среднегодовых расходов воды на реках Яна, Колыма, Вилюй до 2011 г. и на их основе составим числовой прогноз изменения до 2015 г. В данной работе необходимо выполнить прогнозирование временного ряда H_{t+1}, H_{t+2},..., по наблюдениям H_1, H_2,..., H_t где t – время. Предполагается, что присущие данному процессу особенности и закономерности сохраняются в течение исследуемого периода, что является корректным при моделировании краткосрочных либо оперативных прогнозов. Для временных рядов используется часто статистический подход, который состоит в том, что временной ряд, описывающий развитие процесса, можно представить в виде трех составляющих компонент: функцию тренда (тенденция развития), циклическую компоненту, остаточную компоненту (белый шум).

$$H(t) = f(t) + u(t) + e(t),$$

где $f(t)$ – функция тренда (тенденция развития), $u(t)$ – циклическая компонента, $e(t)$ – остаточная компонента.

Предварительный анализ данных состоит в выполнении сглаживания данных наблюдения и определении наличия тренда временного ряда. При определении вида функции тренда и вычислении коэффициентов применяется метод наименьших квадратов. Этап удаления тренда необходимо сопровождать исследованием временного ряда на стационарность. Оценка зависимостей между последовательными значениями одного и того же ряда производится используя коэффициент автокорреляции. Считая значения рассматриваемого временного ряда случайными, предполагаем значения между их уровнями независимыми. Величина коэффициента автокорреляции может быть использована при определении периода колебаний. Построение статистической модели было выполнено, используя методику обработки данных, в основе которой применялась нелинейная многопараметрическая регрессия [7].

Начальным этапом моделирования данных является построение регрессионной модели. Для получения прогнозных значений среднегодовых расходов воды необходимо провести композицию составляющих модели и обратное преобразование. Адекватность полученной модели определяется сравнением данных наблюдения с результатами прогноза.

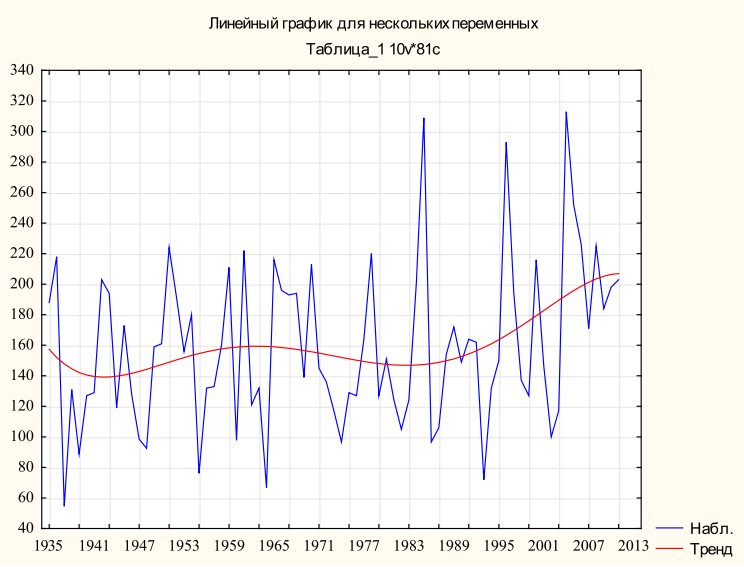
Прогноз среднегодовых расходов воды на реке Яна в районе Верхоянска (данные с 1935 г.). Судоходство на участке Батагай – Верхоянск нерегулярно и возможно лишь в полноводный период. Для получения достаточно точных и надежных прогнозов необходимо изучить состояние процесса и выделить основные компоненты, которые входят в состав исследуемого временного ряда (тренд и циклические колебания – отклонения уровней отдельных периодов времени от тенденции динамики). Для аппроксимации временного тренда наиболее простым и чаще всего используемым подходом является его полиномиальное представление, когда соответствующая составляющая временного ряда – функция является полиномом, коэффициенты которого могут быть найдены методом наименьших квадратов.

Результаты исследования и их обсуждение

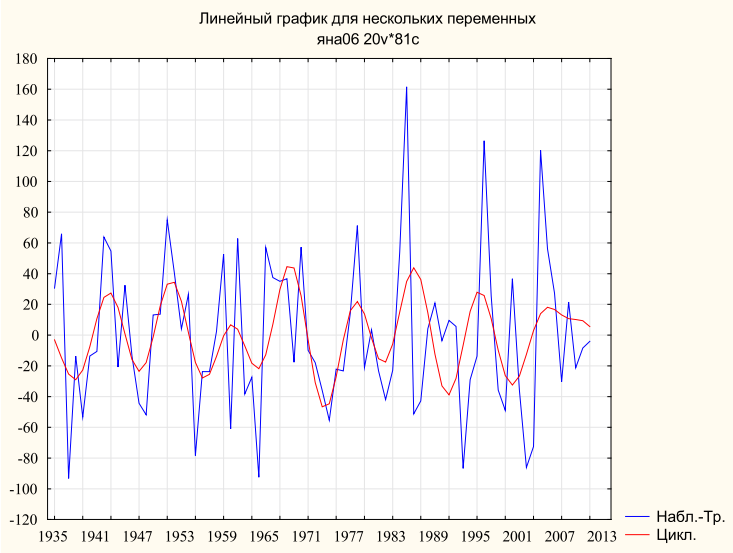
Стандартным методом выделения циклических составляющих временного ряда является разложение его в ряд Фурье. Используя методы предварительной обработки данных и анализ Фурье, мы получили математическую гармоническую модель, описывающую исходные данные, на основе которой делаем прогнозирование.

На рис. 1 представлены среднегодовые расходы воды, исходные данные и гармоническая составляющая на реке Яна в районе Верхоянска.

Прогноз среднегодовых расходов воды на реке Колыма в районе Среднеколымска (данные с 1934 г.). Колыма судоходна от устья реки Бахапча (регулярное судоходство – от Сеймчана); навигация 4–5 мес. Аналогичным образом производится выявление наличия тренда, сглаживание временных рядов для рек Колыма в районе Среднеколымска и Вилюй в районе с. Сунтар. Подборка коэффициентов и выбор моделей тренда осуществляется на основании метода наименьших квадратов. После удаления тренда необходимо провести анализ временного ряда на стационарность. К ряду остатков применяем гармонический анализ. Суммарный прогноз строится с учетом тренда и экстраполированных значений ряда Фурье.



а)



б)

Рис. 1. а) исходные данные (синим) и тренд (красным) среднегодовых расходов воды на реке Яна в районе Верхоянска; б) исходные данные (синим) и гармоническая составляющая (красным) на реке Колыма в районе Среднеколымска

Таблица 1

Таблица относительной погрешности прогностических моделей

Участки рек	2012		Ош.	2013		Ош.	2014		Ош.	2015		Ош.
	Факт	Прог.	%	Факт.	Прог.	%	Факт.	Прог.		Факт	Прог.	%
Яна в районе Верхоянска	209	204	2	166	190	14	125	161	28	188	171	9
Колыма в районе Среднеколымска	2460	2671	8	3410	2748	19	3450	2839	17	2040	2639	29
Вилюй в районе Сунтар	629	684	8	565	581	3	859	659	23	1070	816	24

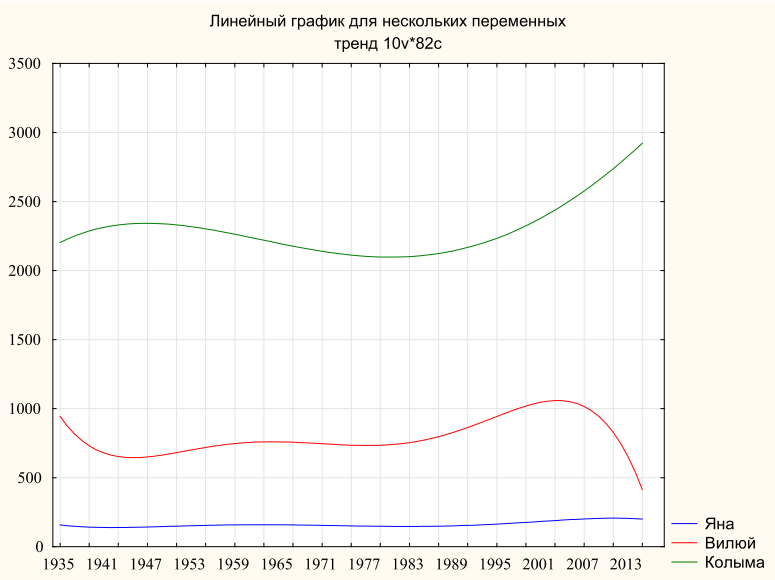


Рис. 2. Тренды временных рядов среднегодовых расходов воды рек Яна, Вилюй и Колыма в районе Верхоянска, Среднеколымска и Сунтар соответственно

Среднегодовые расходы воды на реке Вилюй в районе Сунтар (данные с 1932 г). Река Вилюй – это самый длинный приток реки Лены. Регулярное судоходство осуществляется до посёлка Сунтар. Циклическая составляющая ряда остатков строится на основании результатов гармонического анализа. Суммарный прогноз строится с учетом тренда и экстраполированных значений ряда Фурье. Результаты расчетов и оценка погрешностей представлены в табл. 1.

Адекватность построенных моделей прогнозирования оценивается путем сравнения фактических и предсказанных значений. Полученные значения относительной погрешности говорят о среднем уровне точности построенных моделей.

Степень синхронности или асинхронности колебаний среднегодовых расходов воды рек была определена с помощью метода парной корреляции, результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции среднегодовых расходов воды рек Яна, Колыма и Вилюй в районе Верхоянска, Среднеколымска и Сунтар соответственно

№ п/п	Участки рек	1	2	3
1	Яна в районе Верхоянска	1	0,34	0,17
2	Колыма в районе Среднеколымска	0,34	1	0,04
3	Вилюй в районе Сунтар	0,17	0,04	1

Анализ коэффициентов корреляции среднегодовых расходов воды рек Яна, Колыма и Вилюй в районе Верхоянска, Среднеколымска и Сунтар соответственно показывает, что корреляция между ними очень слабая, синхронность данных рек практически отсутствует. При установлении синхронности, асинхронности и цикличности колебаний расходов воды рек используются различные показатели и методы. В данной работе кроме метода парной корреляции использовался также графический – сравнение временных трендов среднегодовых расходов воды, который показал асинхронность рек Вилюй и Колыма, коэффициент парной корреляции этих рек равен 0,04. На графике можно отметить, что наиболее маловодные годы реки Колыма совпадают многоводному периоду на реке Вилюй и наоборот (рис. 2).

Заключение

Одним из методов вероятностно-статистического аппарата, который подходит для прогнозирования изменений многолетних колебаний среднегодовых расходов воды, является метод гармонического анализа временных рядов. Предложенный подход позволяет получать прогнозные оценки многолетних колебаний среднегодовых расходов воды на определенный промежуток времени и получать модели изучаемого процесса (тренда, гармонической и случайной составляющих). Степень синхронности или

асинхронности колебаний среднегодовых расходов воды рек определялась с помощью метода парной корреляции. Установлено, что в многолетних колебаниях среднегодовых расходов воды исследованных рек синхронность выражена слабо. Но в некоторых случаях коэффициент парной корреляции может оказаться недостаточной характеристикой синхронности колебаний водности, так как коэффициент корреляции определяется на основании всего ряда среднегодовых расходов воды и является усредненной характеристикой. Поэтому в данной работе кроме метода парной корреляции использовался также графический – сравнение временных трендов среднегодовых расходов воды, который показал асинхронность рек Вилюй и Колыма. Предложенный метод может быть полезен для прогнозирования закономерностей колебания уровня воды на реках Севера.

Список литературы / References

1. Картвелишвили Н.А. Стохастическая гидрология. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 200 с.

Kartvelishvili N.A. Stochastic hydrology. L. Gydrometeoizdat, 1975. 200 p. (in Russian).

2. Болгов М.В., Коробкина Е.А. Закономерности многолетних колебаний годового стока рек Сибири и Дальнего Востока // География и природные ресурсы. 2011. № 2. С. 5–11. DOI: 10.1134/S1875372811020016.

Bolgov M.V., Korobkina E.A. The regularities of long-term annual stream runoff fluctuations in Siberia and the Far East // Geography and Natural Resources. 2011. V. 32. No 2. P. 101–107. DOI: 10.1134/S1875372811020016.

3. Коронкевич Н.И., Барабанова Е.А., Зайцева И.С. Экстремальные гидрологические ситуации. М.: Медиа-ПРЕСС, 2010. 464 с.

Koronkevich N.I., Baranova E.A., Zaytseva I.S. Extreme hydrological situations. M.: Media-Press. 2010, 464 p. (in Russian).

4. Бураков Д.А. Разработка технологии долгосрочного и краткосрочного прогнозирования сценариев развития паводковой обстановки и возникновения ЧС на опасных участках рек Енисей и Ангара в 2002 г.. Выдача прогноза до начала и в ходе паводков // Отчет по объекту. Красноярск: Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (СУГМС), Красноярский научно-исследовательский центр, 2002. 27 с.

Burakov D.A. Development of technology for long-term and short-term forecasting scenarios of development of flood situation and emergencies in dangerous areas of the rivers Yenisei and Angara in 2002. The results of the prediction before and during flood events // The report object. Krasnoyarsk: Srednesibirskoe upravlenie po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushey sredy, Krasnoyarskiy nauchno-issledovatelsky senter, 2002. 27 p. (in Russian).

5. Симонов К.В., Кириллова С.В., Кадена Л. Построение регрессионных моделей на основе нейросетей в задачах экологии человека // Информатизация и связь. 2013. № 5. С. 85–88.

Simonov K.V., Kirillova S.V., Kadena L. Construction of regression model based on neural network in the problem of human ecology // Informatizatsiya i svyaz. 2013. № 5. P. 85–88 (in Russian).

6. Kapitonova T.A., Lebedev M.P., Timofeeva V.V., Nogovitsyn D.D., Struchkova G.P. Flood Forecasting on River Lena During Spring High Water in Area of Location of Potentially Dangerous Object // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference (SGEM 2016). Book 3. Water Resources. Forest, Marine and ocean Ecosystems. Conference Proceedings, 2016. V. 1. P. 329–334.

7. Симонов К.В., Москвичев В.В. Статистические модели опасности наводнений // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. 2008. № 4. С. 11–20.

Simonov K.V., Moskvichov V.V. The statistical models of the estimation of flood's risks // Problemy` bezopasnosti i chrezvy`chajny`x situacij. 2008. № 4. P. 11–20 (in Russian).

8. Стручкова Г.П., Тимофеева В.В., Капитонова Т.А. Статистическая модель наводнения в период весеннего половодья и ледохода на р. Лена у г. Якутска // Метеорология и гидрология. 2015. № 5. С. 84–89.

Struchkova G.P., Timofeeva V.V., Kapitonova T.A. The statistical model of floods during spring tides and ice drift on the Lena River near Yakutsk // Russian Meteorology and hydrology. 2015. No 5. P. 343–346. DOI: 10.3103/S1068373915050088.

УДК 553.4 (571.56)

ПРОЯВЛЕНИЕ РОСОМАХА – ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫЙ ТИП FE-ОКСИДНОЙ-CU-AU МИНЕРАЛИЗАЦИИ В БАЗАЛЬТАХ ХРЕБТА СЕТТЕ-ДАБАН

Костин А.В.

ФГБУН «Институт геологии алмаза и благородных металлов» Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: kostin@diamond.ysn.ru

Обобщение данных о выявленных минеральных типах руд, связанных с девонскими базальтами хребта Сетте-Дабан (Восточная Якутия), позволило установить новый для Северо-Востока России генетический тип Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд. Его главными особенностями являются высокие содержания железа и меди. Золото всегда присутствует в минеральной форме и может образовывать промышленно значимые концентрации. Поисковыми признаками Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд в базальтовых покровах являются разнообразные по морфологии скопления гематита и ассоциирующих минералов меди, а на поверхности коренных обнажений часто присутствует малахит. Содержание меди в базальтах варьирует от 0,37–18,24%. Медь в самородной форме присутствует уже на стадии застывания базальтовой лавы – обычно это тонкие пленки по границам кристаллов авгита. Позднее брекчирование базальтовых потоков, и цементация гематит-кальцит-борнитовыми рудами приводит к образованию ультрабогатых Fe-Cu руд. Высокая продуктивность базальтов на медь определяется принадлежностью к толеитовой серии. Содержание меди в известково-щелочных разновидностях пород меньше, но с ними большее развитие получили оксиды железа (проявление Хурат и частично Джалкан). Сочетание в пределах одного рудопроявления пород толеитовой и известково-щелочной серий (проявление Росомаха и частично Джалкан), относимых по степени эволюции к ферро-базальтам, является наиболее продуктивным для формирования богатых Fe-оксидных-Cu-Au руд. Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) проявления Джалкан, Росомаха и Хурат располагается в зоне влияния федеральной автодороги «Колыма» (10, 5 и 1 км от автодороги соответственно), что делает экономически целесообразным вовлечение его в геологоразведку.

Ключевые слова: Fe-оксидных-Cu-Au, IOCG, проявление Росомаха, Сетте-Дабан

THE MANIFESTATION ROSOMAKHA – HIGH-PRODUCTIVE TYPE OF FE-OXIDE-CU-AU MINERALIZATION IN BASALTS OF THE RIDGE SETTE-DABAN

Kostin A.V.

Diamond and Precious Metal Geology Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: kostin@diamond.ysn.ru

Generalization of the data on the identified mineral types of ores associated with the Devonian basalts of the Sette-Daban ridge (Eastern Yakutia) made it possible to establish a new genetic type of Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) ores for the Northeast of Russia. Its main features are the high content of iron and copper. Gold is always present in mineral form and can form industrially significant concentrations. The prospecting features of Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) ores in basalt covers are diverse in morphology of hematite and associated copper minerals, and malachite is often present on the surface of root outcrops. The content of copper in basalts varies from 0.37-18.24%. Copper in native form is already present at the stage of hardening of basalt lava-usually thin wraps along the boundaries of augite crystals. Later brecciating of basalt flows and cementation with hematite-calcite-bornite ores leads to the formation of ultra-rich Fe-Cu ores. High productivity of basalts on copper is determined by belonging to the tholeiite series. The copper content in the calc-alkaline rock varieties less, but more development was given to the iron oxides (the manifestations Hurat and partially Jalkan). The combination within one ore occurrence of rocks of the toleiite and calc-alkaline series (the manifestations of Rosomakha and partially Jalkan), attributable to the degree of evolution to ferro-basalts, is the most productive for the formation of rich Fe-oxide-Cu-Au ores. Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) manifestations of Jalkan, Rosomakha and Hurat are located in the zone of influence of the Federal highway «Kolyma» (10, 5 and 1 km from the road, respectively), which makes it economically feasible to involve it in exploration.

Keywords: Fe-oxide-Cu-Au, IOCG, Rosomakha manifestation, Sette-Daban

Пространственная и генетическая связь мафических пород и Fe-оксидной-Cu-Au (IOCG – принятое в литературе сокращение от Iron Oxide Copper Gold deposits) минерализации широко распространена в мире, но наиболее представлена в районе Mount Isa (Австралия) [1]. Похожий тип Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд, связанный с покровами базальтов, был обнаружен во время полевых работ 2013–2017 гг. в горном хребте Сетте-Дабан, Восточная Якутия. При минеральном разнообразии в целом руды характеризуются высоким содержанием оксидов железа и дефицитом сульфидов. Руды комплексные и экономически привлекательные – содержания $FeO_{общ}$ – 8,37–43,29%; Cu – 0,011–18,24%; Au – 0,1–17,5 г/т, Ag – 1,9–43,3 г/т [2], а главным минералом – концентратором золота является гематит. Проведенные ранее исследования показали,

что крупные скопления Fe-оксидных руд присутствуют только в базальтах известково-щелочной серии, где ассоциируют с халькопиритом. Их образование связано с распадом ильменита на гематит, ульвошпинель, псевдорутил и рутил [3]. Медь в самородной форме и высокомедистые сульфиды (борнит и джерит) ассоциируют с толеитовыми лавами проявлений Джалкан и Росомаха и появляются уже на стадии застывания – обычно это тонкие пленки по границам кристаллов авгита. Позднее брекчирование толеитовых лав проявления Росомаха, и цементация гематит-кальцит-борнитовыми рудами приводит к образованию богатых Fe-Cu руд, в которых минералы меди ассоциируют с самородным золотом.

Улучшение качества федеральной автодороги «Колыма» на отрезке Хандыга – Усть-Нера вовлекает в сферу экономического влияния многие месторождения полезных ископаемых, которые ранее были не востребованы из-за изолированности района. В их число входят Fe-оксидные-Cu-Au проявления в базальтах Менкюленской минерагенической зоны северного замыкания хребта Сетте-Дабан (Восточная Якутия), расположенные в сфере экономического влияния автодороги (рис. 1).

Цель статьи: обосновать геологические особенности высокопродуктивного типа Fe-оксидной ± (Cu-Au) минерализации, связанного с проявлением базальтового вулканизма хребта Сетте-Дабан.

Материалы и методы исследования

Материал для статьи был собран во время полевых работ 2013–2017 гг. из меденосных базальтов хребта Сетте-Дабан Восточной Якутии. Для всех разновидностей пород выполнен химический силикатный анализ (табл. 1), включающий определение суммы окислов элементов, проведено количественное определение содержаний меди. Распределение и состав рудных минералов в породах изучалось на оптическом микроскопе Leica DM ILM в полированных шлифах. Диагностика и анализ минералов пород и руд выполнены на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480 LV. Все исследования проводились в лаборатории физико-химических методов анализа ФГБУН ИГАБМ СО РАН.

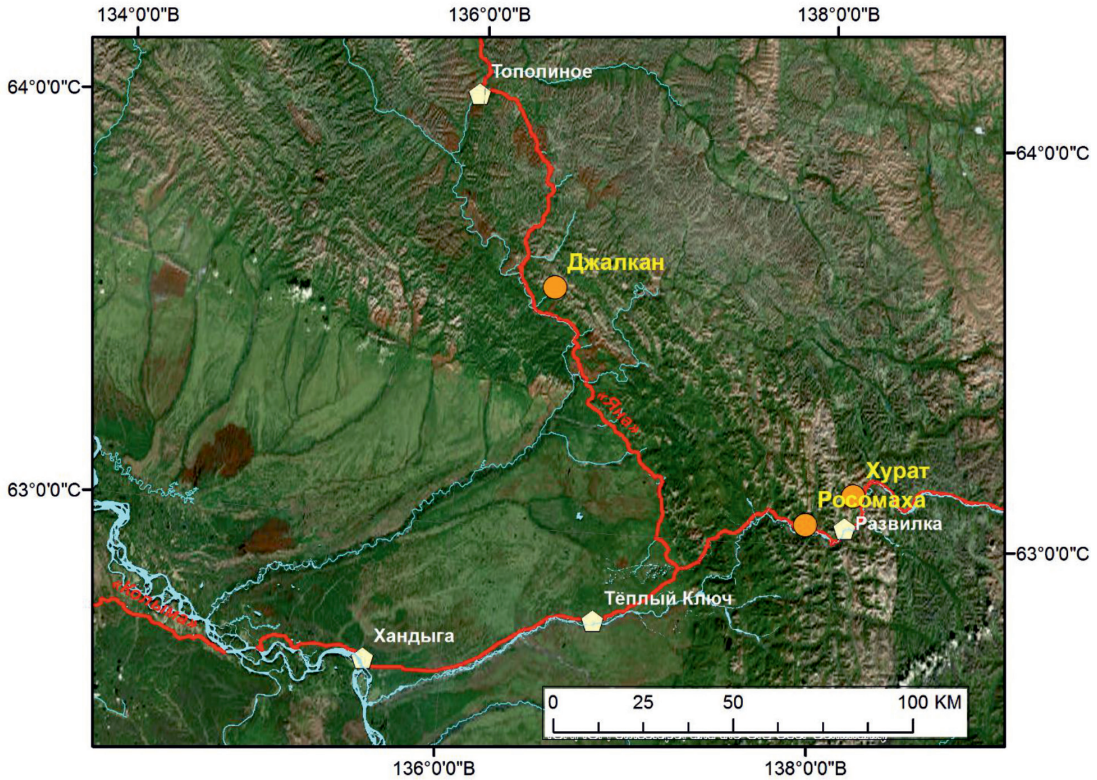


Рис. 1. Расположение проявлений меденосных базальтов Джалкан, Росомаха и Хурат вдоль автодорог «Колыма» и «Яна» на снимках Landsat

Таблица 1

Представительные химические анализы (в %) меденосных базальтов: проявление Росомаха

Обр.	10303-1	10307-2	10309-1	27-1	27-3	27-4	27-5
SiO_2	45,3	49,92	45,23	39,84	39,62	41,49	43,04
TiO_2	1,76	2,25	1,9	1,95	1,91	0,79	2,17
Al_2O_3	12,22	16,13	13,76	13,22	13,71	6,6	14,41
Fe_2O_3	5,21	11,38	6,64	3,35	3,86	1,28	3,77
FeO	4,83	4,5	6,96	5,66	6,14	7,09	6,58
MnO	0,18	0,05	0,11	0,13	0,12	0,08	0,09
MgO	4,93	3,76	6	3,45	3,1	4,07	4,13
CaO	10,62	2,07	6,99	11,11	13,2	9,83	7,52
Na_2O	4,83	2,48	5,21	3,91	3,52	1,28	4,36
K_2O	0,59	4,86	0,49	0,18	0,17	0,31	0,2
H_2O-	0,04	0,1	0,06	0,18	0,24	0,02	0,22
H_2O+	2,84	2,65	2,23	2,1	1,66	1,08	2,19
P_2O_5	0,18	0,14	0,15	0,51	0,27	0,3	0,17
CO_2	5,66	0	1,31	2,46	1,97	1,88	0,11
S	0,2	0,07	0,51	2,6	2,47	5,87	2
Cu	1,16	0,37	1,83	9,8	8,87	18,24	8,09
Сумма	100,55	100,73	99,38	100,45	100,83	100,21	99,05

Продолжение табл. 1

Представительные химические анализы (в %) меденосных базальтов: проявление Джалкан

Обр.	10176-5	10179	10185-1	10187	10187-1	10188	10192	10192-1
SiO_2	41,56	49,78	45,81	46,99	49,04	49,45	49,74	46,03
TiO_2	2,36	0,63	0,62	2,13	2,04	2,53	1,97	1,87
Al_2O_3	15,81	11,33	13,14	13,1	13,01	12,84	10,76	13,59
Fe_2O_3	17,29	3,73	6,36	11,66	10,99	8,99	8,57	12,02
FeO	2,87	3,4	1,87	3,48	3,36	4,89	3,11	2,82
MnO	0,12	0,21	0,19	0,2	0,18	0,17	0,21	0,17
MgO	4,46	2,1	3,44	8,77	8,47	7,52	6,24	7,78
CaO	11,63	13,47	14,91	8,53	5,45	7	16,1	6,7
Na_2O	1,04	4,41	3,14	2,76	4,78	3,88	0,55	4,29
K_2O	0,23	0	0,62	0	0,25	0,2	0	0,63
H_2O-	0,8	1,14	0	0,48	0,12	0,36	0	0,18
H_2O+	2,05	0,95	1,58	2,46	2,23	2,59	1,04	2,09
P_2O_5	0,26	0,04	0,05	0,21	0,22	0,28	0,19	0,13
CO_2	0	9,12	8,32	0	0	0	0	0
S	0	0,13	0	0,05	0,02	0	0	0
Cu	0,044	0,49	0,11	0,03	0,011	0,011	1,517	2,267
Сумма	100,524	100,93	100,16	100,85	100,171	100,711	99,997	100,567

Продолжение табл. 1

Представительные химические анализы (в %) меденосных базальтов: проявление Хурат

Обр.	10015-3	10015-6	10015-9	10217-а
SiO_2	43,25	48,85	44,67	42,65
TiO_2	1,51	1,39	1,37	1,28
Al_2O_3	14,29	16,55	14,49	14,21
Fe_2O_3	5,04	5,85	4,53	6,91
FeO	4,02	3,23	3,49	2,58
MnO	0,1	0,06	0,09	0,1
MgO	6,3	5,02	5,71	7,41
CaO	10,5	5,61	10,34	9,7
Na_2O	3,58	4,33	3,79	3,36
K_2O	3,02	4,08	3,49	2,22
H_2O-	0,06	0,06	0,18	0,12
H_2O+	1,62	2,5	2	2,81
P_2O_5	0,18	0,18	0,18	0,12
CO_2	6,02	2,25	5,34	5,93
S	0	0,04	0	0,02
Cu	0,0085	0,013	0,0099	0,0087
Сумма	99,4985	100,013	99,6799	99,4287

Примечание. Химические анализы выполнены в лаборатории физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН, аналитик Л.Т. Галенчикова.

Результаты исследования и их обсуждение

Генетические серии меденосных базальтов хребта Сетте-Дабан показаны на диаграмме AFM, отображающей относительные весовые пропорции компонентов: A ($Na_2O + K_2O$), F ($FeO + Fe_2O_3$) и M (MgO) (рис. 2). Точки исследованных меденосных базальтов на диаграмме AFM, захватывают известково-щелочную и толеитовую серии. Ранее было показано, что с базальтами известково-щелочной серии проявлений Хурат и Джалкан связана Fe-оксидная-Cu-Au (IOCG) минерализация, а в рудах присутствуют значительные количества гематита. Толеитовые базальты проявления Джалкан обогащены самородной медью и в меньшей степени – гематитом [4]. В толеитовых лавах проявления Росомаха широко развиты минерализованные газовые пузыри – миндалины, к которым приурочена значительная часть медной минерализации, а самородная медь обнаружена в базальтах в ассоциации с авгитом (рис. 3).

Предполагается, что процесс образования базальтов известково-щелочной и толеитовой серий различен. Главным отличием является окислительный потенциал исходного расплава – толеитовые магмы восстановлены, а известково-щелочные – окислены [5]. Это приводит к тому, что известково-щелочная магма обладает достаточным окислительным потенциалом, чтобы осадить в рудные тела значительные количества оксида железа. В толеитовой магме содержание железа увеличивается, по мере того как из расплава осаждаются минералы, бедные железом. При этом самостоятельных скоплений оксидов железа не образуется.

Главным признаком присутствия Fe-оксидных руд в меденосных базальтах является гематит, количество и формы проявления которого различны. При приближении к крупным скоплениям гематита в базальтах появляются тонкие (1–3 см) протяженные (до 1,5 м) ленты гематит-кальцитового состава, наследующие структуры течения базальтовой лавы. Обычно они располагаются параллельно сложной геометрической поверхности лавовых потоков и подчеркивают поверхности их контактов (рис. 4, А). В кровле лавовых потоков обычно присутствуют две разновидности лав, внедрявшиеся в кремнистые гематизированные осадки. Первая – представлена угловатыми обломками в кремнистых осадках (рис. 4, Б). Вторая – лавы внедрялись в нелитифицированные кремнистые осадки, фрагменты лав имеют округлые очертания (рис. 4, В). Обо-

гащенные гематитом базальты приурочены к подошве лавового покрова на контакте с доломитами, содержат редкую вкрапленность пирита и халькопирита (рис. 4, Г). Наиболее богатые медные руды наблюдались в кровле лавового потока и представлены брекчиями с борнит-гематит-кальцитовым цементом (рис. 4, Д). Ассоциация гематита и самородной меди (рис. 4, Е) является важным показателем рудоносности базальтов.

Как следует из табл. 1, по содержанию меди наиболее продуктивным минеральным типом является Fe-оксидный-Cu, установленный в толеитовых базальтах проявления Росомаха. Меденосные базальты проявления характеризуются наличием крупных уплощенных миндалин, газовых труб и пустот, пространство которых выполнено гематит-джерит-борнитовой рудой. С этими рудами пространственно ассоциируют зоны развития Fe-оксидной минерализации в базальтах.

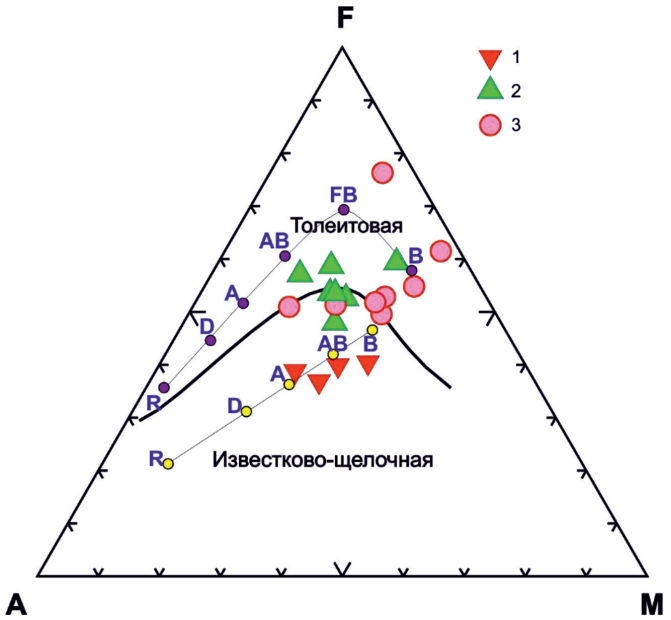


Рис. 2. Классификационная AFM-диаграмма для минерализованных базальтов хребта Сеттe-Дабан, показывающая относительные пропорции оксидов $Na_2O + K_2O$ (A), $FeO + Fe_2O_3$ (F) и MgO (M) [5]: Проявления: 1 – Хурат, 2 – Росомаха; 3 – Джалкан. Породы на линиях эволюции: B – Базальт, FB – Ферро-базальт, AB – Андезитобазальт, A – Андезит, D – Дацит, R – Риолит

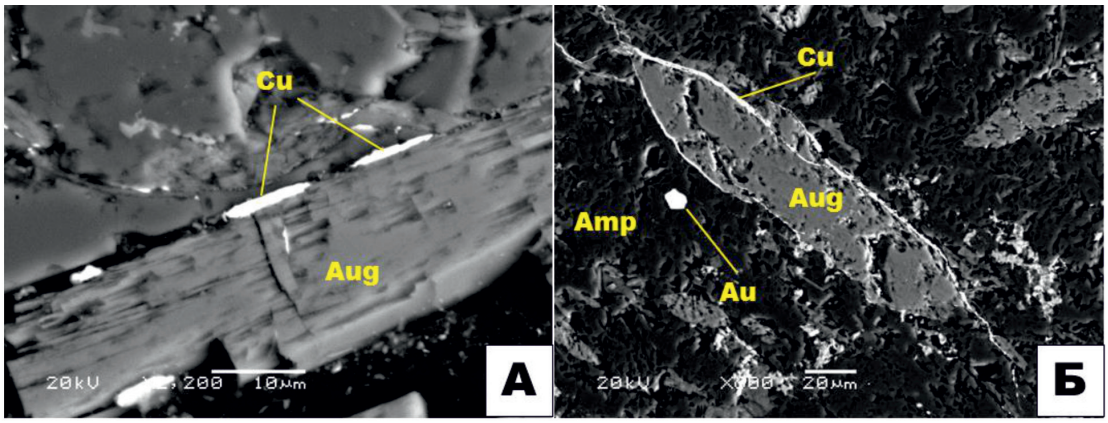


Рис. 3. Самородные медь и золото в базальтах проявления Росомаха: А – авгит + самородная медь по границе кристалла; Б – авгит + самородная медь по границе кристалла и вкрапление золота в Ca-амфиболе (феррочермакит). Сокращения: Cu – медь самородная, Au – золото самородное, Aug – авгит, Amp – амфибол

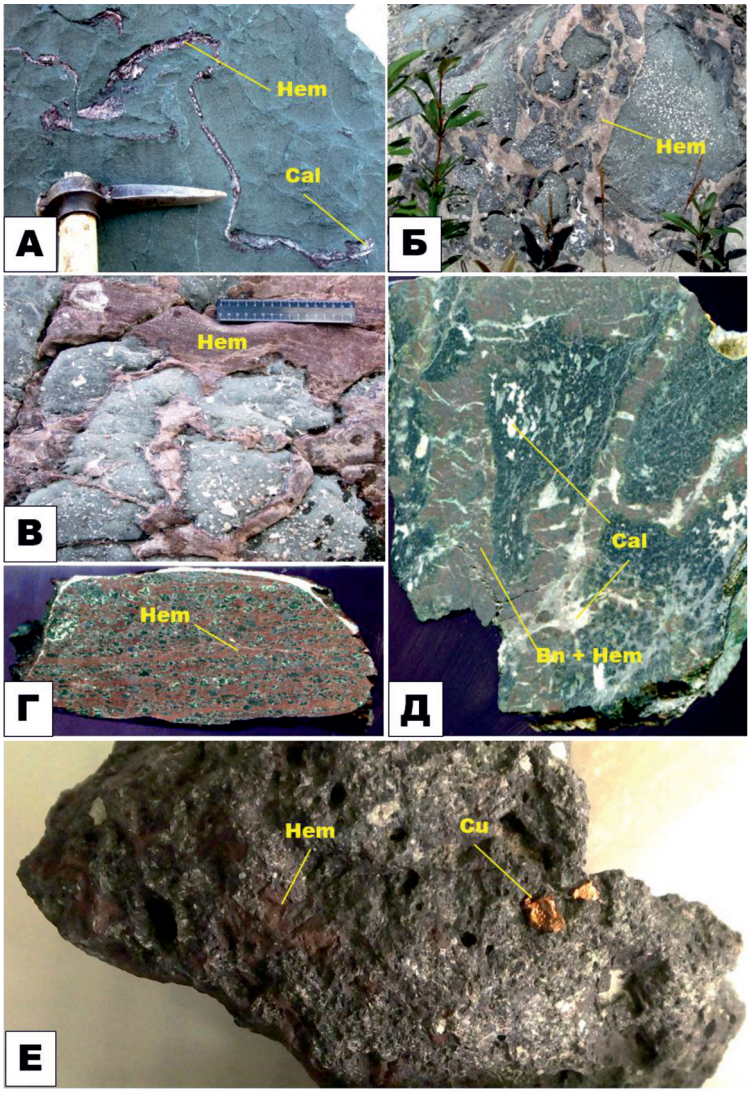


Рис. 4. Признаки Fe-оксидных-Cu-(Au) руд в базальтах: А – Тонкие протяженные ленты гематит-кальцитового состава, наследующие структуры течения базальтовой лавы (руч. Тихий, проявление Хурат); Б – Брекчированный базальт в насыщенных гематитом кремнистых осадочных породах (руч. Тихий, проявление Хурат); В – Подушечная текстура (пиллоу-лава): отдельные «подушки» сцементированы кремнистыми осадками, насыщенными гематитом (руч. Тихий, проявление Хурат); Г – Полосы, обогащенные гематитом в подошве покрова базальтов (руч. Сегенях, проявление Росомаха); Д – Брекчированный базальт с гематит-борнитовым цементом (руч. Сегенях, проявление Росомаха); Е – Гематитизированный базальт с вкраплениями самородной меди (ручей Джалкан, проявление Джалкан). Сокращения: Bn – борнит, Hem – гематит, Cu – медь самородная, Cal – кальцит

Практические рекомендации

Меденосность базальтов хребта Сетте-Дабан известна с 1970-х гг. Однако геологической активности в связи с этими проявлениями рудной минерализации не наблюдается до сих пор. Главная причина в том, что как собственные месторождения меди они экономического интереса не представляют. Микрозондовые исследования составов рудных минералов показали, что главные минералы меди – джерит и борнит проявления Росомаха золотоносны (табл. 2), что в совокупности с обнаруженной Fe-оксидной минерализацией позволяет обосновать высокопродуктивный тип Fe-оксидной-Cu-Au минерализации.

Таблица 2

Представительные микрозондовые анализы главных минералов меди проявления Росомаха, мас. %

S	Fe	Cu	Au	Сумма
Джерит				
21,78	–	76,28	–	98,06
22,27	–	75,08	1,66	99,01
22,5	–	76,73	–	99,23
22,31	3,28	72,99	1,09	99,67
Борнит				
24,59	1,83	69,81	1,24	97,47
25,56	3,66	67,97	3,14	100,33
26,48	9,03	62,05	2,39	99,95
25,49	9,84	63,6	–	98,93
25,25	10,49	63	–	98,74
25,27	11,46	62,24	0,84	99,81
24,05	10,52	65,54	–	100,11

Примечание. Анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН в лаборатории физико-химических методов анализа на сканирующем электронном микроскопе JEOL JSM-6480 LV, аналитик С.К. Попова.

Заключение

Мы находим, что толеитовые и известково-щелочные тренды базальтовых лав влияют на рассеивание или накопление железа в ассоциирующих рудах соответственно [6]. С толеитовым трендом базальтов связаны богатые низкосульфидные медные руды, а самородная медь является его минералом-индикатором [7]. С известково-щелочным трендом базальтов развиваются значительные скопления гематитовых руд с медью и золотом, которые относятся к Fe-оксидному-Cu-Au типу. Пространственная ассоциация толеитовых и известково-щелочных базальтов на проявлениях Росомаха и Джалкан может свидетельствовать о наличии необнаруженных «недостающих» богатых Fe резервуаров, [8, 9] с Fe-оксидными-Cu-Au рудами [10].

Исследования выполнены по плану НИР ИГАБМ СО РАН, проект № 0381-2016-0004.

Список литературы / References

1. Butera K. Genesis, tectonic setting- and exploration: considerations for Fe-oxide Cu Au deposits, Mount Isa Eastern Succession. PhD thesis. James Cook University. 2008. 162 p.

2. Костин А.В. Минералогические особенности Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд в базальтах хребта Сетте-Дабан (Восточная Якутия) // Успехи современного естествознания. 2017. № 4. С. 90–96. DOI: 10.18411/a-2017-118.

Kostin A.V. Mineralogical characteristics of iron-oxide-copper-gold (IOCG) ores in the basalts of the Sette-Daban ridge (Eastern Yakutia) // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. № 4. P. 90–96. DOI: 10.18411/a-2017-118 (in Russian).

3. Костин А.В. Минеральный состав Fe-оксидных-Cu-Au (IOCG) руд проявления Хурат (хребет Сетте-Дабан, Восточная Якутия) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2018. Т. 23. № 1. С. 7–15. DOI: 10.31242/2618-9712-2018-23-1-7-15.

Kostin A.V. Mineral composition of Fe-oxide-Cu-Au (IOCG) ores in the basalts of manifestation Hurat (the Sette-Daban ridge, Eastern Yakutia) // Arctic and Subarctic Natural Resources. 2018. vol. 23. № 1. P. 7–15. DOI: 10.31242/2618-9712-2018-23-1-7-15 (in Russian).

4. Костин А.В. Минеральные разновидности Fe-оксидных-Cu руд проявлений Джалкан, Росомаха и Хурат (Сетте-Дабан, Восточная Якутия) // Отечественная геология. 2016. № 6. С. 11–15.

Kostin A.V. Mineral types of Fe-oxide-Cu-Au ores manifestations Jalkan, Rosomakha and Hurat (Sette-Daban, Eastern Yakutia) // Otechestvennaya Geologiya. 2016. № 6. P. 11–15 (in Russian).

5. Irvine T.N., Baragar W.R. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian journal of earth sciences. 1971. vol. 8. P. 523–548. DOI: 10.1139/e71-055.

6. Du L. et al. Petrogenesis and tectonic implications of the iron-rich tholeiitic basalts in the Hutuo Group of the Wutai Mountains, Central Trans-North China Orogen. Precambrian Research. 2015. vol. 271. P. 225–242. DOI: 10.1016/j.precamres.2015.10.008.

7. Ikehata K. et al. Hydrothermal Native copper in ocean island alkali basalt from the Mineoka Belt, Boso Peninsula, Central Japan. Economic Geology. 2016. vol. 111. no. 3. P. 783–794. DOI: 10.2113/econgeo.111.3.783.

8. El-Desoky H.M., Khalil A.E., Afifi A.A. Geochemical and petrological characteristics of the high-Fe basalts from the Northern Eastern Desert, Egypt: Abrupt transition from tholeiitic to mildly alkaline flow-derived basalts. Nature and Science. 2015. vol. 13. no. 6. P. 109–132.

9. Chin E.J. et al. On the development of the calc-alkaline and tholeiitic magma series: A deep crustal cumulate perspective. Earth and Planetary Science Letters. 2018. vol. 482. P. 277–287. DOI: 10.1016/j.epsl.2017.11.016.

10. Zhu Z. Gold in iron oxide copper–gold deposits. Ore Geology Reviews. 2016. vol. 72. P. 37–42. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2015.07.001.

УДК 551.34:622.45:536.244

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ОЧИСТНОГО ПРОСТРАНСТВА ВЫСОКОМЕХАНИЗИРОВАННЫХ РОССЫПНЫХ ШАХТ КРИОЛИТОЗОНЫ

Курилко А.С., Соловьёв Д.Е.

ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: solovjevde@igds.ysn.ru

Существенное влияние на условия применения самоходного горного оборудования на россыпных шахтах криолитозоны оказывает класс устойчивости пород кровли, который в значительной степени зависит от температуры пород. Поскольку россыпи представляют собой рыхлые или сцементированные отложения обломочного материала, то одной из главных особенностей таких месторождений в условиях криолитозоны является зависимость прочностных свойств мерзлых рыхлых пород от температуры. При оттаивании содержащегося в песчано-глинистом заполнителе льда-цемента, мерзлые породы превращаются в сыпучую или пластичную массу. Эксплуатация самоходного горного оборудования в летний период будет сопровождаться интенсивным протаиванием мерзлых рыхлых пород из-за относительно больших объемов подаваемого в шахту теплого воздуха. Для того, чтобы обеспечить круглогодичную эксплуатацию высокомеханизированных россыпных шахт, требуется поддерживать соответствующий температурный режим во вмещающем выработки массиве горных пород, в том числе и в зоне ведения очистных работ. Для прогноза теплового режима в очистных выработках россыпных шахт криолитозоны и вмещающем их массиве горных пород была разработана трехмерная математическая модель. Результаты численных расчетов, которые проводились на примере условий россыпного месторождения алмазов «Солур», при различных исходных значениях технологических параметров, температуры вентиляционной струи и самоходного горно-шахтного оборудования, показали возможность круглогодичной эксплуатации шахты при определенных сочетаниях указанных параметров. Полученные при моделировании результаты могут быть использованы при составлении паспортов крепления очистных горных выработок и выборе конструктивных параметров системы разработки, тем самым обеспечивая создание безопасных условий при ведении горных работ на россыпных шахтах криолитозоны.

Ключевые слова: россыпная шахта, криолитозона, очистной забой, тепловой режим, математическое моделирование

MODELING OF THERMAL MODE IN STOPES OF HIGHLY MECHANIZED OF CRYOLITHOZONE PLACER MINES

Kurilko A.S., Solovev D.E.

Federal State Academic Institution «Chersky Mining Institute of the North» Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: solovjevde@igds.ysn.ru

A significant influence on the conditions for the application of self-propelled mining equipment on the placer mines of the cryolithozone is provided by the resistance class of the roof rocks, which largely depends on the temperature of the rocks. Since placers are friable or cemented deposits of detrital material, one of the main features of such deposits in terms of permafrost is the temperature dependence of the strength properties of frozen loose rocks. When the ice-cement contained in the sandy-clay aggregate is thawed, the frozen rocks turn into a loose or plastic mass. The exploitation of self-propelled mining equipment during the summer period will be accompanied by intensive thawing of frozen loose rocks because of the relatively large volumes of warm air supplied to the mine. In order to ensure the year-round operation of high-mechanized placer mines, it is required to maintain the appropriate temperature regime in the rock mass containing the mine, including in stopes. A three-dimensional mathematical model was developed for the prediction of the thermal regime in the clearing workings of placer mines in the cryolithozone and the surrounding rock mass. The results of numerical calculations, which were carried out on the example of the Solur diamond placer conditions, with different initial values of technological parameters, temperature of the air flow and self-propelled mining equipment, showed the possibility of year-round operation of the mine with certain combinations of these parameters. The results obtained in the simulation can be used in the preparation of the fastening passports for the treatment of mine workings and the selection of the design parameters of the development system, thereby ensuring the creation of safe conditions for mining in the placer mines of the cryolithozone.

Keywords: placer mine, cryolithozone, stope, temperature regime, math modeling

В районах Крайнего Севера добыча полезного ископаемого осложняется наличием многолетней мерзлоты и резко континентальным климатом (температура воздуха в зимний период понижается до –50 °С, а в летний доходит до +35 °С).

Температурный фактор оказывает значительное влияние на процессы горного производства, особенно отчетливо это выражается при разработке мерзлых россыпей [1, 2]. Тесная связь между прочностными свойствами и температурой является важнейшей особенностью мерзлых рыхлых пород. Изменение механических свойств мерзлых пород с изменением температуры обусловлено наличием в них льда-цемента,

который обладает отчетливо выраженными пластическими свойствами, резко меняющимися от температуры. Установлено, что прочность мерзлых рыхлых пород снижается более в чем 3 раза при повышении их температуры с минус 18 °С до минус 1 °С [3]. При оттаивании содержащегося в песчано-глинистом заполнителе льда-цемента мерзлые породы превращаются в сыпучую или пластичную массу. Этот негативный фактор приводит к тому, что небольшие россыпи отрабатываются сезонными россыпными шахтами с простыми технологиями отработки. В том числе и за рубежом, в частности на Аляске, где подземные горные работы ведутся только в зимний период с использованием переносного оборудования, а в летнее время производится промывка песков [4, 5].

На крупных россыпных шахтах значительно снизить себестоимость добычи песков и увеличить производительность труда позволяет применение самоходного горного оборудования (СГО) с дизельным приводом. При этом эксплуатация данного оборудования требует усиленной вентиляции выработок в связи с тем, что увеличивается загрязненность шахтного воздуха выхлопными газами.

Стоит отметить, что класс устойчивости пород кровли оказывает существенное влияние на условия применения СГО и определяется в соответствии с «Классификацией устойчивости массива многолетнемерзлых пород россыпных месторождений» [6], а также влияет на выбор системы разработки и ее параметров. Самоходное горное оборудование является абсолютным источником тепловыделений и вызывает локальное повышение температуры в горных выработках [7]. Данный фактор, а также поступление в шахту теплого воздуха приводит к повышению температуры вмещающего выработки массива горных пород и, соответственно, оказывает негативное влияние на устойчивость кровли выработок и тем самым может исключить возможность применения СГО на шахте [8]. Для того, чтобы обеспечить круглогодичную эксплуатацию высокомеханизированных россыпных шахт, требуется поддерживать соответствующий температурный режим во вмещающем выработки массиве горных пород, в том числе и в зоне ведения очистных работ. Прогноз температурного режима в очистном пространстве, методом математического моделирования, позволит установить возможность безопасной эксплуатации СГО на шахте в летний период. В связи с чем потребуется учёт применяемого самоходного горного оборудования с дизельным приводом, время нахождения этого оборудования в очистном забое, скорости смещения груди забоя и др.

С учётом вышеприведенных особенностей для прогноза теплового режима в очистных выработках россыпных шахт криолитозоны и вмещающем их массиве горных пород была разработана трехмерная математическая модель.

Математическая модель

Для решения поставленной задачи математическая модель строится в декартовой системе координат (x, y, z). Функция $T = T(x, y, z, t)$ определяет распределение температуры в исследуемом массиве горных пород на момент времени t.

Расчетная область Ω имеет сложную форму и состоит из взаимосвязанных полостей, представляющих собой горные выработки (рис. 1). В центре располагается очистная выработка (выработка № 2), по крайней правой выработке (выработка № 1) в очистной забой поступает свежая струя воздуха, по крайней левой (выработка № 3) из очистного забоя отводится загрязненный воздух.

Нестационарное трехмерное уравнение теплопроводности описывает процесс распространения тепла в массиве горных пород с учетом фазовых переходов влаги:

$$\left[C(T)+L_{\text{ф}}\cdot\omega\cdot\rho\cdot\delta(T-T^*)\right]\frac{\partial T}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x}\left[\lambda(T)\cdot\frac{\partial T}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[\lambda(T)\cdot\frac{\partial T}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[\lambda(T)\cdot\frac{\partial T}{\partial z}\right],$$

$$(x,y,z)\in\Omega, \qquad (1)$$

где T – температура горных пород, °С; С – объемная теплоемкость пород, Дж/(м^3×К); $L_{\text{ф}}$ – скрытая теплота фазовых переходов поровой влаги, Дж/кг; ρ – плотность горных пород, кг/м^3; ω – весовая влажность горных пород, д.е.; $\delta(T - T^*)$ – дельта-функция Дирака; T^* – температура фазовых переходов влаги в массиве горных пород, °С; λ – коэффициент теплопроводности горной породы, Вт/(м×К); t – время, с; x, y, z – координаты, м.

Коэффициенты теплоёмкости и теплопроводности разрывны и имеют вид

$$C(T)=\begin{cases} c_{\text{м}}\rho_{\text{м}};T<T^*; \\ c_{\text{т}}\rho_{\text{т}};T>T^*, \end{cases} \quad (2)$$

$$\lambda(T)=\begin{cases} \lambda_{\text{м}};T<T^*; \\ \lambda_{\text{т}};T>T^*, \end{cases} \quad (3)$$

где $c_{\text{м}}$, $\rho_{\text{м}}$, $\lambda_{\text{м}}$ ($c_{\text{т}}$, $\rho_{\text{т}}$, $\lambda_{\text{т}}$) – удельная теплоемкость (Дж/(кг×К)), плотность (кг/м^3) и коэффициент теплопроводности (Вт/(м×К)) соответственно для мерзлых (талых) пород.

На боковых границах области Ω (границах теплового влияния) задаются граничные условия II рода (отсутствие потоков тепла):

$$\lambda(T)\cdot\frac{\partial T}{\partial n}=0,$$
$$(x,y,z)\in\Gamma_{\text{вн}},\ 0<t<t_{\text{макс}}, \quad (4)$$

где $\frac{\partial}{\partial n}$ – обозначение внешней по отношению к области Ω нормали к границам $\Gamma_{\text{вн}}$.

На границе $\Gamma_{\text{в}}$ области Ω, состоящей из поверхностей, ограничивающих выработки № 1, 2, 3 задаётся граничное условие третьего рода, моделирующее конвективный теплообмен рудничного воздуха со стенками выработки:

$$\lambda(T)\cdot\frac{\partial T}{\partial n}=\alpha\cdot\left(T-T_i\right),$$
$$(x,y,z)\in\Gamma_{\text{в}},\ 0<t<t_{\text{макс}}, \quad (5)$$

где α – коэффициент теплообмена между рудничным воздухом и стенками выработки, Вт/(м^2·К); T_i – температура воздуха в выработке °С, i = 1, 2, 3.

По сечению выработки температура воздуха усредняется. Кондуктивной составляющей можно пренебречь, поскольку конвективная теплопередача в воздухе намного больше.

Уравнение сохранения энергии для воздуха в выработке № 1 имеет вид

$$0{,}5\cdot S\cdot c_{\text{воз}}\cdot\rho_{\text{воз}}\cdot\left(\frac{\partial T_1}{\partial t}+v_{\text{воз}}\cdot\frac{\partial T_1}{\partial y}\right)=$$
$$\left[\int_{x3}^{x4}\left(\alpha\left(T(x,y,z_1)-T_1\right)\right)dx+\int_{x3}^{x4}\left(\alpha\left(T(x,y,z_2)-T_1\right)\right)dx+\right.$$
$$\left.\int_{z1}^{z2}\left(\alpha\left(T(x_3,y,z)-T_1\right)\right)dz+\int_{z1}^{z2}\left(\alpha\left(T(x_4,y,z)-T_1\right)\right)dz+\right],\ y_1\le y\le y_3, \quad (6)$$

где S – площадь поперечного сечения выработки, м^2; $c_{\text{воз}}$ – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К); $\rho_{\text{воз}}$ – плотность воздуха, кг/м^3; $v_{\text{воз}}$ – скорость движения воздуха в выработке, м/с.

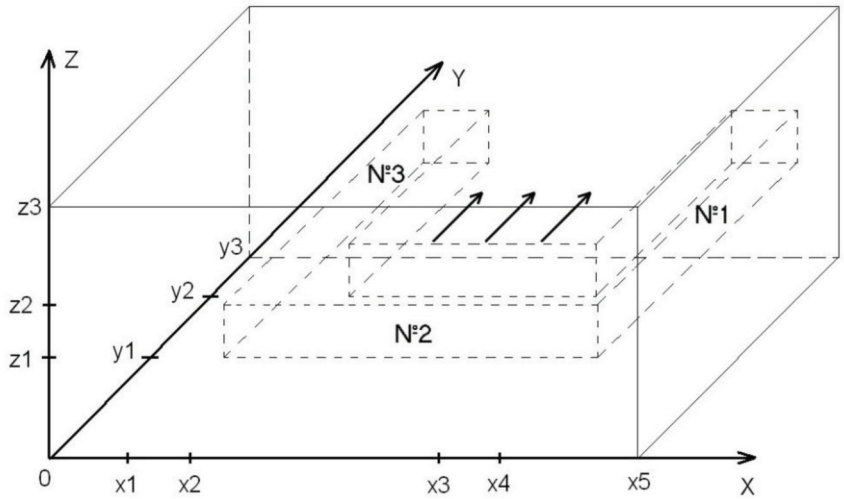


Рис. 1. Схема расчётной области Ω

Аналогичным образом задаются уравнения сохранения энергии для выработок № 2 и № 3.

В начальный момент времени задается распределение температуры в массиве горных пород и температуры шахтного воздуха внутри выработок:

$$\begin{gathered} T(x,y,z,0) = T^0(x,y,z), \\ 0 \le x \le x_5,\ 0 \le y \le y_3,\ 0 \le z \le z_3, \\ T_1 = T^0(y),\ y_1 \le y \le y_3, \\ T_2 = T^0(x),\ x_2 \le x \le x_4, \\ T_3 = T^0(y),\ y_1 \le y \le y_3. \end{gathered} \quad (7)$$

Численная реализация трехмерной математической модели (1–7) осуществлялась конечно-разностным методом суммарной аппроксимации, который сводит многомерную задачу к последовательному решению одномерных задач. Одномерные задачи аппроксимировались неявными разностными схемами сквозного счёта [9].

Алгоритм расчета теплового режима в очистном пространстве включает в себя следующие основные шаги: в начальный момент времени длина выработки № 2 (очистной камеры) L_1 равна длине рассечки, из которой начинается ведение очистных работ в камере. Продвижение очистного забоя описывается следующим соотношением

$$L_к = L_1 + V_{заб} \cdot t,\ 0 < t < t_{макс}, \quad (8)$$

где L_k – длина очистной выработки (камеры), м; $V_{заб}$ – скорость подвигания забоя очистной выработки № 2, м/сут.

Шаг пространственной сетки в направлении движения забоя задаётся таким образом, чтобы подвижная граница попадала в узел расчётной сетки.

Поскольку самоходное горное оборудование с дизельным приводом не является стационарным источником абсолютных тепловыделений, а постоянно перемещается в пространстве подземных горных выработок, то необходимо учитывать данное обстоятельство, но в то же время при расчётах теплового режима очистного пространства сложно задать траекторию передвижения данных источников тепловыделений. Поэтому с определенной степенью упрощения в данном алгоритме каждый период времени между подвиганиями груди очистного забоя разбивается на два равных интервала, в течение первого интервала абсолютный источник тепловыделений помещается в начале выработки № 2, а во второй – в средней части этой же выработки. Продолжительность работы источника абсолютных тепловыделений определяется исходя из циклограммы ведения очистных работ (количество рабочих смен в сутки и времени работы СГО в течение одной смены).

Перед следующим циклом подвигания груди очистного забоя температурные поля в массиве горных пород и выработках запоминаются и на последующем вычислительном шаге используются как начальные данные. Описанная выше процедура повторяется вплоть до отработки камеры.

Численные эксперименты

Численные эксперименты по расчету теплового режима в очистной камере и вмещающем ее массиве горных пород проведены на примере условий россыпного месторождения алмазов «Солур». Расчеты проводились при различных технологических параметрах ведения очистных работ, температуры и объема вентиляционного воздуха, поступающего в камеру, и др.

Как известно, существуют три системы разработки мерзлых россыпей подземным способом: сплошные, камерные и столбовые. Для мощного самоходного оборудования наиболее благоприятные условия обеспечивают камерные системы. Стоит отметить, что требования по безопасному применению систем разработки с использованием самоходного горного оборудования, которые содержатся в инструкции по разработке многолетнемерзлых россыпей подземным способом [6], определены только для камерной системы. В связи с этим для проведения расчетов принимаем камерную систему разработки.

В расчетах рассматривалось СГО с дизельным приводом, а именно погрузочно-доставочные машины (ПДМ) типа ST2G и ST7 (мощность двигателя соответственно 63 и 144 кВт). Данные машины являются абсолютными источниками тепловыделений в очистном пространстве (для ПДМ ST2G тепловыделения составят 60,3 кВт, а для ST7 – 50,2 кВт).

Для разжижения выхлопных газов, образующихся при работе ПДМ ST7 и ST2G, потребуется подать в камеру количество воздуха Q соответственно 20,4 и 8,9 м^3/с. При этом, как показали расчеты, приращение температуры от ПДМ в очистном забое, для ST7 составит 2,4 °С, а для ST2G – 6,5 °С.

В число дополнительных технологических параметров, которые необходимо задать для проведения расчётов, входят пролёт очистной камеры, который равен 18 м

(без учета рассечки шириной 6 м), что соответствует II классу устойчивости при камерной системе разработки с длинным очистным забоем (равен 50 м), глубина заложения камеры 40 м. Скорость подвигания груди очистного забоя в соответствии с инструкцией [6] должна обеспечить отработку запасов камеры за время не превышающее 20 суток (с учетом зачистки почвы при актировке). Исходя из указанных требований, для заданного пролета очистной камеры, определены следующие скорости подвигания забоя: 1, 1,5 и 2 м/сут. Режим организации очистных работ трёхсменный. Продолжительность работы ПДМ (время затрачиваемое на один цикл уборки породы) в течении одной смены составляет 3 часа.

По выработке № 1 в очистную камеру поступает свежий воздух со среднесуточными температурами: +5 и +10 °С.

На рис. 2 представлено температурное поле вокруг очистной камеры (в средней части по длине забоя) после её отработки для варианта, когда работает ПДМ ST7, скорость подвигания забоя 2 м/сут, расход воздуха $Q = 20{,}4$ м^3/с, температура вентиляционной струи воздуха $T_в = +5$ °С. На оси абсцисс лежит координата длины расчетной области (в метрах), на оси аппликат – высота расчетной области (в метрах). Цифры у кривых обозначают температуры в °С.

Следует отметить, что камерная система разработки с применением самоходного оборудования применяется при классах устойчивости горных пород I (высокоустойчивые, температура пород ниже –6 °С), II (устойчивые, с температурой пород не выше –3 °С), а также III (средней устойчивости) [6]. Породы III класса устойчивости могут иметь значения температуры в диапазоне –3…–1 °С, но при этом состав пород должен быть аналогичен I классу, суммарная льдистость в пределах 10–30 %, и мощность пород непосредственной кровли не менее 2 м.

Как видно из рис. 2, в кровле камеры образуется зона с температурой пород выше –1 °С, что для условий россыпного месторождения «Солур» накладывает ограничение для применения высокопроизводительного СГО типа ПДМ ST7.

В варианте расчетов, при котором среднесуточная температура воздуха, поступающего в очистную камеру, поднимается до +10 °С, приводит к появлению в кровле камеры зон, имеющих положительные значения температуры. Для исходных параметров ведения очистных работ глубина оттаивания пород может достигать 0,12 м.

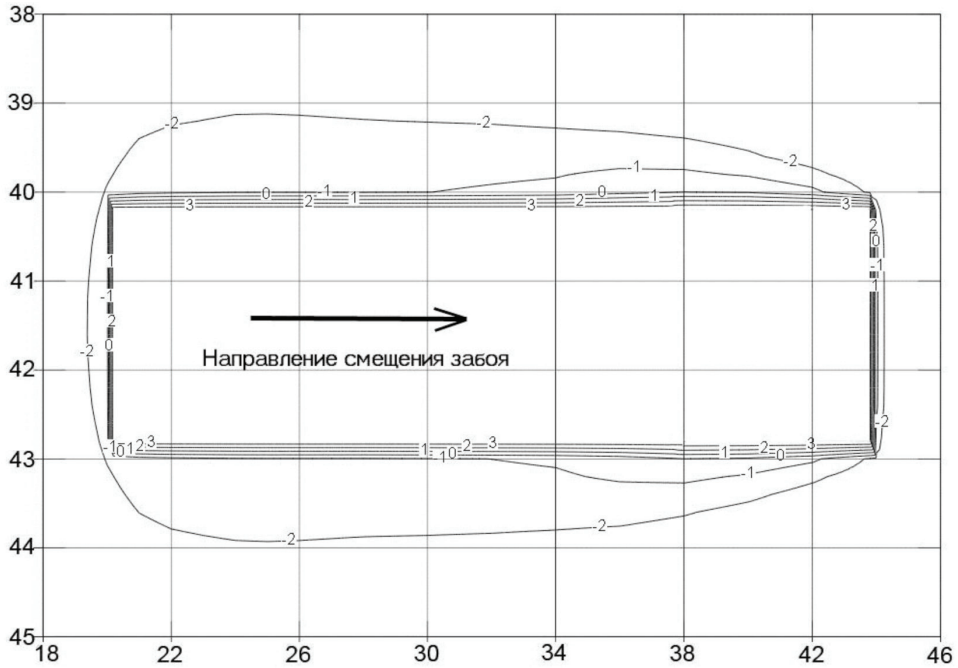


Рис. 2. Температурное поле вокруг очистной камеры, после её отработки, в плоскости YZ расчётной области (скорость подвигания забоя 2 м/сут, $T_в = +5$ °С, $Q = 20{,}4$ м^3/с)

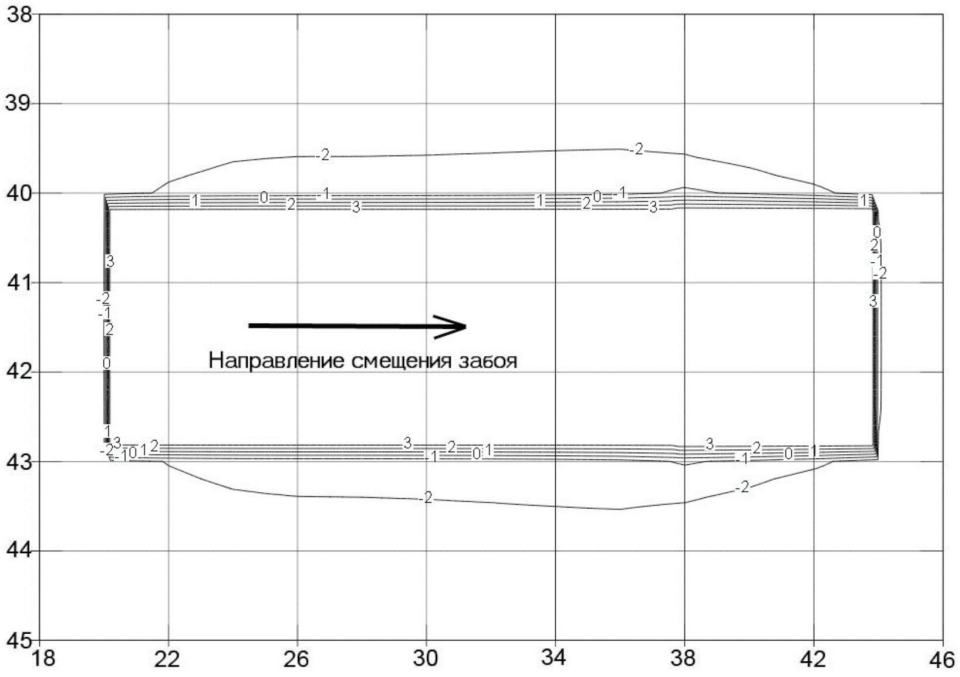


Рис. 3. Температурное поле вокруг очистной камеры, после её отработки, в плоскости YZ расчётной области (скорость подвигания забоя 2 м/сут, $T_в$ = +5 °C, Q = 8,9 м³/с)

Снижение объёмов воздуха подаваемого в очистной забой до 8,9 м³/с (для варианта, когда в забое работает ПДМ ST2G), при скорости подвигания забоя 1 м/сут и температуре вентиляционной струи воздуха $T_в$ = +5 °C приводит к сокращению размеров зон в кровле выработки, в которых породы имеют температуру выше –1 °C. Исключить её образование, как показывают расчеты, можно увеличив скорость подвигания забоя до 2 м/с (рис. 3).

Повышение среднесуточной температуры воздуха, подаваемого в очистной забой, до +10 °C приводит к образованию в кровле камеры зон с температурой выше –1 °C. Величина размеров зон с талыми породами незначительная и не превышает 0,02 м.

Выводы

Представленная в статье трехмерная математическая модель позволяет спрогнозировать температурный режим в очистной камере и окружающем ее массиве горных пород. Моделирование проводилось для условий россыпного месторождения алмазов «Солур». Результаты численных расчетов, которые проводились при различных исходных значениях технологических параметров, температуры вентиляционной струи и самоходного горно-шахтного оборудования (погрузочно-доставочные машины), показали возможность круглогодичной эксплуатации шахты при определенных сочетаниях указанных параметров.

Полученные при моделировании результаты могут быть использованы при составлении паспортов крепления очистных горных выработок и выборе конструктивных параметров системы разработки, тем самым обеспечивая создание безопасных условий при ведении горных работ на россыпных шахтах криолитозоны.

Список литературы / References

1. Марков В.С., Лабутин В.Н., Елшин В.К. Безвзрывная разработка многолетнемерзлых россыпных месторождений подземным способом. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 176 с.

Markov V.S., Labutin V.N., Elshin V.K. Non-explosive development of permafrost deposits in the underground way. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014. 176 p. (in Russian).

2. Киселев В.В., Хохолов Ю.А., Каймонов М.В. Приоритетный направления подземной золотодобычи и крепления очистного пространства россыпных шахт криолитозоны // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. № 5. С. 49–58. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-49-58.

Kiselev V.V., Khokhlov Yu.A., Kaimonov M.V. Preferred trends in underground gold placer mining and mine support in permafrost zone // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2018. № 5. P. 49–58 (in Russian).

3. Шерстов В.А., Скуба А.Н., Лубий К.И., Костромитинов К.Н. Подземная разработка россыпных месторождений Якутии. Якутск: Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1981. 188 с.

Sherstov V.A., Skuba A.N., Lubiy K.I., Kostromitinov K.N. Underground mining of placer deposits of Yakutia. Yakutsk: Izd-vo YAF SO AN SSSR, 1981. 188 p. (in Russian).

4. Athey J.E., Werdon M.B., Twelker E., Henning M.W. Alaska's Mineral Industry 2015. AK: Alaska Division of Geological & Geophysical Survey, Fairbanks. 2016. 45 p. DOI: 10.14509/29687.

5. Modern Day Placer Mining in Yukon. URL: http://www.emr.gov.yk.ca/mining/pdf/modern_placer_mining.pdf (date of access: 15.08.2018).

6. Инструкция по разработке многолетнемерзлых россыпей подземным способом (камерные и столбовые системы разработки), РД 06-326-99. Утверждено постановлением Госгортехнадзора России от 18.11.99 № 84 [Электронный ресурс]. URL: http://7law.info/russia/regulation1c/u639/index.htm (дата обращения: 10.08.2018).

Instruction for the development of permafrost placers underground (chamber and pillar development systems), RD 06-326-99. Approved by Resolution of the Gosgortekhnadzor of Russia of 18.11.99 № 84 [Электронный ресурс]. URL: http://7law.info/russia/regulation1c/u639/index.htm (date of access: 10.08.2018) (in Russian).

7. Карелин В.Н., Кравченко А.В., Левин Л.Ю., Казаков Б.П., Зайцев А.В. Особенности формирования микроклиматических условий в горных выработках глубоких рудников // Горный журнал. 2013. № 6. С. 65–68.

Karelin V.N., Kravchenko A.V., Levin L.Yu., Kazakov B.P., Zaitsev A.V. Features of formation of microclimatic conditions in mine workings of deep mines // Gornyy zhurnal. 2013. № 6. P. 65–68 (in Russian).

8. Курилко А.С., Хохолов Ю.А., Соловьев Д.Е. Особенности формирования теплового режима россыпных шахт криолитозоны при ведении добычных работ с применением самоходной техники // Горный журнал. 2015. № 4. С. 29–32. DOI: 10.17580/gzh.2015.04.06.

Kurilko A.S., Khokhlov Yu.A., Soloviev D.E. The features of cryolitezone placer mines, equipped by self propelling machinery, thermal conditions forming // Gornyy zhurnal. 2015. № 4. P. 29–32 (in Russian).

9. Самарский А.А., Моисеенко Б.Д. Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана // Журнал вычислит. мат. и мат. физики. 1965. Т. 5. № 5. С. 816–827.

Samarskii A.A., Moiseenko B.D. An economical scheme for the counting account for the multidimensional Stefan problem // Zhurnal vychislit. mat. i mat. fiziki. 1965. T. 5. № 5. P. 816–827 (in Russian).

УДК 551.4:58.018(470.67)

ВОЗРАСТНАЯ ВНУТРИПОПУЛЯЦИОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГЕНЕРАТИВНЫХ ОРГАНОВ TAXUS BACCATA В ПРЕДГОРНОМ ДАГЕСТАНЕ

Омарова П.К.

ФГБУН «Горный ботанический сад» ДНЦ РАН, Махачкала, e-mail: parizat.omarova.87@mail.ru

В популяции Кайтагского района Предгорного Дагестана, при изучении краснокнижного вида Taxus baccata, выявлена морфологическая изменчивость генеративных признаков в зависимости от возраста деревьев. Такие исследования ранее не проводились на территории Дагестана, да и для других регионов работы, посвященные изучению изменчивости генеративных органов Taxus baccata, нами не обнаружены. Проведение такого анализа направлено на поиск критериев для выделения границ его важных признаков. Работа проводилась в Кайтагской популяции в окрестности с. Джинаби в типичных местах произрастания тиса ягодного совместно с буком восточным. Высота над уровнем моря составляет 735 м. Склон западной экспозиции. Изучаемая площадь леса составила почти 140 га, а особей Taxus baccata около 600 шт. Для взятия керна отбирали отдельно растущие неугнетенные, неповрежденные, находящиеся на некотором удалении друг от друга деревья, чтобы снизить влияние борьбы за свет и питательные вещества. С каждого дерева брали по одному керну с северной стороны ствола. Годичные приросты измеряли на бинокулярном микроскопе. Вычислен абсолютный возраст Taxus baccata для данной популяции. Для измерений генеративных органов с каждого дерева было собрано по 30 шишкоягод. Были изучены внутрикронные и межкронные различия показателей восьми признаков и их изменчивость. Выделены признаки, которые имеют положительную связь, связанные с возрастным состоянием деревьев. В работе приведены статистически достоверные различия по признакам шишкоягод и семян. Отмечен вклад во внутрипопуляционные различия признаков генеративных органов. Считается, что почвенные и климатические условия произрастания Taxus baccata влияют на изменчивость средних значений признаков шишкоягод.

Ключевые слова: Taxus baccata, Дагестан, генеративные органы, вариабельность, возраст

AGE INTRA POPULATION VARIABILITY OF GENERATIVE BODIES OF TAXUS BACCATA IN FOOTHILL OF DAGESTAN

Omarova P.K.

Federal State Budgetary Institution of science Mountain botanical garden of the Dagestan scientific center, Russian academy of Sciences, Makhachkala, e-mail: parizat.omarova.87@mail.ru

In population of the Kaitag region of Foothill Dagestan, when studying a Red Book type of Taxus baccata, the morphological variability of generative signs depending on age of trees is revealed. Such researches weren't conducted in the territory of Dagestan and for other regions of work earlier, Taxus baccata devoted to studying of variability of generative bodies aren't found by us. Carrying out such analysis it is aimed at finding criteria for allocation of limits of his important signs. Work was carried out in the Kaitag population in the neighborhood of the village Dzhinabi in typical places of growth of a yew berry together with a beech east. Height above sea level is 735 m. Slope of the western exposition. The studied area of the wood was nearly 140 hectares, and individuals of Taxus baccata about 600 pieces. For capture of a core selected not oppressed, intact, being on some removal from each other trees separately growing to reduce influence of fight for light and nutrients. From each tree took on one core from North side of a trunk. Year gains measured on a binocular microscope. The absolute age of Taxus baccata for this population is calculated. For measurements of generative bodies from everyone the tree has been collected on 30 galberries. Vnutrikronny and mezhkronny distinctions of indicators of eight signs and their variability have been studied. Signs which have positive communication, connected with an age condition of trees are marked out. Statistically reliable distinctions on signs of galberries and seeds are given in work. The contribution to intra population distinctions of signs of generative bodies is noted. It is considered that soil and climatic conditions of growth of Taxus baccata influence variability of average values of signs of galberries

Keywords: Taxus baccata, Dagestan, generative bodies, variability, age

Всестороннее изучение природных популяций – одно из важнейших направлений современной биологии [1], при этом ведущее место занимает выявление изменчивости вегетативных и генеративных органов [2]. Важное значение имеет изучение популяций редких, реликтовых видов древесных растений для дальнейших перспектив их сохранения. Популяционные исследования вида *Taxus* актуальны во многих отношениях. В литературе отсутствуют данные об особенностях популяционной структуры и изменчивости признаков *Taxus baccata*, как в Дагестане, так и за ее пределами.

В современном мире все более актуальной становится проблема сохранения биологического разнообразия. Исчезновение любой популяции, а тем более вида, является невосполнимой утратой [3]. Одним из таких видов древесных растений дагестанской флоры является тис ягодный, который занесен в Красные книги РФ (2008) [4] и Республики Дагестан (2009) [5]. *Taxus baccata*

распространен в Крыму, Средней и Южной Европе, Средиземноморье, встречается на Кавказе. В пределах республики Дагестан растет в предгорных буково-грабовых и буковых лесах, также в сосновом лесу Внутреннегорного Дагестана.

Общее состояние изученности *Taxus baccata* нельзя признать удовлетворительным. Очень мало данных о признаках генеративной и вегетативной сферы данного вида.

Цель исследования: выявление структуры внутрипопуляционной изменчивости морфологических признаков шишкоягод *Taxus baccata* L. в Предгорном Дагестане.

Результаты нашего исследования могут способствовать расширению знаний об условиях произрастания этого уникального вида и особенностях его генеративной сферы.

Материалы и методы исследования

Вариабельность генеративных признаков *Taxus baccata* в Предгорном Дагестане изучали на примере популяции Кайтагского района в окрестности с. Джинаби. Высота над уровнем моря составляет 735 м. Склон западной экспозиции.

На исследуемой территории представлены каштановые карбонатные, коричневые почвы, среднее количество осадков за год составляет 400–600 мм. Летом температура в среднем доходит до 21 °С, наименьшая температура зимнего периода минус 28 °С. Растительность хорошо развита, кустарниковый ярус имеет 60%, травянистый около 10%. В подлеске встречаются: *Fagus orientalis, Acer laetum, Acer campestre, Sorbus torminalis, Carpinus caucasica, Ulmus glabra, Rubus caucasica, Corylus avellana, Viburnum opulus, Swida australis.* Травянистый ярус в основном представлен: *Phyllitis scolopendrium, Polygonatum glaberrimum, Festuca drymeja*.

Территория площади изучаемого леса с *Taxus baccata* L. составила где-то 140 га, общее количество особей приблизительно 600 шт. Доступных женских экземпляров деревьев было очень мало, из-за сложности горного рельефа и поэтому определено малое количество деревьев (5 дер.). Всего было отобрано по 30 шишкоягод с каждого дерева.

Для изучения изменчивости были взяты показатели восьми признаков генеративных органов между и внутри дерева: масса, длина, ширина и диаметр воронки шишкоягоды, длина, ширина и масса семени. Признаки, имеющие размерные показатели, измеряли штангенциркулем. Весовые признаки измеряли на электронных весах «Ohaus». Вариабельность количественных признаков была определена по величине коэффициента (CV,%) по шкале С.А. Мамаева. Статистическая обработка материала была произведена в программе Statistica 10.0. С помощью бурава «Haglof» были получены керны, на которых были подсчитаны годичные кольца и определен возраст деревьев.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные данные средних значений генеративных органов *Taxus baccata* показаны в табл. 1.

Таблица 1

Возрастная изменчивость генеративных признаков тиса ягодного кайтагской популяции

Возраст деревьев	Длина шишкоягоды, мм	Ширина шишкоягоды, мм	Масса шишкоягоды, мг	Диаметр воронки, мм	Ширина семени (узкая), мм	Ширина семени (широкая), мм	Длина семени, мм	Масса семени, мг
149	8,1 ± 0,27	8,4 ± 0,14	485,1 ± 17,70	5,1 ± 0,10	4,1 ± 0,03	4,6 ± 0,02	5,8 ± 0,06	71,3 ± 0,87
158	7,4 ± 0,11	8,1 ± 0,15	394,10 ± 13,78	5,3 ± 0,13	4,3 ± 0,02	5,1 ± 0,03	5,5 ± 0,03	78,4 ± 0,99
239	7,6 ± 0,13	7,3 ± 0,15	363,7 ± 12,94	4,8 ± 0,10	4,2 ± 0,04	4,7 ± 0,05	5,9 ± 0,08	81,1 ± 1,53
257	7,5 ± 0,12	8,3 ± 0,11	372,9 ± 15,30	4,7 ± 0,07	4,2 ± 0,04	4,7 ± 0,03	5,9 ± 0,08	75,21,35
284	7,5 ± 0,10	8,2 ± 0,10	398,4 ± 9,28	5,1 ± 0,12	4,3 ± 0,00	4,9 ± 0,06	5,9 ± 0,07	79,8 ± 1,03
X ± Sx	7,6 ± 0,07	8,1 ± 0,07	403,8 ± 7,16	5,0 ± 0,05	4,2 ± 0,02	4,8 ± 0,02	5,8 ± 0,03	77,2 ± 0,59

В исследуемой популяции *Taxus baccata* абсолютный возраст деревьев колеблется от 149 до 284 года. Известно, что возраст этого вида достигает 4000 лет, и поэтому можно считать, что популяция является относительно молодой.

Полученные данные показывают, что наиболее высокие показатели признаков шишкоягод у самого молодого в данной выборке деревьев (149 лет), для признаков семян, наоборот, обнаружено некоторое увеличение показателей с возрастом деревьев (табл. 1, рис. 3; 4). Исходя из полученных результатов, мы предполагаем, что с возрастом у деревьев *Taxus baccata* происходят

морфологические изменения. Для статистической достоверности информации показатели генеративных признаков деревьев разных возрастов были объединены в группы. В одну группу были отнесены показатели шишкоягод деревьев до 160 лет, в другую группу вошли показатели шишкоягод в возрасте от 239 до 284. Эти две группы были проанализированы по t-критерию (табл. 2).

Показатели выделенных групп имеют высокий уровень достоверности признаков шишкоягод и семени, кроме признаков «длина шишкоягоды» и «ширина семени» (узкая часть).

Полученные результаты достоверности подтверждают, что у деревьев *Taxus* происходят изменения, связанные с возрастом, которые влияют и на показатели признаков шишкоягод, что можно связать с изменением усиленности энергопластических процессов, а также ослаблением листокорневого баланса продуктов метаболизма.

Между линейными показателями ширины семян достоверных различий не обнаружено, что говорит о ярко выраженной генетической их детерминированости и необходимом поступлении веществ, для реализации их ростовых потенций.

Изучаемые признаки были также оценены по коэффициенту вариации (CV). По результатам многих авторов у генеративных органов большинства хвойных, коэффициент вариации варьирует на очень низком уровне [6; 2], что показывают и наши исследования.

Наибольшую вариабельность (CV) имеет признак «длина шишкоягоды» у дерева в возрасте 149 лет (рис. 1, А). По результатам наших данных можно сказать, что размерные признаки данной популяции имеют стабильные показатели на уровне 2–13 % и возрастных изменений не имеют. При анализе весовых признаков шишкоягод отмечена другая картина (рис. 1, Б). Самые минимальные значения здесь у самого взрослого дерева в этой выборке 284 года. Для остальных деревьев наблюдается увеличение значений с возрастом.

Показатели весовых признаков с возрастом увеличиваются, что, на наш взгляд, связано с усилением конкуренции за ресурсы между элементами кроны, что в дальнейшем приводит к неравномерному накоплению основных питательных веществ в шишкоягодах. Показатели дерева в возрасте 284 года противоречат этой тенденции, что, видимо, обусловлено его индивидуальными особенностями.

На изменчивость генеративных органов, кроме возрастных особенностей деревьев, влияние оказывает также неоднородность среды, в которой они произрастают [2]. Исходя из этого, уровень изменчивости внутри популяции зависит от факторов взаимодействующих друг с другом, также от степени ее наследственной гетерогенности.

Анализируя экологию популяции, особое значение необходимо уделить возрастной дифференциации особей, так как она является наиболее важным в исследовании структуры, динамики и оценки состоянии популяций.

Чтоб вывести более полную достоверность информации о различиях признаков шишкоягод внутри популяции, были использованы процедуры дисперсионного и регрессионного анализов. В начале был проведен однофакторный дисперсионный анализ, позволяющий оценить внутрипопуляционные различия.

Анализ полученных результатов показал высокую достоверность влияния межгруппового фактора на вариабельность признаков шишкоягод (табл. 3), Таким образом, высказанное предложение, что организм в каждый момент времени характеризуется определенным набором физиологических, морфологических, анатомических и других признаков, подтверждается.

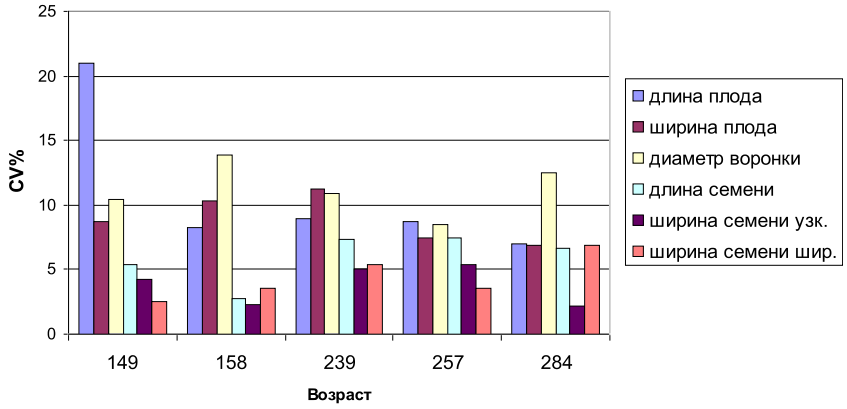
Чтоб оценить вклад фактора «возраст дерева», были вычислены компоненты дисперсии (рис. 2).

Таблица 2

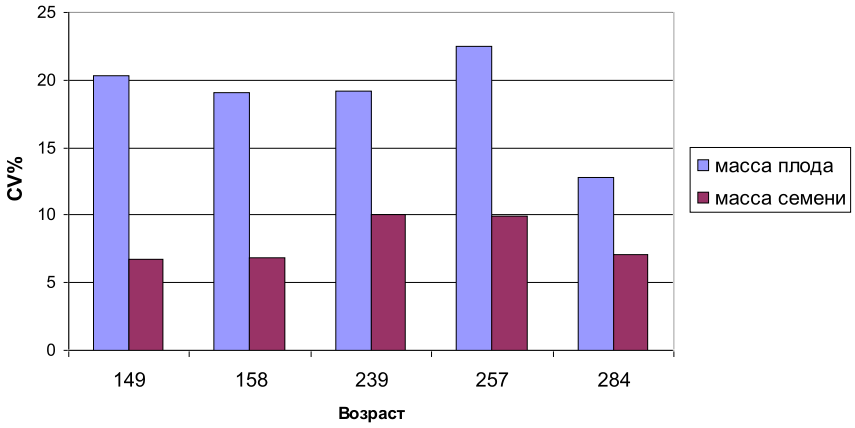
Оценка различий показателей шишкоягод деревьев тиса ягодного кайтагской популяции

Возраст деревьев	Длина шишкоягоды, мм	Ширина шишкоягоды, мм	Масса шишкоягоды, мг	Диаметр воронки, мм	Ширина семени (узкая), мм	Ширина семени (широкая), мм	Длина семени, мм	Масса семени, мг
до 160	7,7 ± 0,15	8,2 ± 0,10	440,0 ± 12,66	5,2 ± 0,08	4,2 ± 0,02	4,8 ± 0,03	5,6 ± 0,03	74,8 ± 0,80
до 290	7,5 ± 0,06	7,9 ± 0,08	379,6 ± 7,45	4,8 ± 0,05	4,2 ± 0,01	4,7 ± 0,02	5,9 ± 0,04	78,7 ± 0,79
t-крит	1,2	2,09*	4,1***	3,2***	0	0,89	4,63***	4,06***

Примечание: n = 30. Уровень достоверности по t-критерию – * – P<0,05; ** – P < 0,01; *** – P < 0,001.



А



Б

Рис. 1. Изменчивость размерных (А) и весовых (Б) признаков шишкоягод тиса ягодного кайтагской популяции

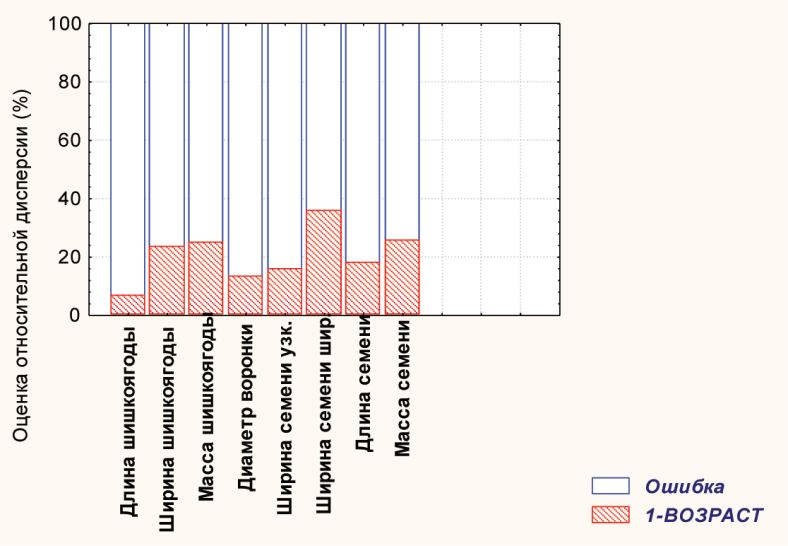


Рис. 2. Относительные компоненты дисперсии по итогам дисперсионного анализа для признаков генеративных органов T. baccata

Таблица 3

Результаты однофакторного дисперсионного анализа по количественным признакам шишкоягод тиса кайтагской популяции

Источник вариации	df	MS	F
Длина плода			
Междугрупповая	4	2,406	3,227*
Внутригрупповая	145	0,746	
Ширина плода			
Междугрупповая	4	5,414	10,328***
Внутригрупповая	145	0,524	
Масса плода			
Междугрупповая	4	67237,73	11,136***
Внутригрупповая	145	6037,640	
Диаметр воронки			
Междугрупповая	4	1,912	5,745***
Внутригрупповая	145	0,333	
Ширина семени, узкая часть			
Междугрупповая	4	0,200	6,719***
Внутригрупповая	145	0,298	
Ширина семени, широкая часть			
Междугрупповая	4	0,903	17,876***
Внутригрупповая	145	0,051	
Длина семени			
Междугрупповая	4	1,023	7,667***
Внутригрупповая	145	0,133	
Масса семени			
Междугрупповая	4	467,627	11,404***
Внутригрупповая	145	41,004	

Примечание: MS – дисперсия; F – критерий Фишера; df – число степеней свободы. Уровень достоверности – * – P < 0,05; ** – P < 0,01; *** – P < 0,001.

Исходя из полученных результатов видно, что максимальный вклад вносят признаки: «ширина семени», «масса семени», «масса шишкоягоды» и «ширина шишкоягоды». Минимальные показатели наблюдаются у признаков «длина шишкоягоды», что объясняется большей генетической обусловленностью этого признака в данной популяции.

Оценка влияния возраста на признаки выявлена и при помощи дисперсионного анализа по итогам регрессии (табл. 4).

По результатам анализа видно, что сильное положительное влияние (рис. 3, 4) изменения, связанные с возрастом деревьев *Taxus baccata,* оказывают на длину семян (10,7%) и массу семян (6,6%). Некоторое влияние возраста обнаружено и на массу шишкоягод (9,5%). В последнем случаи это влияние обратное и отрицательное, т.е. с увеличением возраста деревьев масса шишкоягод несколько уменьшается. Изменчивость показателей остальных признаков еще ниже.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции и детерминации признаков шишкоягод *T. baccata* по итогам регрессионного анализа

Признаки	h^2 (%)	r^2,%	r_{xy}
Длина шишкоягоды	6,9	1,6	–0,13
Ширина шишкоягоды	23,7	0,9	–0,09
Масса шишкоягоды	25,3	9,5	–0,31***
Диаметр воронки	13,7	4,0	–0,20*
Ширина семени узк. часть	16,0	0,17	0,04
Ширина семени шир. часть	36,0	0,03	–0,02
Длина семени	18,2	10,7	0,33***
Масса семени	25,8	6,6	0,26**

Примечание: h^2 – сила влияния фактора; r^2 – коэффициент детерминации; r_{xy} – корреляция между изучаемым признаком и возрастом деревьев.

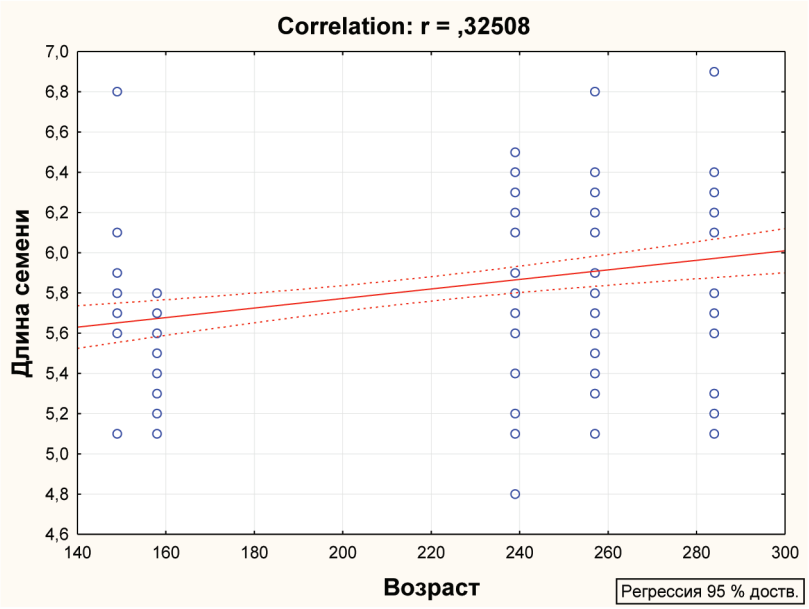


Рис. 3. Изменение длины семени T. baccata с возрастом деревьев кайтагской популяции

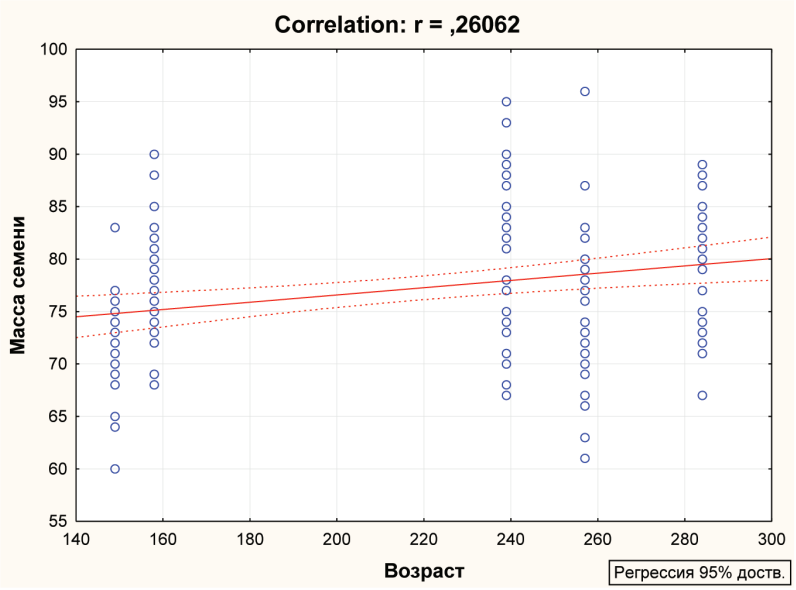


Рис. 4. Изменение массы семени T. baccata с возрастом деревьев в кайтагской популяции

Заключение

Полученные результаты выявили следующее:

1. Наиболее сильное влияние, связанное с возрастными изменениями деревьев *Taxus baccata*, приходится на длину семени (10,7 %), и влияние это положительное. Изменения, имеющие отрицательное влияние, сказываются на массе шишкоягоды (9,5 %).

2. Вариабельность весовых признаков с возрастом деревьев увеличивается. Это происходит за счет усиления конкуренции за необходимые ресурсы между важными элементами кроны, а также неравномерным накоплением запасных питательных веществ в шишкоягодах разной иерархии.

3. Максимальный вклад в изменчивость внутри популяции вносят признаки: «шири-

на семени». Минимальный – «длина шишкоягоды», что объясняется большей генетической обусловленностью этого признака в данной популяции.

Список литературы / References

1. Петрова И.В., Санников С.Н., Черепанова О.Е., Санникова Н.С. Генетическая дифференциация болотных и суходольных популяций сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.) на русской равнине // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2013. № 6 (336). С. 29–37.

Petrova I.V., Sannikov S.N., Cherepanova O.E., Sannikova N.S. Genetic Differentiation of Upland and Bog Populations of Scots Pine on the Russian Plain // Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Lesnoj zhurnal. 2013. № 6 (336). P. 29–37 (in Russian).

2. Николаева А.В., Кузнецов М.Е. Внутри- и межпопуляционная изменчивость шишкоягод и количества семян в них у Juniperus excelsa Bieb в Крыму // Промышленная ботаника. 2010. Вып.10. С. 113–117.

Nikolaev A.V., Kuznetsov M.E. Inside – and interpopulation variability of galberries and quantity of seeds in them at Juniperus excelsa Bieb in the // Promy`shlennaya botanika. 2010. Issue 10. P. 113–117 (in Russian).

3. Картелев В.Г., Остапук В.И., Певницкая Л.С. Лещина древовидная как орехоплодная порода // Садоводство и виноградарство. 2003. № 4. С. 24–26.

Kartelev V.G., Ostapuk V.I., Pevnitsky L.S. Leshchina treelike as nut bearing breed // Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2003. № 4. P. 24–26 (in Russian).

4. Камелин Р.В., Варлыгина Т.И., Киселева К.В., Клюйков Е.В., Новиков В.С., Павлов В.Н., Пименов М.Г., Филатова И.О., Жмылев П.Ю. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 855 с.

Kamelin R.V., Varlygina T.I., Kiselyova K.V., Klyuykov E.V., Novikov V.S., Pavlov V.N., Pimenov M.G., Filatova I.O., Zhmylev P.Yu. Red List of the Russian Federation (plants and mushrooms). M.: Association of scientific publications KMK, 2008. 855 p. (in Russian).

5. Абдурахманов Г.М., Магомедов Б.И., Магомедов Р.Д., Шарипов А.Р., Абдусамадов А.С., Магомедов Г.М., Асудалаев З.М. Красная книга Республики Дагестан. Махачкала, 2009. 552 с.

Abdurakhmanov G.M., Magomedov B.I., Magomedov R.D., Sharipov A.R., Abdusamadov A.S., Magomedov G.M., Asudalayev Z.M. Red List of the Republic of Dagestan. Makhachkala, 2009. 552 p. (in Russian).

6. Фарукшина Г.Г., Путенихин В.П. Внутривидовая фенотипическая изменчивость можжевельника обыкновенного в Предуралье и на Южном Урале // Сибирский лесной журнал. 2016. № 5. С. 125–136. DOI: 10.15372/SJFS20160513.

Farukshina G.G., Putenikhin V.P. Intraspecific Phenotypic Variation of Common Juniper in Cis-Urals and The South Urals // Sibirskij lesnoj zhurnal. 2016. № 5. P. 125–136. DOI: 10.15372/SJFS20160513. (in Russian).

УДК 551.435.04

РУСЛОВАЯ МОРФОДИНАМИКА РЕКИ ИРКУТ ЗА ПОСЛЕДНИЕ СОРОК ЛЕТ (ВЕРХНЕЕ ПРИАНГАРЬЕ)

Опекунова М.Ю., Силаев А.В.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: opek@mail.ru

В статье представлены результаты первого этапа исследований в рамках выполнения проекта по мониторингу за береговыми деформациями рек Верхнего Приангарья. Рассмотрены основные типы русловых плановых деформаций р. Иркут (приток реки Ангары) в пределах Иркутско-Черемховской равнины. С помощью картографических данных систематизированы основные морфологические и морфометрические характеристики, а также получены актуальные количественные данные о распространении морфодинамических типов русла р. Иркут в пределах равнинно-платформенной области (Верхнее Приангарье). Широкопойменный русловой тип с вынужденными излучинами, пойменными, одиночными простыми и сложными типами разветвлений, занимает 60,4 (93,3%), из них участки с пойменным типом разветвления – 15 км (24%), на остальном участке развит адаптированный тип русла. На основе этих данных составлена карта распространения морфодинамических типов русла. С помощью методов геоинформационного картографирования определены наиболее мобильные участки русел и основные типы горизонтальных деформаций русел. Для этого сопоставлялись разновременные геоизображения (космические снимки, топографические карты) русла реки Иркут, производились измерения основных морфометрических параметров излучин, их морфодинамические типы и стадии развития. Наиболее значительные изменения планового рисунка русла произошли в пределах участка (с. Максимовщина – пос. Горького) с пойменно-русловым разветвлением. Выявлено, что основные деформации русла связаны с отмиранием и переформированием поперечных проток, соединяющих правый и левый рукава. Таким образом, целесообразно организовать мониторинговые наблюдения за русловыми и береговыми деформациями, а также изменениями компонентов ландшафта именно на этих участках.

Ключевые слова: река Иркут, Верхнее Приангарье, геоморфологические исследования, картографирование морфодинамических типов русел, русловые горизонтальные деформации, геоинформационный картографический метод

CHANNEL MORPHODYNAMICS OF THE IRKUT-RIVER FOR THE LAST FORTY YEARS (UPPER PRIANGARIE)

Opekunova M.Yu., Silaev A.V.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: opek@mail.ru

The article presents the results of the first stage of research in the framework of the monitoring project for coastal deformations of the Upper Priangarie. The main types of channel plan deformations p. Irkut (tributary of the Angara River) within the Irkutsk-Cheremkhovo Plain. Within the framework of the research, the main morphological and morphometric characteristics of the Irkut channels river within the flat-platform region (Upper Priangarie) are systematized. Quantitative data on the distribution of morphodynamic types of river beds p. Irkut. For the Irkut within the plain-platform part of the flow is characterized by the development of this type of channel. The wide floodplain type with adapted meanders, floodplain, single simple and complex bifurcations occupies 60.4 (93.3%), of which channels with floodplain braided type – 15 km (24%), the adapted type of channels occupies 6,7%. On the basis of these data, a map of the distribution of morphodynamic channel types was compiled. Using the methods of geoinformation mapping, the most mobile sections of channels and the main types of horizontal deformations of channels are determined. For this purpose, different geoimages (space images, topographic maps) of the Irkut river channel were compared, the main morphometric parameters of the bends, their morphodynamic types and stages of development were measured. The most significant changes in the planned pattern of the channel occurred within the site (Maksimovshchina village – Gorky settlement) with floodplain-channel branching. It is revealed that the main deformations of the channel are associated with the dying and reformation of the transverse branches connecting the right and left anabranches. Thus, it is advisable to organize monitoring of channel and bank deformations, as well as changes in landscape components in these sections.

Keywords: Irkut-river, the Upper Priangarie, geomorphological studies, mapping of morphodynamic types of channels, channel horizontal deformations, geoinformation cartographic method

Верхнее Приангарье является территорией долговременного освоения человеком. В современный период промышленного этапа развития территория испытывает повышенную техногенную нагрузку, возникает необходимость мониторинга функционирования естественных геосистем (либо вновь созданных техногеосистем) для рационального использования ресурсов, а также с целью прогнозирования и предотвращения неблагоприятных последствий, связанных как с естественными проявлениями процессов, так и с теми, которые могут быть спровоцированы деятельностью человека. Выделенные наиболее динамичные участки пойменно-руслового комплекса намечены для организации мониторинговых наблюдений за береговыми деформациями и изменениями ландшафтной структуры.

Цель исследования. Исследование посвящено актуальной проблеме рационального природопользования, выявления видов трансформаций пойменно-русловых комплексов при различных видах хозяйственной деятельности. В рамках выполнения первого этапа работ ставились следующие задачи:

1) получение актуальной информации о распространении морфодинамических типов русла и некоторых морфологических характеристиках пойменно-русловых комплексов р. Иркут в пределах равнинно-платформенной территории на основе анализа картографических данных;

2) выявление наиболее динамичных участков пойменно–русловых комплексов для последующего мониторинга береговых деформаций, на основе анализа разновременных данных дистанционного зондирования Земли и топографических карт.

Материалы и методы исследования

Территория исследования расположена в пределах платформенной части верхнего течения р. Ангары, включая участок нижнего течения крупного левого притоков р. Иркут (рис. 1). Длина р. Иркут – 488 км, площадь бассейна составляет 15000 км^2, большая ее часть лежит в горной части. Согласно карте геоморфологического районирования [1] территория исследования почти полностью находится в пределах юго-восточной области Среднесибирского плоскогорья, во внутренней подобласти хорошо развитых нетектонических структур в пределах Иркутско-Черемховской равнины Присаянского прогиба.

Большая часть территории относится к району с оптимальным атмосферным увлажнением (индекс сухости равен 0,45–1,00), умеренно теплым летом (более 1000 °С), умеренно суровой малоснежной зимой со средними температурами воздуха в январе выше – 30 °С, максимальной высотой снежного покрова менее 50 см. Среднегодовая температура января – 24–26 °С, июля 16–18 °С, годовая сумма осадков 300–400 мм с максимумом в июле и минимумом в марте [1]. Район исследования расположен на стыке полей распространения кембрийских песчаниково-алевролитовых карбонатных и известняково-доломитовых и юрских песчаниковых и песчаниково-галечниковых отложений. Днища долин выполнены неогеновыми и четвертичными галечниками и песками.

Основными факторами в развитии русла и формировании поймы является гидрологический режим реки и сток руслообразующих наносов, включающий в себя стоки влекомых и взвешенных наносов. Бассейн р. Иркут в нижнем течении относится к Приангарскому равнинному лесостепному и лесному маловодному району [2]. Для рек этого района характерен преимущественно снеговой тип питания, с преобладанием наибольшего стока в период весеннего половодья (апрель – май) и летнего паводка (июль). Изменение мутности воды и расходов взвешенных наносов на реках Верхнего Приангарья хорошо согласуется с годовым ходом расходов воды. Максимальные среднемесячные расходы и мутность наблюдаются в летний период (июль) и изменяются от 310 до 2200 г/м^3.

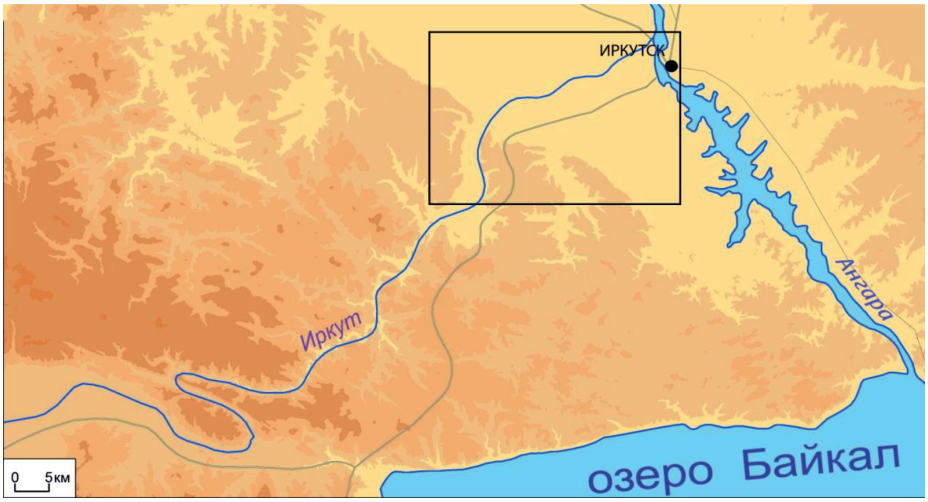


Рис. 1. Территория исследования

Теоретическую основу работы составили подходы и принципы картографирования русловых процессов, классификации и выделения морфодинамических русловых типов, эволюции русловых излучин [3–5].

Для выявления границ русла Иркута, а также определения основных типов русловых деформаций отдельных участков за последние сорок лет в 1977, 1995 и 2017 гг. использовались космические снимки Landsat (MSS, 5 TM, ETM+, OLI, TIRS) и топографические карты (М 1: 100 000). При визуальном дешифрировании использовались различные комбинации каналов, прямые и косвенные признаки (четкие очертания, линейные границы и т.п.) [6], уточненные данными полевых исследований. Для достоверности анализа русловых деформаций использовались снимки с датами съемки в четко выраженную летне-осеннюю меженную фазу, исключая периоды летних паводков, которые для р. Иркут проходят в последнюю декаду июня – первую декаду июля и последнюю декаду июля – первую декаду августа. В дальнейшем при сопоставлении полученных границ русла в трех временных срезах были выявлены и оценены изменения в морфологии русла и деформации русловых излучин. Привязка, оцифровка и анализ разновременных картографических слоев проводились с помощью ГИС-пакета MapInfo.

Результаты исследования и их обсуждение

В пределах платформенного участка длина реки составляет около 60 км, а площадь – 1080 км^2, падение – 0,72‰. Был проведен анализ распределения морфодинамических русловых типов, основные количественные и морфологические характеристики пойменно-русловых комплексов. В 1,5–2 км вверх по течению отс. Шаманка река после выхода из горной области приобретает преимущественно широкопойменный тип русла. Общая протяженность этого участка составляет 61,5 км. Участок начинается с прямолинейного отрезка, большую часть занимает разветвленно-извилистое русло с одиночными, односторонними и пойменно-русловыми разветвлениями. Типы излучин в основном сегментные пологие, крутые и развитые; петлеобразные и адаптированные с коренным берегом вдоль привершинной части. Характеристики морфодинамически однородных участков русла р. Иркут с. Шаманка до устья представлены в таблице.

Для р. Иркут в пределах равнинно-платформенной части течения характерно развитие широкопойменного руслового типа с вынужденными излучинами, пойменными, одиночными простыми и сложными типами разветвлений, такой тип русла занимает 60,4 (93,3 %), причем на участки с пойменным (двурукавным) типом разветвления приходится 15 км (24 %), на остальном участке развит адаптированный тип русла.

Систематизация морфодинамических данных позволила получить актуальные данные о распространении морфодинамических типов русла реки, выявить наиболее пригодные участки для организации мониторинга за береговыми деформациями.

Для оценки динамики русел с помощью геоинформационного картографирования нами использовались разновременные космоснимки, топографические карты. Произведены измерения основных морфометрических параметров излучин: длина (l), шаг (L), радиус кривизны излучины (r), стрела прогиба (h), ширина русла (bp). Также определены основные параметрические коэффициенты l/L (степень развитости излучины), r/h (показатель формы излучины), соотношение длины к стреле прогиба (l/h), соотношение шага к стреле прогиба (L/ h), соотношение радиуса кривизны к ширине русла (r/bp) и морфодинамические типы излучин. Определение морфодинамических типов излучин, особенности их деформации и трансформации, а также изменение морфометрических показателей являются основой для выявления специфики развития русла на различных участках.

Векторизация и последующее сопоставление слоев позволило выявить основные участки, на которых происходили деформационные преобразования (рис. 2). Было выявлено, что наиболее динамичным изменениям отличаются следующие элементы русла: участки вогнутых берегов излучин, острова (увеличение и уменьшение площади), размыв и наращивание берегов, отмирание поперечных проток. Процентное изменение коэффициента развитости излучин (l\L) с 1977 по 2017 гг. варьирует в пределах от 1 до 22 %. Анализ динамики площади пойменного массива (в 1977 г. площадь равна 9,748 км^2, в 1995 г. – 9,730, в 2017 г. – 10,230 км^2), расположенного внутри двух рукавов, показывает незначительное его увеличение за счет отмирания поперечных проток. Наиболее значительные изменения произошли на участках, где было переформирование поперечных излучин либо второстепенных проток.

Морфодинамические типы русла р. Иркут на участке с. Шаманка – устье (общая протяженность – 61,5 км)

Номер участка	Морфодинамически однородный участок, в скобках протяженность в км	Общая характеристика пойменно-руслового комплекса
1. Адаптированный тип русла (участок с. Шаманка – с. Моты, протяженность – 4,1 км)		
1.1.	Прямолинейное русло (2,1)	Ширина долины – 6–7 км, ширина русла – 150–200 м, ширина поймы – до 500 м, высота – 4 м. Коэффициент развитости излучины 1,03. На поверхности поймы размещены населенные пункты
1.2.	Излучина динамической оси (2,1)	
2. Широкопойменный тип русла с односторонней поймой (участокс. Моты – с. Введенщина, протяженность – 18 км)		
2.1	Разветвленно-извилистое русло (8,6)	Ширина долины до 5 км, ширина русла – 150–300 м, ширина поймы – до 3,2 км, высота – 4–6 м. Типы русловых разветвлений – одиночные простые и одиночные сложные. Развиты излучины сегментного типа (пологие и развитые). Излучины в основном вписанные. Шаг излучин – 1,3–2,4 км, коэффициент развитости излучин 1,12–1,63. На поверхности поймы размещены населенные пункты
2.2.	Прямолинейный неразветвленный отрезок (1,7)	
2.3.	Прямолинейный разветвленный участок (5,6)	
2.4.	Разветвленно-слабоизвилистое русло (2,1)	
3. Широкопойменный тип русла с двусторонней поймой (участок с. Введенщина – п. Баклаши)		
3.1.	Разветвленно-извилистое русло (8,6)	Ширина долины – до 15 км, ширина русла – 170–270 м, ширина поймы – до 6 км. Типы разветвлений – одиночные простые, одиночные сложные. Излучины: сегментные (пологие, развитые, крутые), петлеобразная, адаптированные (вынужденные, касающие вершиной коренного берега). Шаг излучин – 1,1–2,1 км, коэффициент развитости излучин 2,4–3,6. Поверхность поймы нарушена карьерами, мелиоративными каналами. На поверхности поймы размещены населенные пункты
4. Широкопойменный тип русла с адаптированными (вынужденными) излучинами (участок п. Баклаши – с. Максимовщина, протяженность – 10,8 км)		
	Широкопойменный разветвленно-извилистый тип русла с адаптированными излучинами	Ширина долины – до 15 км, ширина русла – 170–270 м, ширина поймы – 0,9–1,1 км Типы русловых разветвлений – одиночные простые, одиночные сложные, односторонние. Излучины: сегментные (развитые, пологая), синусоидальные адаптированные (вынужденные, касающиеся вершиной коренного берега). Шаг излучин – 0,6–1,2 км, коэффициент развитости излучин 1,25–2,25. В шпорах излучин развита пойма сегментно-гривистого типа. Поверхность поймы нарушена карьерами, мелиоративными каналами, на отдельных участках возведены дамбы. На поверхности поймы размещены населенные пункты, промышленные объекты
5. Широкопойменный тип русла (с. Максимовщина – устье, протяженность – 20)		
5.1.	Пойменно-русловое разветвление Максимовщина – пос. Горького (15)	Ширина долины – до 15 км, ширина русла – 170–270 м, ширина поймы – до 2,5 км.. Типы разветвлений – пойменные, одиночные простые, одиночные сложные, односторонние. Излучины: сегментного, петлеобразного типов. Шаг излучин – 1,1–2,1 км, коэффициент развитости излучин 1,1–2,5. Пойма осложнена карьерами, мелиоративными каналами. В пределах г. Иркутска русло частично спрямлено, возведена дамба
5.2.	Разветвленно-извилистое русло (участок пос. Горького – устье) (5)	

В пределах западного участка произошло отмирание протоки, соединяющей правый и русло одиночного разветвления в левом рукаве, а также искривление русла правой протоки в нем же (в 1977 г. наблюдается одна сегментная пологая излучина, в 2017 г. – две: сегментная развитая и петлеобразная). В пределах центральной части рассматриваемой территории произошло отмирание пойменной протоки излучины правого рукава. Наиболее значительные переформирования произошли на восточном участке, где за счет отмирания поперечной протоки произошло оформление и спрямление части русла левого рукава.

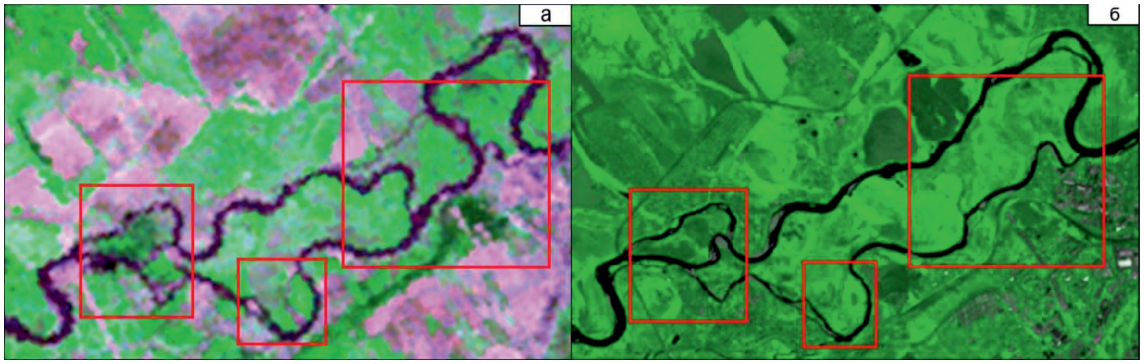


Рис. 2. Наиболее динамичные участки русла р. Иркут (в красных прямоугольниках) на участке с. Максимовщина – устье за период 1977–2017 гг. Условные обозначения: а) снимок 1977 г., б) снимок 2017 г.

Заключение

Анализ различных картографических и дистанционных данных, собственный фактический материал авторов позволил провести типизацию морфодинамических типов русла р. Иркут в пределах равнинно-платформенной части его течения и составить актуальную карту их распространения. Данный этап обработки геоизображений послужил основой для следующего шага: выделения наиболее мобильных (изменчивых) участков русла, для чего был использован метод сопоставления разновременных снимков.

Анализ разновременных снимков позволил выявить наиболее мобильные участки русла. В двух случаях это пойменные разветвления с излучинами и в левом и правом рукавах, соединенными второстепенными протоками. Еще один участок – излучина в правом рукаве, осложненная развитием и отмиранием второстепенных проток. Выявлены основные типы [4] горизонтальных деформаций русел: в пространстве – это формы проявления местного (переформирование излучин) и локального (изменения в пределах элементов излучин, отмирание поперечных проток при пойменных разветвлениях, увеличение и уменьшение площади островов, размыв и наращивание берегов) уровней.

Таким образом, такие динамичные участки являются наиболее перспективными для мониторинга за береговыми и русловыми деформациями, а также за изменениями и динамикой компонентов ландшафта. Данные исследования показали необходимость, и перспективность использования метода геоинформационного картографирования при изучении морфодинамики русел рек, выявлении ключевых участков для мониторинга береговых деформаций и динамики пойменно-русловых комплексов на подготовительном уровне.

Исследование выполнено в рамках тем Плана НИР Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (№ 0347-2016-0001 и № 0347-2016-0003), при частичной поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 17-45-388070-р-а.

Список литературы / References

1. Атлас. Иркутская область: экологические условия развития / Ред. совет: В.В. Воробьев и др. М.: Иркутск: типография «Географ», 2004. 90 с.

The Atlas. Irkutsk region: ecological conditions of development / Ed. advice: V.V. Vorobiev et al. Moscow: Irkutsk: printing house «Geographer», 2004. 90 p. (in Russian).

2. Зонов Б.В., Шульгин М.Ф. Гидрология рек бассейна Братского водохранилища. М.: Наука, 1966. 168 с.

Zonov B.V., Shulgin M.F. Hydrology of the rivers of the Bratsk reservoir basin. Moscow: Nauka, 1966. 168 p. (in Russian).

3. Чалов Р.С. Русловедение: теория, география, практика. Т. 2: Морфодинамика речных русел. М.: Издательство КРАСАНД, 2011. 960 с.

Chalov R.S. Ruslovedenie: Theory, Geography, Practice. T. 2: Morphodynamics of river beds. M.: Publishing house KRASAND, 2011. 960 p. (in Russian).

4. Чернов А.В. География и геоэкологическое состояние русел и пойм рек Северной Евразии. М.: Изд-во ООО «Крона», 2009. 684 с.

Chernov A.V. Geography and geoecological state of the rivers and floodplains of the rivers of Northern Eurasia. M.: Krona, 2009. 684 p. (in Russian).

5. Little P.J., Richardson J.S., Alila Y. Channel and landscape dynamics in the alluvial forest mosaic of the Carmanah River valley, British Columbia, Canada. Geomorphology. 2013. Vol. 202. P. 86–100. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.04.006.

6. Интерпретация комбинаций каналов данных Landsat TM / ETM + [Электронный ресурс]. URL: http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html (дата обращения: 01.07.2018).

Interpretation of combinations of data channels Landsat TM / ETM + [Electronic resource]. URL: http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html (date of access: 01/07/2018) (in Russian).

УДК 911.3/.6:379.836

ИЗУЧЕНИЕ САДОВОДЧЕСКИХ ХОЗЯЙСТВ КАК НАПРАВЛЕНИЯ РЕКРЕАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ

Рудский В.В.

Гжельский государственный университет, Московская область, п. Электроизолятор 67, e-mail: rudsky@mail.ru

Сельскохозяйственные районы принадлежат к предпочтительным целям географических исследований. При этом расположенные здесь сельскохозяйственные угодья, как и территории, занятые садово-огородническими участками, разнообразные зеленые насаждения и открытые луговые участки с их геоэкологическими функциями имеют особенную значимость, так как именно они попадают в область интересов различных пользователей, от которых зависит состояние этих территорий. Они, как правило, подвергаются существенному загрязнению и изменению в результате разностороннего использования, выполняя при этом важные рекреационные функции. Организация садоводческих хозяйств находится в центре географических интересов, так как географы могут рассматривать этот объект с различных сторон. Прежде всего, это касается изучения природных комплексов с социально-экологической и социально-экономической точек зрения, так как здесь прослеживаются наиболее тесные связи между загрязнением природной среды и, соответственно, состоянием продуктов возделывания, вследствие чего появляется угроза для конечных потребителей продукции. Проведенные в конце XX в. предварительные исследования показали, что в течение нескольких лет интенсивность использования садовых участков начинала изменяться. Совершенствование системы обеспечения населения сельскохозяйственными культурами в условиях рыночного хозяйства потребовало от садоводов и огородников изменения набора выращиваемых культур. В связи с этим бывает сложно сделать вывод о соотношении обработки почв и внесения удобрений с экологическим состоянием участков. С социально-географической точки зрения нам представляется очень интересным узнать, как изменилось отношение людей к садово-огородным участкам в связи с изменившимися общественными отношениями. Неясно также, как в течение этого процесса развивалось бы влияние других интересов использования этих участков. С самого начала исследования мы преследовали цель разработать методические подходы к изучению этого явления.

Ключевые слова: садовые хозяйства, рекреация, ландшафт, экологические проблемы, социально-экономические и экологические последствия

THE STUDY OF HORTICULTURAL FARMS AS THE DIRECTION OF RECREATIONAL ACTIVITIES OF THE POPULATION

Rudskiy V.V.

Gzhel State University, Moscow region, p. Elektroizolyator 67, e-mail: rudsky@mail.ru

Agricultural areas are preferred to the purposes of geographical research. While located here agricultural land, as the territories occupied by gardening plots, a variety of green areas and open meadow areas with their geo-ecological features are of particular importance, as they fall within the scope of interests of different users depends on the status of these territories. They are, as a rule, are subject to significant pollution and changes in the result is versatile, performing an important recreational function. Organization of horticultural farms is located in the centre of geographical interest, as geographers can examine the object from different angles. First of all, it concerns the study of natural systems with social-ecological and socio-economic points of view, as there can be traced a close connection between the pollution of the environment and, therefore, as products of cultivation, in consequence of which there is a threat to final consumers. Held at the end of the twentieth century preliminary studies showed that over several years the intensity of use of garden plots began to change. Thanks to improvements in the provision of vegetables and fruits in the conditions of market economy farmers began to focus more on other horticultural crops. It is therefore rather difficult to draw a definitive conclusion as to the relationship between tillage and fertilizer application with the condition of the sites as a whole. Socio-geographical point of view it seems to us very interesting to know how has changed the attitude of people to the garden plots due to the changed social relations. It is also not clear how during this process would develop the influence of other interests of use of these sites. From the beginning of the study we aimed to develop methodological approaches to study this phenomenon.

Keywords: gardening, recreation, landscape, environmental issues, socio-economic and environmental impacts

Во второй половине XX в. во всем мире, под влиянием антропогенной деятельности, многие особенности ландщафтов, и в первую очередь почв, как важнейшего компонента ландшафтов и сельскохозяйственных угодий, претерпели существенные изменения. Наиболее значимые изменения произошли в накоплениях и перераспределении металлов. В данной статье приводится информация о состоянии почв и соответственно ландшафтов и связанной с ними рекреационной деятельности на модельных участках России и Германии.

Цель исследования: организация и проведение комплексных рекреационно-географических и социально-эколого-экономических исследований процесса землепользования на примере модельных

садовых участков Германии и Российской Федерации, проводимых по специальеной методике в одно и то же время.

Задачи исследований:

1. Оценить имеющийся опыт по проведению аналогичных исследований в близкие временные периоды.

2. Совершенствовать имеющиеся методики применительно к данным объектам. Разработать единую анкету для проведения социально-экономического опроса рекреантов.

3. Выбрать для проведения исследований репрезентативные участки в пределах крупных городов Российской Федерации и Германии (Лейпциг, Галле, Калининград, Москва, Смоленск).

4. Не реже одного-двух раз в год проводить совместные обсуждения полученных результатов.

5. Провести экологические исследования состояния почв, воды и получаемых с садовых участков овощей, и фруктов.

6. Провести анкетирование рекреантов по единой программе и в одни и те же сроки.

7. Подготовить и издать итоговую монографию по материалам проекта на английском языке.

Материалы и методы исследования

Сбор разнообразной эколого-географической информации о состоянии экосистем садово-огородных участков предполагает использование различных методов исследований, в частности полевого, сравнительного, лабораторного и опытно-экспериментального. Полевой метод исследования проводился в различных экосистемах модельных регионов Российской Федерации и Германии. В качестве объектов исследований нами рассматривались как отдельные садово-огородные культуры, так и естественные природные популяции. Экологическая характеристика любой группы популяций включала использование биологических, биогеохимических и географических методов исследования. Отмечалось и фиксировалось воздействие абиотических, биотических и антропогенных факторов на различные организмы. Материалы собирались и обрабатывались в различные времена года в течение нескольких лет в различных естественных антропогенно измененных ландшафтах.

Как показал наш опыт, полевые исследование полностью не раскрывают содержания научной работы. Только на основе лабораторных тестов определялись различные параметры состояния как отдельных природных компонентов, так и природных и видоизмененных геосистем. Кроме того, изучение поведения организмов, уровня загрязнения воздуха, воды, почвы требовало экспериментального подтверждения. Поэтому экспериментальные исследования за изучаемыми объектами велись и в лабораторных условиях методом постановки лабораторного опыта. Полевые материалы обрабатывались в лабораторных условиях Университета Мартина Лютера Галле-Виттенберг. Лаборатории университета соответствуют международным стандартам и оснащены современным оборудованием: климат-камерами, видеоаппаратурой, оптическими приборами, аналитическими весами, термостатами, хроматографами, электронными микроскопами, соединенными с компьютерами в единый информационно-аналитический блок.

На основе сравнения результатов полевых и лабораторных опытов обосновывалось их научное и практическое значение. Конечно, в зависимости от объектов исследования корректировались направления и методы полевых, лабораторных и опытных исследований.

Результаты исследования и их обсуждение

Последние годы в качестве предпочтительных объектов географических исследований рассматриваются рекреационные и сельскохозяйственные районы. При этом расположенные здесь сельскохозяйственные угодья, как и территории, занятые садово-огородническими участками, разнообразные зеленые насаждения и открытые луговые участки с их геоэкологическими функциями, имеют особую значимость, так как именно они попадают в область интересов различных природопользователей, от которых зависит состояние этих территорий. Эти территории, как правило, подвергаются существенному загрязнению и изменению в результате разностороннего использования, выполняя при этом важные рекреационные функции

Проблемы плодородия не являются приоритетными для почвы подавляющего большинства селитебных ландшафтов. Вместе с тем эти почвы, как депонирующая среда, являются суммарным показателем эколого-геохимических изменений, происходящих на изучаемой территории [1, 2].

Проведенные исследования показали [3, 4], что в крупных промышленных и рекреационных центрах, даже после ликвидации

основных загрязнителей и при частичной замене городских почв, почвы продолжают нести геохимическую информацию о происходившем в таких центрах загрязнении. Это позволяет считать изучение геохимических особенностей почв, особенно рекреационных и сельскохозяйственных ландшафтов, одной из приоритетных задач в области экологической и рекреационной географии. Рядом авторов отмечалось, что для последующего принятия конкретных мер по улучшению экологической обстановки необходимы количественные геохимические сведения о современном состоянии почв [5, 6].

Крупные садоводческие хозяйства, а также отдельные их участки находятся в центре рекреационно-географических интересов, так как географы могут рассматривать эти объекты с различных экологических, экономических, социальных и других сторон. Прежде всего, это касается изучения природных ландшафтов с социально-эколого-экономической точек зрения, так как именно здесь прослеживаются наиболее тесные взаимосвязи между загрязнением природной среды и, соответственно, состоянием продуктов возделывания, вследствие чего появляется угроза для конечных потребителей продукции и прежде всего для человека и сельскохозяйственных животных.

Садоводческие хозяйства и небольшие садово-огородные участки получили распространение во многих регионах земного шара. Они были представлены также и в некоторых западноевропейских странах, а также в странах бывшего Советского Союза. Все эти участки и хозяйства независимо от их государственной и социально-экономической принадлежности имеют как сходные, так и различные составляющие их структуры. Существенное место в организации этих территорий занимают как эколого-географические, так и социально-экономические и связанные с ними проблемы [7, 8].

Как выяснили российские экономисты и социологи, так называемые рекреанты на садовых участках свой труд не ценят, считая, что каторжный труд на шести сотках является лучшей формой рекреационной деятельности.

Проведенные нами расчеты показывают – доход от полученного урожая не покрывает расходы на его выращивание. Выращивание небольшого урожая на небольшом по площади участке экономически не оправдано, так как транспортные и другие накладные расходы по стоимости существенно превосходят стоимость этих же продуктов, приобретенных на рынке. Кроме этого необходимо учитывать и ограниченный ассортимент культур.

Другая картина складывается в западных странах, в частности в Германии. Большой опыт в организации и проведении данных исследований имеют географы Университета Мартина-Лютера Галле-Виттенберг. С середины 1990-х гг. под руководством профессора Манфреда Фрюауфа проводятся исследования по изучению экологического и социально-экономического состояния садово-огородных участков в окрестностях города Галле, многое за это время изменилось, особенно в социальной и экономической сферах. С начала 2000-х гг. аналогичные исследования проводятся географами ряда российских вузов в Московской, Смоленской и Калининградской областях, а также на Урале.

Для довольно многочисленных садово-огородных участков в старых федеральных землях Германии в течение последних двух десятков лет ответы на спорные вопросы, связанные с использованием дачных участков, довольно часто ставились и обсуждались, в то же время в новых федеральных землях, а тем более в странах бывшего СССР, существует достаточно большой информационный дефицит, который давал и дает нередко повод для различных спекуляций.

При проведении и оценке результатов наших исследований мы исходим из того, что на пригородных приусадебных хозяйствах существуют, как правило, и особенные геоэкологические условия, которые обуславливают повышенное загрязнение почв и, соответственно, продуктов возделывания. Это обусловлено значительной интенсивностью воздействия на почву в этих садах. Вследствие этого здесь встречаются – по сравнению с окружающими свободными от воздействия почвами – почвы с более высоким содержанием гумуса и мощностью гумуса, которые, по меньшей мере, отличаются также более высоким содержанием питательного вещества. Зачастую эти садоводческие участки наряду с получением удобрения и поверхностной обработкой почвы получают и определенную долю тяжелых металлов. К таким специфическим садоводческим элементам присоединяются, в зависимости от условий местонахождения, также и химические элементы, которые характерны для крупного города и соответственно густонаселенного района, например, в Московском регионе. Особенно

большую роль при этом наряду с кислотами и щелочами играют распыленные тяжелые металлы [4–5].

В конце 1980-х гг. дачные участки в различных районах Восточной Германии использовались очень интенсивно и концентрации вредных веществ, особенно тяжелых металлов, в почвах и выращиваемых продуктах достигала также значительных величин, поэтому данному региону, в частности агломерации Лейпциг-Галле, отводится в этих исследованиях особое место.

Актуальное направление российско-немецких исследований связано с поиском источников, времени и путей поступления вредных элементов в почву. Эти вопросы изучались прежде всего с исторической точки зрения. Мы изначально предполагали, что интенсивность и продолжительность использования территории играют первостепенную роль. Кроме этого выявлялись структурные особенности дачных участков, источники и величина водоснабжения, другие факторы нагрузки и воздействия на окружающую среду этих участков.

Загрязнения почвы и продуктов выращивания в пределах дачных участка не могут рассматриваться в отрыве от земельных отношений. Это связано со следующими причинами: с одной стороны, сами почвы содержат некоторое естественное количество тяжелых металлов, которые образуют определенный фон, с другой стороны, концентрация тяжелых металлах в почвах постоянно повышается в результате прямых или побочных антропогенных воздействий. Нами учитывались и различные географические особенности местности при выборе исследуемых садово-огородных участков в пригородной зоне Смоленска, Москвы, Калининграда и Галле, которые также подвергались изменению в процессе интенсивного землепользования.

Предварительное изучение окрестностей Смоленска показало наличие большого числа территорий, занятых небольшими дачными и садово-огородными участками (как правило, площадью 6 соток), значительная часть этих садов создавалась в течение второй половины XX в. Сопоставимое количество дачных участков в Калининградской области. Несоизмеримо больше дачных участков в окружении Москвы. При этом важное значение имели такие факторы, как близость к столичной агломерации и областным центрам, наличие дорог, особенно федерального значения, инженерно-геологические условия, которые касались, прежде всего, возможности использования участков под застройку. С социально-экологической и рекреационной точек зрения важно было выявить различные источники и пути поступления элементов тяжелых металлов в почву в конкретной точке. При этом мы пытались установить зависимость между структурными и функциональными единицами города и их воздействием на загрязнение садово-огородных участков. Кроме этого выяснялись и локальные источники загрязнения, дифференцированные в пределах городских и сельских поселений.

Для этого в различных пригородных зонах учитывались характерные условия рельефа местности как необходимые критерии для выбора в конечном счете 15 конкретных модельных садов.

Нами спрогнозированы также другие источники попадания тяжелых металлов в почву, которые важны для изучения последствий такого загрязнения с социально-экологической точки зрения. С одной стороны, эти значения – как это случается, к сожалению, все еще очень часто – не могут видеться в отрыве от отдельных почвенно-литологических характеристик и их влияния на общую картину состояния почвы (например, мощность плодородного горизонта, содержание гумуса, других почвенных компонентов или pH среды). Наряду с оценкой общего содержания отдельных элементов в растениях важно было, с экологической точки зрения, учесть роль и место тяжелых металлов в этих растениях [7].

Проведение исследований по учету и оценке различных факторов пространственной дифференциации нагрузки на почвы и растения играли особую роль, при оценке воздействия вредных веществ на различные организмы и в первую очередь на здоровье человека. Одновременно был рассмотрен и весь комплекс географических факторов, в частности геоэкологические и экономико-социально-географические факторы природной среды.

Таким образом, проведенные предварительные рекогносцировочные исследования показали, что в течение почти 30 лет после объединения Германии и распада СССР интенсивность использования садово-огородных участков начинала изменяться. Благодаря улучшению в обеспечении овощами и фруктами в условиях рыночного хозяйства огородники стали меньше ориентироваться на выращивание садово-огородных культур, а больше использовать данные участки в рекреационных целях. Поэтому достаточ-

но сложно сделать окончательный вывод, как соотносятся обработка почв и внесение удобрений с экологическим состоянием садовых участков в целом.

С социально-географической точки зрения нам было очень интересно отметить принципиально новое отношение людей к садово-огородным участкам в связи с изменившимися общественными отношениями. Очень важно, что в настоящее время значительное количество участков используются в целях организации кратковременного и продолжительного отдыха населения регионов, в связи с этим в почву поступает меньше вредных веществ, а население потребляет продукты лучшего качества, произведенные в крупных хозяйствах под контролем соответствующих органов.

С самого начала исследования мы преследовали цель оценить различные методические походы к изучению частных садово-огородных участков. Разумеется, это только первый шаг в изучении данного вопроса и в будущем предстоит решить также важные практические задачи с использованием комплекса эколого-географических методов и подходов.

Список литературы / References

1. Алексеенко В.А. Жизнедеятельность и биосфера: учебное пособие для вузов. М.: Логос, 2010. 232 с.

Alekseenko V.A. Activity and biosphere: Manual for higher education institutions. M.: Logos, 2010. 232 p. (in Russian).

2. Алексеенко В.А., Рудский В.В., Алексеенко А.В. Влияние размера населенных пунктов на загрязнение городских почв // География и природные ресурсы. 2016. № 3. С. 26–36. DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2016-3(26-36).

Alekseenko V.A., Rudskii V.V., Alekseenko A.V. The Influence of The Size of Settlements Onurban Soil Pollution // Geography and natural resources. 2016. № 3. P. 26–36 (in Russian).

3. Голубчиков Ю.Н. Гуманитарная география в стратегиях выживания человечества. М.: Диалог культур, 2014. 328 с.

Golubchikov Yu.N. Humanitarian geography in the strategy of survival of mankind. M.: Dialog kul`tur, 2014. 328 p. (in Russian).

4. Рудский В.В., Лысенкова З.В. Экологические проблемы садово-огородных хозяйств урбанизированных территорий (на примере г. Смоленска) // Геохимия биосферы: Материалы международного совещания. Новороссийск, 2008. С. 158–160.

Rudsky V.V., Lysenkova Z.V. Environmental problems of garden and garden farms of the urbanized territories (on the example of Smolensk) // Biosphere Geochemistry: Materials of the international meeting. Novorossiysk, 2008. P. 158–160 (in Russian).

5. Фрюауф М., Рудский В.В., Баужа Д. Прикладные аспекты изучения городов (на примере Германии, Литвы и России) // Инновационное развитие города: методология и практика: материалы международной конференции. Бийск: БГПУ им В.М. Шукшина, 2007. С. 308–313.

Fryuauf M., Rudsky V.V., Bauzha. Applied aspects of studying of the cities (on the example of Germany, Lithuania and Russia) // Innovative development of the city: methodology and practice: materials of the international conference. Biysk: BGPU to them V.M. Shukshina, 2007. P. 308–313 (in Russian).

6. Gabbasova I.M., Suleimanov R.R., Khabirov I.K., Komissarov M.A., Fruehauf M., Liebelt P., Garipov T.T., Sidorova L.V., Khaziev F.Kh. Temporal Changes of Eroded Soils Depending on Their Agricultural Use in the Southern Cis-Ural Region. Degradation, Rehabilitieren, and Conservation of sols, Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 49. No. 10. P. 1204–1210.

7. Fruehauf M., Diaby K. Schwermetallbelastung von Kleingartenböden der Stadt Halle. In: 49. Deutscher Geographentag Bochum. 1999. Band 2. P. 65–72. hrsg. von Dietrich Barsch u. Heinz Karrasch. Franz Steiner Verlag, Stuttgart (in German).

8. Frühauf M.: Kalte Bode, Elendstal und Schnarcherklippen. In: J. Brückner, D. Denecke, H.T. Porada und U. Wegener: Der Hochharz – Vom Brocken bis in das Nördliche Vorland; Landschaften in Deutschland – Werte der Deutschen Heimat, i.A. des Leibniz-Instituts für Länderkunde und der Sächsischen Adademie der Wissenschaften zu Leipzig, Böhlau Verlag Köln Weimar Wien. Bd. 73. 2016. P. 302–304 (in German).

УДК 556.51

ПРИРОДНЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ ТРАНСФОРМАЦИИ СТОКА В БАССЕЙНЕ РЕКИ УРАЛ

Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М.

ФГБУН «Институт степи» УрО РАН, Оренбург, e-mail: sivohip@mail.ru

В статье проведен анализ природных и антропогенных факторов трансформации стока на примере р. Урал и основного притока – р. Сакмары. Актуальность проведенного исследования определяется расположением бассейна р. Урал в степной зоне ЕТР и интенсивным аграрно-промышленным развитием регионов. Отмечается, что наиболее серьезным антропогенным преобразованиям сток реки подвергся в середине XX в. Эколого-гидрологической спецификой бассейна является пространственно-временная изменчивость речного стока. В исследовании использованы данные о расходах воды за 1940–2014 гг. по гидрологическим постам р. Урал (Оренбург) и Сакмара (Татарская Каргала), дополнительно – р. Урал (Кизильское). В результате проведенного исследования выявлена тенденция к перераспределению сезонного стока в сторону увеличения доли меженного стока (особенно зимнего) и, соответственно, сокращения доли стока в периоды весенних половодий. Отмечено, что процессы трансформации стока р. Урал идентичны тенденциям для рек ЕТР, что свидетельствует об определенных изменениях климатической системы на макрорегиональном уровне. В результате совместного воздействия климатических и антропогенных трансформаций режим реки постепенно лишается одной из своих характерных черт, определяющих активность русловых процессов и экологическое состояние пойменных геосистем. Наблюдаемая трансформация сезонного и многолетнего стока свидетельствует о необходимости корректировки структуры водопользования и регулирования стока в условиях водно-дефицитных степных регионов. Кроме того, в ходе исследования установлено, что в наименьшей степени трансформации многолетнего и сезонного стока подвержены реки, водосборы которых охватывают зональные лесостепные и горнолесные ландшафты (р. Сакмара и ее притоки), что свидетельствует о высокой устойчивости стока к вариациям климатических условий.

Ключевые слова: речной сток, половодье, регулирование стока, вариативность, климатическая система

NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS OF RIVER FLOW TRANSFORMATION IN THE URAL RIVER BASIN

Sivokhip Zh.T., Pavleychik V.M.

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

The article analyzes the natural and anthropogenic factors of the runoff transformation using the example of the river Ural and the main tributary – r. Sakmara. The relevance of the study is determined by the location of the Ural river basin in the steppe zone of the ETR and intensive agrarian and industrial development of the regions. It is noted that the most serious anthropogenic transformations the river flow was exposed in the middle of the 20th century. The ecological-hydrological specific of the basin is the spatiotemporal variability of river flow. The study uses data on water expenditure for the years 1940-2014. on the hydrological posts of the rivers Ural (Orenburg) and Sakmara (Tatar Kargala), in addition – p. Urals (Kizilskoe). As a result of the study, a tendency was found to redistribute the seasonal runoff towards an increase in the share of the low flow (especially in the winter) and, correspondingly, the reduction in the share of runoff during the periods of spring floods. It is noted that the Ural River drainage transformation processes are identical to the trends for the ETR rivers, which indicates certain changes in the climate system at the macro-regional level. As a result of the combined impact of climatic and anthropogenic transformations, the regime of the river is gradually losing one of its characteristic features that determine the activity of channel processes and the ecological state of floodplain geosystems. The observed transformation of seasonal and long-term runoff indicates the need to adjust the structure of water use and flow regulation in conditions of water-scarce steppe regions. In addition, the study found that in the least degree of transformation of the long-term and seasonal runoff, the rivers are affected, the catchments of which cover the zonal forest-steppe and mountain-forest landscapes (the Sakmara River and its tributaries), which indicates a high drainage stability to variations in climatic conditions.

Keywords: river runoff, flood, runoff control, variability, climate system

Многолетняя динамика речного стока является отражением ответной реакции природных речных систем на климатические и антропогенные трансформации в регионах мира. При этом важной и во многом нерешенной методологической проблемой остается оценка вклада каждого из этих факторов в изменение водного режима. Одной из основных проблем, затрудняющих проведение подобных исследований и получение достоверных выводов, является недостаток данных за условно-естественный период наблюдений. Изучение динамики речного стока носит и прикладной характер, на основе полученных выводов возможна разработка оптимальных режимов эксплуатации крупных водохранилищ, организации системы регулирования стока, водоохранной оптимизации угодий и др.

Вариации показателей речного стока в целом отражают цикличность погодно-климатических условий и характеризуют

ряд макрорегиональных тенденций в трансформации водного режима, выражающихся в многолетнем и во внутригодовом аспектах. Согласно современным исследованиям [1–3], на реках европейской территории России (ЕТР) в последние 30 лет наблюдается фаза повышенной водности, сопровождающаяся увеличением стока в зимний период. Еще одной из современных тенденций изменчивости водного режима рек ЕТР с преобладанием снегового питания является снижение стока весеннего половодья и, соответственно, максимальных расходов воды, с одновременным увеличением доли стока в период летне-осенней межени. Данные тенденции подтверждаются исследованиями водного режима крупнейших рек ЕТР – Волга и Дон [4–7]. Таким образом, современные тенденции водного режима, обусловленные климатическими флуктуациями на фоне высокой антропогенной освоенности территорий, должны учитываться при решении проблем устойчивого водопользования.

С учетом вышесказанного актуальным направлением в исследованиях закономерностей трансформации водного режима является анализ современных тенденций изменения речного стока, в том числе и в вододефицитных регионах степной зоны. Примером вододефицитного региона с высоким природно-ресурсным потенциалом и интенсивным аграрно-промышленным развитием является бассейн реки Урал. Из ключевых эколого-гидрологических особенностей отметим пространственно-временную изменчивость речного стока в пределах исследуемого бассейна. Наиболее существенным антропогенным преобразованиям сток реки подвергся в середине XX в. Строительство крупных горно-металлургических предприятий в Южном Зауралье потребовало гарантированного водообеспечения, в связи, с чем были созданы Магнитогорское (1931), Ириклинское (1958–1966) и Верхнеуральское (1966–1967) водохранилища. Практически одновременно с созданием водохранилищ, в 1955–1965 гг., значительная часть территории бассейна р. Урал была освоена под пахотные угодья в рамках «целинной кампании», что, несомненно, изменило условия формирования стока. Таким образом, многолетняя динамика стока р.Урал отражает совместное влияние как климатических, так и антропогенных факторов.

Из перечисленных антропогенных факторов трансформации речного стока наиболее существенное значение имеет регулирование стока водохранилищами. Наиболее крупным искусственным водоемом является Ириклинское вдхр. на р. Урал, объем которого (3,26 км^3) позволяет осуществлять многолетнее регулирование стока, гарантированно накапливая необходимые объемы воды.

Цель исследования: провести анализ трансформации сезонного и многолетнего стока, а также дать предварительную оценку факторов выявленных изменений.

Таблица 1

Общая характеристика рек Урал и Сакмара

Параметры	Река (гидропост)	
	Урал (Оренбург)	Сакмара (Тат. Каргала)
Площадь водосбора, км^2	231000	30200
в том числе: – до гидропоста	82300	29600
– выше створа водохранилищ (Ириклинское и Сакмарское), км^2, %	36640 (45%)	2041 (6,9%)
Протяженность реки, км	2428	767
– от истока до створа вдхр.	521	177
– от створа вдхр. до поста	472	559
Абсолютные высоты, м:		
– max (исток реки)	725	796
– min (отметка нуля поста)	81,6	86,9
Средний годовой расход, м^3/с	101,7	139,6
Абсолютные суточные расходы, м^3/с, дата		
– max	10100 (02.05.1942)	4500 (05.05.1942)
– min	11,6 (13.08.1977)	13,5 (03.09.2010)

Материалы и методы исследования

В исследовании использованы данные о расходах воды за 1940–2014 гг. по гидрологическим постам рек Урал (Оренбург) и Сакмара (Татарская Каргала) (табл. 1), дополнительно – р. Урал (Кизильское). Выбор постов обосновывался продолжительностью рядов непрерывных наблюдений, в том числе охватывающих небольшой отрезок условно-естественного стока (до заполнения Ириклинского вдхр. на р. Урал). Тенденции в перераспределении внутригодового стока выявлены на основе данных среднемесячных расходов, абсолютных (максимальных и минимальных) показателей. Стандартными методами статистического анализа определялась степень однородности рядов данных и взаимосвязь между ними, на основе чего выявлялись и подтверждались определенные закономерности в динамике речного стока.

Результаты исследования и их обсуждение

Для анализа трансформации речного стока в условиях регулирования крупным водохранилищем были проанализированы многолетние данные о среднемесячных расходах воды в створе р. Урал (г. Оренбург) за два периода – 1940–1957 гг. (условно-естественный период до заполнения Ириклинского водохранилища) и 1997–2014 гг. (рис. 1).

Согласно полученным результатам, изменение рассматриваемых показателей выражается: а) в заметном снижении сезонной вариативности стока, кроме двух летних месяцев (июнь – июль), по которым тенденции выражены неявно; б) в сокращении расходов в период весеннего половодья и нарастании стока в меженные периоды, особенно в зимние месяцы. Выявленные изменения водного режима обусловлены как регулированием речного стока, так и макрорегиональными климатическими флуктуациями.

Для исключения антропогенной составляющей трансформации сезонного стока был проведен аналогичный анализ стока незарегулированных рек исследуемого бассейна. В частности, данные по р. Сакмара свидетельствуют о сохранении уровня вариации внутригодового стока на протяжении всего рассматриваемого периода, хотя определенное снижение отмечается в тот же период (1960–1961 гг.), что и на р. Урал, совпадающий с началом заполнения Ириклинского вдхр. (рис. 2).

Данные по посту р. Урал (Кизильское) за весь период (1940–2014 гг.) нельзя рассматривать в качестве естественного в связи с наличием выше по течению двух водохранилищ (Магнитогорского, 272 км, и Верхнеуральского, 3016 км). Заполнение Верхнеуральского вдхр. в 1966–1967 гг. совпало с окончанием заполнения Ириклинского вдхр., что отразилось в виде заметного снижения внутригодовой вариативности стока, после чего значения этого показателя оставались стабильно более низкими, чем ранее; в целом результаты идентичны данным по посту р. Урал (Оренбург).

Период снижения максимальных расходов наступает несколько раньше, чем в период заполнения крупных водохранилищ на р. Урал, и соответствует началу длительной маловодной фазы, продолжавшейся

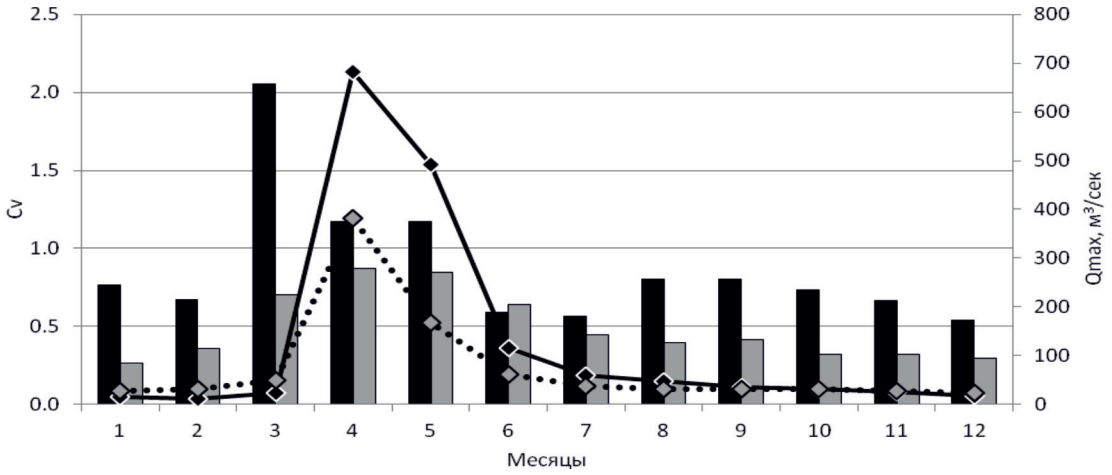


Рис. 1. Среднемесячные расходы воды (график, Y2) в створе р. Урал-Оренбург за 1940–1957 (черный) и 1997–2014 (серый) гг. и коэффициент их вариации за периоды (столбчатая диаграмма, Y1)

до конца 1980-х гг. Последствия регулирования проявляются в том, что максимальные расходы после заполнения Ириклинского вдхр. не достигали прежних значений, даже в многоводные годы (1990–2005) (рис. 3). Следовательно, можно констатировать, что величина максимальных расходов в условиях режима многолетнего регулирования стока практически не зависит от водности года.

Срезка пиков весеннего половодья, осуществляемая при регулировании стока водохранилищами, в совокупности с климатически обусловленным снижением весенних объемов стока играет негативную роль для функционирования речной геосистемы ввиду снижения динамических свойств водного потока. Более равномерный годовой сток способствует преобладанию накопления аллювиальных отложений в руслах рек над их выносом, происходящим преимущественно в весенне-паводковый период. В долгосрочной перспективе отсутствие значительного «промывного режима» может стать одной из причин снижения параметров стока р. Урал.

Отметим, что отрицательный характер трендов по многолетним данным во многом обеспечивается серией многоводных лет в начале рассматриваемого периода (1941, 1942, 1946–1948, 1957) (рис. 4).

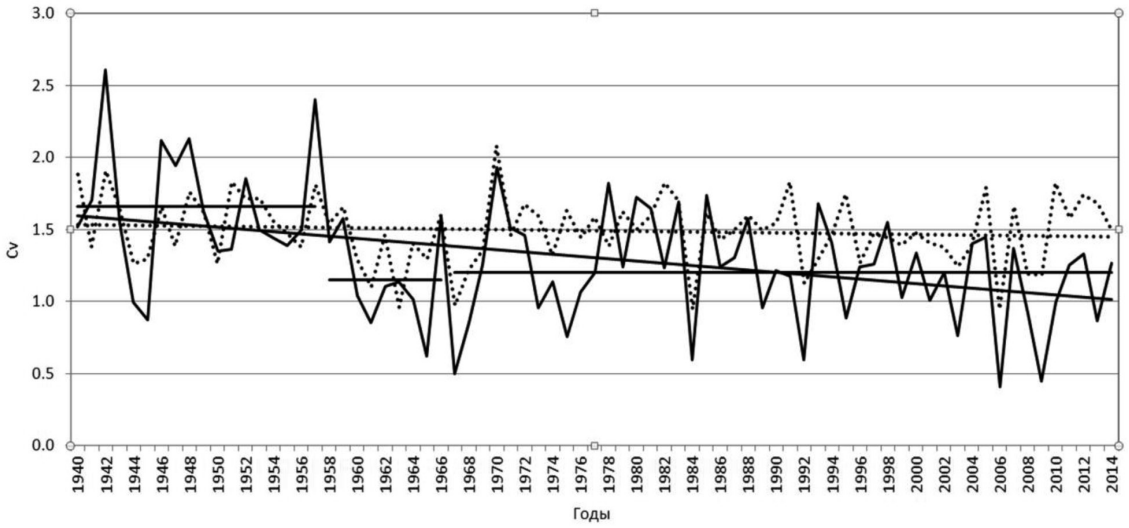


Рис. 2. Многолетний (1940–2014 гг.) ход коэффициентов вариации внутригодового стока, средние значения за характерные периоды и линии тренда (сплошная – р. Урал, пунктирная – р. Сакмара)

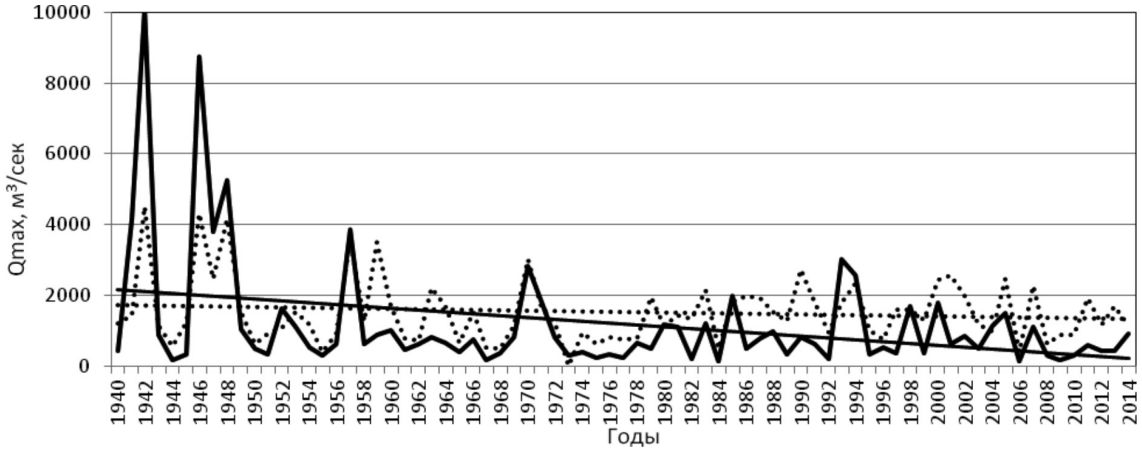


Рис. 3. Многолетний (1940–2014 гг.) ход абсолютных максимальных расходов, линии тренда (сплошная – р. Урал, пунктирная – р. Сакмара)

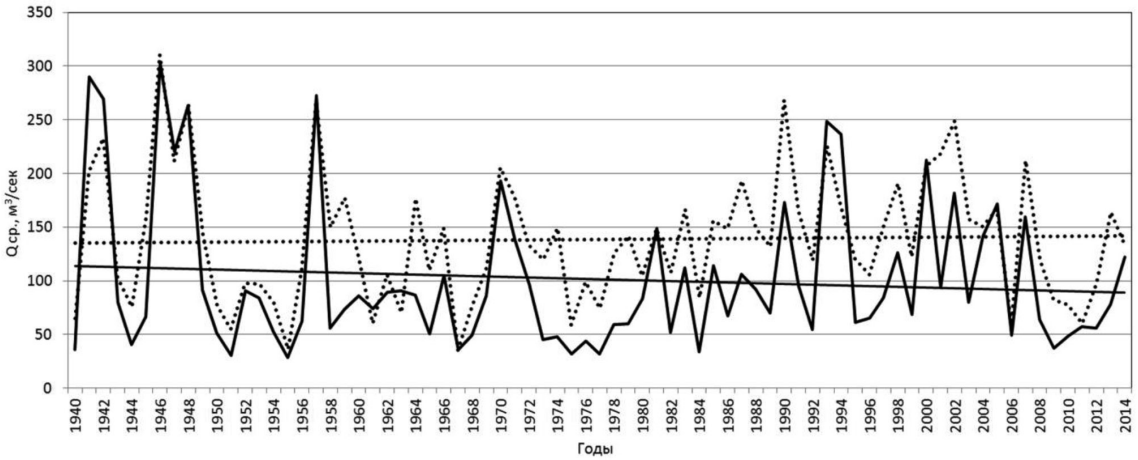


Рис. 4. Многолетний (1940–2014 гг.) ход средних годовых расходов, линии тренда (сплошная – р. Урал, пунктирная – р. Сакмара)

Таблица 2

Коэффициенты вариации среднегодовых и абсолютных расходов рр. Урал и Сакмара

Река (створ)	Периоды		
	1940–1957	1967–1984	1997–2014
Урал (Оренбург)			
Коэффициент вариации расходов:			
– средних	0,81	0,63	0,52
– абс. максимальных	1,23	0,94	0,71
– абс. минимальных	0,71	0,35	0,29
Размах вариаций			
– среднее значение	1,66	1,25	1,1
– К max/Кср.	1,57	1,54	1,41
– К min/Кср.	0,52	0,39	0,37
Сакмара (Тат. Каргала)			
Коэффициент вариации расходов:			
– средних	0,58	0,37	0,35
– абс. максимальных	0,75	0,56	0,44
– абс. минимальных	0,69	0,27	0,43
Размах вариаций			
– среднее значение	1,58	1,49	1,46
– К max/Кср.	1,21	1,4	1,25
– К min/Кср.	0,80	0,63	0,65

В многолетнем выражении вариативность расходов явно снизилась не только после сооружения водохранилища, но и в течение последующего времени, особенно по максимальным значениям (табл. 2).

Обобщая полученные данные, можно сделать вывод о том, что водный режим р.Урал за многолетний период претерпел значительную трансформацию, обусловленную как изменением климатических условий, так и регулирования стока водохранилищами, преимущественно в верхнем течении.

Заключение

Общеизвестно, что водный режим р. Урал соответствует казахстанскому типу, для которого характерна чрезвычайно высокая изменчивость сезонного и многолетнего стока. Вместе с тем в последние десятилетия отчетливо наблюдаются процессы перераспределения сезонного стока в сторону

увеличения доли меженного стока (особенно зимнего) и, соответственно, сокращения доли стока в периоды весенних половодий. Наблюдаемые процессы трансформации стока р. Урал идентичны тенденциям, отмечаемым для рек ЕТР, что свидетельствует об определенных изменениях климатической системы на макрорегиональном уровне. Следовательно, в результате совместного воздействия климатических и антропогенных трансформаций режим реки постепенно лишается одной из своих характерных черт, определяющих активность русловых процессов и экологическое состояние пойменных геосистем. Наблюдаемая трансформация сезонного и многолетнего стока свидетельствует о необходимости корректировки структуры водопользования и регулирования стока в условиях водно-дефицитных степных регионов. Кроме того, в ходе исследования установлено, что в наименьшей степени трансформации многолетнего и сезонного стока подвержены реки, водосборы которых охватывают зональные лесостепные и горнолесные ландшафты (р. Сакмара и ее притоки), что свидетельствует о высокой устойчивости стока к вариациям климатических условий.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 18-05-0047 «Пространственно-динамическая специфика регионального природопользования в трансграничных бассейновых геосистемах в современных гидроклиматических условиях» и госбюджетной тематики ИС УрО РАН № АААА-А17-117012610022-5.

Список литературы / References

1. Алексеевский Н.И., Лебедева М.Ю., Соколовский Д.К. Источники питания и изменчивость их вклада в формировании стока рек Европейской территории России // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 1. С. 5–17.

Alekseevsky N.I., Lebedeva M.Y., Sokolovsky D.K. Power sources and variability of their contribution to the formation of river runoff in the European territory of Russia // Water Resources. 2007. T. 34. № 1. P. 1–13. DOI: 10.1134/S0097807807010010.

2. Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю. Современные и перспективные изменения стока рек России под влиянием климатических факторов // Водные ресурсы суши в условиях изменяющегося климата. СПб: Наука, 2007. С. 20–32.

Shiklomanov I.A., Georgievsky V.Y. Modern and perspective changes in the flow of Russian rivers under the influence of climatic factors // Water resources of land in the conditions of a changing climate SPb.: Nauka, 2007. P. 20–32 (in Russian).

3. Сивохип Ж.Т., Павлейчик В.М., Чибилёв А.А., Падалко Ю.А. Современные изменения водного режима рек бассейна р. Урал // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 298–313.

Sivokhip Z.T., Pavleichik V.M., Chibilev A.A., Padalko Y.A. Modern Changes of the Water Regime Within the Ural River Basin // Questions of geography. 2018. № 146. P. 298–313 (in Russian).

4. Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Телегина Е.А. Изменение зимнего стока рек Европейской части России // Водные ресурсы. 2015. Т. 42. № 6. С. 581–588. DOI: 10.7868/S0321059615060036.

Dzmalov R.G., Telegina E.A., Frolova N.L. Winter runoff variations in European Russia // Water Resources. 2015. T. 42. № 6. P. 758–765. DOI: 10.1134/S0097807815060032 (in Russian).

5. Дмитриева В.А., Маскайкина С.В. Изменчивость водного режима в верховьях Донского бассейна в современный климатический период // Вестник ВГУ: Серия География. Геоэкология. 2013. № 1. С. 17–21.

Dmitrieva V.A., Maskaikina S.V. The Variability of the Water Regime in The Upper Don Basin in Modern Climatic Period // Vestnik VGU: Series Geography. Geoecology. 2013. № 1. P. 17–21 (in Russian).

6. Болгов М.В., Коробкина Е.А., Трубецкова М.Д., Филимонова М.К., Филиппова И.А. Современные изменения минимального стока на реках бассейна р. Волга // Метеорология и гидрология. 2014. Т. 39. № 3. С. 75–85.

Bolgov M.V., Korobkina E.A., Trubeckova M.D., Filimonova M.K., Filippova I.A. Present-day variations of the minimum runoff of the Volga basin rivers // Russian Meteorology and Hydrology. 2014. V. 39. № 3. P. 187–194. DOI:10.3103/S1068373914030078.

7. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. Природно-климатические и антропогенные изменения стока Волги и Дона // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. № 2. С. 55–78. DOI: 10.21513/2410-8758-2016-2-55-78.

Georgiadi A.G., Koronkevich N.I., Kashutina E.A., Barabanova E.A. Natural Climatic and Anthropogenic Changes in the Volga and the Don Rivers Runoff // Fundamental and applied climatology. 2016. № 2. P. 55–78. DOI: 10.21513/2410-8758-2016-2-55-78. (in Russian).

УДК 551.345:912.43

ГИС «АЛАСЫ МЕГИНО-КАНГАЛАССКОГО РАЙОНА (УЛУСА)»

Торговкин Я.И., Шестакова А.А.

ФГБУН «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова» СО РАН, Якутск, e-mail: torgovkin@mpi.ysn.ru, aashest@mail.ru

Создан ГИС-проект в формате ArcGIS одного из центральных районов Якутии, расположенных в зоне сплошного распространения вечной мерзлоты. При создании проекта была использована серия космических снимков Landsat 7 ETM и Landsat 5 TM. Проведен пространственный географический анализ аласов, типичных представителей мерзлотных форм рельефа, с применением ГИС-технологий. Следует подчеркнуть, что аласы, расположенные на ледовом комплексе, являются основным поставщиком грубых кормов (более 50%) для сельского хозяйства для данной территории. Результаты пространственного анализа отражены в виде карты районирования аласности. Под термином «аласность» принято понимать отношение суммы площадей аласов к площади всей территории. Дана количественная характеристика аласов. Выявлено, что аласы составляют 7,04% от общей территории Мегино-Кангаласского улуса. При анализе распространения аласов по наслегам оказалось, что более всего они развиты в Догдогинском наслеге (48,5% от общей территории). Менее всего, около 1%, аласы встречаются в Чыамайыкинском наслеге. Таким образом, аласы наиболее распространены в северной и центральной частях изучаемого района, где распространен ледовый комплекс. На юге района, в приводораздельных дренируемых участках, отмечается их полное отсутствие. Составлена карта распространения булгунняхов (крупных бугров пучения) на территории Мегино-Кангаласского улуса. Было закартировано более 200 булгунняхов, высотой от 3 м и выше. Характерно то, что чаще всего булгунняхи встречаются в центральной и северной частях улуса. Здесь же расположены самые крупные булгунняхи, высотой более 10 м. Результаты проведенной работы могут быть использованы в научной и организационно-хозяйственной деятельности человека.

Ключевые слова: Центральноякутская низменность, алас, площади, ГИС, аласность, ледовый комплекс, районирование, булгуннях, термокарст, пространственный анализ

GIS «ALASES OF THE MEGINO-KANGALASSKY REGION (ULUS)»

Torgovkin Ya.I., Shestakova A.A.

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: torgovkin@mpi.ysn.ru, aashest@mail.ru

A GIS project was developed in the format ArcGIS of one of the central regions of Yakutia, located in the zone of continuous distribution of permafrost. A spatial geographic analysis of alas, typical representatives of permafrost relief forms, has been carried out. Alasas located on the ice complex are the main supplier of roughage (more than 50%) for agriculture for this area. The results of the spatial analysis are reflected in the form of a map of the zoning of the alas. It was revealed that the alas are 7.04% of the total area of the Megino-Kangalassky ulus. Most of all, they are developed in the Dogdoginsky heritage and make up 48.5% of the total territory. Less than all, about 1%, alas are found in the Chyamayykinsky heritage. Thus, alasas are most common in the northern and central part of the study area, where the ice complex is distributed. In the south of the region, in the drained sections they are completely absent. More than 200 bulgunnyakhs, with a height of 3 m and above, were mapped. On the map of the distribution of bulgunnyakhs (large tubercles of swelling) it can be seen that most often bulgunnyahs are found in the central and northern parts of the ulus. Here are the largest bulgunnyahs, with a height of more than 10 m. The results of the work can be used in the scientific and organizational and economic activities of a person.

Keywords: Central Yakut lowland, alas, area, GIS, ice complex, zoning, bulgunnyakh, thermokarst, spatial analysis

Мегино-Кангаласский район (улус) – один из наиболее населенных сельскохозяйственных улусов Республики Саха (Якутия), где преобладает животноводство (мясомолочное скотоводство, мясное табунное коневодство). Также выращиваются зерновые, картофель, овощи и кормовые культуры.

Это самый маленький по площади улус республики. Площадь улуса составляет 11,6 тыс. км^2 (0,38% территории республики). Административно-территориальный состав района включает 31 наслег [1].

Улус расположен на Центральноякутской низменности, южная часть – на Приленском плато. По мерзлотно-ландшафтному районированию территория Мегино-Кангаласского района находится в пределах двух провинций – Лено-Амгинской аласной и Амгино-Алданской пологоувалистой.

В пределах Центральноякутской низменности широко развит аласный рельеф. Своим образованием аласы обязаны ледовому комплексу, который является основой рельефа Якутии в зоне средней и северной тайги. Этот комплекс сформировался как результат сурового и влажного климата плейстоцена и сохраняется благодаря современным резкоконтинентальным климатическим условиям. В верхнем плейстоцене и голоцене вследствие колебаний климата произошла частичная деградация ледового комплекса, связанная с его протаиванием и образованием отдельных термокарстовых котловин [2].

Аласам посвящено много работ и дано несколько определений. Аласы можно определить как замкнутые или полузамкнутые котловины, развитые на плакорных пространствах в области с многолетнемерзлыми породами. Специфической чертой этих котловин является то, что на их дне вытаял первоначальный ледовый комплекс и началось затухание озерного режима или произошло полное усыхание озера [3]. Алас (в Западной Сибири – хасырей) – плоская котловина размером до нескольких десятков км^2 и глубиной от 2 до 30 м, возникающая в области льдистых многолетнемерзлых льдов и неравномерного оседания грунтов (термокарст), центральная часть которой занята обычно озером, вокруг которого поясами развиты болотная, луговая и остепненная растительность и соответствующие им почвы [2].

На территории Мегино-Кангаласского района расположен алас Хотун Тюнгюлю – один из самых известных аласов Центральной Якутии, образовавшийся 10–15 тыс. лет назад после ледникового периода, когда началось вытаивание подземных льдов и проседание мерзлых горных пород [1].

В современных условиях вследствие аридизации климата Центральной Якутии развитие природного термокарста сильно замедлено [4]. При сохранении тенденций к увеличению среднемесячных температур воздуха и суммарного количества осадков стоит ожидать увеличение скоростей деградации ледового комплекса и общую активизацию процессов, ведущих к развитию аласов [5].

Днища аласов – это в основном луга, с которых в Центральной Якутии собирают свыше 50 % сена. Так как в Мегино-Кангаласском районе преобладает животноводство, следовательно, картирование и изучение закономерностей распространения аласов обеспечивают научные основы рационального использования аласных угодий и их расширенное воспроизводство.

Целью работы является выявление пространственных закономерностей распространения мерзлотных форм рельефа аласов и количественная оценка аласности территории Мегино-Кангаласского района (улуса) в пределах наиболее крупных геоморфологических элементов Лено-Амгинского междуречья.

Для выявления характеристик распространения аласов введен термин «аласность», под которым понимается отношение суммы площадей аласов к площади всей территории. Полученный результат выражается в процентах. Площадь аласа – это вся площадь дна котловины или долины, т.е. площадь поверхности озера вместе с площадью лугового пространства, которая показывает площадь разрушения ММП термокарстовыми процессами в голоценовое время [6].

Материалы и методы исследования

Космический снимок содержит подробную информацию о состоянии объектов земной поверхности в момент съемки. Для дешифрирования снимков используют специальные методы и дополнительные данные, полученные из различных источников – карт, отчетов о полевых исследованиях и ранее полученных результатов анализа снимков той же территории [7].

В данной работе при составлении карт были использованы космические снимки Landsat 7 ETM и Landsat 5 TM. Кроме них были использованы ресурсы Google Maps, SAS.Планета. Оцифровка и компоновка слоев карт велась в среде ArcGis 10.1 [8].

Количественный анализ атрибутивных данных проводился в среде программ ArcGis и Excel. Также были использованы топографические карты и Атлас Мегино-Кангаласского улуса (района) [1].

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных исследований было получено следующее. Общая площадь Мегино-Кангаласского улуса составляет 11682,1 км^2. Общая картина распространения аласов дана на рис. 1. Аласы наиболее распространены в северной и центральной частях улуса, что объясняется криогенным строением данной территории.

Общее количество оцифрованных аласов составляет 4260, оконтуривались аласы не менее 1 га (0,01 км^2). Площадь всех аласов улуса составляет 822,4 км^2. Крупными аласами являются такие аласы, как Тюнгюлю (40,7 км^2), Табага (10,8 км^2), Тустах (10,0 км^2).

Подсчет показал, что аласы занимают 7,04 % от общей территории Мегино-Кангаласского улуса.

Распространение аласов по наслегам. В улусе имеется 31 наслег. Наслег – сельское общество, в котором числилось один или несколько якутских родов. Границы наслегов (в советское время сельсоветов) были определены исторически, в основном проживанием определенных родовых общин, о котором говорят некоторые названия.

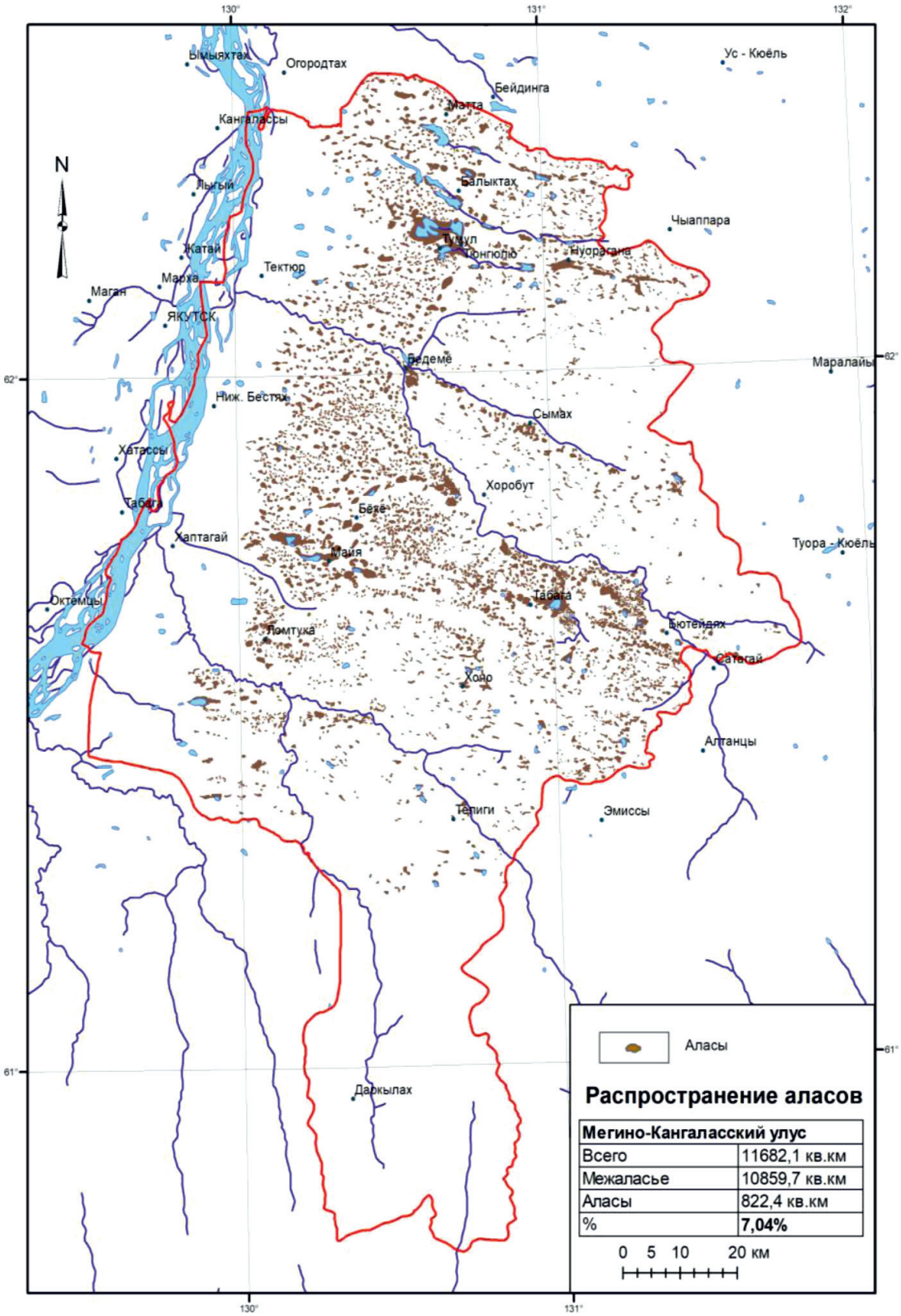


Рис. 1. Карта распространения аласов на территории Мегино-Кангаласского района (улуса)

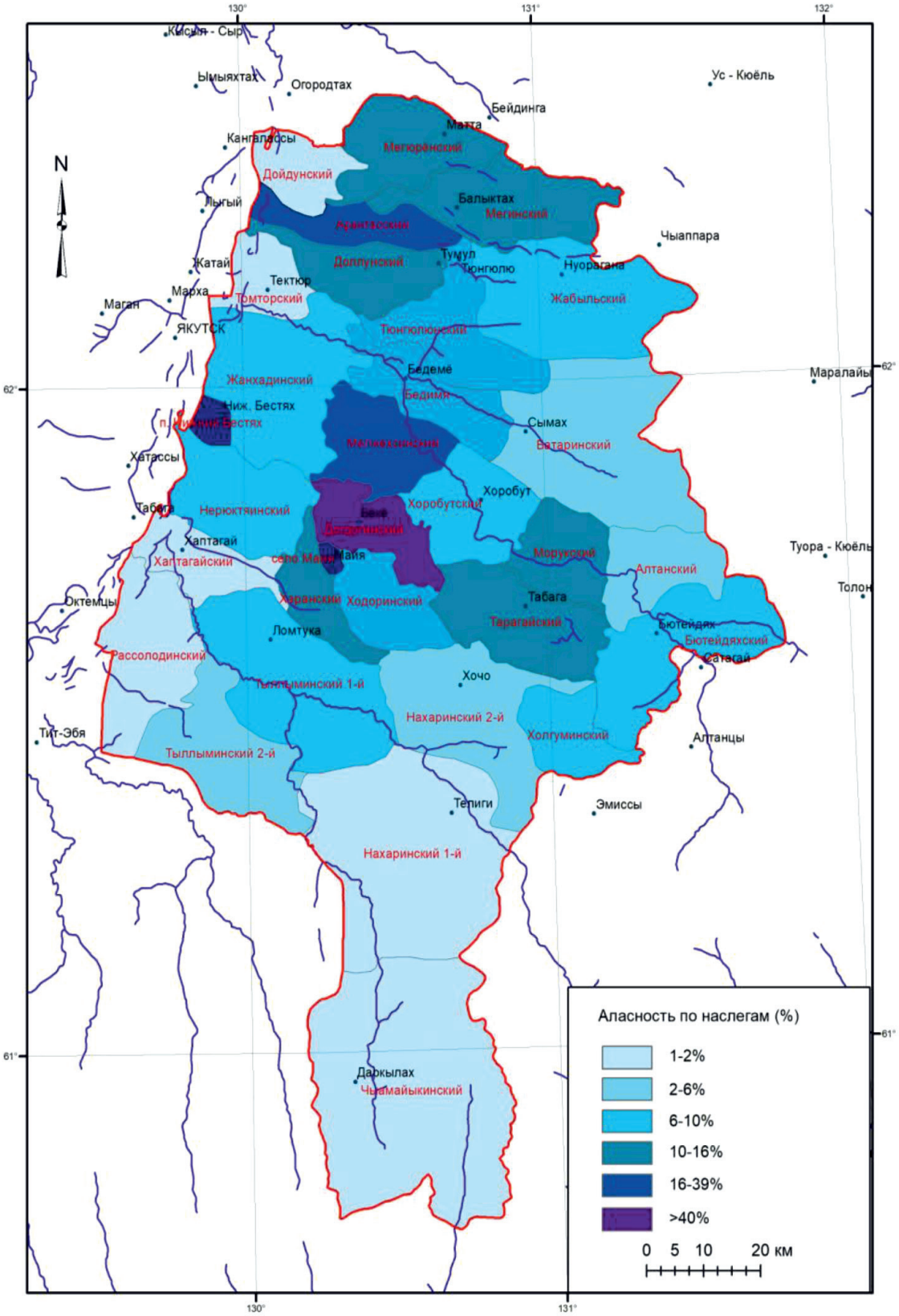


Рис. 2. Карта аласности территории Мегино-Кангаласского района (улуса) по наслегам

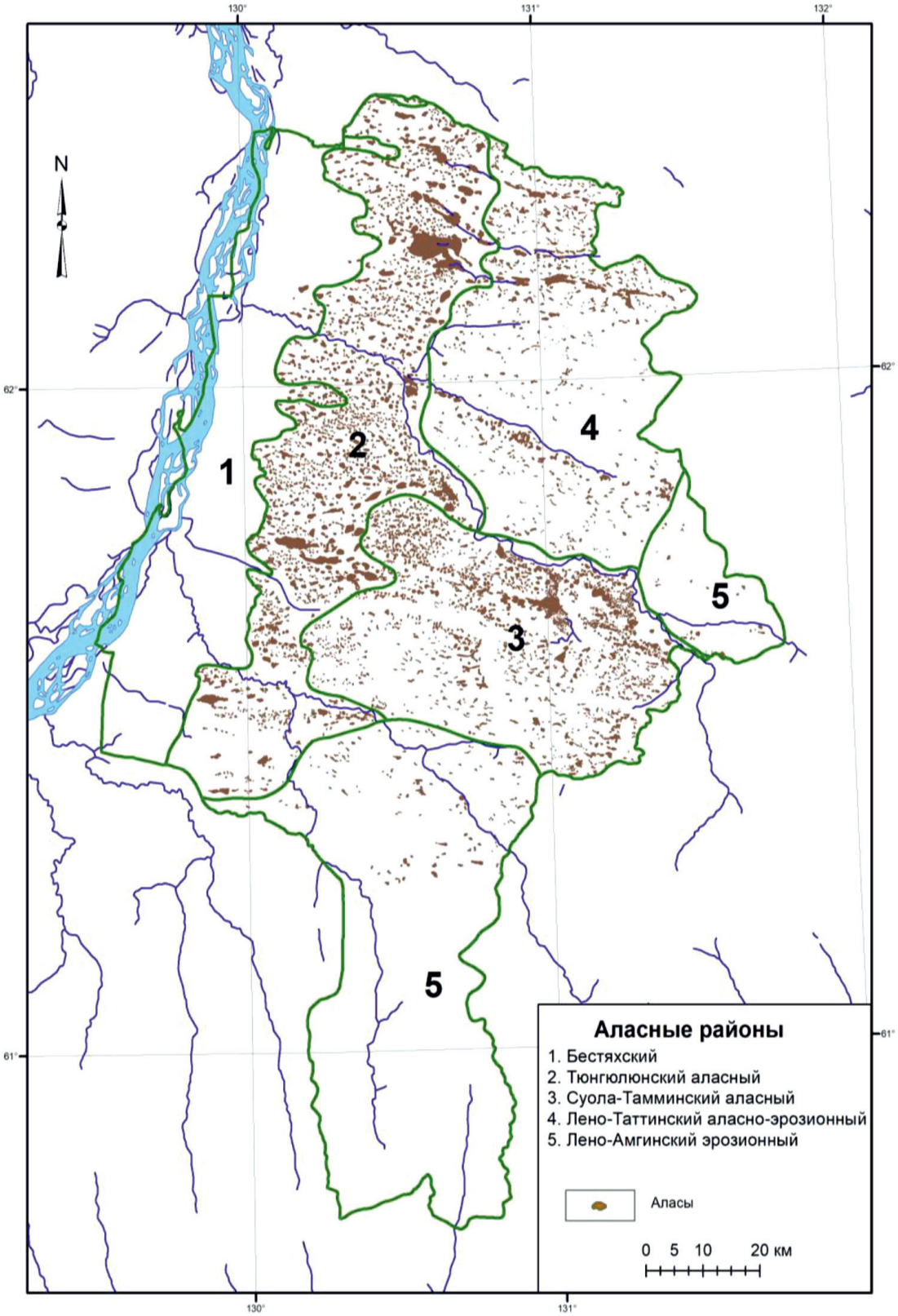


Рис. 3. Карта районирования аласности территории Мегино-Кангаласского района (улуса)

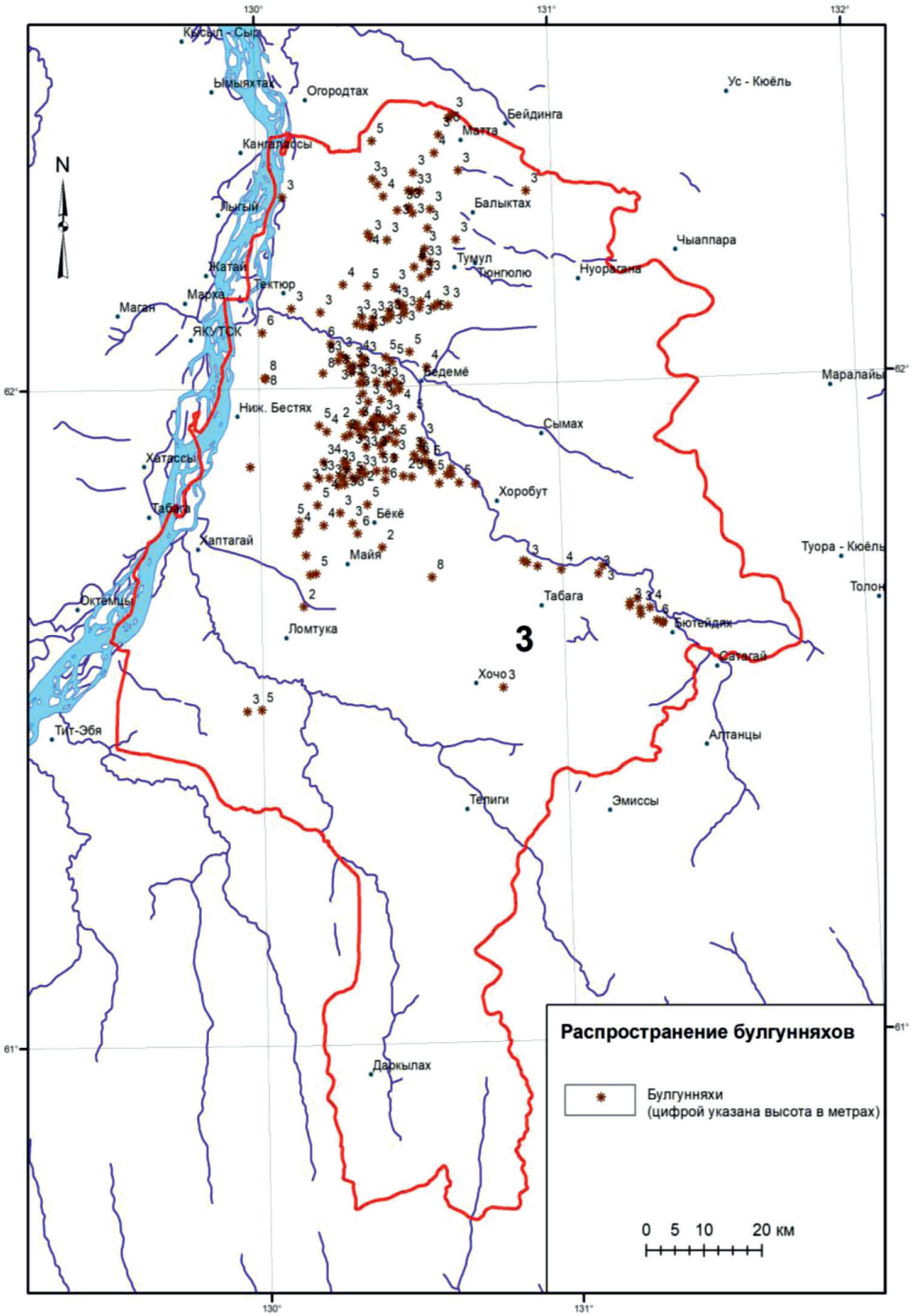


Рис. 4. Карта распространения булгунняхов на территории Мегино-Кангаласского района (улуса)

Целью составления карты аласности наслегов Мегино-Кангаласского улуса (рис. 2) является выявление количественных характеристик распространения аласов для использования в хозяйственной деятельности, в основном для животноводства.

По размерам и территориально наслеги распределены неравномерно. Так, самыми маленькими по площади являются территории, подчиненные сельским и поселковым администрациям – с. Майя и п. Нижний Бестях.

Крупнейшими наслегами, превышающими более 1 тыс. км^2, являются Нахаринский 1-й и Чыамайыкинский (таблица).

Распределение аласов по наслегам Мегино-Кангаласского района (улуса)

Наслег	Аласность,%
Алтанский	5,9
Арангасский	16,7
Батаринский	3,5
Бедимя	10,7
Бютейдяхский	7,8
Догдогинский	48,5
Дойдунский	1,6
Доллунский	12,4
Жабыльский	9,3
Жанхадинский	7,3
Мегинский	14,7
Мегюрёнский	14,2
Мелжехсинский	17,2
Морукский	12,2
Нахаринский 1	1,3
Нахаринский 2	4,6
Нерюктяйнский	7,4
Нижний Бестях	37,2
Рассолодинский	1,9
Село Майя	39,8
Тарагайский	15,4
Томторский	1,4
Тыллыминский 1	6,6
Тыллыминский 2	4,6
Тюнгюлюнский	10,3
Хаптагайский	1,5
Харанский	14,5
Ходоринский	11,6
Холгуминский	7,6
Хоробутский	9,1
Чыамайыкинский	1

Пространственный анализ показал, что аласы более всего распространены в Догдогинском наслеге (центр с. Бёкё), занимая почти половину всей территории – 48,5%. Аласы почти отсутствуют в наслегах, расположенных на приводораздельных территориях. Это наслеги Нахаринский 1-й и Чыамайыкинский.

Далее нами было проведено районирование территории улуса по степени распространения аласов (рис. 3).

При выделении районов в первую очередь принималось во внимание геологическое и геоморфологическое строение, характер распространения аласов (форма, ориентированность и частота расположения). Всего выделено 5 районов.

Распространение бугров пучения – булгунняхов. При картировании были использованы топографические карты масштаба 1:200 000. Всего на территории улуса расположено около 200 булгунняхов, высотой более 3 м (рис. 4).

Наибольшее количество бугров пучения распространено в Тюнгюлюнском аласном районе, в центральной и северной части Мегино-Кангаласского улуса. Отдельно выделяется район вдоль р. Суола, где расположены крупные булгунняхи, например, один из самых крупных булгунняхов Центральной Якутии – Хара Булгуннях возле с. Хоробут высотой около 12 м.

Заключение

Составленный ГИС проект «Аласы Мегино-Кангаласского района (улуса)» позволяет анализировать основные закономерности пространственного распространения аласов, их формы и дает количественные данные по площади. Установлено, что аласами занято 7,04% территории улуса. Основная часть аласов и булгунняхов сосредоточена в центральной и северной частях. Там же расположены крупные аласы, площадь которых достигает свыше 40 км^2.

Таким образом, использование геоинформационных технологий позволяет существенно расширить возможности комплексного изучения природной среды и управления их компонентами. Данные, полученные в ходе анализа, могут быть использованы в научной и организационно-хозяйственной деятельности человека.

Список литературы / References

1. Андреева А.Н. Атлас Мегино-Кангаласского улуса (района) Республики Саха (Якутия). Якутск, 2013. 92 с.

Andreeva A.N. Atlas of the Megino-Kangalassky ulus (region) of the Republic Sakha (Yakutia). Jakutsk, 2013. 92 p. (in Russian).

2. Якутин М.В., Пучнин А.Н. Мониторинг термокарстовых образований в Центральной Якутии с использованием методов дистанционного зондирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2014. Т. 4. № 2. С. 120–124.

Yakutin M.V., Puchnin A.N. Monitoring of thermokarst formations in Central Yakutia using remote sensing methods // Interehkspo GEO-Sibir'. 2014. T. 4. № 2. P. 120–124 (in Russian).

3. Босиков Н.П. Аласность Центральной Якутии // Геокриологические условия в горах и на равнинах Азии. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1978. С. 113–118.

Bosikov N.P. Alases of Central Yakutia // Geocryological conditions in the mountains and on the plains of Asia. Jakutsk: Izd-vo IMZ SO RAN, 1978. P. 113–118 (in Russian).

4. Fedorov A.N., Gavriliev P.P., Konstantinov P.Y., Hiyama T., Iijima Y., Iwahana G. Estimating the water balance of a thermokarst lake in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia. Ecohydrology. 2014. Vol. 7. Issue 2. P. 188–196. DOI: 10.1002/eco.1378.

5. Пучинин А.Н., Якутин М.В. Изменения климата Центральной Якутии в XX веке и эволюция аласных экосистем // ГЕО-Сибирь-2008: материалы IV Международного научного конгресса (г. Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). Новосибирск: СГГА, 2008. С. 114–118.

Puchinin A.N., Jakutin M.V. Climate change in Central Yakutia in the XX century and evolution of alas ecosystems // GEO-Sibir'-2008: materialy IV Mezhdunarodnogo nauchnogo kongressa (g. Novosibirsk, 22–24 aprelia 2008 g.). Novosibirsk: SGGA, 2008. P. 114–118 (in Russian).

6. Саввинов Д.Д., Миронова С.И., Босиков Н.П. и др. Аласные экосистемы: структура, функционирование, динамика. Новосибирск: Наука, 2005. 264 с.

Savvinov D.D., Mironova S.I., Bosikov N.P., etc. Alas ecosystems: structure, functioning, dynamics. Novosibirsk: Nauka, 2005. 264 p. (in Russian).

7. Чандра А.М., Гош С.К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. М.: Техносфера, 2008. 312 с.

Chandra A.M. Remote sensing and geographic information systems. M.: Tehnosfera, 2008. 312 p. (in Russian).

7. Шестакова А.А., Торговкин Я.И. Использование геоинформационных технологий в мерзлотно-ландшафтном анализе осваиваемых территорий // Успехи современного естествознания. 2016. № 7. С. 195–201.

Shestakova A.A., Torgovkin Ia.I. The use of geoinformation technologies in the permafrost landscape analysis of the developed territories // Advances in current natural sciences. 2016. № 7. P. 195–201 (in Russian).

УДК 621.396.96:622.342 (571.56)

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ РАЗВЕДКЕ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА ЯКУТИИ

Федорова Л.Л., Куляндин Г.А.

ФГБУН «Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского» СО РАН, Якутск, e-mail: lar-fed-90@rambler.ru, kgavrilu@yandex.ru

Для эффективного промышленного освоения месторождений требуется повышение информативности эксплуатационной разведки. В последние годы в комплекс методов, используемых для получения полной и достоверной информации о строении и свойствах массива горных пород разрабатываемого месторождения, включают дистанционные методы высокочастотной электроразведки, в частности метод георадиолокации. В статье представлены примеры использования метода георадиолокации на территории распространения многолетнемерзлых пород для детализации структуры россыпных месторождений. Экспериментальные георадиолокационные зондирования выполнены на дражных полигонах двух месторождений золота Якутии (р. Аллах-Юнь и р. Б. Куранах). По месторождению р. Аллах-Юнь в качестве примера рассмотрен поперечный георадиолокационный разрез дражного полигона. По результатам площадных исследований отмечено, что возможно выделение зон поднятия плотика, которые могут повлиять на ход драги, а также участков западения плотика, имеющих повышенную концентрацию полезного ископаемого. Методические исследования изменения характеристик георадиолокационных сигналов проведены с водной поверхности на дражном полигоне месторождения р. Б. Куранах. По полученным данным построена трехмерная модель дражного котлована, определен контур отработки и выход скальных пород. Определены геометрические параметры котлована на момент проведения исследований: глубина отработки – 1,5–13,5 м; скальный выход обнаружен на глубинах до 7,5 м. Результаты работ показали, что метод георадиолокации может найти широкое применение при решении задач изучения морфоструктурных особенностей месторождений. Такие достоинства метода, как: дистанционность и оперативность получения данных, в дальнейшем могут способствовать оптимизации технологии и повышению эффективности разработки месторождений.

Ключевые слова: россыпные месторождения золота, криолитозона, дражный полигон, георадиолокация, строение горного массива

EXPERIENCE IN APPLYING THE GPR METHOD IN THE EXPLORATION OF PLACER GOLD DEPOSITS OF YAKUTIA

Fedorova L.L., Kulyandin G.A.

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: lar-fed-90@rambler.ru, kgavrilu@yandex.ru

Efficient commercial development of deposits requires increasing the amount and value of information obtained by operational exploration. Since recently, the set of methods for obtaining complete and reliable information on the structure and properties of the rock mass in active deposits includes the techniques of remote high-frequency electrical exploration, such as ground penetrating radar. The article provides examples of the GPR method application in the areas of permafrost formation for detailing the structure of gold-bearing placers. The experimental GPR sounding was performed at the dredging polygons of two gold deposits in Yakutia (the Allakh-Yun and B.Kuranakh rivers). In the Allakh-Yun deposit, we used the transverse GPR section of the dredging site as an example. The areal study showed the possibility of the placer bedrock elevation that can affect the dredger motion and the placer bedrock depression areas with a higher gold concentration. The methodological study of the change in the characteristics of the GPR signal was performed on the water surface at the dredging site of the B.Kuranakh gold field. The obtained data were used to build a 3D model of the dredging pit and determine the mining outline and the primary rock location. The geometric parameters of the pit determined at the time of the investigation were as follows: the mining depth was 1.5–13.5 m, the rock outcrop was detected at the depth of up to 7.5 m. The research results have shown that the GPR method can be widely used in studying the deposit morphostructural peculiarities. The method's advantages, such as remote sensing and quick results, can help further optimize the technology and improve the deposit development efficiency.

Keywords: placer gold deposits, permafrost, dredge site, GPR, the structure of the rock

К основным факторам, определяющим целесообразность и возможности промышленного освоения недр, относятся горно-геологические условия разработки месторождений. Из них, на стадии эксплуатационных работ, наиболее значимыми являются пространственно-морфологические показатели, которые освещают условия залегания, формы и внутреннее строение месторождений полезных ископаемых. Эти показатели в значительной степени обусловливают выбор схемы и способа вскрытия и подготовки к очистной выемке, определяют параметры систем разработки и производственных процессов, безопасное ведение горных работ.

Для повышения эффективности добычных работ требуется увеличение информативности эксплуатационной разведки.

В последние годы в комплекс методов, используемых для детализации горно-геологических условий разрабатываемого месторождения, включают методы высокочастотной электроразведки. В условиях распространения многолетнемерзлых пород наиболее эффективным из них для исследований верхней части геологического разреза является метод георадиолокации [1–3]. Достоинствами этого метода являются высокая производительность и разрешающая способность, возможность работы в любых условиях. Тем не менее даже сейчас приходится констатировать, что значительные возможности метода георадиолокации на практике реализуются не полностью. Изменчивость свойств и состояния массива пород при ведении горных работ на территории распространения многолетнемерзлых пород требуют активных научно-методических исследований по адаптации и совершенствованию георадиолокационной технологии для оперативного и детального изучения горно-геологических условий разрабатываемых месторождений криолитозоны [4, 5].

Материалы и методы исследования

Георадиолокация – это современный метод электроразведки, в основе которого лежит свойство электромагнитных волн отражаться от границ раздела сред с различными электрофизическими свойствами. Технически реализуется путем периодического излучения сверхширокополосных (наносекундных) импульсов метрового и дециметрового диапазона электромагнитных волн с последующим приемом и регистрацией отраженных от границ сигналов. Параметры отраженных сигналов зависят от электрофизических свойств зондируемых сред, дальности, формы, размеров и контрастности диэлектрических свойств отражающих объектов. Низкая электропроводность мерзлых пород способствует пониженному затуханию георадиолокационных сигналов и, как следствие, повышению глубинности исследований [6]. А существенные различия электрофизических свойств талых и мерзлых пород обеспечивают эффективность георадиолокации при эксплуатационной разведке в криолитозоне для решения задач выявления и пространственной локализации зон обводнения горных пород, участков подземных льдов, определения параметров слоя надмерзлотных вод и т.д.

В данной статье рассматриваются возможности метода георадиолокации при изучении строения и свойств массива горных пород в условиях дражной разработки месторождений криолитозоны. Экспериментальные георадиолокационные исследования проведены на участках месторождений р. Большой Куранах и р. Аллах-Юнь. На этих крупных золотоносных россыпных месторождениях Якутии применяется дражный способ разработки, который отличается высокой производительностью, законченностью цикла работ и поточностью технологии [7, 8]. Минерализация воды котлованов дражных полигонов невысокая: 30–500 мг/л. В таких условиях при использовании георадаров с центральной частотой от 100 МГц и ниже можно достичь глубины исследований до 10 м [9].

Анализ георадиолокационных разрезов массива горных пород дражного полигона показывает, что наличие воды и зон обводнения пород значительно влияет на результаты георадиолокации. Так, при зондировании с поверхности котлована или при пересечении водных объектов, из-за замедления скорости распространения радиоволн в воде, намного увеличивается время задержки сигналов от границ подповерхностных слоев, что приводит к искаженному восприятию волновой картины. При обработке таких данных необходимо применение специализированных процедур пересчета скоростей по слоям, с учетом влияния рельефа по профилю и GPS-координатной привязки точек измерений [10].

Дальнейшее совершенствование георадиолокационного метода и расширение области его применения связано с развитием программных средств обработки, разработкой критериев распознавания и интерпретации данных, основанных на применении методов статистического и частотно-временного анализа [11]. Исследования закономерностей изменения характеристик георадиолокационных сигналов, полученных при зондировании дражных полигонов, показали, что оси синфазности сигналов на участках нарушенности массива горных пород имеют прерывистый (хаотичный) характер. Подобное изменение сигналов приводит к увеличению такой статистической характеристики, как дисперсия, которая показывает отклонение энергии сигналов от среднего значения.

В работе [12] показано, что расчет значений дисперсии амплитуд сигналов, в качестве поискового критерия зон нарушенности мерзлого горного массива, позволяет картировать контур россыпи и ее структурные особенности.

Результаты исследования и их обсуждение

Полевые георадиолокационные исследования по изучению рельефа плотика выполнены на россыпном месторождении золота р. Аллах-Юнь. Мощность рыхлых отложений на месторождении небольшая (торф – 2,7–10 м, пески – 0,4–5,2 м) и доступна для зондирования георадаром. Присутствие валунов (20–30 см, местами до 50 см) предполагает возможность регистрации гипербол на волновой картине, что в последующем позволит более точно выставить масштаб глубин [13].

Для исследований выбран подготовленный к дражной отработке участок. Запланированные по нему профили расчищены от снега бульдозерной техникой. Измерения проведены георадаром «ОКО-2М» (АБДЛ-50), весной, в период максимального промерзания горных пород [9]. В дальнейшем, для геологической привязки данных георадиолокации по одному из профилей пробурена скважина.

В качестве иллюстрации данных георадиолокации с участка исследований на рис. 1 приведена волновая картина по поперечному профилю дражного полигона. Данные георадиолокации подверглись послойной обработке в соответствии с результатами бурения. Границы слоев: лед, пески, коренные породы, незамерзшая вода – четко прослежены по осям синфазности на протяжении всего разреза.

При анализе рельефа плотика, построенного по результатам георадиолокационного картирования и заверенного бурением (рис. 2), просматриваются участки его западения, где возможно повышенное содержание полезного ископаемого. Также, полученные данные могут способствовать планированию хода драги. Например, по исследуемому дражному полигону выявлены две зоны поднятия плотика до глубин 3–3,5 м. При низком уровне воды они могут стать препятствием для перемещения драги.

Методические исследования изменения характеристик георадиолокационных сигналов, полученных при изучении морфологических особенностей строения массива горных пород, выполнены с водной поверхности дражного полигона месторождения р. Б. Куранах. Мощность песков на месторождении изменчива и в зависимости от участка составляет от 46–52 м до 10–15 м. Местами имеются включения крупных фракций в виде валунов [14].

На момент проведения георадиолокационных измерений участок отрабатывался роторным земснарядом. Данные получены с поверхности воды георадаром «ОКО-2М» (АБДЛ-50). Из 20 профилей – 19 поперечных, протяженностью 60–200 м, и 1 продольный, длиной 675 м. В центре дражного котлована, ближе к левому борту, на поверхности воды присутствовал скальный выход, не позволивший охватить георадиолокацией всю площадь водоема.

На рис. 3 представлен георадиолокационный разрез, на котором выявлен выход скальных пород на дражном котловане. Интерпретация волновой картины выполнена на основе сравнительного анализа георадиолокационных сигналов. Кровля скальных пород на радарограмме проявляется высокоамплитудными осями синфазности на участках монолитного массива и в виде гипербол на участках крупнообломочного и глыбового материала. Отражения от поверхности песков имеют меньшую амплитуду по причине их водонасыщенности.

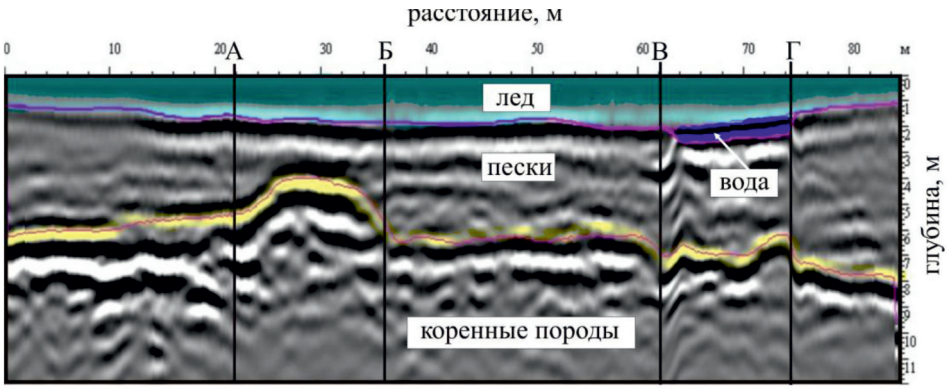


Рис. 1. Георадиолокационный разрез по поперечному профилю дражного полигона

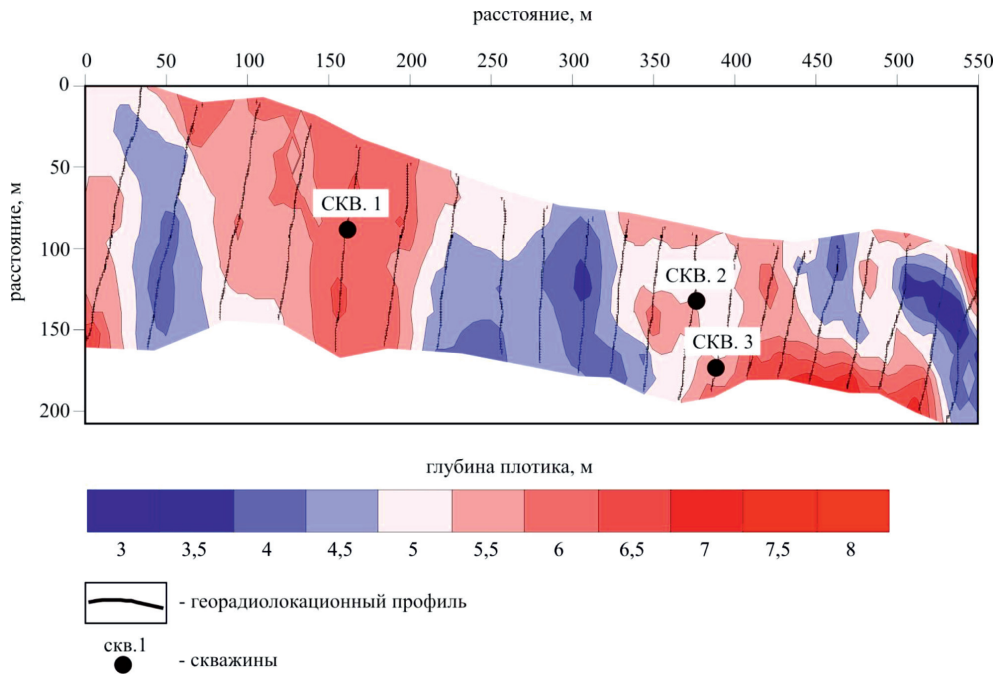


Рис. 2. Рельеф плотика дражного полигона (месторождение р. Аллах-Юнь)

После обработки георадиолокационных данных построена трехмерная модель дражного котлована, определен контур отработки и выход скальных пород. По ней также определены геометрические параметры котлована на момент проведения исследований: глубина отработки – 1,5–13,5 м; скальный выход обнаружен на глубинах до 7,5 м.

После обработки георадиолокационных данных построена трехмерная модель дражного котлована, определен контур отработки и выход скальных пород. По ней также определены геометрические параметры котлована на момент проведения исследований: глубина отработки – 1,5–13,5 м; скальный выход обнаружен на глубинах до 7,5 м.

Основная масса горных пород Якутии при разработке находится в мерзлом состоянии, что приводит к большим потерям не только мелкого, но и крупного золота [15]. Особенно часто потери встречаются на дражных полигонах, в районах развития многолетней мерзлоты: на участках недоработки плотика, в отвалах, а также в технологических внутриконтурных целиках. Крупные внутриконтурные целики остаются под плотинами, стоянками промприборов, различными сооружениями [16]. Для изучения строения дражных отвалов и выявления целиков на участках месторождения с утраченными разведочными материалами, а также на отработанных площадях возможно применение георадиолокации. Так, на рис. 4 представлен георадиолокационный разрез, иллюстрирующий возможности георадиолокации в изучении техногенных участков. На радарограмме прослежена кровля коренных пород и слой дражных отвалов. При этом можно наблюдать, как произошла сортировка песков по гранулометрическому составу в процессе дражной переработки. Галечный слой отличается от эфельного наличием большого количества гипербол на волновой картине. Таким образом, по данным георадиолокации в перемытых песках можно выделить две основные составляющие: эфельный и галечный материал, а при площадных исследованиях еще и оценить их объем.

Заключение

Экспериментальные работы по применению георадиолокации в условиях разрабатываемого массива показали перспективность метода для изучения рельефа плотика и строения дражных отвалов. Полученные параметры могут способствовать определению маршрута ходов дражного комплекса. При проведении площадных исследований появляется возможность оценки объемов техногенных образований, определения контура отработки дражного котлована и обнаружения выхода скальных пород, скрытых под водой.

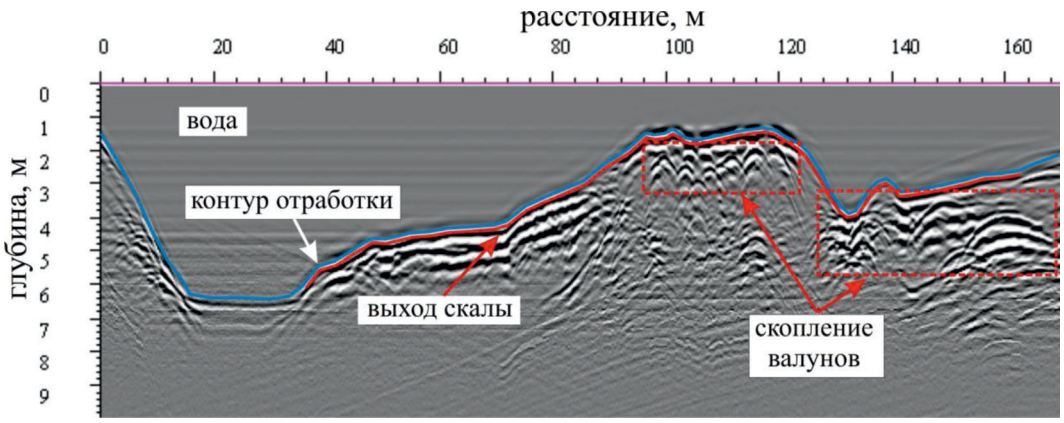


Рис. 3. Георадиолокационный разрез по очистному пространству дражного котлована

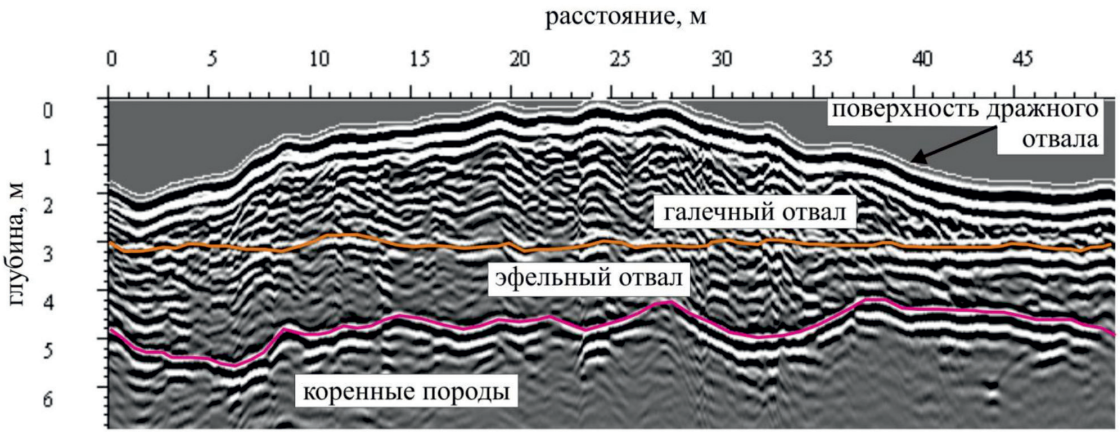


Рис. 4. Возможность изучения техногенных образований на месторождении методом георадиолокации

Результаты работ показали, что метод георадиолокации может найти широкое применение при решении задач изучения морфоструктурных особенностей месторождений. При этом дистанционность и оперативность получения данных в дальнейшем могут способствовать оптимизации технологии и повышению эффективности разработки месторождений.

Список литературы / References

1. Harry M.J. Ground penetrating radar: theory and applications. Elsevier, 2009. 524 p.

2. Омельяненко А.В. Федорова Л.Л. Георадиолокационные исследования многолетнемерзлых пород: монография. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. 136 с.

Omelyanenko of A.V. Fedorov L.L. Georadar researches of permafrost breeds: monograph. Yakutsk: Yakutsk: Izd-vo YaNCz SO RAN, 2006. 136 p. (in Russian).

3. Kl. Dimitriadis, V. Perez-Gracia Applications of GPR in association with other non-destructive testing methods in building assessment and in geological/geotechnical tasks // Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar (Proceedings First Action's General Meeting Rome). COST ACTION TU1208. Rome, 2013. P. 183–190.

4. Федорова Л.Л., Куляндин Г.А., Панишев С.В., Винокуров А.П. Дистанционный прогноз обводненности взрывных блоков при открытой разработке месторождений криолитозоны // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: сборник материалов 6-й международной научно-технической конференции. Красноярск: ИПК СФУ, 2008. С. 181–188.

Fedorova L.L., Kuliangding G.A., Panishev S.V., Vinokurov A.P. The remote forecast of water content of explosive blocks at open-cast mining of fields of a kriolitozona // Modern technologies of development of mineral resources: collection of materials of the 6th international scientific and technical conference. Krasnoyarsk: IPK SFU, 2008. P. 181–188 (in Russian).

5. Федорова Л.Л., Соколов К.О., Саввин Д.В. Изучение горно-геологических условий месторождения «Маят» на основе современных методов обработки данных георадиолокации // Успехи современного естествознания. 2016. № 9. С. 190–195.

Fedorova L.L., Sokolov K.O., Savvin D.V. The Study of the Geological Conditions of the Deposit «Mayat» on the Basis of Modern Methods of GPR Data // Advances in current natural sciences. 2016. № 9. P. 190–195 (in Russian).

6. Финкельштейн М.И., Карпухин В.И., Кутев В.А. Подповерхностная георадиолокация. М.: Радио и связь, 1994. 216 с.

Finkelstein M.I., Karpukhin V.I., Kutev V.A. Subsurface georadar-location. M.: Radio and communication, 1994. 216 p. (in Russian).

7. Ермаков С.А., Бураков А.М. Совершенствование геотехнологий открытой разработки месторождений криолитозоны // Проблемы недропользования. 2014. № 3. С. 96–104.

Ermakov S.A., Burakov A.M. Improvement of Geo-Technologies of Surface Mining the Deposits of Permfrost Zone // Problemy` nedropol`zovaniya. 2014. № 3. P. 96–104 (in Russian).

8. Ермаков С.А., Бураков А.М. Методические рекомендации по выбору и обоснованию рациональной комбинации способов открытой разработки месторождения россыпного золота реки Б. Куранах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 4. С. 123–131.

Ermakov S.A., Burakov A.M. Methodical Recommendations About the Choice and Justification of the Rational Combination of Method of Open-Cast Mining of Placer Gold Deposit of the River B. Kuranah // Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten`. 2013. № 4. P. 123–131 (in Russian).

9. Семейкин Н.П., Помозов В.В., Эквист Б.В., Монахов В.В. Геофизические приборы нового поколения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. № 12. С. 203–211.

Semeykin N.P., Pomozov V.V., Ekvist B.V., Monakhov V.V. Geophysical devices of new generation // Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten`. 2008. № 12. P. 203–211 (in Russian).

10. Руководство пользователя программой «GeoScan32». URL: http://logsys.ru/download/new/geoscan32manual.pdf (дата обращения: 16.07.2018).

User's guide GeoScan32 program. URL: http://logsys.ru/download/new/geoscan32manual.pdf (date of the address: 16.07.2018) (in Russian).

11. Sokolov K.O. Frequency-time presentation of georadar profiles based on continuous wavelet transform. Journal of Mining Science. 2014. Vol. 50. No. 2. P. 256–259.

12. Саввин Д.В., Стручков А.С., Куляндин Г.А., Федорова Л.Л. 3D картирование гипсометрии плотика дражных полигонов на примере месторождения р. Аллах-Юнь методом георадиолокации // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. С. 21. С. 504–514.

Savvin D.V., Struchkov A.S., Kulyandin G.A., Fedorova L.L. Dredging Sites Bedrock Hypsometry Mapping on an Example of Allah-Yun River Deposits By GPR // Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten`. 2016. P. 21. P. 203–211 (in Russian).

13. Пересчет утвержденных запасов для открытой раздельной добычи в запасы для дражной добычи россыпного месторождения р. Аллах-Юнь (участок Мост) по имеющимся кондициям и сопровождение их утверждения в ТКЗ Республики Саха (Якутия): отчет о НИР / ОАО «Иргиредмет»; рук. Дементьев В.Е. Иркутск, 2011. С. 12–43.

Recalculation of the approved stocks for open-pit separate mining in stocks for drazhny production of the loose field of the Allakh-Yun River (the site the Bridge) on the available standards and support of their statement in TKZ of the Sakha (Yakutia) Republic: report on Research / OAO «Irgiredmet»; ruk. Dement`ev V.E. Irkutsk, 2011. P. 12–43 (in Russian).

14. Гаврилов В.Л., Ермаков С.А., Бураков А.М., Касанов И.С. Анализ изменчивости основных параметров продуктивных толщ Куранахского золоторосыпного месторождения // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2011. № 9. С. 61–67.

Gavrilov V.L., Ermakov S.A., Burakov A.M., Kasanov I.S. Analysis of variability of key parameters of productive thicknesses of the Kuranakhsky zolotorossypny field // Gorny`j informacionno-analiticheskij byulleten`. 2011. № 9. P. 61–67 (in Russian).

15. Ковлеков И.И. Техногенное золото Якутии. М.: Изд-во МГГУ, 2002. 301 с.

Kovlekov I.I. Technogenic gold of Yakutia. M.: MGGU publishing house, 2002. 301 p. (in Russian).

16. Кавчик Б.К. Два подхода к техногенным россыпям // Золотодобыча. 2000. № 19. URL: https://zolotodb.ru/article/412 (дата обращения: 16.07.2018).

Kavchik B.K. Two approaches to technogenic scatterings // Gold mining. 2000. No. 19. URL: https://zolotodb.ru/article/412 (date of access: 16.07.2018) (in Russian).

УДК 550.379:528.8

УСТАНОВЛЕНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОТАИВАНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД НА ЮГЕ ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОРАДАРНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

[1]Чимитдоржиева Г.Д., [2]Хаптанов В.Б., [1]Цыбенов Ю.Б.

[1]Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: galdorj@gmail.com;
[2]Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ

Приведены результаты георадарного зондирования бугров пучения в Еравнинской котловине юга Витимского плоскогорья, на южной границе распространения многолетнемерзлых пород. Бугры пучения в районе исследования чаще всего приурочены к подгорным шлейфам и плоским водоразделам. Ширина бугров достигает десятков метров, а превышений над окружающей поверхностью – до 1,5–2 м. Проведено георадарное зондирование прибором «Око-2» двух групп бугров пучения, которые в географическом отношении можно отнести к западной и восточной частям Еравнинской котловины. По результатам зондирования первой группы получены радарограммы, характеризующие общее плоскослоистое строение грунта с небольшими дислокациями и деформациями криогенного происхождения. На глубине 2–3 м от поверхности наблюдается зона повышенного затухания сигнала георадара, что связано с нахождением здесь верхней кровли мерзлого грунта. Также по затуханию сигнала георадара, более выраженного на высоких частотах, прослеживается изменение влажности грунта. На радарограммах, полученных на восточной группе бугров пучения, более выражены нарушения плоскослоистой структуры грунта не только дислокациями, но и неравномерным проседанием при оттаивании льдосодержащего грунта в теле бугров, что приводит к образованию кратерообразного углубления на вершине. Проведенное георадарное исследование бугров пучения Еравнинской котловины позволило установить положение кровли мерзлоты на глубине 3,1 м в период измерений 09.08.2017 г. Надо полагать о том, что она могла быть обнаружена и глубже, чем 3,1 м, так как еще два месяца август и сентябрь были очень жаркими в этом году. Измерение надо проводить только после окончания периода с высокими атмосферными температурами. По выявленным различиям в строении западной и восточной групп бугров Еравнинской котловины можно сделать вывод о различной стадии их криогенеза.

Ключевые слова: георадар, зондирование, бугры пучения, многолетняя мерзлота

ESTABLISHMENT OF THE MELTING DEPTH OF MULTILATERAL FROZEN ROCKS ON THE SOUTH OF THE VITIM PLANE WITH THE USE OF GEO RADAR SENSING

[1]Chimitdorzhieva G.D., [2]Khaptanov V.B., [1]Tsybenov Yu.B.

[1]Institute of General and Experimental Biology of the Siberian Branch of the RAS, Ulan-Ude, e-mail: galdorj@gmail.com;
[2]Institute of Physical Materials Science of the Siberian Branch of the RAS, Ulan-Ude

The results of georadar sounding of the swelling beaks in the Eravninsky basin of the south of the Vitim plateau are presented, at the southern boundary of the distribution of permafrost. The tuberculosis in the study area is most often confined to submerged plumes and flat watersheds. The width of the hillocks reaches tens of meters, and the elevations above the surrounding surface are up to 1.5-2 m. Gyro-radar sounding with the «Oko-2» device was carried out by 2 groups of tubercle bumps, which geographically can be attributed to the western and eastern parts of the Erevan basin. Based on the results of sounding the first group, radargrams were obtained characterizing the general planar-layered structure of the soil with small dislocations and deformations of cryogenic origin. At a depth of 2-3 m from the surface, there is a zone of increased attenuation of the GPR signal, which is connected with the presence of the top roof of frozen ground here. Also, due to attenuation of the GPR signal, which is more pronounced at high frequencies, a change in the soil moisture can be traced. Radargrams obtained from the eastern group of swelling blasts show more pronounced disturbances in the planar layer structure of the ground, not only by dislocations, but also by uneven subsidence during the thawing of ice-containing soil in the body of the hillocks, which leads to the formation of a crater-like depression at the apex. The carried out georadar study of the Eravninsky depression basin allowed to determine the position of the permafrost at a depth of 3.1 m during the measurement period on August 9, 2017. It should be assumed that it could be detected and deeper than 3.1 m, since two more months August and September were very hot this year. The measurement should be carried out only after the end of the period with high atmospheric temperatures. According to the revealed differences in the structure of the western and eastern groups of the Eravninsky depression basins, it can be concluded that the stages of their cryogenesis are different.

Keywords: georadar, sounding, drill holes, permafrost

Принцип действия георадара основан на зондировании электромагнитными импульсами земной поверхности на различную глубину и восстановлении картины раздела сред с различной диэлектрической проницаемостью по отраженному сигналу [1, 2]. Этот подход можно рассматривать в качестве одного из направлений гносеологического познания природных объектов, в том числе и почвенного покрова, и формирования картины пространственной организации территории [3].

За последние десятилетия георадиолокация как неразрушающий метод успешно используется при изучении подповерхностных сред. Специалистами накоплен огромный положительный опыт как в проведении полевых работ, так и в приемах обработки и интерпретации георадиолокационных данных. Области применения георадарных обследований обширны – геология, строительство, археология, экология и др. [4, 5]. Наземная радиолокация с помощью георадара используется для определения глубины границ слоев с разными электрическими характеристиками. Георадар в условиях многолетней мерзлоты с успехом может использоваться как для решения геолого-геофизических, инженерных задач, так и в почвенных исследованиях [6, 7].

В настоящей статье приводятся предварительные результаты георадиолокационных работ, которые проводились в августе 2017 г. в Еравнинской котловине юга Витимского плоскогорья. В ходе этих работ георадар использовался для изучения верхних слоев мерзлотного разреза (сезонноталого и сезонноактивного) и криогенных процессов, таких как пучение.

Материалы и методы исследования

Район исследований расположен на южной границе распространения многолетней мерзлоты, что определяет ее пространственно близкое сочетание с участками немерзлых пород. Мощность многолетнемерзлых пород в южной части Витимского плоскогорья достигает 100 м, распространение большей частью сплошное. Температура пород на глубине 12–14 м составляет –1,2...–1,7 °С. Температура нижней части профиля почвы (290–300 см) в течение всего вегетационного периода –0,1...–0,2 °С. По мере оттаивания почвы температура ее нижних слоев повышается от –5,8 °С (начало апреля) до –0,1 °С (август) [8, 9]. Многолетняя мерзлота, контактирующая с почвой, оказывает охлаждающее влияние не только на ее нижнюю часть, но и на весь профиль. Поэтому в течение лета биологически активная температура опускается по профилю почвы только до 60–80 см от поверхности, а нижележащие слои на глубине 1,5–2,5 м при максимальной глубине протаивания 2,8–2,9 м, остаются постоянно холодными. Сумма биологически активных температур составляет 1330 °С.

В Еравнинской котловине в связи с благоприятными условиями водного питания бугры пучения чаще всего приурочены к подгорным шлейфам и плоским водоразделам. Встречаются площадное и локальное пучение, которое может возникать вследствие неоднородности условий промерзания, обводненности, состава пород и других факторов. В результате формируются различные по форме и размерам бугры пучения. Заметнее всего в рельефе проявление локального пучения (бугры, полосы пучения). Ширина бугров достигает десятков метров, а превышений над окружающей поверхностью до 1,5–2 м.

Максимальная интенсивность пучения грунтов свойственна почвам с преобладанием в ее составе фракции пыли (0,05–0,005 мм). По гранулометрическому составу почвы исследуемых *бугров пучения* относятся к пылеватым тяжелосуглинистым. Физическое выветривание почвообразующей породы идет до мелкой пыли (15,3 %), а при сильном промерзании в зимний период происходит коагуляция коллоидальной и илистой фракции с образованием микроагрегатов крупной пыли (22,7 %) и мелкого песка (18,9 %), что резко снижает миграционную активность ила.

Георадарное зондирование бугров пучения проводилось прибором «Око-2» с антенным блоком АБ-400 с центральной частотой зондирующего сигнала 400 МГц. Работа радиолокационного прибора подповерхностного зондирования (в общепринятой терминологии – георадара) основана на использовании классических принципов радиолокации. Передающей антенной прибора излучаются сверхкороткие электромагнитные импульсы (единицы и доли наносекунды), имеющие 1,0–1,5 периода квазигармонического сигнала и достаточно широкий спектр излучения. Центральная частота сигнала определяется типом антенны. Выбор длительности импульса определяется необходимой глубиной зондирования и разрешающей способностью прибора. Для формирования зондирующих импульсов используется возбуждение широкополосной передающей антенны перепадом напряжения (ударный метод возбуждения).

Излучаемый в исследуемую среду импульс отражается от находящихся в ней предметов или неоднородностей среды, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость, принимается приемной антенной, усиливается в широкополосном усилителе, преобразуется в цифровой вид при помощи аналого-цифрового преобразователя и запоминается для последующей обработки. После обработки полученная информация отображается на индикаторе.

Рис. 1. Район исследований

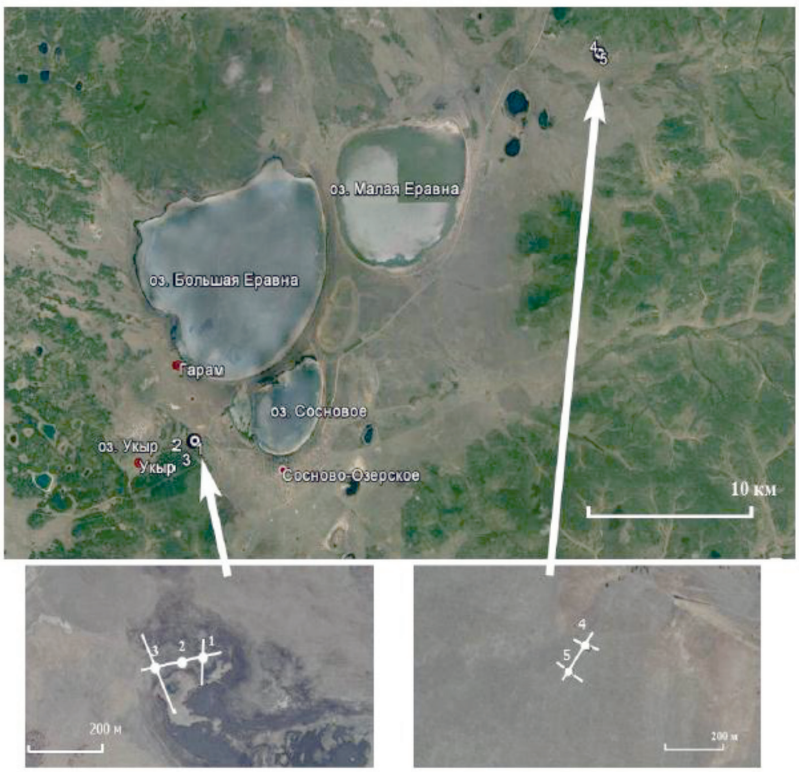


Рис. 2. Схема расположения исследованных бугров пучения

Результаты исследования и их обсуждение

Проведено георадарное исследование двух групп бугров пучения в Еравнинской котловине юга Витимского плоскогорья (рис. 1). Три бугра пучения находятся на равном удалении между населенными пунктами Сосново-Озерский, Гарам и Укыр, схема георадарного профилирования приведена на рис. 2. Еще два бугра пучения находятся в 30 км на северо-восток вдоль автотрассы на Читу, схема профилей приведена на правой вкладке. Эти две группы бугров пучения в географическом отношении можно отнести к западной и восточной частям Еравнинской котловины. На рис. 3 представлен вид бугра пучения 1 с северной стороны.

На рис. 4 приведена радарограмма бугра 1 с нанесенным рельефом. Диаметр бугра 50 м, превышение над окружающим рельефом около 1,5 м. Радарограмма характеризует общее плоскослоистое строение грунта с небольшими дислокациями и деформациями криогенного происхождения. Визуально в диапазоне глубин 2–3 м от поверхности наблюдается зона повышенного затухания сигнала георадара. Она ограничивается кровлей мерзлого грунта (отмечена пунктирной линией). Это подтверждается видом спектров сигнала георадара на разных глубинах (рис. 5).

Рис. 3. Вид бугра пучения 1 с северной стороны

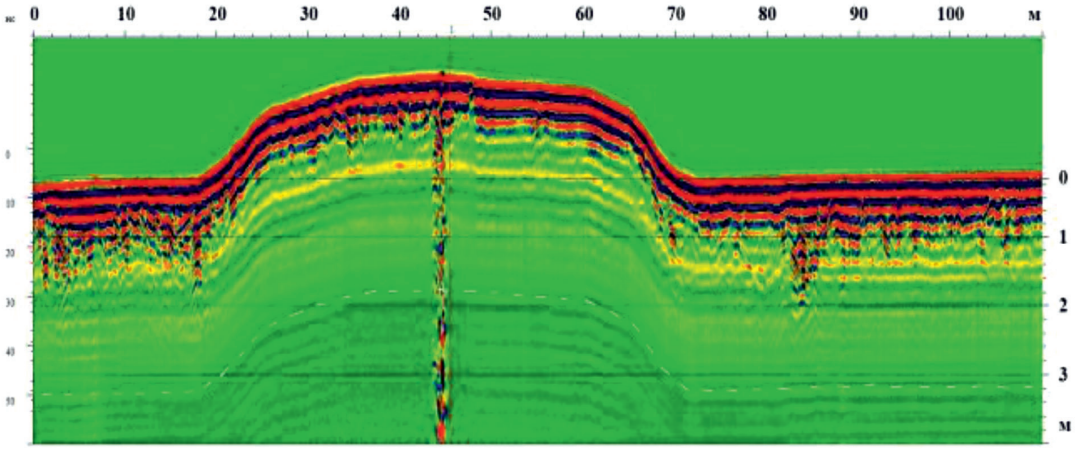


Рис. 4. Радарограмма бугра 1. Георадар «Око-2» с антенным блоком АБ400 (центральная частота 400 МГц). Пунктирной линией отмечена кровля мерзлоты

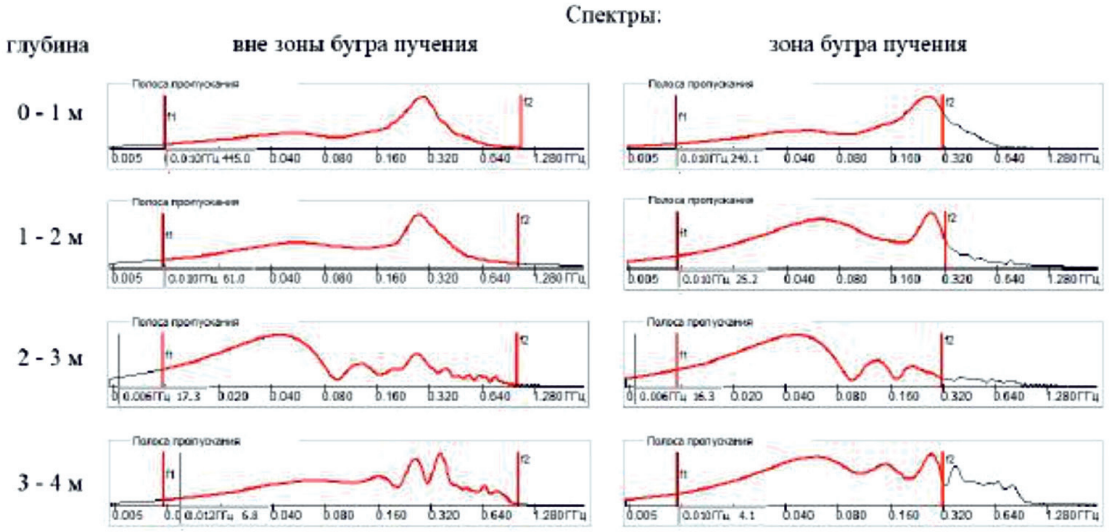


Рис. 5. Спектры сигнала георадара в зоне бугра 1 и за его пределами в интервалах глубин 0–1 м, 1–2 м, 2–3 м и 3–4 м

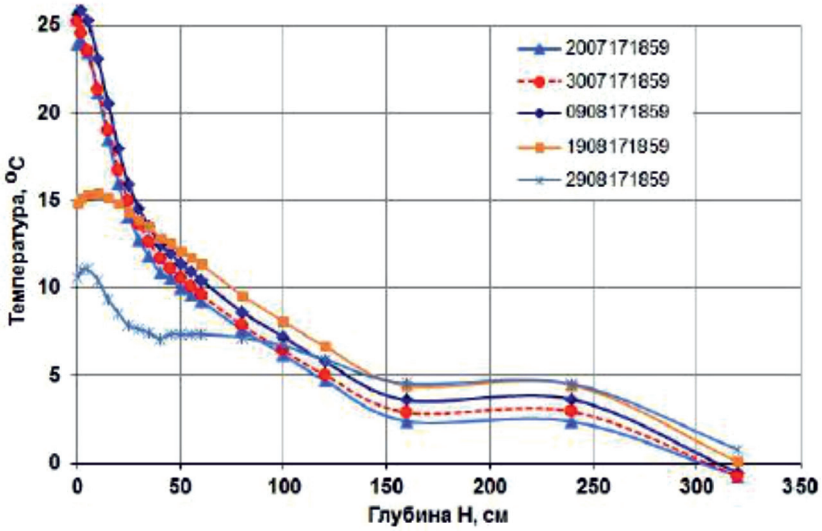


Рис. 6. Температурные профили бугра пучения 1

Увеличение влажности грунта приводит к увеличению затухания сигнала георадара, более выраженного на высоких частотах. Это приводит к изменению соотношения содержания низких и высоких частот в спектре сигнала георадара в сторону преобладания первых. Таким образом, можно качественно проследить изменение влажности грунта с глубиной и по простиранию. В данном случае на примере бугра пучения 1 мы наблюдаем повышенную и нарастающую влажность грунта в метровом интервале от поверхности до границы мерзлоты по сравнению с окружающей местностью. В центральной части бугра 1 установлен измеритель температурного профиля грунта до глубины 3,2 м. На рис. 6 представлены 5 профилей температуры июля – августа 2017 г., разделенные декадным периодом. 9 августа, в период измерений, глубина до кровли мерзлоты составила 310 см.

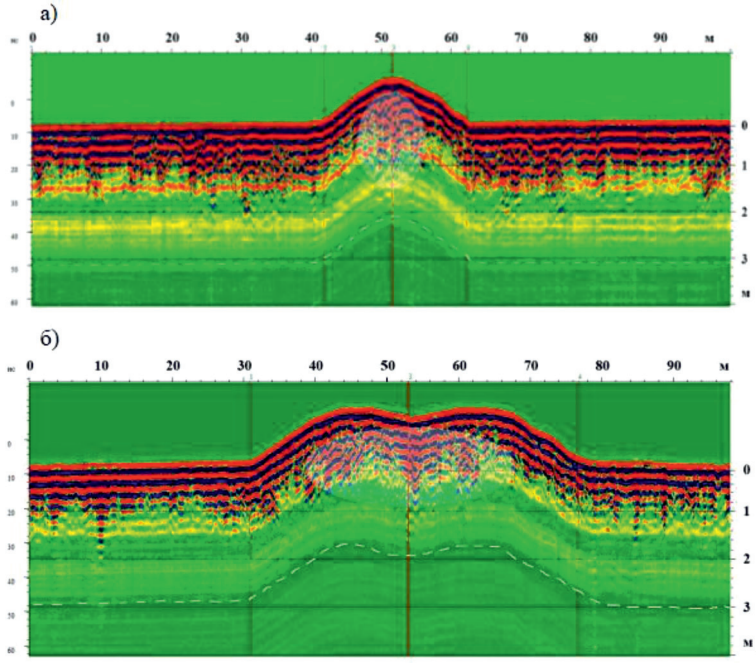


Рис. 7. Радарограмма бугров пучения 4 (а) и 5 (б). Георадар «Око-2» с антенным блоком АБ-400. Пунктирной линией отмечена кровля мерзлоты. Светлым фоном в центральной части бугров отмечена зона интенсивных нарушений плоскослоистой структуры грунта

Рис. 8. Спектры сигнала георадара в зоне бугра 4 и за его пределами в интервалах глубин 0–1 м, 1–2 м, 2–3 м и 3–4 м

Несколько иная картина наблюдается на восточной группе бугров пучения. Радарограммы бугров 4 и 5 показывают более выраженные нарушения плоскослоистой структуры грунта не только дислокациями, но и неравномерным проседанием при оттаивании льдосодержащего грунта в теле бугров (рис. 7). На бугре пучения 5 это привело к образованию кратерообразного углубления на вершине.

В поле спектров отличие восточной группы бугров 4 и 5 от западных 1–3 заклю-

чается в пониженной влажности в интервале 1–2 м тела бугров от окружающей местности (рис. 8).

Выводы

Проведенное георадарное исследование бугров пучения Еравнинской котловины позволило установить положение кровли мерзлоты на глубине 3,1 м в период измерений 09.08.2017 г. Надо полагать о том, что она могла быть обнаружена и глубже, чем 3,1 м, так как еще два месяца, август и сентябрь, были очень жаркими в этом году. Измерение надо проводить только после окончания периода с высокими атмосферными температурами. По выявленным различиям в строении западной и восточной групп бугров Еравнинской котловины можно сделать вывод о различной стадии их криогенеза.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания «Эволюция, функционирование и эколого-биогеохимическая роль почв Байкальского региона в условиях аридизации и опустынивания, разработка методов управления их продукционными процессами (№ АААА-А 17-117011810038-7) при финансовой поддержке полевых исследований из средств гранта РФФИ № 16-04-01297 «Криоморфозы в почвах на южной границе распространения мерзлоты: тенденции развития; запасы, состав, свойства, строение органического вещества».

Список литературы / References

1. Любушкин А.А. Анализ данных систем геофизического и экологического мониторинга. М.: Наука, 2007. 228 с.

Lyubushkin A.A. Analysis of these systems of geophysical and environmental monitoring. M.: Science, 2007. 228 p. (in Russian).

2. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. М., 2008. 192 с.

Starovoytov A.V. Interpretation of georadar data. M., 2008. 192 p. (in Russian).

3. Воронин А.Я. Критерии идентификации строения и функциональных свойств почвенного профиля в георадиолокационных исследованиях с использованием георадара «Лоза-В» // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 80. С. 106–126.

Voronin A. Ya.Criteria for identification of the form and functional properties of the soil profile in georadiolocated studies by using georadar «Loza-B» // Byulleten` Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. 2015. Vy`p. 80. P. 106–126 (in Russian).

4. Золотая Л.А., Калищева М.В., Хмелевской В.К. Возможности геофизических методов при изучении состава и структуры почвенного покрова // Разведка и охрана недр. 2004. № 5. С. 47–50.

Gold L.A., Kalishcheva M.V., Hmelevskoy V.K. Possibilities of geophysical methods when studying structure and structure of a soil cover // Razvedka i oxrana nedr. 2004. № 5. P. 47–50 (in Russian).

5. Калинкевич А.А., Крылова М.С., Масюк В.М., Марчук В.Н. Использование георадара для исследования неоднородностей верхнего слоя почвы хвойного леса // Радиотехника. 2009. № 3. С. 98–103.

Kalinkevich A.A., Krylova M.S., Masyuk V.M., Marchuk V.N. Use of the georadar for a research of not uniformity of the top layer of earth of the coniferous forest//Radio engineering. 2009. № 3. P. 98–103 (in Russian).

6. Пягай Э.Т., Белобров В.П., Молчанов Э.Н., Сео Мунг Чул, Сон Йон Куи. Использование георадара в почвенных исследованиях // Бюллетень Почв. института им. В.В. Докучаева. 2009. Вып. 64. С. 34–40.

Pyagaj E.T., Belobrov V.P., Molchanov E`.N., Seo Mung Chul, Son Jon Kyi. Use of the georadar in soil researches // Byulleten` Pochv. Instituta im. V.V. Dokuchaeva. 2009. V. 64. P. 34–40 (in Russian).

7. Fisher M. Ground-penetrating radar used to uncover misteries beneath our feet. Soil Horizons. 2013. Vol. 54. No. 6. P. 54. DOI:10.2136/sh2013-54-6-f.

8. Цыбенов Ю.Б., Чимитдоржиева Г.Д., Чимитдоржиева Э.О., Егорова Р. А., Мильхеев Е.Ю., Давыдова Т. В., Корсунова Ц. Д-Ц. Морфологические и физические свойства почвенной массы из криогенных трещин мерзлотных лугово-черноземных почв Забайкалья // Почвоведение. 2016. № 8. С. 975–981. DOI: 10.7868/S0032180X16080153.

Tsybenov Y.B., Chimitdorzhieva G.D., Chimitdorzhieva E.O., Egorova R.A., Mil'kheev E.Y., Davydova T.V., Korsunova T.D.T. Morphology and physical properties of soil material in cryogenic cracks of permafrost-affected meadow-chernozemic soils of the Trans-Baikal Region // Eurasian Soil Science. 2016. Т. 49. № 8. P. 908–914. DOI: 10.1134/S1064229316080159.

9. Цыбенов Ю.Б., Чимитдоржиева Г.Д., Егорова Р.А., Гонгальский К.Б. Запасы органического углерода и его изотопный состав в криоморфных квазиглеевых черноземах Забайкалья // Почвоведение. 2016. № 1. С. 11–18. DOI: 10.7868/S0032180X15070126.

Tsybenov Y.B., Chimitdorzhieva G.D., Egorova R.A., Gongal'skii K.B. The pool of organic carbon and its isotopic composition in cryomorphic quasi-gley chernozems of the Trans-Baikal region. // Eurasian Soil Science. 2016. Т. 49. № 1. С. 8–14. DOI: 10.1134/S106422931507011X.

УДК 553.83:549.6(571.54/.55)

ЦИРКОН В ЗОНАЛЬНЫХ КРИСТАЛЛАХ БЕРИЛЛА ШЕРЛОВОЙ ГОРЫ (ЮГО-ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

[1]Юргенсон Г.А., [1,2]Борзенко А.А.

[1]ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии» Сибирского отделения Российской академии науки, Чита, e-mail: yurgga@mail.ru;
[2]ФГБОУ ВО «Забайкальский государственный университет», Чита, e-mail: avonanik@mail.ru

На примере 50 различно окрашенных кристаллов берилла месторождения Шерловая Гора в Юго-Восточном Забайкалье выполнено сравнительное изучение содержания примеси циркония. Установлено, что максимальные концентрации циркония типичны для кристаллов берилла голубовато-зелёного и зеленого цвета (средние значения 0,067–0,072 мас.%), а минимальные – бесцветного, бледно-голубого и ярко-голубого (среднее значение 0,001 мас.%). Размах содержаний циркония в берилле составляет (ppm) 5–1252,5. Установлены, по крайней мере, две формы вхождения циркония в кристаллы берилла. Одна из них представлена микровключениями его кристаллов. Во фрагментах поперечно зональных кристаллов берилла светло-желтовато-зеленого цвета методом электронно-зондового анализа выявлены микроскопические кристаллы циркона размером 0,1–45μm, захваченные в процессе его роста. Они преимущественно находятся в зонах, соответствующих перерывам в росте кристалла, параллельных грани пинакоида (0001). Эти кристаллы циркона ассоциируют с монацитом, сидерофиллитом, кварцем, каолинитом. Отдельные идиоморфные кристаллы циркона находятся также и в зоне непрерывного роста кристалла. Содержания Zr, в зависимости от вариаций примеси Hf, Th и U, составляют в цирконе 26,91–46,29%. Примесь гафния 2,18–3,16%. Содержание урана и тория достигает соответственно 11,8 и 12,1%. Кристаллы однородны и не зональны, что свидетельствует об их первичной природе. Другая форма присутствия циркония однозначно не установлена. Высказано предположение, что она связана с неизвестной пока типом изоморфизма. Об этом может свидетельствовать преимущественное накопление циркония в берилле зеленого цвета, а также постоянное присутствие наряду с цирконием в кристаллах берилла ванадия, скандия, цезия, железа.

Ключевые слова: циркон, берилл, цирконий, гафний, кремний, алюминий, изоморфизм, месторождение Шерловая Гора

ZIRCON IN ZONAL CRYSTALS OF BERYL SHERLOVAYA GORA (SOUTHEAST TRANSBAIKALIA)

[1]Yurgenson G.A., [1,2]Borzenko A.A.

[1]Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, e-mail: yurgga@mail.ru;
[2]Transbaikal State University, Chita, e-mail: avonanik@mail.ru

Using the example of 50 differently colored beryl crystals of the Sherlovaya Gora deposit in the South-Eastern Transbaikalia, a comparative study of the content of zirconium impurity was performed. It was established that the maximum concentrations of zirconium are typical for beryllium crystals of bluish-green and green (average values of 0.067–0.072 wt.%), And the minimum – of colorless, pale blue and bright blue (average value 0.001 wt.%). The range of zirconium content in beryl is (ppm) 5–1252.5 At least two forms of zirconium incorporation into beryl crystals have been established. One of them is represented by micro-inclusions of its crystals. In the fragments of transversely zonal beryl crystals of light yellowish-green color, electron probe analysis revealed microscopic zircon crystals with a size of 0.1–45 μm captured during its growth. They are predominantly located in the zones corresponding to interruptions in crystal growth, parallel to the pinacoid (0001) face. These zircon crystals are associated with monazite, siderophyllite, quartz, kaolinite. Separate idiomorphic zircon crystals are also in the zone of continuous crystal growth. The content of Zr, depending on the variations of the impurity Hf, Th, and U, in zircon is 26.91–46.29%. The impurity of hafnium is 2.18 – 3.16%. The content of uranium and thorium reaches, respectively, 11.8 and 12.1%. The crystals are homogeneous and non-zonal, which indicates their primary nature. Another form of presence of zirconium is not clearly established. It is suggested that it is associated with an unknown type of isomorphism. This may be indicated by the predominant accumulation of zirconium in green beryl, as well as the constant presence of vanadium, scandium, cesium, and iron along with zirconium in beryl crystals.

Keywords: beryl, циркон, zirconium, hafnium, silicon, aluminium, isomorphism, Sherlovaya Gora ore deposit

Берилл относится к островным силикатам бериллия и алюминия, $Be_3Al_2Si_6O_{18}$. Он известен с древнейших времен и широко используется как ювелирный камень. Среди примесей в берилле, относимых к изоморфным, в нем могут присутствовать Cr^{3+}, Fe^{3+}, Fe^{2+}, Mg, Ca, Mn, Ti^{3+}, V^{3+}, Ga^{3+}, Ge^{4+}, B, P [1, 2]. В связи с тем, что общепризнанными примесями в берилле, влияющими на его свойства, являются хром, железо, ванадий, скандий и двухвалентный марганец, на возможность примеси в нем циркония и возможного влияния на свойства берилла, в частности на окраску, не обращалось внимание, и специальных его определений в большинстве случаев не проводилось.

Во всяком случае, в работе [3], где рассматривается влияние примесей на параметры элементарной ячейки берилла в анализах данных о цирконии нет. На присутствие циркония в голубом берилле Шерловой Горы в количестве 0,8 % имеется указание у П.П. Сущинского в [1]. О присутствии циркония в количестве 0,003 % в голубом берилле одного из месторождений Казахстана сообщала в 1966 г. М.Б. Чистякова с соавторами [1]. О присутствии циркона в гипогенных и гипергенных рудах рудного поля вне связи с бериллом есть указания в работах [4, 6]. Нами в результате изучения крупного кристалла берилла с сопки Мелехинской месторождения ювелирных камней и редких металлов Шерловая Гора в Юго-Восточном Забайкалье установлено содержание циркония в пределах 0,033–0,125 % [5]. Однако формы вхождения циркония в берилл установить не удалось.

В предлагаемой статье приведены первые данные о цирконах в берилле месторождения Шерловая Гора, которое является составной частью Шерловогорского рудного района в Юго-Восточном Забайкалье. Оно расположено в Борзинском административном районе Забайкальского края северо-восточнее поселка Шерловая Гора (рис. 1).

В состав рудного района находятся висмут-бериллий-олово-вольфрамовое месторождение Шерловая Гора, крупное оловополиметаллическое месторождение Сопка Большая и находящееся к востоку от него месторождение Восточная аномалия. Месторождение находится в апогранитных грейзенах, являющихся продуктом преобразования под действием остаточных расплавов. Описание его дано в [5, 6] и потому в данной работе не рассматривается.

Цирконий является одним из редких примесных элементов, входящих в состав гипогенных бериллий-висмут-олово-вольфрамовых руд, а также обнаружен и в зоне гипергенеза Шерловогорского рудного поля [5, 6].

Цель исследования: определение и изучение форм нахождения циркония в кристаллах берилла.

Материалы и методы исследования

Впервые на примере 50 различно окрашенных кристаллов берилла месторождения Шерловая Гора в Юго-Восточном Забайкалье выполнено сравнительное изучение содержания примеси циркония и его возможных форм нахождения в них. В жильных телах Шерловой Горы, продуктивных на бериллий-висмут-олово-вольфрамовое оруденение, присутствуют кристаллы берилла различной окраски. Наиболее ценными из них являются аквамарины разной интенсивности голубого, зеленовато-голубого цвета, зеленые различных оттенков и яркости, а также уникальной расцветки гелиодоры. Присутствуют ювелирные разности берилла, пригодные для фасетной огранки.

Рис. 1. Местоположение месторождеия Шерловая Гора

Кристаллы берилла Шерловой Горы часто неоднородны. Зональность, выражается в смене различно окрашенных зон, сменяющихся как вдоль оси *c*, так и перпендикулярно к ней, создавая поперечную и продольную цветовую зональность, которая отражается в изменении состава примесей. Кристаллы берилла отобраны из исторических и современных горных выработок. Они подбирались таким образом, чтобы были представлены основные цветовые разновидности минерала, а также различно окрашенные зоны крупных кристаллов и зональные кристаллы с целью прослеживания изменений состава в связи с ростовой зональностью. Один из них, образец ШГ-14/290 является фрагментом четко зонального кристалла голубовато-зеленого цвета, был отшлифован со стороны одной из наиболее развитых граней призмы длиной 41 мм с целью детального изучения чередующихся широких (до 19 мм) зон ювелирного качества и и перерывов в его росте электронно-зондовым методом. Выбранные для исследований форм нахождения кристаллы истерты в чистой агатовой ступке пестом, изготовленным одним из авторов из целого кристалла горного хрусталя, лишенного примесей. Химический состав определен методом ICP MS в лаборатории ОАО SGS «Восток Лимитед» в г. Чита. Руководитель лаборатории А. Шацких. Электронно-микроскопические исследования выполнены на растровом электронном микроскопе LEO 1430 VP (аналитики Е.А. Хромова и Е.В. Ходырева, ГИН СО РАН, руководитель лаборатории С.В. Канакин). Строение кристаллов берилла изучено также с помощью оптического поляризационного микроскопа AXIO Scope A1.

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что максимальные концентрации циркония типичны для кристаллов берилла голубовато-зелёного и зеленого цвета (средние значения 0,072–0,067 мас.%), а минимальные – бесцветного, бледно-голубого и ярко-голубого (среднее значение 0,001 мас.%) (таблица).

Во фрагменте крупного кристалла берилла (обр. ШГ-12/35) выявлена поперечная зональность в распределении циркония. Определено, что во внешней зоне голубого цвета содержание циркония минимально (0,045% ZrO_2). В направлении от граней призмы к его внутренней части по мере увеличения доли зеленой окраски содержание циркония возрастает и составляет 0,169% ZrO_2 [5].

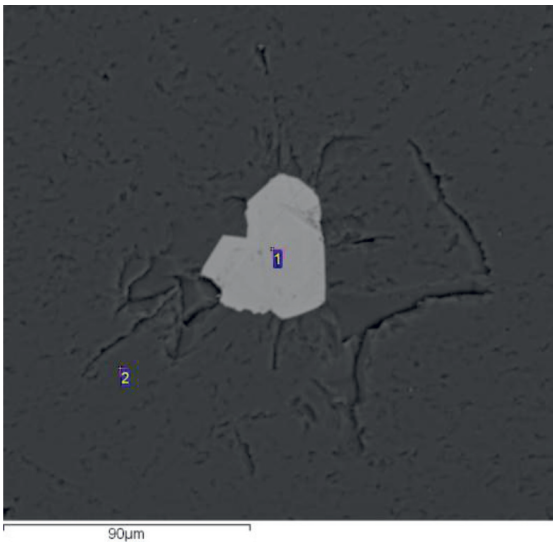


Рис. 2. Форма выделения циркона в макроскопически чистом берилле. Обр.Шг-12-218-6-1

Среднестатистические данные о примеси циркония в кристаллах берилла разного цвета

Цвет	Статистические характеристики содержания циркония, мас.%		
	n	x	σ
Бесцветный	2	0,001	0
Бледно-голубой	5	0,001	0
Ярко-голубой	3	0,001	0
Оливково-зелёный	2	0,001	0
Бледно-зелёный	5	0,006	0,01073
Жёлтый	7	0,016	0,02535
Зелено-голубой	11	0,042	0,03673
Зелёный	11	0,067	0,03468
Голубовато-зеленый	4	0,072	0,01030

Примечание. n – число проб, x – среднее содержание, σ – среднеквадратичное отклонение.

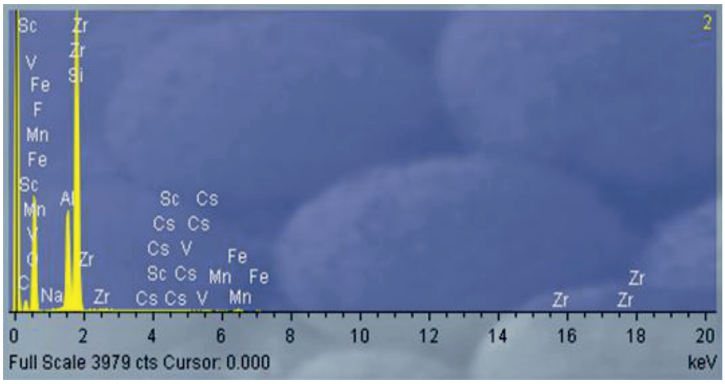


Рис. 3. Спектр берилла в обратных электронах, указывающий на содержания Zr, Sc, Fe,V

В результате изучения пяти кристаллов зонально окрашенного берилла методом электронно-зондового анализа определено, что в четырех из них присутствует циркон, как в массивном однородном зеленом берилле (рис. 2, обр. ШГ-12-18-6), так и в зонах перерыва в росте кристалла. Особенностью спектров изученных кристаллов берилла, содержащих включения циркона, является постоянное присутствие скандия, ванадия, железа и циркония, являющихся примесями в шерловогорском берилле зеленого цвета (рис. 3). Вероятно, их присутствие в концентрациях ниже 0,01%, являющихся пороговыми для используемого нами электронного микрозонда, тем не менее проявляется на спектрах.

В образце берилла ШГ-14-16 обнаружено идиоморфное (рис. 4) включение циркона.

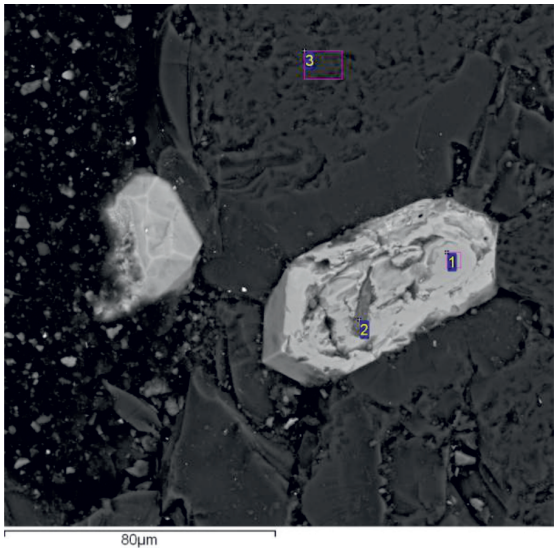


Рис. 4. Идиоморфный кристалл циркона (1) в берилле (3) в зоне перерыва его роста. В нем видно включение монацита – Ce (2). Спектр берилла аналогичен изображенному на рис. 3

На примере кристалла берилла ШГ-14/290 (рис. 5) голубовато-зеленого цвета длиной 41 мм можно видеть, что главная масса видимых простым глазом скоплений включений находится в основном в зонах кристалла (цепочки черных точек и их скоплений), соответствующих перерывам в его росте (2–5, 7). В таких же условиях находится и идиоморфный кристалл циркона в образце ШГ-14/16 (рис. 4). В зонах непрерывного роста, представленных ювелирным ограночным бериллом, включения твердой фазы не обнаружены. Анализ результатов исследования показал, что главная масса включений, среди которых обнаружен и циркон, образуется и встраивается в кристалл берилла во время перерыва в его росте. Циркон, находящийся в кристалле берилла, как видно на рис. 5, ассоциирует с монацитом, биотитом, кварцем, каолинитом. Химические составы циркона находятся в пределах (мас.%): Zr 35,45 – 49,96; O 28,56 – 38,13; Si 13,45 – 15,34; Hf 0,12 – 3,16; Th до 12,1; U до 11,8. Уран и торий, замещающие цирконий, обнаружены только в двух зернах циркона.

Таким образом, одной из форм нахождения циркония в кристаллах берилла однозначно является присутствие в них микровключений циркона. Причина появления твердых кристаллических фаз циркона и монацита в кристаллах берилла кроется в том, что он образуется, как нами показано в [6], из высококонцентрированного ликвационно-остаточного флюида, обогащенного соединениями бериллия, вольфрама, олова, висмута, редких и редкоземельных химических элементов.

Однако, вероятно, это только одна из форм. На это указывает довольно четкое распределение содержаний циркония в кристаллах берилла различной окраски (таблица), из анализа данных которой однозначно выявляется преимущественное концентрирование его в бериллах зеленого цвета.

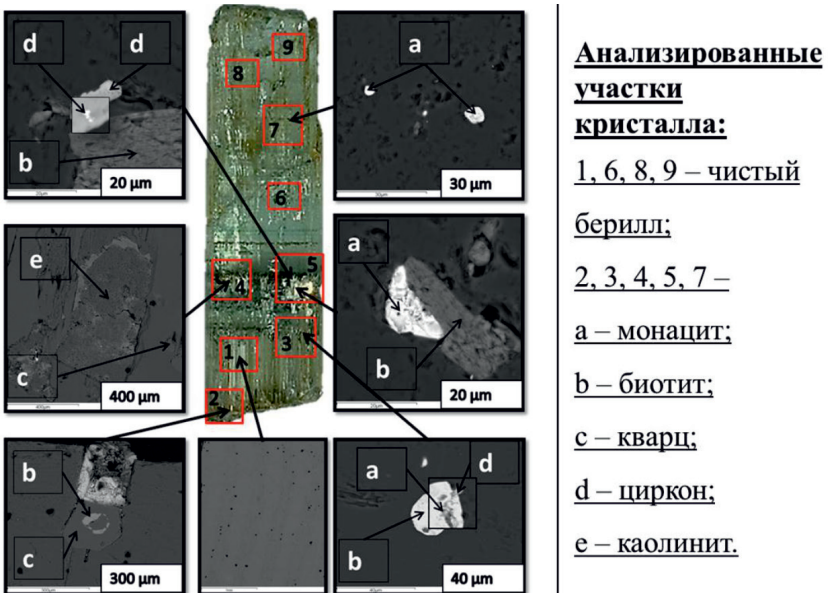


Рис. 5. Зональное строение кристалла берилла и распределение минерализации на участках непрерывного роста и его прекращения

Способ вхождения циркония в структуру берилла в этой связи еще предстоит выяснить. Тем не менее отметим, что ионные радиусы трехвалентного скандия (0,083 нм) и циркония (0,082 нм) весьма близки, и их ионы, могут, вероятно, встраиваться в одни и те же позиции в структуре берилла. Известно, что для зеленых бериллов наряду с хромом и ванадием типично трехвалентное железо, встраивающееся в октаэдрические позиции структуры берилла. Поскольку наиболее высокие содержания циркония также типичны для зеленых бериллов, можно предположить, что он находится в тех же позициях, что и трехвалентное железо. Неким обоснованием этого может быть обратная связь между трендом изменения содержания циркония и железа в поперечном сечении кристалла берилла в обр. ШГ-12/35, показанной нами в [5], и свидетельством об их конкуренции при замещения позиций алюминия в случае дефицита одного из них в минералообразующей системе. Это же может относиться и к примеси скандия. Но при преобладании скандия возникает голубая окраска, а железа и циркония – зеленая. Для определения истинной позиции циркония в кристаллах берилла следует, вероятно, изучить ЭПР-спектры и спектры оптического поглощения кристаллов этого минерала [8].

Выводы

1. Впервые в зональных кристаллах берилла установлены микровключения (0,1–45 µm) циркона как одной из форм нахождения в них примеси циркония.

2. Циркон преимущественно находится в зонах перерыва в росте, параллельных грани пинакоида (0001) кристаллов берилла в ассоциации с монацитом, сидерофиллитом, кварцем, каолинитом. Отдельные идиоморфные кристаллы циркона находятся также и в зоне непрерывного роста кристалла, что может быть обусловлено пересыщением системы цирконием в отдельных её участках. Об его присутствии в минералообразующем флюиде свидетельствуют данные о составе флюидных включений в берилле.

3. Содержания циркония, в зависимости от вариаций примеси гафния, тория и урана, составляют в цирконе 26,91–46,29%. Примесь гафния 2,18–3,16%. Содержание урана и тория достигает, соответственно, 11,8 и 12,1%. Кристаллы однородны и не зональны, что свидетельствует об их первичной природе, и образовании в процессе эволюции высококонцентрированного ликвационно-остаточного флюида во время перерывов кристаллизации берилла и пересыщения флюида цирконием, редкими землями и другими компонентами, образующими примесные минеральные фазы.

Список литературы / References

1. Минералы: справочник / гл. ред акад. Ф.В. Чухров, отв. ред. к.г.-м.н. Н.Н. Смольянинова. Т. III, вып. 2. М.: Наука, 1981. 614 с.

Minerals: Handbook / gl. red akad. F.V. Chukhrov, otv. red. k.g.-m.n. N.N. Smol'yaninova. T. III, vyp. 2. M.: Nauka, 1981. 614 p. (in Russian).

2. Лопатин О.Н., Николаев А.Г., Хайбуллин Р.И. Кристаллохимические аспекты имплантации минералов и их синтетических аналогов // Записки РМО. 2012. Ч. CXLI. № 1. С. 61–69.

Lopatin O.N., Nikolaev A.G., Khaybullin R.I. Crystal-chemical aspects of the implantation of minerals and their synthetic analogues // Zapiski RMO. 2012. CH. XLI. № 1. P. 61–69 (in Russian).

3. Бакакин В.В., Рылов Г.М., Белов Н.В. Рентгенографическая диагностика изоморфных разновидностей берилла // Геохимия. 1970. № 11. С. 1302–1311.

Bakakin V.V., Rylov G.M., Belov N.V. Rentgenographic diagnostics of isomorphic varieties of beryl // Geochemistry. 1970. № 11. P. 1302–1311 (in Russian).

4. Kasatkin A.V., Klopotov K.I., Plasil J. Supergene Minerals of Sherlova Gora. Mineralogical Almanac. 2014. V. 19. Issue 2. P. 94–139.

5. Юргенсон Г.А., Борзенко А.А. Первые данные о содержании циркония в кристаллах берилла Шерловой Горы (Юго-Восточное Забайкалье) // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование. Труды VII Всероссийского симпозиума с международным участием и XIV Всероссийских чтений памяти академика А.Е. Ферсмана. Чита: Изд-во ЗабГУ, 2018. С. 60–63.

Yurgenson G.A., Borzenko A.A. The first data on the content of zirconium in crystals of beryl of Sherlovaya Gora (Southeastern Transbaikalia) // Mineralogy and geochemistry of a landscape of mining territories. Rational environmental management. Modern mineralogenesis. Works VII of the All-Russian symposium with the international participation and the XIV All-Russian readings memory of the academician A.E. Fersman. Chita: Izd-vo ZabGU, 2018. P. 60–63 (in Russian).

6. Yurgenson G.A., Kononov O.V. Sherlova Gora: a Deposit for Gemstones and Rare Metals. Mineralogical Almanac. 2014. V. 19. Issue 2. P. 12–93.

7. Николаев А.Г., Фахардо Бехарано Э.Л., Попов М.П. Оптическая спектроскопия и сравнительные кристаллохимические особенности изумрудов различных промышленно-генетических типов месторождений // Металлогения современных и древних океанов – 2016. От минералогенеза к месторождениям. Миасс: ИМин УрО РАН, 2016. С. 236–239.

Nikolaev A.G., Fajardo Beharano E.L., Popov M.P. Optical spectroscopy and comparative crystal-chemical features of emeralds of various industrial-genetic types of deposits // Metalgenius of modern and ancient oceans-2016. From a mineralogenez to fields. Miass: IMin UrO RAN, 2016. P. 236–239 (in Russian).

УДК 552.08

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОДНОГО ПРОСЛОЯ УГЛЯ НА КАА-ХЕМСКОМ КАМЕННОУГОЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Янчат Н.Н., Тас-оол Л.Х.

Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, e-mail: janchat62@mail.ru

Описана геохимическая особенность внутрипородного прослоя (партинг) угольного пласта Улуг на территории Каа-Хемского месторождения Улуг-Хемского каменноугольного бассейна. Средняя зольность пласта Улуг A^d 8.4%. По составу основных компонентов тип золы среднепластового угля железисто(20%Fe_2O_3)-кальциево(22%CaO)-кремнистый(29%SiO_2). В сравнении с местным геохимическим фоном (вмещающие уголь породы: кровля + подошва) в золе угольного пласта повышены содержания CaO, MgO и Fe_2O_3, соответственно в 32, 12 и 9 раз, что указывает на высокую углефильность Ca, Mg, Fe. Углефицированный партинг пласта Улуг существенно карбонатный. Структурный, вещественный и химический состав породного слоя угля, отобранного в двух точках разреза Каа-Хемский, свидетельствует **о** его существенно карбонатной природе. По внешнему виду углефицированный карбонатный партинг практически неотличим от углефицированного алевролита. Очевидно, что карбонатный состав внутрипластового породного прослоя обусловлен геохимическими условиями древнего торфонакопления. Можно полагать, что водно-минеральное питание углеобразующего торфяника с обрамляющих месторождение кембрийских карбонатных толщ (Ондумские известняки) определяло не только диагенетическую карбонатную минерализацию золы углей (по кальцию, железу, магнию), но и способствовало сингенетической и эпигенетической карбонатной минерализации партинга. На электронных снимках известняк тонкозернистый, с углистым веществом; уголь катаклазирован и сцементирован, витринит переотложен в трещинах породы. В составе партинга идентифицирован минерал ларнит ($2CaO \cdot SiO_2$) с высоким рельефом белого цвета. Микроэлементный состав породного прослоя сформирован по типу Sr, Sb, Mn, Ba-содержащих карбонатов.

Ключевые слова: каа-хемский уголь, внутрипородный прослой угля, химический состав

ZIRCON IN ZONAL BERYLL CRYSTALS IN SHERLOVAYA MOUNTAIN (SOUTH EAST OF ZABAIKALIE)

Yanchat N.N., Tas-ool L.Kh.

Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of RAS, Kyzyl, e-mail: janchat62@mail.ru

The geochemical feature of intra-rock parting of the Ulug coal seam in the Kaa-Khem deposit territory is described. The average ash content of the Ulug coal seam is 8.4%. According to the composition of the main components, the type of ash of medium-seam coal is ferrous (20% Fe_2O_3)-calcium (22% CaO)-siliceous (29% SiO_2). In comparison with the local geochemical background (coal-bearing rocks: roof + floor), CaO, MgO and Fe_2O_3 contents are increased in the coal bed ash by 32, 12 and 9 times that indicates a high coal content of Ca, Mg, Fe. Carbonaceous parting of the Ulug seam is substantially carbonated. The structural, material and chemical composition of the rock layer of coal that selected at two points of the Kaa-Khem coal main, is indicated to its essentially carbonate nature. In appearance carbonized parting is virtually indistinguishable from carbonized siltstone. It is obvious that the carbonate composition of the intra-formational rock partings is due to geochemical conditions of ancient peat accumulation. It can be assumed that the water-mineral nutrition of the coal-forming peat bog framing the Deposit (Ondum limestone) from the Cambrian carbonate strata was determined not only the diagenetic carbonate mineralization of coal ash (by calcium, iron, magnesium), but also contributed to the syngenetic and epigenetic carbonate mineralization of the parting. Electronic pictures show the fine-grained limestone with coaly matter; coal is catalyzed and cemented; redeposited vitrinite in the cracks of rocks. Larnite (2CaO•SiO2) with high relief of white color is identified in structure of parting. The microelement composition of the rock parting is formed as Sr, Sb, Mn, Ba-containing carbonates.

Keywords: Kaa-Khem coal, intra-rock parting of coal, chemical composition

Каа-Хемское каменноугольное месторождение (S ≈ 180 км^2) расположено в восточной части Улуг-Хемского угольного бассейна, с восточной стороны месторождение обрамляют гранитоиды таннуольского комплекса, с севера – кембрийские карбонатные толщи (Ондумские известняки) [1]. Угленосная толща представлена породами эрбекской (J_2er) свиты, разделенной на верхнюю и нижнюю подсвиты. Отложения нижней (J_2er_1) эрбекской подсвиты (мощность 90–160 м) сложены чередованиями из разнозернистых песчаников и гравелитов, мелкогалечных конгломератов, алевролитов с пластами и пропластками угля и завершается выдержанным мощным угольным пластом Улуг с преобладающей мощностью 3–6 м. Верхняя (J_2er_2) эрбекская подсвита (мощность ~360 м) сложена из чередующихся разнозернистых песчаников, алевролитов, редких прослоев гравелитов и угольных пластов; последние не выдержаны по мощности и площади распространения, их строение как простое, так и сложное. Нижняя граница подсвиты четкая и проводится по подошве горизонта песчаников, залега-

ющих непосредственно над угольным пластом Улуг [2, с. 325].

Целью работы явилось исследование вещественного и химического состава породного прослоя (партинг) угольного пласта Улуг на разрабатываемых участках разреза «Каа-Хемский», расположенного в северной части месторождения. Изучение химического состава партинга актуально для выяснения ряда вопросов, в их числе уточнение геохимических условий торфонакопления на угленосной территории, влияние партинга на качество и технологические свойства угля, на состав выбросов углесжигания и др. Распределение породообразующих элементов в угле рассмотрено с привлечением данных из материалов Геологического фонда Тувинской ГРЭ. Впервые представлены результаты количественных масс-спектрометрических определений элементов-примесей (ЭП) в двух пробах партинга каа-хемских углей и, для сопоставления, статистические данные по их полуколичественным спектральным анализам из геологических отчетов.

Материалы и методы исследования

Опробование пород проведено в зоне залегания неокисленных углей действующего разреза Каа-Хемский в двух точках (участки «Север» и «Юг»), удаленных на расстояние 20 км. В каждой из них отобрано по одной пробе угля (среднепластовый), партинга, кровли и подошвы согласно ГОСТ 10742-71 (СТ СЭВ 752-77). Пробы породы песчаника (кровля) отобраны со слоя (h = 5 см), залегающего непосредственно на угольном пласте Улуг; пробы углефицированного алевролита (подошва) отобраны с приугольного слоя (h = 10 см), сложенного непосредственно под пластом Улуг. На северном и южном забоях мощность песчаника соответственно (30–35) и (45–50) м, угольного пласта 2 и 6 м, партинга 3 и 5 см. Линия контакта между угольным пластом и кровлей (и подошвой) резкая и четкая. Зольность проб определяли при (815 ± 10) °С согласно ГОСТ 11022-95 (ИСО 1171-97).

Содержание макроэлементов в золе угля, партинге и углевмещающих породах анализировали методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на приборе СРМ-25, пробоподготовку осуществляли путем сплавления с тетраборатом лития. Содержание общей серы определяли на спектрометре Bruker S4 Pioneer. Содержание элементов-примесей (микроэлементы) определено на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Структурный и вещественный состав пород изучен на поляризационном микроскопе ПОЛАМ Л-213М.

Содержание породообразующего элемента (макроэлемент) в партинге сравнивали с его распределением в золе среднепластового угля, вмещающих породах и породах обрамления. Усредненный состав макроэлементов в золе угля рассчитан для выборки n = 16 с привлечением данных геологических отчетов по химическим анализам пласта Улуг в 14 скважинах месторождения. Углефильность элемента (в оксидной форме) определяли по *коэффициенту концентрации* $КК = C_i^{зола}/C_i^{вм.\ пор.}$, где $C_i^{зола}$ – среднее содержание оксида элемента в золе среднепластовых проб угля, $C_i^{вм.пор.}$ – среднее содержание элемента во вмещающих породах месторождения. Степень углефильности элемента оценивали как в [3, с. 492], по группам: высокоуглефильные (КК > 5), углефильные (КК = 2–5), умеренно углефильные (КК = 1–2), неуглефильные (КК < 1).

Результаты исследования и их обсуждение

Распределение макроэлементов в угольном пласте Улуг и партинге. Содержание макроэлемента в пробах породного прослоя угля, кровли и подошвы, среднее содержание элемента в золе среднепластовых проб углей каахемского месторождения и их коэффициенты концентрации приведены в табл. 1. Для оценки сравнительных накоплений породообразующих окислов с их содержанием в породах обрамления в таблицу внесены данные по химическому составу плагиогранита из [4], для Ондумских известняков использованы данные из Отчета о геолого-разведочных работ, проведенного в месторождении в 1954 г. А.Г. Китаевым (г. Свердловск).

Зольность угольного пласта Улуг. Средняя зольность пласта Улуг A^d 8.4 %. По составу основных компонентов тип золы железисто(20 %Fe_2O_3)-кальциево(22 %CaO)-кремнистый(29 %SiO_2). Сравнение среднего содержания макроэлемента в золе угля с его средним содержанием во вмещающих породах (кровля + подошва) показывает на бóльшее накопление в углях (относительно местного геохимического фона) кальция, магния, железа, алюминия и фосфора (в оксидной форме): $CaO_{(32.1)} > MgO_{(12.2)} > Fe_2O_{3(8.9)} > Al_2O_{3(1.1)} > P_2O_{5(1.0)}$, в скобках нижнего индекса приведены их коэффициенты концентрации $КК = C_i^{зола}/C_i^{вм.пор.}$ На основе этих данных можно сделать вывод, что в угольном пласте Улуг каа-хемского

месторождения *высокоуглефильны* Ca, Mg, Fe, *умеренно углефильны* Al, P.

В сравнении с породами плагиогранита (обрамление) [4, с. 1587] в золе угля отмечается концентрирование оксидов кальция, железа, магния, алюминия: $CaO_{(6.6)} > Fe_2O_{3(6.4)} > MgO_{(6.2)} > TiO_{2(1.7)} > Al_2O_{3(1.1)}$.

Зольность углефицированного партинга. Зольность проб партинга с северного и южного участков угольного разреза, определенная в форме потери при прокаливании (*п.п.п.*) при температуре до 1000 °C, составила 50 % и 57 % соответственно. Обе пробы партинга углефицированы в пределах от 43 до 50 %.

По химическому составу образец партинга на северном участке магниево(3 %MgO)-железисто(5 %Fe_2O_3)-кремниево(15 %SiO_2)-кальциевый(25 %CaO), на южном участке магниево(3 %MgO)-железисто(3 %Fe_2O_3)-кальциевый(36 %CaO).

Структурно-вещественный состав партинга. Электронные снимки породы партинга показаны на рисунке. По *вещественному составу* партинг существенно карбонатный, с прослоями углистого вещества.

На участке «Север» партинг трещиноват и деформирован, окраска в разных частях шлифа изменяется от бесцветной до жёлто-бурой, что обусловлено присутствием в составе породы окисла железа. Прерывисто-линзовидные ветвящиеся образования черного углистого вещества сосредоточены в прослое размером около 6 мм (рисунок, а). Около 90 % светлых кристаллов кальцита имеют размеры 0,1–0,2 мм, заметно присутствие и крупных кристаллов размером до 3–4 мм.

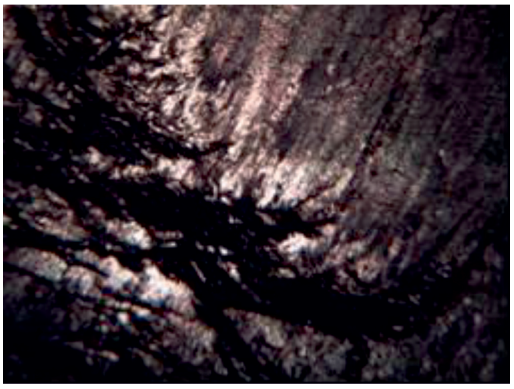
На участке «Южный» известняк тонкозернистый, с углистым веществом; уголь катаклазирован и сцементирован в трещинах (рисунок, б). Витринит, переотложенный в трещинах, просвечивается в шлифе (без анализатора) красным цветом (рисунок, в). В составе партинга определяется зерно минерала ларнита ($2CaO \cdot SiO_2$) с высоким рельефом белого цвета (рисунок, г).

Согласно обобщенным данным геологоразведочных изысканий [2, с. 291] угольный пласт Улуг в Улуг-Хемском бассейне в подавляющем большинстве пластопересечений (общее количество исследованных 758) характеризуется простым строением, и лишь в 80 из них (~11 %) встречаются породные прослои из алевролитов, углистых алевролитов, иногда песчаников, мощностью от 10 до 60 см, которые быстро выклиниваются по мере перемещения к внутренним частям бассейна на расстояние 0,5–2 км; породные прослои пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении из высокозольного угля или углистых алевролитов имеют мощность от 5 до 40 см [2, с. 325].

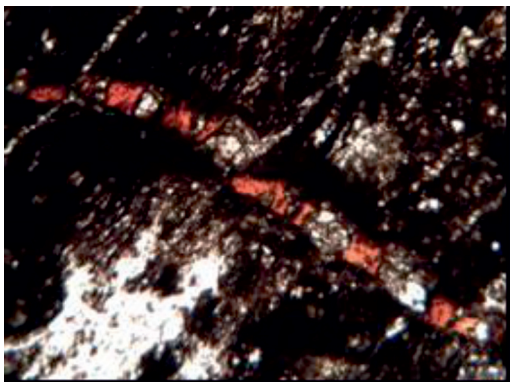
Таблица 1

Содержание породообразующих окислов в осадочных породах Каа-Хемского каменноугольного месторождения (мас., %)

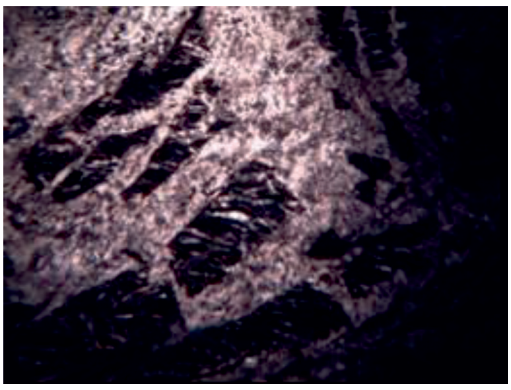
Окись	Наименование осадочной породы						Обрамление		$КК = C_i^{зола}/C_i^{вм.пор.}$
	Партинг		Зола Улуг		Подошва	Кровля	Известняк Ондумский	Плагиогранит [4]	
	север (n = 1)	юг (n = 1)	(n = 16)	ст. откл, s	(n = 2)	(n = 2)	(n = 7)	(n = 7)	
SiO_2	15,4	0,3	28,8 (7,1–44,0)	11,2	54,6	72,5	6,5	69,2	0,5
Al_2O_3	1,8	0,3	12,6 (6,2–19,2)	4,3	10,2	12,5	0,3	16,0	1,1
Fe_2O_3	4,7	3,1	20,4 (12,0–32,0)	7,2	1,1	3,5	1,5	3,2	8,9
CaO	24,5	36,2	21,9 (11,2–38,4)	8,2	0,1	1,3	53,2	3,3	32,1
MgO	2,5	2,7	5,6 (3,1–8,2)	1,3	0,4	0,5	3,0	0,9	12,4
TiO_2	0,3	0,01	0,5 (0,2–0,7)	0,1	1,0	0,4		0,3	0,7
MnO	0,1	0,2	0,3 (для n = 2)		0,01	0,08		0,05	6,7
Na_2O	0,1	0,1	1,1 (0,4–1,9)	0,4	0,1	2,4		4,4	0,9
K_2O	0,3	0,01	0,9 (0,6–1,3)	0,3	1,7	2,1		1,7	0,5
P_2O_5	0,02	0,01	0,05 (для n = 2)		0,02	0,08		0,1	1,0
SO_3	0,08	0,10	5,9 (3,2–10,6)	2,0	0,1	0,0		0,0	
п.п.п.	49,9	56,7	1,4 (0,2–6,2)	1,5	30,4	4,6	36,1	0,8	
A^d	50,8	52,0	8,4 (3,5–13,7)	11,8	72,2				



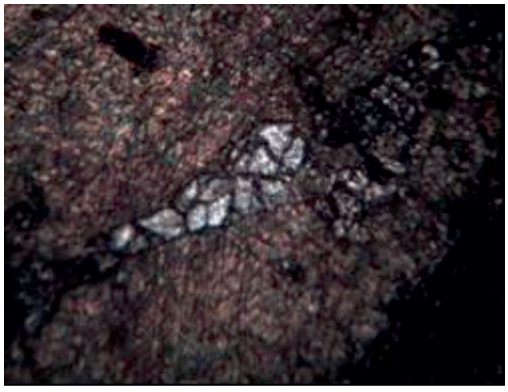
а)



в)



б)



г)

Микроснимки шлифов партинга каа-хемского угольного пласта Улуг в проходящем свете (режим обыкновенный), увеличение: а, б – 25х, ник.+; в – 100х; г – 100х, ник.+

Результаты представленных в данной работе исследований структурно-вещественно-химического состава партинга угольного пласта Улуг в двух точках разреза «Каа-Хемский» впервые свидетельствуют о его существенно карбонатной природе (по внешнему виду углефицированный карбонатный партинг практически неотличим от углефицированного алевролита). Можно предположить, что карбонатный состав внутрипластового породного прослоя является одной из геохимических особенностей, связанных с условиями древнего торфонакопления на угленосной площади. Очевидно, что водно-минеральное питание углеобразующего торфяника с обрамляющих месторождение кембрийских карбонатных толщ (Ондумские известняки) определяло не только диагенетическую карбонатную минерализацию золы углей (по кальцию, железу, магнию), но и способствовало сингенетической и эпигенетической карбонатной минерализации партинга.

Микроэлементный состав партинга угольного пласта Улуг. В табл. 2 представлены результаты количественных анализов элементов-примесей в двух пробах партинга на масс-спектрометре, а также (для сравнения) диапазон значений по их полуколичественным содержаниям из геологических отчетов (определенные на дифракционном спектрографе ДФС-8).

По значениям кларков концентраций $КК = C_i^{партинг}/C_i^{ОП}$ (нижний индекс) можно выделить элементы, у которых содержания в партинге кратно превышают кларки в осадочных породах земной коры, к ним относятся: $Sr_{11.3} > Sb_{8.7} > Mn_{2.4} > Ba_{2.0}$. Эти четыре микроэлемента являются геохимическими спутниками карбонатных минералов [5]. На основании приведен-

ных данных можно сделать вывод, что породный прослой пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении формировался по типу Sr, Sb, Mn, Ba-содержащих карбонатов.

В существенно карбонатном партинге каа-хемских углей среднее содержание высокоуглефильного Sr (0,30 %) существенно выше (~8 раз) кларка в безугольных карбонатных породах (0,03–0,04 %).

Таблица 2

Содержание элементов-примесей в партинге пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении и Улуг-Хемском бассейне, г/т

Элемент	C_i на Каа-Хемском месторождении, (n = 2)		Среднеее C_i в Улуг-Хемском бассейне, (n = … до 16)			Элемент	C_i на Каа-Хемском месторождении, (n = 2)		Среднеее C_i в Улуг-Хемском бассейне, (n = … до 16)		
	уч. Север	уч. Юг	число проб, n	C_i	s		уч. Север	уч. Юг	число проб, n	C_i	s
Be	0,3	0,03				La	3,9	3,2	9	97 (60–150)	28
Sc	6,7	0,5	1	1		Ce	7,2	5,5			
Ti	2959	104	16	4263 (100–8000)	2087	Pr	0,8	0,6			
V	27,0	2,0	16	67 (5–120)	37	Nd	3,3	2,3			
Cr	23,0	5,4	14	71 (30–150)	35	Sm	0,6	0,4			
Mn	1108	2882	16	828 (30–5000)	1472	Eu	0,1	0,05			
Co	2,0	1,0	15	5 (1–15)	4	Gd	0,6	0,3			
Ni	<ПО	<ПО	16	12 (2–30)	9	Tb	0,1	0,04			
Cu	46,0	13,5	16	56 (10–100)	28	Dy	0,8	0,3			
Zn	23,0	15,0	16	82 (20–400)	97	Ho	0,2	0,05			
Ga	5,9	0,8	16	15 (1–30)	9	Er	0,8	0,1			
Ge	<ПО	<ПО	13	2 (1–5)	1	Tm	0,1	0,02			
Rb	15,0	<ПО				Yb	0,8	0,1			
Sr	2563	3538	11	564 (100–2000)	724	Lu	0,1	0,02			
Y	5,7	1,1	8	14 (10–20)	5	Hf	0,8	0,3			
Zr	73,0	10,4	16	112 (30–250)	69	Ta	0,6	0,02			
Nb	5,4	0,4	3	2 (1–3)	1	W	0,6	0,1			
Mo	1,0	1,1	16	2 (1–4)	1	Tl	0,01	0,1			
Ag			15	11 (0,1–50)	16	Pb	5,5	2,7	16	20 (1–80)	
Sn	1,6	0,3	16	3 (1–5)	1	Bi	0,4	0,2			
Sb	15,0	5,8				Th	2,4	0,6			
Cs	0,8	<ПО				U	2,3	0,3			
Ba	900	760	15	460 (200–3000)	713						

Примечание. В скобках показано содержание элемента в диапазоне значений «от – до»; s – стандартное отклонение; <ПО – содержание элемента ниже предела обнаружения.

Выводы

1. Впервые показано, что углефицированный партинг пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении является существенно карбонатным. По химическому составу образец партинга с участка «Север» магниево(3 %MgO)-железисто(5 %Fe_2O_3)-кремниево(15 %SiO_2)-кальциевый(25 %CaO), с участка «Юг» магниево(3 %MgO)-железисто(3 %Fe_2O_3)-кальциевый(36 %CaO).

2. Микроэлементный состав породного прослоя пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении сформирован по типу Sr, Sb, Mn, Ba-содержащих карбонатов.

Список литературы / References

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтае-Саянская Лист М-46. Кызыл. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. 349 с.

State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). A series Altai-Sayansk the Sheet M-46 – Kyzyl. Explanatory note. SPb.: VSEGEI cartographical factory, 2008. 349 p. (in Russian).

2. Угольная база России. Том III. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири. Южная часть. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 488 с.

Coal base of Russia. Volume III. Coal basins and fields of Eastern Siberia. Southern part. M.: OOO Geoinformtsentr, 2002. 488 p. (in Russian).

3. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с.

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Valuable Trace Elements in Coal. Ekaterinburg: UrO RAN, 2006. 538 p. (in Russian).

4. Руднев С.Н., Серов П.А., Киселева В.Ю. Венд-раннепалеозойский гранитоидный магматизм восточной Тувы // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 9. С. 1572–1600. DOI: 10.15372/GiG20150902.

Rudnev S.N., Kiseleva V., Serov P.A. Vendian-Early Paleozoic granitoid magmatism in Eastern Tuva // Russian Geology and Geophysics. 2015. T. 56. № 9. P. 1232–1255. DOI: 10.1016/j.rgg.2015.08.002.

5. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия марганца в карбонатных конкрециях. Обзор // Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2013. № 4 (220). С. 7–14.

Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Manganese geochemistry in carbonate nodules. A review // Bulletin of institute of geology of Komi of scientific center of the Ural office of the Russian Academy of Sciences. 2013. № 4 (220). P. 7–14 (in Russian).

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 504.05:639.2.05

ПОТЕРЯННЫЕ ОРУДИЯ ЛОВА: ОЦЕНКА, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ И ПУТИ РЕШЕНИЯ

[1]Майсс А.А., [2]Блиновская Я.Ю., [3]Высоцкая М.В.

[1]ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет», Владивосток;
[2]ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», Владивосток, e-mail: blinovskaya@hotmail.com;
[3]ООО «ЭКОСТАРТ», Владивосток

Мировой океан характеризуется наличием колоссального запаса ресурсов, что обуславливает все большее смещение хозяйственной деятельности на континентальный шельф. Все это обуславливает не только активное развитие социально-экономической сферы, но и возникновение экологической напряженности, поскольку уровень воздействия человека на окружающую среду оценивается степенью загрязненности. Одной из острых проблем, проявляющихся в последние годы в морских акваториях, стала проблема морского мусора. Он встречается повсеместно, как в районах активной антропогенной деятельности, так и в местах достаточно удаленных от явных источников загрязнения. При этом около 18% поступающего в море мусора связано с рыбопромысловой деятельностью. В мировой практике нередки случаи, когда орудия рыбного промысла могут быть утеряны, что приводит к негативным последствиям, включая трагические. Вместе с тем уже разрабатываются нормативно-правовые аспекты, регулирующие вопросы, связанные с потерей орудий лова. Достоверная статистическая информация о потерях в российских водах, в том числе и дальневосточных, настоящее время отсутствует, равно как и не проводятся системные исследования о воздействии потерянных орудий на донные и пелагические сообщества. Рыбопромысловая деятельность осуществляется различными типами орудий лова. Их размеры, конструкция и экологические последствия от попадания в донную среду различаются. Брошенные, потерянные или оставленные орудия и их фрагменты оказывают существенное негативное влияние на состояние морской среды. Проведенный анализ отечественного и зарубежного опыта позволил выделить пути решения проблемы «призрачного рыболовства», а также установить наиболее вероятные места нахождения потерь.

Ключевые слова: Мировой океан, орудия лова, призрачное рыболовство, морской мусор, загрязнение, экологические последствия

THE LOST FISHING GEARS: ASSESSMENT, ECOLOGICAL CONSEQUENCES AND SOLUTIONS

[1]Mayss A.A., [2]Blinovskaya Ya.Yu., [3]Vysotskaya M.V.

[1]Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok;
[2]Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: blinovskaya@hotmail.com;
[3]Ecostart Ltd., Vladivostok

The World Ocean is characterized by existence of an enormous resources stock that causes the active shifting of economic activity to the continental shelf. All of this is causes not only active development of the social and economic sphere, but also ecological emergence tension because the impact level of the human on the environment is estimated by pollution degree. The marine litter problem became one of the burning issues which are developed in sea water areas in recent years. It meets everywhere both in areas of wide anthropogenic activity, and in places remote from obvious sources of pollution. At the same time about 18% of the marine litter is connected with fishery activity. There are a lot of cases in the world practice when fishery gears can be lost that leads to negative consequences, including tragic. But the standard and legal aspects regulating the questions connected with loss of fishing gears are already evolved now. At the present time reliable statistical information about losses in the Russian waters including Far East is absent, as well as system researches about fishing gears impact on benthos and pelagic ecosystem aren't conducted. Fishery activity is carried out by various types of fishing gears. Theirs sizes, design and ecological consequences from appearance on underwater landscapes are differ. The thrown, lost or left gears and their fragments exert significant negative impact on a condition of the marine environment. The performed analysis of national and foreign experience has allowed to allocate solutions ways of «ghost fishery» and also to establish the most probable losses locations.

Keywords: the World Ocean, fishing gears, ghost fishery, marine litter, pollution, ecological consequences

Взаимодействие человека и океана имеет очень длительную историю. Здесь сосредоточено огромное количество природных ресурсов, в связи с чем природопользование все активнее смещается в прибрежно-морскую зону, где в настоящее время реализуется множество глобальных проектов по добыче минерального сырья, строительству, промыслу биоресурсов и т.д. Согласно статистике около 80% населения проживает на побережье и в пределах 100 км от него, здесь же сосредоточены крупнейшие города мира. Все это обуславливает не только активное развитие социально-экономической

сферы, но и возникновение экологической напряженности, поскольку уровень воздействия человека на окружающую среду оценивается степенью загрязненности. Одной из острых проблем, проявляющихся в последние годы в морских акваториях, стала проблема морского мусора [1]. Сейчас морской мусор встречается повсеместно, как в районах активной антропогенной деятельности, так и в местах достаточно удаленных от явных источников загрязнения. При этом около 18 % поступающего в море мусора связано с рыбопромысловой деятельностью.

В мировой практике нередки случаи, когда орудия рыбного промысла могут быть утеряны. Ежедневно в одной только Гренландии теряется в среднем 15 сетей. Предварительные подсчеты, приведенные в докладе ООН, показывают, что на дне Мирового океана находится не менее 640 тыс. т потерянных рыболовных сетей [2]. Утерянные орудия лова могут не только причинять вред морской среде, но и создавать навигационные опасности, а также быть причиной гибели дайверов, о чем все чаще свидетельствуют информационные агентства [3–5]. Согласно отчету, сформированному службой DAN (Divers Alert Network – Тревожная дайверская сеть), 9 % смертельных случаев дайверов связано с запутыванием в потерянных рыболовных снастях [6].

Вместе с тем уже достаточно давно разрабатываются нормативно-правовые аспекты, регулирующие вопросы, связанные с потерей орудий лова. Так, в соответствии с положениями Приложения V к конвенции МАРПОЛ 73/78 операторы рыболовных судов обязаны сообщать о потере или сбросе орудий лова государству флага и прибрежному государству, в чьей юрисдикции произошла потеря. Там же обозначены и запретительные меры, в частности утилизация орудий лова, изготовленных из синтетических материалов. В Соглашении об осуществлении положений Конвенции ООН по морскому праву (1982 г.), которые касаются сохранения трансграничных рыбных запасов и запасов далеко мигрирующих рыб, содержатся требования к маркировке рыболовецких судов и орудий лова в целях их идентификации с использованием единых и общепринятых в международной практике систем маркировки (ратифицирована в России в 1997 г.).

Достоверная статистическая информация о потерях в российских водах, в том числе и дальневосточных, в настоящее время отсутствует, равно как и не проводятся системные исследования о воздействии потерянных орудий на донные и пелагические сообщества. Рыбопромысловая деятельность осуществляется различными типами орудий лова. Это могут быть донные и пелагические тралы, снюрреводы, донные ярусы, ставные неводы, ловушки и т.д. Их размеры, конструкция и, соответственно, экологические последствия от попадания в донную среду могут различаться. Выбор орудия определяется типом промыслового объекта. Не будем останавливаться на принципах их использования и ущербе, возникающем в процессе их применения, это является предметом отдельного исследования и отражено в многочисленных публикациях [7–10]. Рассмотрим потенциальные экологические последствия, связанные с попаданием различных типов орудий в морскую среду.

Наиболее распространенным является траловый промысел, который характерен как для донных, так и для пелагических рыб. Отрывочные сведения о потерях тралов появлялись еще на заре развития тралового промысла. Это связано как со спецификой траления, так и с особенностями района обитания промысловых объектов. Так, например, при добыче окуня отмечается наибольшее количество инцидентов, поскольку его среда обитания изобилует скальными и задевистыми грунтами. Однако в последние годы отмечается снижение потерь за счет наличия на судах чувствительной гидроакустической аппаратуры и промысловых планшетов с помеченными на них опасными местами. Тем не менее потери тралов продолжаются, ухудшая и без того сложную экологическую обстановку морских экосистем.

По неофициальным данным аварийность тралов высока в районах Анадырского залива, к югу, юго-западу от м. Наварина, особенно на глубинах 100–200 м. Также ежегодно по самым скромным подсчетам в Беринговом море теряется около 15–20 донных тралов, экологический ущерб от которых оценить без организации соответствующего учета пока не представляется возможным. Однако можно предположить наиболее вероятные места нахождения потерь, формируемые с учетом погодных условий в период лова и гидродинамических характеристик районов промысла.

Особую опасность представляют для крупных морских животных, млекопитающих, а также подводных исследователей, по-

терянные тралы, верхние подборы которых для придания им вертикального раскрытия оснащались кухтылями (наплавами). Эти тралы, скорей всего, оставались и продолжают оставаться на дне открытыми. Очевидно, что, заплыв внутрь трала, животное (кит, тюлень и т.д.) или подводный исследовательский аппарат, не найдя возможности выхода из него, рискуют остаться там навеки. Помимо этого тралы создают существенную навигационную опасность. Намотавшись на винты, трал способен не только нарушить ходовые качества судна, но и привести к гибели небольшое судно. Зацепившийся и вовремя не вытравленный трал может легко вызвать опрокидывание судна. Также известно немалое количество случаев, когда подводные лодки, попав в сети траулеров, топят их [11]. Один из последних крупных случаев был зафиксирован в мае 2004 г. в проливе Скагеррак. Датский траулер «Мари Эллен» поймал в сети немецкую лодку, принимавшую участие в учения НАТО. К счастью, траулер не пострадал, рыбаки отделались испугом, но трал порвался и был утерян. У берегов Камчатки также происходили подобные инциденты, в результате чего рыбакам приходилось обрубать сети.

Эффективным и принципиально похожим на вышеописанный орудием лова является снюрревод. Отличительной чертой является лишь меньшая ячея сети и удлиненные канаты-урезы, выметываемые вокруг косяка рыбы. Количество потерянных судами снюрреводов вместе с урезами также остается высоким. Учитывая, что этот способ активно используется в прибрежной зоне Камчатки, можно предположить места, где могут находиться скопления утонувших снастей.

Не меньшую угрозу представляют собой донные ярусы, секции которых содержат буи и крючки. Фрагменты потерянной конструкции также могут стать причиной гибели донных обитателей, а рассредоточенные в толще воды частицы буев, относящиеся к категории микропластика, принимаются животными за пищу и тоже приводят к гибели, забивая желудочно-кишечный тракт. Общая площадь воздействия донными ярусами только в Беринговом море оценивается в 325 тысяч км^2 [7]. Таким образом, становится возможным выделить потенциальные зоны загрязнения донными ярусами.

Что касается ставных неводов, то этот вид орудий лова является «экологически чистым» и щадящим как в отношении живых ресурсов лососей, так и дна моря. Как известно, эти орудия являются исключительно пассивными и выставляются рыбаками на сравнительно непродолжительное время (путину), определяемое сроками подхода лососей к нерестовым рекам и другим пресноводным водоемам, после чего убираются до следующей путины. Согласно предварительным оценкам независимо от типа используемого невода на дно сбрасываются несколько сот (в среднем около 1500) якорей, в основном это мешки с песком, с помощью которых орудию лова придается геометрически правильная рабочая форма [10]. Экологически опасными эти орудия лова становятся в случаях полной или частичной утраты контроля над неводами со стороны рыбаков и при переполнении их ловушек рыбой во время массовых ее подходов в район установки. Это становится возможным, например, при длительных штормовых метеоусловиях, способных даже привести к разрушениям невода. Статистика этих потерь также не ведется, но локальный ареал их использования также позволяет определить области их скопления. Имеется большое количество свидетельств гибели крупных морских млекопитающих в результате запутывания в блуждающих в толще воды сетях. Одним из последних крупных событий стала гибель детеныша гренландского кита в апреле 2018 г. [12]. Небольшая популяция этих животных обитает в Охотском море у Шантарских островов. На останках погибшей особи сохранились раны, типично оставляемые канатами и веревками. Проблема запутывания в ставных сетях остро проявляется на Сахалине. Впервые они были использованы в районе залива Пильтун, где обычно происходит нагул охотско-корейской популяции серых китов, летом 2013 г., а уже осенью был зафиксирован серый кит с намотанным на хвост рыболовным фалом. Тремя годами позже был обнаружен кит, «буксировавший» за собой целую гирлянду поплавков. Окончание лососевой путины обычно регулярно знаменуется подобными событиями. Косатки, еще один вид китообразных, встречающихся у побережья Сахалина, также регулярно попадают в ставные невода во время лососевой путины. И если гибель косаток чаще связана с непосредственно установленными сетями, куда они стремятся за добычей, то гибель серых китов происходит вследствие запутывания в уже потерянных неводах, полотна которых опускаются на дно, как правило, после штормов.

Для ловли морских беспозвоночных чаще всего применяют ловушки. Например, промысел краба разрешен только с их использованием. Современные орудия изготавливаются их нейлоновой сети, которая также имеет потенциальную угрозу для морских млекопитающих. Погибая в сетях, они привлекают падальщиков, которые в свою очередь запутываются в тех же сетях и тоже гибнут.

Таким образом, следует констатировать, что брошенные, потерянные или оставленные орудия лова и их фрагменты оказывают существенное негативное влияние на состояние морской среды [13–15]. Учитывая, что материалы, из которого изготавливаются современные орудия лова (металл, полиамидное волокно, зачастую пропитанное специальными химическими составами), не подвержены разрушению в морской воде в течение длительного времени, такие потерянные орудия лова могут находиться на дне в течение десятилетий, выделяя при этом вредные химические вещества [16–18]. Кроме непосредственного загрязнения бентоса, многие из них продолжают выполнять свою задачу, а именно – ловить гидробионтов [19]. В международной практике уже укрепился термин «призрачная рыбалка», что создает в данном районе зону «замора» [20–22].

Важным этапом в решении проблемы потерянных орудий лова, стало одобрение странами, членами Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО) проекта Добровольных руководств по маркировке орудий лова, которое состоялось 9 февраля 2018 в Риме [23–25].

Проведенный анализ отечественного и зарубежного опыта позволил выделить пути решения проблемы «призрачного рыболовства». Они включают в первую очередь модернизацию применяемых орудий и разработку паспорта и маркировки. Паспорт орудия лова должен содержать следующие сведения:

– наименование и проект, по которому изготовлено орудие лова;

– наименование производителя орудия лова, его серийный номер и дата изготовления;

– технические характеристики (размеры, вооружение, качество материалов);

– комплектность с указанием количества, массы и материалов изделий;

– промысловый вид гидробионтов, для которых данное орудие предпочтительно использовать;

– характеристики промыслового района, где рекомендуется его использовать (глубины, грунты);

– сроки и условия эксплуатации орудия лова в целом и\или основных элементов.

Придание обязательного статуса паспорту орудия позволит перейти от применения типовых, часто малоэффективных орудий лова к разработке более совершенных, максимально учитывающих специфику того или иного вида и района промысла орудий лова. Это в свою очередь способствует снижению антропогенного воздействия на морские экосистемы и повышению экономической эффективности, а именно:

– сократит количество потерь промыслового вооружения;

– увеличит уловистость;

– уменьшит прилов;

– увеличит качество добываемой продукции;

– позволит вести учет потерянных орудий лова.

С целью своевременного учета и контроля данных об условиях и результатах применения орудий лова необходимо разработать единую информационно-аналитическую систему, синхронизированную с электронным промысловым журналом. Она позволит оперативно формировать информационные карты, которые на условиях распределенного доступа могут быть использованы как судовладельцами и промысловиками, так и контрольно-надзорными органами. Подобные системы автоматические информационные системы слежения за судами в реальном времени существуют и активно используются, однако они предоставляют ограниченный набор сведений, включающих обычно тип судна, географию промыслового района, метеорологические и гидрологические условия. В качестве важного дополнения предлагается расширить информационную карту, включив в нее сведения:

– об используемых элементах орудия лова (из паспорта);

– время и координаты промысловой операции (запись эхолота или картплоттера);

– общий вылов (видеофиксация и\или взвешивание уловов за установленный период: сутки, рейс);

– видовой состав рыб в улове (запись эхолота во время промысловой операции, данные наблюдателя);

– любые средства маркировки орудий лова или иные средства идентификации;

– дата, время, место утери или находки, глубина и т.д.;

– причина утери (если известна);

– любая прочая информация, включая сведения о попавших в сети животных, особенно относящихся к категории исчезающих, находящихся под угрозой исчезновения и охраняемых видов.

Для оптимизации промысловой деятельности предлагается создание независимого экспертного сообщества, основная функция которого должна заключаться в предотвращении нарушений правил рыболовства, а также повышении эффективности ведения промысла за счет:

– использования передовых техник ведения промысла существующих в мире (ярким примером может служить использование стримеров на ярусном промысле, которые снижают прилов морских птиц и увеличивают вылов при сохранности наживки);

– внедрения и использования системы сбора информации, на основании которой возможно принятие управленческих решений по оперативному управлению промысловой обстановкой (например, оперативное закрытие/открытие промысловых районов и изменении границ закрытых районов с целью сохранения водных биоресурсов, например, наличия молоди);

– подготовки предложений по внесению изменений в Правила рыболовства, основанных на анализе практик применения орудий лова в конкретных районах и периодах промысла (например, временное разрешение применения донных тралов на промысле минтая в Беринговом море).

Разумеется, внедрение данных мероприятий требует существенной организационной и технической проработки, однако это позволит своевременно выявлять наиболее опасные места – «горячие точки», где потеряно наибольшее количество орудий лова, что даст возможность учитывать их негативное влияние на донное сообщество и разрабатывать стратегии приоритетного подъема потерянных орудий лова в таких районах.

Список литературы / References

1. Marine Litter, an analytical overview. Nairobi: UNEP. 2005. 48 p. URL: http://hdl.handle.net/20.500.11822/8348 (date of access: 15.08.2018).

2. Петренко Ю. Брошенные рыболовные снасти угрожают экосистеме Мирового океана [Электронный ресурс]. URL: http://wordyou.ru/science/107002.html (дата обращения: 15.08.2018).

Petrenko Yu. The thrown fishing gears threaten an ecosystem of the World Ocean [Electronic resource]. URL: http://wordyou.ru/science/107002.html (date of access: 15.08.2018) (in Russian).

3. Молодой мужчина погиб на рыбалке в Кагульском районе, запутавшись в браконьерской сети [Электронный ресурс]. URL: http://bloknot-moldova.md/news/molodoy-muzhchina-pogib-na-rybalke-v-kagulskom-ray (дата обращения: 15.08.2018).

The young man has died on fishing in the Cahul district ensnared in poacher gears [Electronic resource]. URL: http://bloknot-moldova.md/news/molodoy-muzhchina-pogib-na-rybalke-v-kagulskom-ray (date of accesss: 15.08.2018) (in Russian).

4. Под Одессой нашли тело рыбака, запутавшегося в сетях [Электронный ресурс]. URL: https://strana.ua/news/136112-v-odesskoj-oblasti-vytashchili-na-bereh-telo-rybaka-propavsheho-eshche-v-marte.html (дата обращения: 15.08.2018).

Fisherman body ensnared in poacher gears has been found near Odessa [Electronic resource]. URL: https://strana.ua/news/136112-v-odesskoj-oblasti-vytashchili-na-bereh-telo-rybaka-propavsheho-eshche-v-marte.html (date of access: 15.08.2018) (in Russian).

5. В бухте Улисс утонул военный водолаз, запутавшийся в сетях [Электронный ресурс]. URL: https://www.newsvl.ru/accidents/2018/04/23/169658/#ixzz5DZE9R700 (дата обращения: 15.08.2018).

Military diver ensnared in poacher gears was drowned in Ulysses bay [Electronic resource]. URL: https://www.newsvl.ru/accidents/2018/04/23/169658/#ixzz5DZE9R700 (date of access: 15.08.2018) (in Russian).

6. Divers alert network [Electronic resource]. URL: https://www.daneurope.org/home (date of access: 15.08.2018).

7. Воздействие тралового промысла на донные экосистемы Баренцева моря и возможности снижения уровня негативных последствий. Мурманск: WWF, 2013. 55 с.

Impact of fishery trawling on the Barents Sea underwater ecosystems and a possibility of decrease negative consequences. Murmansk: WWF, 2013. 55 p. (in Russian).

8. Евсиков Г.И. Анализ системы управления и регулирования промысла в Беринговом море и пути их совершенствования // НТЦ «Дальрыбтехника». Владивосток, 2004. № 12 (15). 67 с.

Evsikov G.I. Management system analysis and trade regulation in the Bering Sea and a way of their improvement. STC «Dalrybtekhnika». Vladivostok, 2004. № 12 (15). 67p. (in Russian).

9. Gage J.D., Roberts J.M., Hartley J.P. et al. Potential impacts of deep-sea trawling on the benthic ecosystem along the northern European continental margin: a review. Amer. Fish. Soc. Symp. 2005. No. 41. P. 503–517.

10. Майсс А.А., Шевченко В.В. Экологические аспекты промышленного рыболовства: проблемы и пути решения // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Сб. науч. тр. Камчат. НИИ рыб.хоз-ва и океанографии. 2012. Вып. 26. Ч. 2. С. 87–97.

Mayss A.A., Shevchenko V.V. Ecological aspects of industrial fishing: problems and solutions // Kamchatka and northwest part of the Pacific Ocean biological resources researches. Scientific digest of Kamchatka Institute of fishing and oceanography. 2012. Issue 26. Part 2. P. 87–97 (in Russian).

11. Рыбаки и подлодки – история смертельного соседства [Электронный ресурс]. URL: https://flot.com/2015/190490/ (дата обращения: 15.08.2018).

Fishermen and submarines – history of the deadly neighbourhood [Electronic resource]. URL: https://flot.com/2015/190490/ (date of access: 15.08.2018) (in Russian).

12. Сахалинские экологи: наиболее вероятная причина гибели детеныша гренландского кита – остатки рыболовных сетей [Электронный ресурс]. URL: https://sakhalin.info/news/151000 (дата обращения: 15.08.2018).

Sakhalin ecologists: the most probable cause of the young bowhead whale death – the remains of fishing gears [Electronic resource]. URL: https://sakhalin.info/news/151000 (date of access: 15.08.2018) (in Russian).

13. Ghost fishing: the problem [Electronic resource]. URL: https://www.ghostfishing.org/ (date of access: 15.08.2018).

14. Cook B. Ghost Fishing – A Serious Ecological and Economic Issue [Electronic resource]. URL: https://www.deeptrekker.com/ghost-fishing (date of access: 15.08.2018).

15. Ismail M. Ghost fishing threatens marine life [Electronic resource]. URL: https://theaseanpost.com/article/ghost-fishing-threatens-marine-life (date of access: 15.08.2018).

16. Can we end «ghost fishing»? [Electronic resource]. URL: http://www.seaaroundus.org/can-we-end-ghost-fishing/ (date of access: 15.08.2018).

17. Riskas K. Ghost fishing [Electronic resource]. URL: https://sciencetranslation.wordpress.com/2009/12/22/ghost-fishing/ (date of access: 15.08.2018).

18. What is ghostfishing? [Electronic resource]. URL: https://oceanservice.noaa.gov/facts/ghostfishing.html (date of access: 15.08.2018).

19. Lamb J. «Ghost Fishing» Is Killing Coastal Wildlife [Electronic resource]. URL: https://daily.jstor.org/ghost-fishing/ (date of access: 15.08.2018).

20. Deadly Ghost Fishing [Electronic resource]. URL: https://greentumble.com/deadly-ghost-fishing/ (date of access: 15.08.2018).

21. Flannery J. Ghost fishing [Electronic resource]. URL: https://www.anglersjournal.com/columns/ghost-fishing (date of access: 15.08.2018).

22. van Erp P. Ghost fishing [Electronic resource]. URL: https://www.anglersjournal.com/columns/ghost-fishing (date of access: 15.08.2018).

23. Доклад о работе технического консультативного совещания по маркировке орудий лова [Electronic resource]. URL: http://www.fao.org/3/CA0196RU/ca0196ru.pdf (date of access: 15.08.2018).

Report on work of a technical advisory meeting on marking of tools of fishing [Electronic resource]. URL: http://www.fao.org/3/CA0196RU/ca0196ru.pdf (date of access: 15.08.2018) (in Russian).

24. Voluntary guidelines for the marking of fishing gear [Electronic resource]. URL: http://www.fao.org/3/MX-136EN/mx136en.pdf (date of access: 15.08.2018).

25. Marking of fishing gear, retrieval and notification of lost gear [Electronic resource]. URL: https://www.gov.uk/guidance/marking-of-fishing-gear-retrieval-and-notification-of-lost-gear (date of access: 15.08.2018).