УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 9 2016

ISSN 1681-7494

Импакт-фактор РИНЦ – 0,829

Журнал издается с 2001 г.

Электронная версия: http://www.natural-sciences.ru/
Правила для авторов: http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index
Подписной индекс по каталогу «Роспечать» – 70062

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
Ледванов Михаил Юрьевич, д.м.н., профессор
ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА
Курзанов Анатолий Николаевич, д.м.н., профессор
Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Свидетельство – ПИ № 77-11311.

Все публикации рецензируются. Доступ к журналу бесплатен.

Импакт-фактор РИНЦ = 0,829.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

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

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

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

Подписано в печать - 16.09.2016

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

Техническая редакция и верстка Кулакова Г.А. Корректор

Галенкина Е.С.

Способ печати – оперативный. Усл.п.л. 25 Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/9-2016 Подписной индекс 70062

© ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Химические науки (02.00.00)	
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ НА ОСНОВЕ СЭНДВИЧНОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛ – СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК – МЕТАЛЛ Алексеева Л.В., Антонычева Е.А., Иванов В.И., Коростелёва И.А., Повх И.В.	9
ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХОЛЕСТЕРИНА В КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТАХ Дёрина К.В.	14
КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ БЕЛКОВ МОЛОКА И КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ Загоруля И.П., Высокогорский В.Е., Лазарева О.Н., Мкртчан О.З.	20
ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ КАРБОНАТА ЛИТИЯ С НАНОПОРОШКОМ АЛЮМИНИЯ Ильин А.П., Кривошеина В.В., Роот Л.О.	24
ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННОЙ ЕМКОСТИ ЦЕОЛИТА КА _{со} Паранук А.А., Хрисониди В.А.	29
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПРОТОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛОВ, ДОПИРОВАННЫХ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ Танганов Б.Б., Могнонов Д.М., Стельмах С.А., Балданова Д.М., Очиров О.С., Тоневицкий Ю.В.	34
СИНТЕЗ НОВЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ N-ЗАМЕЩЕННЫХ ГАММА-ПИПЕРИДОНОВ Хаперская Л.С., Медетбекова Ж.М., Сарымзакова Р.К.	38
Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)	
ТРАВЯНИСТЫЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА АНТРОПОГЕННЫХ МЕСТ ОБИТАНИЯ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ (НА ПРИМЕРЕ Г. НЕРЮНГРИ) Зайцева Н.В.	43
ИТОГИ ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАБОТ ПО ПЕРЕСАДКЕ ДЕРЕВЬЕВ В МЕЖКУЛИСНЫЕ ПРОСТРАНСТВА И ВВЕДЕНИЮ ХВОЙНЫХ ИНТРОДУЦЕНТОВ В ЗЕЛЕНОЙ ЗОНЕ Г. АСТАНЫ Кабанова С.А., Нысанбаев Е.Н., Данченко М.А., Кабанов А.Н.	56
СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ В УСЛОВИЯХ ЗАСУШЛИВОЙ СТЕПИ	62
ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ГРИБОВ-МАКРОМИЦЕТОВ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ Полещук Т.Н., Полещук В.А.	67
КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЕЛЕНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПОСЕЛЕНИЙ Потапова Е.В.	72
ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ АГРОТЕМНОГУМУСОВЫХ ОТБЕЛЕННЫХ ПОЧВ ПРИМОРЬЯ Пуртова Л.Н., Щапова Л.Н., Емельянов А.Н., Тимошинов Р.В., Киселева И.В.	
ОЦЕНКА АЭРОИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ФИТОЛОГИЧЕСКИХ ИНГАЛЯТОРИЕВ Севостьянов В.А., Грязькин А.В.	82

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕЛЕНЫХ НАСАЖДЕНИЙ МАЛЫХ ГОРОДОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ Семенютина А.В., Белицкая М.Н., Ноянова Н.Г., Алферова Г.А.	87
ЭКСТРАКТЫ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА LAMIACEAE LINDL КАК РОСТРЕГУЛИРУЮЩИЕ И ПРОТИВОГРИБКОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТОМАТОВ Шемшура О.Н., Сейтбатталова А.И., Исмаилова Э.Т., Мазунина М.Н., Каптагай Р.Ж., Маханбетова Г.М.	92
Науки о Земле (25.00.00)	
ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕГА НА АКВАТОРИИ СЕВЕРНОЙ КОТЛОВИНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Янчук М.С., Лопатина Д.Н	97
ИНДИКАЦИЯ ГОРНЫХ ГЕОСИСТЕМ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ $\mathit{Бражников}\ M.Л.$	
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ ГДИС ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ Воробьева Е.С., Севастьянов А.А.	108
ТЕХНОЛОГИЯ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГИС И ЭКСПРЕСС-ГЕОХИМИИ ДЛЯ ПОИСКОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ Глушкова Т.А., Лефтон О.Л., Талалай А.Г., Шинкарюк И.Е.	112
НЕРАВНОВЕСНЫЙ УРАН В ОКОЛОТРУБОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ ЗОЛОТИЦКОГО ПОЛЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ Киселев Г.П., Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В.	117
УГЛЕВОДОРОДНЫЙ СОСТАВ НЕФТЕЙ НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА Лазарев Д.А., Муравская Ю.А., Гузняева М.Ю., Туров Ю.П.	126
ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ Марахтанов В.П., Топчиев А.Г.	121
Марахтанов В.П., Топчиев А.Г. ПОЗДНИЙ СУБАТЛАНТИК ЮЖНОГО САХАЛИНА Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г.	
ВЛИЯНИЕ ПЕРЕОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА НА ТОЧНОСТЬ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В., Владов Ю.Р.	143
ГАББРО-НОРИТ-ДИОРИТОВАЯ АССОЦИАЦИЯ ХАМСАРИНСКОЙ ЗОНЫ (ТУВА): ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ, ГЕОХИМИИ, ИСТОЧНИКАХ МАГМ И ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЗИЦИИ Ойдуп Ч.К., Леснов Ф.П., Монгуш А.А., Лебедев В.И.	148
АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЕЙ ВОДЫ В СИСТЕМЕ ВЕЛИКИХ СЕВЕРОАМЕРИКАНСКИХ ОЗЕР Ослин С.Г., Смагин А.И.	155
СРАВНЕНИЕ СИБИРИ С ДРУГИМИ МАКРОРЕГИОНАМИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО УРОВНЮ РАЗВИТИЯ И СОЦИАЛЬНОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ	
Попов П.Л., Сараев В.Г.	160

ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ МАЛОГО ОЗЕРА (ВОДОСБОР ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА, АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ) Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Кокрятская Н.М., Алиев Р.А., Бычков А.Ю., Забелина С.А., Чупаков А.В.	172
АНАЛИЗ РЕСУРСНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ РАЗВИТИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ Степанько Н.Г.	178
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ¹³⁷ CS В РАСТЕНИЯХ И ПОЧВАХ ФОНОВЫХ ЗАПАДНО-СИБИРСКИХ ЛАНДШАФТОВ ТУНДРЫ И ТАЙГИ Усачева А.А., Семенков И.Н., Мирошников А.Ю.	185
ИЗУЧЕНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «МАЯТ» НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ Федорова Л.Л., Соколов К.О., Саввин Д.В.	190
ПОЛЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ Черный К.А.	196

CONTENTS

Chemical sciences (02.00.00)	
THERMOELECTRIC ELEMENT ON THE BASIS OF THE SANDWICH METAL-FERROELECTRIC-METAL STRUCTURE Alekseeva L.V., Antonycheva E.A., Ivanov V.I., Korosteleva I.A., Povkh I.V.	9
VOLTAMMETRIC DETERMINATION OF CHOLESTEROL IN DAIRY PRODUCTS Derina K.V.	14
CORRELATION ANALYSIS OF INDICATORS OF OXIDATIVE MODIFICATION OF PROTEINS IN MILK AND DAIRY PRODUCTS Zagorulya I.P., Vysokogorskiy V.E., Lazareva O.N., Mkrtchan O.Z.	20
INTERMEDIATE PRODUCTS OF COMBUSTION LITHIUM CARBONATE WITH ALUMINUM NANOPOWDER Ilin A.P., Krivosheina V.V., Root L.O.	24
RESEARCH OF THE ADSORPTIVE CAPACITY OF KA _{CO} ZEOLITE Paranuk A.A., Khrisonidi V.A.	29
THE THEORETICAL MODEL FOR EVALUATING THE PROTON CONDUCTIVITY POLYBENZIMIDAZOLES DOPED WITH PHOSPHORIC ACID Tanganov B.B., Mognonov D.M., Stelmakh S.A., Baldanova D.M., Ochirov O.S., Tonevitskiy Yu.V.	34
THE SYNTHESIS OF NEW BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS BASED ON N-SUBSTITUTED Γ-PIPERIDONES Khaperskaya L.S., Medetbekova Zh.M., Sarymzakova R.K.	38
Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)	
HERBACEOUS PLANT COMMUNITIES OF ANTHROPOGENIC HABITATS IN SOUTHERN YAKUTIA (FOR EXAMPLE ON NERUNGRI TOWN) Zaytseva N.V.	43
THE OUTCOMES OF THE PILOT PROJECTS ON TREE REPLANTATION INTO THE SPACES BETWEEN STRIPS AND INTRODUCTION OF CONIFEROUS INTRODUCENTS IN THE GREEN ZONE OF THE CITY OF ASTANA Kabanova S.A., Nysanbaev E.N., Danchenko M.A., Kabanov A.N.	56
RELATIVE ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF PERENNIAL GRASSES IN ARID STEPPE Kirichkova I.V., Belenkov A.I., Mezhevova A.S., Melikhov A.V.	62
THE INFLUENCE OF WEATHER AND BIOTIC FACTORS ON THE PRODUCTIVITY OF FUNGI-MACROMYCETES IN THE SOUTHERN PRIMORYE Poleschuk T.N., Poleschuk V.A.	67
CLASSIFICATION OF THE SETTLEMENTS GREENED AREA Potapova E.V.	72
INFLUENCE OF LONG-TERM USE OF FERTILIZERS ON FERTILITY OF AGROTEMNOGUMUSOVYH BLEACHED SOIL PRIMORYE Purtova L.N., Schapova L.N., Emelyanov A.N., Timoshinov R.V., Kiseleva I.V.	77
ASSESSMENT OF AERO IONIC ABILITY OF WOOD PLANTS FOR CREATION LOCAL PHYTOLOGICAL INHALATORIUMS Sevostyanov V.A., Grayzkin A.V.	82

STATE AND PROSPECTS IMPROVE STABILITY OF GREEN PLANTS SMALL TOWNS VOLGOGRAD REGION Semenyutina A.V., Belitskaya M.N., Noyanova N.G., Alferova G.A.	87
EXTRACTS OF PLANTS OF FAMILY AS LAMIACEAE LINDL GROWTH-REGULATORY AND ANTI-FUNGAL PREPARATIONS FOR THE PROTECTION TOMATOES Shemshura O.N., Seytbattalova A.I., Ismailova E.T., Mazunina M.N., Kaptagay R.Zh., Makhanbetova G.M.	92
Earth sciences (25.00.00)	
POLLUTION OF SNOW ON THE WATER AREA OF THE NORTHERN HOLLOW OF LAKE BAIKAL AND THE ADJACENT TERRITORY Belozertseva I.A., Vorobeva I.B., Vlasova N.V., Yanchuk M.S., Lopatina D.N.	97
INDICATION OF MOUNTAIN GEOSYSTEMS TO SATELLITE IMAGES Brazhnikov M.L.	104
OPTIMIZATION OF THE PLANNING PROCESS HYDRODYNAMIC STUDIES FOR THE CONDUCT OF EXPLORATION Vorobeva E.S., Sevastyanov A.A.	108
JOINT TECHNOLOGY OF GIS AND EXPRESS GEOCHEMISTRY TO SEARCH FOR AND COPPER MINERALIZATION PREDICTION Glushkova T.A., Lefton O.L., Talalay A.G., Shinkaryuk I.E.	
NON-EQUILIBRIUM URANIUM IN THE NEAR-CONTACT ZONE OF THE ZOLOTITSKOE KIMBERLITE FIELD OF ARKHANGELSK DIAMONDIFEROUS PROVINCE Kiselev G.P., Yakovlev E.Yu., Druzhinin S.V.	117
HYDROCARBON COMPOSITION OF SOME OIL FIELDS OF KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG Lazarev D.A., Muravskaya Yu.A., Guznyaeva M.Yu., Turov Yu.P.	126
TECHNOLOGY FOR GEOTECHNICAL MONITORING OF MAIN GAS PIPELINES ON THE TERRITORY THE PERMAFROST ZONE OF WESTERN SIBERIA Marakhtanov V.P., Topchiev A.G.	131
LATE SUBATLANTIC IN THE SOUTH OF SAKHALIN ISLAND Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G.	137
THE IMPACT REFLECTEDSIGNALS ON THE ACCURACY OF GLOBAL POSITIONING SYSTEMS TO MONITOR THE EARTH'S SURFACE DEFORMATIONS ON DEVELOPED HYDROCARBON DEPOSITS Nesterenko M. Yu., Tsvyak A.V., Vladov Yu.R.	
GABBRO-NORITE-DIOITE ASSOCIATION OF THE KHAMSARA ZONE (TUVA): FIRST DATA ON AGE, GEOCHEMISTRY, SOURCES OF MAGMAS, AND GEODYNAMIC POSITION Oydup Ch.K., Lesnov F.P., Mongush A.A., Lebedev V.I.	148
ANALYSIS OF WATER LEVEL FLUCTUATIONS IN THE GREAT NORTH AMERICAN LAKES Oslin S.G., Smagin A.I.	155
COMPARISON OF SIBERIA WITH OTHER MACROREGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION ON THE LEVEL OF DEVELOPMENT AND SOCIAL WELLBEING Popov P.L., Saraev V.G.	160

GEOCHEMISTRY OF THE SMALL LAKE BOTTOM SEDIMENTS (ONEGA LAKE CATCHMENT AREA, ARKHANGELSK REGION) Starodymova D.P., Shevchenko V.P., Kokryatskaya N.M., Aliev R.A., Bychkov A.Yu., Zabelina S.A., Chupakov A.V.	172
ANALYSIS OF RESOURCE CAPABILITIES AND ENVIRONMENTAL LIMITATIONS OF THE DEVELOPMENT OF THE DIFFERENT TERRITORIAL NATURAL AND ECONOMIC SYSTEMS Stepanko N.G.	178
DISTRIBUTION OF ¹³⁷ CS IN VEGETATION AND SOILS OF BACKGROUND TUNDRA AND TAIGA LANDSCAPES IN WESTERN SIBERIA Usacheva A.A., Semenkov I.N., Miroshnikov A.Yu.	185
THE STUDY OF THE GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE DEPOSIT «MAYAT» ON THE BASIS OF MODERN METHODS OF GPR DATA Fedorova L.L., Sokolov K.O., Savvin D.V.	190
FIELDS OF IONIZING RADIATION EMANATED FROM MATERIALS BASING ON POTASH SALT Chernyy K.A.	196

УДК 54.03

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ НА ОСНОВЕ СЭНДВИЧНОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛ – СЕГНЕТОЭЛЕКТРИК – МЕТАЛЛ

Алексеева Л.В., Антонычева Е.А., Иванов В.И., Коростелёва И.А., Повх И.В.

ФГБОУ ВО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения», Хабаровск, e-mail: valivi@mail.ru

Описан термоэлектрический элемент на основе тонкой сэндвичной системы металл – сегнетоэлектрик – металл. Эффект наблюдается в легированных кристаллах ниобата лития с двумя электродами из разных металлов. Величина квазистационарного тока резко возрастает при уменьшении толщины кристалла. Эффект наблюдается только в легированных кристаллах ниобата лития и имеет максимум для концентраций примеси железа около 0,3 вес. %. В данной работе предложена термохимическая модель исследуемого явления, обусловленного полем контактной разности потенциалов на границах раздела металл – сегнетоэлектрик. Модель предполагает, что электрохимическая окислительная реакция происходит в области контакта металл – сегнетоэлектрик, что приводит к появлению электрохимического потенциала. Полученные результаты можно использовать для разработки приемников излучения, а также при интерпретации экспериментальных результатов по изучению свойств сэндвичных пироэлектрических структур.

Ключевые слова: термовольтаический эффект, ниобат лития, сэндвичные структуры металл — сегнетоэлектрик — металл

THERMOELECTRIC ELEMENT ON THE BASIS OF THE SANDWICH METAL – FERROELECTRIC – METAL STRUCTURE

Alekseeva L.V., Antonycheva E.A., Ivanov V.I., Korosteleva I.A., Povkh I.V.

Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, e-mail: valivi@mail.ru

It was described the thermoelectric element on the basis of thin sandwich metal-ferroelectric-metal system. The effects was observed in doped lithium niobate crystals with two electrodes of different metals. The current value increases dramatically when you reduce the thickness of the crystal. The effect is observed only in doped lithium niobate crystals and has a maximum for concentrations of impurities of iron around 0,2 weight. %. This paper proposed thermal model of the investigated phenomena resulting from field contact potential difference on the borders of section of metal-ferroelectric material. The model assumes that the electrochemical oxidative reaction occurs in the area of contact of metal-ferroelectric, which leads to the appearance of electrochemical potential. The results obtained can be used to develop radiation receivers, as well as in the interpretation of experimental results on studying the properties of sandwiched metal-ferroelectric-metal structure.

 $Keywords: thermovoltaic\ effect, lithium\ niobate, sandwiched\ metal-ferroelectric-metal\ structure$

Твердотельные электрохимические источники ЭДС являются наиболее востребованными источниками энергии для микроэлектронной промышленности. В связи с этим интерес исследователей направлен на поиск новых более эффективных механизмов и способов генерации электрической энергии. В работе [8] описан термовольтаический эффект, заключающийся в возникновении электрического напряжения между противоположными гранями полупроводникового образца сульфида самария SmS при его нагреве до 400-500 K. Эффект проявлялся при наличии градиента концентрации донорной примеси, направленного в направлении расположения этих граней. Электрическое напряжение возникало при отсутствии градиента температуры вдоль направления расположения электродов на образце при нагреве, и поэтому не может быть объяснено классическим термоэлектрическим эффектом

Зеебека. Известен целый ряд таких неравновесных явлений в сегнетоэлектриках, которые не имеют однозначного теоретического описания. В частности, авторы [7] привлекают микроскопические механизмы существования неравновесных токов в сегнетоэлектриках, которые могут существовать долговременно. В работах [1, 2, 6, 9] описана термостимулированная ЭДС, возникающая только в высоколегированном железом кристалле ниобата лития с напыленными электродами из пары различных металлов. Знак термоЭДС определяется положением электродов, нанесенных напылением в вакууме на противоположные грани кристалла, и не зависит от ориентации кристаллографических осей образца относительно электродов.

В данной работе приведены результаты экспериментального исследования термостимулированных токов в тонкослойной структуре металл – ниобат лития – металл.

В отличие от классического пироэлектрического эффекта, величина наблюдаемого термоотклика пропорциональна увеличению температуры кристалла и не зависит от скорости ее изменения. Формула для термоиндуцированного напряжения на сопротивлении нагрузки $R_{_{\parallel}}$ выглядит в общем случае как

$$U_n = \gamma S R_n \frac{dT}{dt} + U_{n0} + P_{el} S R_n \Delta T \exp(-t/\tau), (1)$$

где S — площадь поверхности кристалла, покрытой нанесенным электродом; $P_{el} = (R_n S)^{-1} \Delta U_n / \Delta T$ – коэффициент, характеризующий величину термоЭДС в режиме измерения U_n (A/K×cм²); ΔU_n – изменение напряжения на R_n при изменении температуры образца на ΔT ; ΔT – разность начальной и конечной температур образца; U_{n^0} — первоначальное напряжение при T_0 (T_0 — начальная температура кристалла); τ время релаксации термоотклика; у - пироэлектрический коэффициент; t – время. Первый член в (1) соответствует классическому пироэффекту, а второй описывает собственно неравновесный термовольтаический эффект, значительно выделяющийся из общего сигнала благодаря большому времени релаксации ($\tau \ge 105$ c). Изучение эффекта проводилось с помощью медленной модуляции температуры кристалла в условиях термостата, термоЭДС фиксировалась в том числе в стационарных условиях.

В экспериментах использовались беспримесные и легированные железом кри-

сталлы НЛ с толщиной от 0,1 до 2 мм и площадью от 1 мм 2 до 3 см 2 . Металлические электроды наносились напылением в вакууме (толщиной от 0,1 до 1 мкм).

Были исследованы образцы с различными парами электродов: алюминий (Al) — хром (Cr), индий (In) — хром (Cr), алюминий (Al) — медь (Cu), серебро (Ag) — алюминий (Al). Исходя из требований экономичности, износостойкости и максимально наблюдаемой величины термоотклика в основном использовались пары электродов: алюминий (Al) — хром (Cr), медь (Cu) — алюминий (Al).

Специальные измерения показали, что эффект термоотклика имеет примерно одинаковую величину в кристаллах как У-, так и Z-срезов. Поскольку в установке применялись достаточно большие скорости нагрева [около 0,1 град. в с], то для кристаллов Z-среза пироток достигал значительной величины. Поэтому основные измерения проводились для кристаллов НЛ У-среза, где можно наблюдать термоотклик в чистом виде. Однако полностью избавиться от пироэффекта не удается – даже для образцов У-среза характерная зависимость напряжения $R_{...}$ от t обнаруживает начальный выброс (в момент включения нагрева). Выброс, по-видимому, связан с неточным срезом кристалла, а также блочной структурой кристалла и, следовательно, является компонентой пиротока. Произведенные оценки дают величину отклонения от чистого *Y*-среза в $1-3^{\circ}$, что вполне реально.

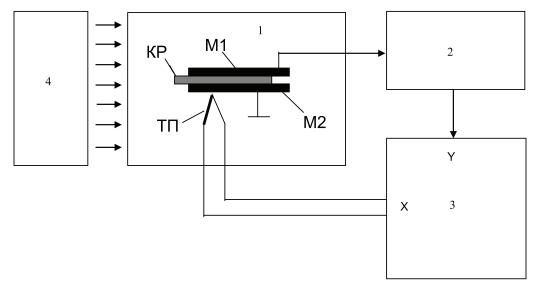


Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки: 1—кристаллодержатель (КР—кристалл; М1, М2— напыленные электроды из разных металлов; ТП—термопара); 2—усилитель постоянного тока V5—9; 3—графопостроитель Н 306; 4—электрическая печь

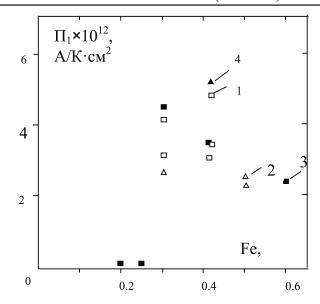


Рис. 2. Зависимость коэффициента Π_1 от концентрации примеси железа в кристалле НЛ для разных срезов и материалов контактов: $1-Al-Cr,\ Z-cpes;\ 2-In-Cr,\ Z-cpes;\ 3-Al-Cr,\ Y-cpes;\ 4-In-Cr,\ Y-cpes$

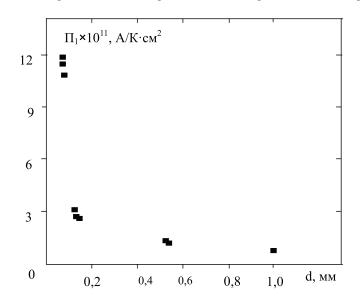


Рис. 3. Зависимость коэффициента Π_1 от толщины кристалла: $S = 5 \text{ мм}^2$; 0,3 вес. % Fe; Al - Cr

Для изучения зависимости величины термоотклика от концентрации примеси использовались кристаллы НЛ с одинаковыми площадью и толщиной [$S=0.5~{\rm cm}^2,~d=1~{\rm mm}$]. Концентрация железа варьировалась в пределах от $1.3\cdot10^{-2}$ до $0.7~{\rm Bec.}$ %.

Результаты представлены на рис. 2. Для концентрации примеси менее 0,25 вес. % эффект термоотклика не наблюдается.

Начиная с концентрации примеси $0.25~{\rm Bec.}\,\%$, коэффициент Π_1 резко возрастает и достигает максимума

 $\left(\Pi_1^{\text{max}} = 5 \cdot 10^{-12} \text{ A/см}^2 \text{K}\right)$ при концентрации 0.3 - 0.4 вес.% Fe.

На этой же установке исследовалась зависимость величины коэффициента Π_1 от геометрии образца. Были получены следующие результаты: величина Π_1 резко возрастает с уменьшением толщины кристалла (рис. 3), Π_1 нелинейно зависит от площади образца (рис. 4).

При детальном изучении термоотклика было обнаружено, что Π_1 не является константой, а зависит от температуры образца, т.е. $\Pi_1 = \Pi_1(\Delta T) = J \cdot R_{_{\parallel}}$ (рис. 5).

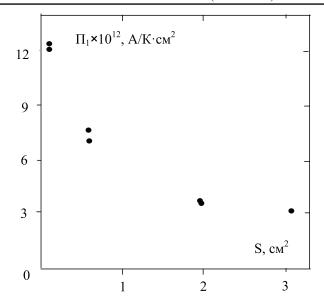


Рис. 4. Зависимость коэффициента Π_1 от площади кристалла (толщина кристаллов d=1 мм; 0,3 вес. % Fe, электроды In–Cr, Z-срез, $\Delta T=20\,^{\circ}$ C)

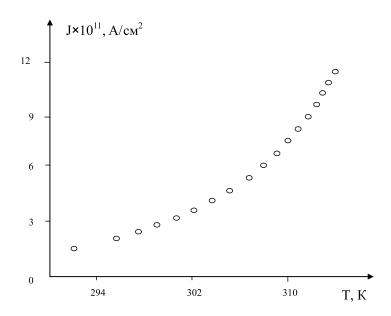


Рис. 5. Зависимость плотности тока от температуры кристалла $(LiNbO_3: Fe-0,43 \ bec.\%, 10\times5\times1 \ mm^3; Y-cpes; Al-Cr)$

Измерения показали, что термовольтаический эффект имеет примерно одинаковую величину в кристаллах как Y-, так и Z-срезов. Поскольку в установке применялись достаточно большие скорости нагрева (около 0,1 K/c), то для кристаллов полярного Z-среза пироток достигал значительной величины. Поэтому основные измерения проводились для кристаллов ниобата лития Y-среза, где можно наблюдать термоотклик в чистом виде.

Металлические электроды наносились напылением в вакууме (толщиной от 0,1 до 1 мкм). Были исследованы образцы с различными парами электродов: алюминий – хром, индий – хром, алюминий – медь, серебро – алюминий.

Для изучения зависимости величины термоЭДС от концентрации примеси использовались кристаллы ниобата лития с одинаковыми площадью и толщиной ($S=0.5~{\rm cm}^2,~d=1~{\rm mm}$). Концентрация

железа варьировалась в пределах от 1,3·10⁻² до 0,6 вес. %. Результаты представлены на рис. 1. Для концентрации примеси менее 0,25 вес. % термовольтаический эффект не наблюдается. Начиная с концентрации примеси 0,25 вес. %, коэффициент P_{al} резко возрастает и достигает максимума $(P_1 = 5.10^{-12} \,\text{A/cm}^2 \,\text{K})$ при концентрации 0,3-0,4 вес. % Fe. Таким образом, из результатов исследования следует, что в тонкослойной системе металл - сегнетоэлектрик - металл термовольтаический отклик значительно возрастает при уменьшении толщины кристалла, что позволяет говорить о приконтактном механизме эффекта (связанном, например, с диффузией электродного металла в кристалл).

Известные контактные явления в сэндвичных структурах с сегнетоэлектриками не объясняют наблюдаемые квазистационарные токи [4, 5]. Наличие начального напряжения U_{n0} на образце позволяет говорить о неравновесной природе термостимулированного тока. При исследовании зависимости величины коэффициента P_{el} от геометрии образца было выявлено, что величина P_{el} резко возрастает с уменьшением толщины кристалла (рис. 2).

В данной работе предложена термохимическая модель исследуемого явления, обусловленного полем контактной разности потенциалов на границах раздела металл — сегнетоэлектрик. Предполагается, что появление тока вызвано появлением разности потенциалов в области контакта электрод — кристалл. В случае одинаковых материалов электродов контактные разности потенциалов равны и противоположно направлены. Тогда результирующая ЭДС равна нулю.

В аналогичном эксперименте из-за высоких электрических полей [более 10³ В/см] наблюдалась окраска центров, подтверждая наличие электрохимических реакций в кристаллах. Модель предполагает, что электрохимическая окислительная реакция

происходит в области контакта металл — сегнетоэлектрик, что приводит к появлению электрохимического потенциала.

Полученные результаты можно использовать для разработки приемников излучения [3–5], а также при интерпретации экспериментальных результатов по изучению свойств сэндвичных пироэлектрических структур [1, 2, 6, 9, 10].

Список литературы

- 1. Здоровцев Г.Г. Термостимулированная ЭДС в сэндвичной структуре металл ниобат лития металл / Г.Г. Здоровцев, В.И. Иванов, Н.В. Марченков // Информатика и системы управления. 2005. № 1 (09). С. 55–60.
- 2. Здоровцев Г.Г. Термоэлектрические свойства несимметричной сэндвичной структуры металл-ниобат лития-металл / Г.Г. Здоровцев, В.И. Иванов, Ю.М. Карпец, С.В. Климентьев // Известия Томского политехнического университета. -2007. Т. 311. № 2. С. 102–105.
- 3. Здоровцев Г.Г. Характеристики приемника излучения на основе структуры металл-сегнетоэлектрик-металл / Г.Г. Здоровцев, В.И. Иванов, С.В. Климентьев, В.В. Криштоп // Известия ВУЗов. Приборостроение. -2006. Т. 49. № 8. С. 45-46.
- 4. Иванов В.И. Использование динамического пироэффекта в термовольтаическом приемнике излучения / В.И. Иванов, С.В. Климентьев, В.В. Корчевский // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2010. № 2 (17). С. 13–18.
- 5. Иванов В.И. Тепловые приемники излучения на основе тонкослойных структур металл сегнетоэлектрик металл: монография / В.И. Иванов, Ю.М. Карпец, С.В. Климентьев. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. 80 с.
- 6. Иванов В.И. Термостимулированные токи в несимметричной сэндвичной структуре металл сегнетоэлектрик металл: монография / В.И. Иванов, Ю.М. Карпец, С.В. Климентьев. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. 67 с.
- 7. Иванов В.И. Термоэдс в легированных кристаллах ниобата лития с электродами из различных металлов / В.И. Иванов, Ю.М. Карпец, С.В. Климентьев // Известия высших учебных заведений. Физика. 2001. № 1. С. 96—97
- 8. Казанин М.М. Термовольтаический эффект в поликристаллическом SmS / М.М. Казанин, В.В. Каминский, С.М. Соловьев // ЖТФ. 2009. Т. 35. В. 21. С. 16–18.
- 9. Канаев И.Ф. Аномально сильное влияние электродов на фотогальванический ток в кристаллах LiNbO3 / И.Ф. Канаев, В.К. Малиновский // Автометрия. -1995. -№ 5. C. 3-9.
- 10. Ivanov V.I. Thermo-emf in doped lithium niobate crystals with electrodes made of different metals / V.I. Ivanov, Yu.M. Karpets, S.V. Kliment'ev // Russian Physics Journal. 2001. Vol. 44. № 1. P. 119–121.

УДК 543.552

ВОЛЬТАМПЕРОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ХОЛЕСТЕРИНА В КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТАХ

Дёрина К.В.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, e-mail: derinaksenia@yandex.ru

Известно, что холестерин выполняет в организме человека важнейшие функции. Нарушение холестеринового биосинтеза имеет серьезнейшие последствия для пациента. При наличии подобных нарушений проводится в том числе заместительная диетическая терапия. Разработана методика вольтамперометрического определения содержания холестерина в кисломолочных продуктах. Подобраны рабочие условия определения холестерина: рН 6,86, ν = 60 мВ/с, рабочий электролит – фосфатный буфер. Линейная зависимость тока электроокисления холестерина при потенциале + 0,77 В от его концентрации наблюдалась в интервале 0,8–80 ммоль/дм³ с пределом обнаружения 0,1 ммоль/дм³. Проведено сравнительное определение холестерина в продуктах питания вольтамперометрическим и флюориметрическим методами.

Ключевые слова: холестерин, синдром Смита – Лемли – Опитца, модификатор, вольтамперометрия, кисломолочные продукты

VOLTAMMETRIC DETERMINATION OF CHOLESTEROL IN DAIRY PRODUCTS Derina K.V.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: derinaksenia@yandex.ru

Cholesterol plays a vital role in a human body. Cholesterol biosynthesis imbalance results serious consequences for human health. Cholesterol dietary supplement is necessary in such case. We report on a cholesterol electrochemical behavior on chemically modified electrode. All experiments were carry out on a voltammetric workstation. We investigated pH, electrochemical concentration (potential and time) and scan rate effect on cholesterol electrooxidation signal. Working conditions were pH = 6,86, v = 60 mV/s. The peak potential was + 0,77 V. We received a wide linear range ut to 80 mol/dm³. The detection limit was 0,1 mol/dm³. Comparative determination of cholesterol concentration in food by voltammetric and fluorimetric techniques was carried out.

 $Keywords: cholesterol, modifier, Smith's \ syndrome-Lemli-Opitz, cobalt \ phthalocyanine, voltammetry, spectrophotometry, diary products$

Синдром Смита – Лемли – Опитца (СЛОС) – генетическое заболевание, характеризующееся нарушением биологического синтеза холестерина и симптоматически выражающееся в развитии у пациента пороков сердца, легких, почек, пищеварительного тракта, а также нарушении работы иммунной системы. Частота заболеваемости составляет 1 на 20000–40000 новорожденных [8, 13].

При лечении данного заболевания, как правило, проводят заместительную терапию, посредством включения в диету содержащих холестерин пищевых продуктов. Как правило, в качестве подобных продуктов выступают желтки куриных яиц, молочные и мясные продукты. В данной работе в качестве объектов исследования были выбраны кисломолочные продукты, применяемые в заместительной терапии СЛОС.

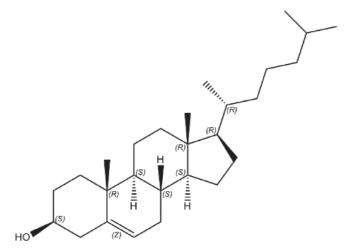


Рис. 1. Структурная формула холестерина (5-холестен-3β-ола)

Наиболее распространенными в анализе пищевых продуктов являются хроматографические методики, что обусловлено высокой чувствительностью, точностью и простотой устранения мешающего влияния матрицы пробы [4, 6, 9]. Тем не менее данный тип методик имеет также ряд недостатков. Прежде всего, высокая стоимость оборудования, а также необходимая высокая квалификация персонала. Помимо этого, низкая эффективность в поточном лабораторном анализе. Электрохимические методы анализа характеризуются как высокой чувствительностью, так и высокой точностью, а также простотой исполнения и относительной дешевизной оборудования. В связи с чем в данной работе в качестве основной аналитической техники была выбрана электрохимия.

Известно, что электрохимическое определение большинства органических молекул с молярной массой более 100 г/моль требует применения высоких перенапряжений [1]. В связи с чем, большинство вольтамперометрических методик определения органических соединений основано на применении модификаторов электродной поверхности. Известно, что модифицированные электроды, в том числе органическими соединениями [2], можно с успехом применять для определения различных биологически активных веществ [1, 2]. В данной работе в качестве модификатора применялся фталоцианин кобальта (ФК). Поскольку кобальт, являясь металлом переходной группы, способен выступать в качестве медиатора электронного переноса и электрокатализатора [1, 6].

Основной целью данной работы явилась разработка методики вольтамперометрического определения холестерина в продуктах питания (в том числе кисломолочных продуктах) с применением модифицированного платинового электрода. В качестве метода сравнения использовался флюориметрический метод определения холестерина по реакции Златкиса — Зака.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выступал холестерин, полученный из кисломолочных продуктов (сметана, кефир, ряженка) путем жидкофазной экстракции.

В качестве стандартного вещества для сравнения использовали лиофилизированный порошок холестерина (С8667-25G, содержание чистого вещества ≥ 99 % производства Sigma Aldrich, Германия). Фталоцианин кобальта (II) приобретался в виде лиофилизированного порошка (307696, содержание чистого вещества ≥ 95 % производства Sigma Aldrich, Германия).

Поскольку холестерин отличается низкой растворимостью в водных средах, применяли эмульгирую-

щий агент — t-октилфеноксиполиэтоксиэтанол (Triton X-100) (T8787, содержание чистого вещества $\geq 96\%$ производства Sigma Aldrich, Германия).

Электрохимические исследования проводили на универсальном вольтамперометрическом анализаторе TA-Lab (ООО «Томьаналит», г. Томск, Россия).

Флюориметрическое определение холестерина проводили на спектрофлюориметре Hitachi F-7000 (Hitachi Ltd, Япония).

Пробоподготовка образцов продуктов питания

Пробоподготовка осуществлялась жидкостной экстракцией изопропанолом. Образец помещали в пробирку типа Эппендорф, куда также вносился изопропиловый спирт (в соотношении 1:1), после чего проводили центрифугирование при 4000 об/мин в течение 40 минут. Затем полученный супернатант собирали и декантировали. Полученный декантат использовался для дальнейших исследований.

Вольтамперометрическое определение холестерина

В работе использовалась трехэлектродная ячейка, состоящая из модифицированного платинового электрода (ПЭ), как рабочего электрода. В качестве электрода сравнения и вспомогательного электрода применяли хлоридсеребряные электроды.

Декантат в объеме 10 мкл отбирался дозатором со сменным наконечником и вносился в кварцевый стакан объемом 20 мл, в который предварительно наливалось 10 мл рабочего электролита. После чего осуществлялось перемешивание посредством стационарной вибрации рабочего электрода в течение 10 с. Затем проводилось успокоение системы в течение 20 с. После чего, осуществлялась регистрация полученного тока в постояннотоковом режиме с дифференцированием при скорости развертки потенциала v=60 мВ/с, рабочий диапазон потенциалов от +0.5 до +1.0 В. Накопление аналита в приэлектродном пространстве не проводилось.

Флюориметрическое определение холестерина

Предварительно подготавливался окрашивающий агент, состоящий из растворенного в смеси кислот (ледяной уксусной и концентрированной серной кислот) хлорида железа (III) шестиводного. Концентрация хлорида железа (III) в растворе составила 0,93 моль/дм³.

Затем смешивались равные объемы окрашивающего агента и декантата, переносились в кювету. Проводилась регистрация интенсивности флюоресценции.

Исследования проводились при следующих условиях: время интеграции 1 с, спектральная пропускная способность канала 2 нм, шаг сканирования 0,1 с.

Результаты исследования и их обсуждение

Для определения холестерина вольтамперометрически на модифицированном стеклоуглеродном электроде подобраны следующие рабочие параметры: дифференциальный режим постояннотоковой вольтамперометрии, рН рабочего электролита составил 6,86, скорость развертки потенциала — 60 мВ/с. Полученный аналитический сигнал применялся для количественного определения холестерина в кисломолочных продуктах.

Для построения градуировочного графика приготавливалась серия стандартных растворов холестерина различной концентрации и измерялась высота тока электроокисления холестерина в одинаковых условиях. Затем строился график зависимости высоты аналитического сигнала от его концентрации в растворе. Прямолинейный характер зависимости сохраняется в интервале концентраций от 0,8 до 80 ммоль/дм³ уравнением и описывается $I_{\rm n} = 10,495 \cdot {\rm C} + 1,5041 (I_{\rm n}, {\rm HA; C, ммоль/дм^3})$ \ddot{c} r = 0,9978. Предел обнаружения, рассчитывали по 3σ критерию [12]. Значение предела обнаружения составило 0,1 ммоль/дм³. Относительное стандартное отклонение Sr не превышает 8,2% во всем диапазоне исследуемых концентраций.

С помощью предложенной методики было определено содержание холестерина в ряде кисломолочных продуктов.

На рис. 3 показана анодная вольтамперограмма окисления холестерина, содержащегося в стандартных растворах холестерина (производства Sigma Aldrich, Германия). Добавка стандартного раствора холестерина известной концентрации приводит к росту тока пика электроокисления холестерина при потенциале + 0,77 В. Следовательно, полученный аналитический сигнал исследуемого образца молока обусловлен электроокислением холестерина. Нахождение концентрации холестерина в исследуемых образцах продуктов питания проводили по градуировочному графику.

Проводились исследования влияния рН среды на получаемый аналитический сигнал с целью подбора рабочих условий измерения содержания холестерина в образцах объектов. Результаты исследования представлены на рис. 4–5.

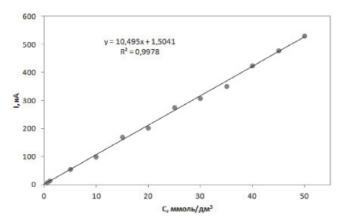


Рис. 2. Зависимость тока электроокисления холестерина от его концентрации в фосфатном буферном растворе (pH=6,86) на модифицированном Π Э

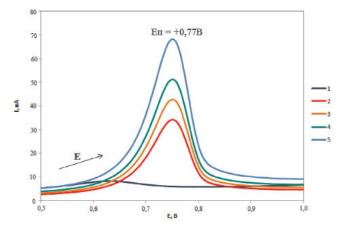


Рис. 3. Вольтамперограммы электроокисления холестерина:
1 — фоновая кривая (С_{хол} = 0,0 ммоль/дм³); 2 — концентрация холестерина в ячейке составляет 0,8 ммоль/дм³; 3 — концентрация холестерина в ячейке составляет 1,6 ммоль/дм³; 4 — концентрация холестерина в ячейке составляет 3,2 ммоль/дм³; 5 — концентрация холестерина в ячейке составляет 6,4 ммоль/дм³. рН 6,86, v = 60 мВ/с

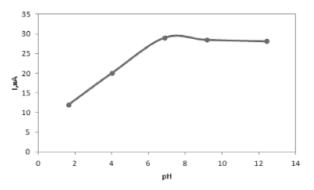


Рис. 4. Влияние рН среды на величину тока окисления холестерина на модифицированном ПЭ

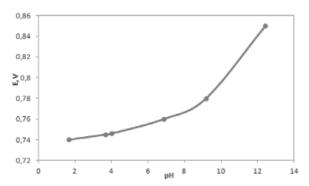


Рис. 5. Влияние pH среды на величину потенциала пика окисления холестерина на модифицированном ПЭ

В качестве метода сравнения применялся флюориметрический метод с применением реакции Златкиса – Зака, заключающийся в измерении оптической плотности раствора, содержащего окрашенный комплекс холестерина с хлорным железом (III) при характеристической длине волны. Для определения длины волны, соответствующей максимуму светопоглощения, были записаны спектры стандартного раствора холестерина и образцов продуктов питания в интервале длин волн 400-650 нм. Установлено, что максимум поглощения как для стандартного раствора, так и для исследуемого кисломолочного продукта соответствует 475,0 нм, что совпадает с литературными данными [5, 7, 15].

На рис. 5–6 представлены результаты построения градуировочной зависимости для определения количественного содержания холестерина методом флюориметрии по Златкису — Заку. Показано, что градуировочная зависимость линейна в широком диапазоне концентраций. Для построения зависимости готовили серию стандартных растворов из стандартного порошка холестерина и записывали спектры поглощения, на основании которых был построен график зависимости величины пика поглощения от концентрации холестерина в кювете (рис. 7).

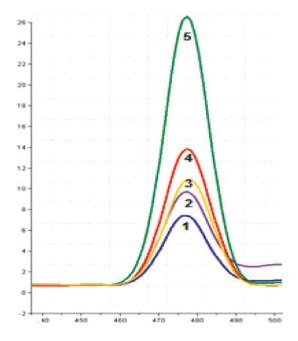


Рис. 6. Спектры поглощения комплекса железа (III) с холестерином в зависимости от концентрации холестерина в объекте исследования, концентрация холестерина составляет: 1-10 ммоль/дм³; 2-20 ммоль/дм³; 3-30 ммоль/дм³; 4-40 ммоль/дм³; 5-50 ммоль/дм³

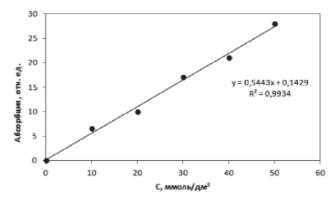


Рис. 7. Зависимость величины пика поглощения холестерина от его концентрации в стандартном растворе

Результаты определения холестерина (ммоль/дм ³) в продуктах питания
вольтамперометрическим и флюориметрическим методами. $n = 6, p = 0.95, t_{\text{таб}} = 2.57$

Образец	Производитель	Вольтамперометрия	Sr	Флюориметрия	Sr	t _{эксп}
Сметана,	«Деревенское молочко»	$58,06 \pm 4,65$	0,08	$73,21 \pm 3,67$	0,05	1,65
жирность	«Простоквашино»	$57,16 \pm 2,86$	0,05	$64,63 \pm 5,17$	0,08	2,08
10%	«Домик в деревне»	$48,18 \pm 0,23$	0,05	$45,37 \pm 1,36$	0,03	1,87
Кефир,	«Простоквашино»	$18,02 \pm 1,44$	0,03	$17,47 \pm 0,67$	0,04	2,01
жирность	«Деревенское молочко»	$17,56 \pm 1,22$	0,07	$18,23 \pm 0,92$	0,05	1,95
2,5 %	«Домик в деревне»	$15,47 \pm 0,62$	0,04	$16,26 \pm 1,46$	0,09	1,72
Ряженка,	«Деревенское молочко»	$16,48 \pm 1,32$	0,08	$16,35 \pm 1,12$	0,07	1,23
жирность	«Простоквашино»	$15,75 \pm 0,47$	0,03	$16,09 \pm 0,96$	0,06	2,12
4%	«Домик в деревне»	$15,84 \pm 0,79$	0,05	$16,01 \pm 1,12$	0,07	1,54

Для определения содержания холестерина проводили предварительную пробоподготовку образца продукта питания, согласно описанной выше процедуре.

Затем собранный и декантированный супернатант смешивали с окрашивающим агентом (хлорид железа (III), растворенный в смеси кислот) по методике [12, 15]. Затем проводили регистрацию спектра поглощения и по уравнению регрессии $Abs = 0.5443 \cdot C + 0.1429 \ (R = 0.9934)$ определяли концентрацию холестерина в образце с учетом разбавления. Результаты определения содержания холестерина двумя методами представлены в таблице.

При сопоставлении параметров линейности и относительных стандартных отклонений можно сделать вывод об удовлетворительной сходимости между результатами, полученными по вольтамперометрической и флюориметрической методикам анализа.

Полученные результаты хорошо согласуются с литературными данными [3, 5, 7, 10].

Таким образом, проведённые исследования показывают, что процесс электроокисления холестерина на модифицированном ПЭ сильно зависит от водородного показателя фонового электролита, что соответствует применению эмульгирующего агента амфолитной природы. Причём наибольшая величина аналитического сигнала соответствует рН = 6,86. На основании данных циклической вольтамперометрии и характера зависимостей тока и потенциала от $v^{1/2}$ и $\log(v^{1/2})$ соответственно установлено наличие двух лимитирующих стадий процесса: диффузии вещества в приэлектродное пространство и непосредственно электрохимической реакции. По результатам определения холестерина в модельных средах проведен подбор рабочих условий определения холестерина в продуктах питания методом вольтамперометрии. Проведено сравнительное определение холестерина в ряде продуктов питания с применением вольтамперометрической и флюориметрической методик. Полученные результаты согласуются между собой.

Таким образом, применение фталоцианина кобальта (II) в качестве модификатора электродной поверхности позволило получить стабильный электрохимический отклик при $+0.77~\mathrm{B}$ в анодной области потенциалов. На основе полученного сигнала

была разработана методика определения холестерина в кисломолочных продуктах, которая может применяться как для контроля качества пищевой продукции, так и для повышения успешности терапии аутосомальных заболеваний.

Данная работа поддержана Российским фондом фундаментальных исследований (грант РФФИ № 16-33-00319 мол_а «Мой первый грант»).

Список литературы

- 1. Комптон Р., Бэнкс К. Постигая вольтамперометрию. Томск: Изд. ТПУ, 2015. 508 с.
- 2. Слепченко Г.Б., Мартынюк О.А., Постников П.С., Трусова М.Е., Бондарев А.А., Смирнов И.В., Быстрицкий Е.Л. Новые возможности вольтамперометрического определения фармацевтических препаратов на органомодифицированных электродах // Сибирский медицинский журнал. 2009. Т. 24. № 2–2. С. 21–24.
- 3. Chen Y.-Z., Kao Sh.-Ya., Jian H.-Ch., Yu Yu-M., Li J.-Y., Wang W.-H., Chung-Wei Tsai Determination of cholesterol and four phytosterols in foods without derivatization by gas chromatography-tandem mass spectrometry // Journal of Food and Drug Analysis. 2015. Vol. 23. Iss. 4. P. 636–644.
- 4. Gonçalves Albuquerque T., Oliveira M.B. P.P., Sanches-Silva A., Costa H.S. Comparison between high performance and ultra-high performance liquid chromatography // Food Chemistry. 2016. Vol. 193. P. 18–25.
- 5. John J., Reghuwanshi A., Aravind U.K., Aravindakumar C.T. Development and validation of a high-performance thin layer chromatography method for the determination of cholesterol concentration // Journal of Food and Drug Analysis. 2015. Vol. 23. Iss. 2. P. 219—224.

- 6. Kamelska A.M., Jarmołowska B., Bryl K. A simplified enzymatic method for total cholesterol determination in milk // International Dairy Journal. 2015. Vol. 50. P. 50–57.
- 7. Lee Y.-J., Park J.-Y. Nonenzymatic free-cholesterol detection via a modified highly sensitive macroporous gold electrode with platinum nanoparticles // Biosensors and Bioelectronics. 2010. Vol. 26, Iss. 4. P. 1353–1358.
- 8. McNamara D.J. Encyclopedia of Human Nutrition (Third Edition). New York: Academic Press, 2013. 652 p.
- 9. Mikkelsen S.R., Corton E. Bioanalytical chemistry // John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2004. P. 361.
- 10. Nirala N.R., Abraham Sh., Kumar V., Bansal A., Srivastava A., Saxena P.S. Colorimetric detection of cholesterol based on highly efficient peroxidase mimetic activity of graphene quantum dots // Sensors and Actuators B: Chemical. 2015. Vol. 218. P. 42–50.
- 11. Oldham K.B., Myland J.C., Bond A.M. Electrochemical Science and Technology: Fundamentals and applications. New York: John Wiley & Sons 456 p.
- 12. Parmar A., Sharma Sh. Derivative UV-vis absorption spectra as an invigorated spectrophotometric method for spectral resolution and quantitative analysis: Theoretical aspects and analytical applications // TrAC Trends in Analytical Chemistry. 2016. Vol. 77. P. 44–53.
- 13. Róg T., Vattulainen I. Cholesterol, sphingolipids, and glycolipids: what do we know about their role in raft-like membranes? // Chem. Phys. Lipids. –2014. Vol. 184. P. 82–104.
- 14. Roth G.A., Fihn S.D., Mokdad A.H., Aekplakorn W., Hasegawa T., Lim S.S. High total serum cholesterol, medication coverage and therapeutic control: an analysis of national health examination survey data from eight countries // Bulletin of the World Health Organization. 2011. Vol. 89 (2). P. 92–101.
- 15. Thakur R.K., Villette C., Aubry J.M., Delaplace G. Spectrophotometric method associated with formulation scans for application of hydrophilic–lipophilic deviation concept in food emulsions // Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. 2007. –Vol. 301. Iss. 1–3. P. 469–474.

УДК 57.033

КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ МОДИФИКАЦИИ БЕЛКОВ МОЛОКА И КИСЛОМОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ

¹Загоруля И.П., ¹Высокогорский В.Е., ¹Лазарева О.Н., ²Мкртчан О.З.

¹ФГБОУ ВО «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Омск, e-mail: dionizag@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Омский государственный педагогический университет», Омск

В исследовании выявлены определённые закономерности распределения уровня окислительной модификации белков молока, кефира, ряженки и варенца. Между показателями содержания альдегиддинитрофенилгидразонов нейтрального характера выявлена значимая прямая корреляция показателей всех четырёх продуктов. Среди показателей молока и кефира установлена обратная корреляция между альдегиддинитрофенилгидразонами нейтрального характера и кетондинитрофенилгидразонами основного характера, а между показателями варенца и ряженки — среди альдегиддинитрофенилгидразонами основного характера, и альдегиддинитрофенилгидразонами основного характера. Между другими показателями спонтанной окислительной деструкции белков и всеми показателями индуцированной модификации корреляционных связей не установлено. Полученные результаты исследования окислительной модификации белков молока и кисломолочных продуктов свидетельствуют о наличии зависимости сильной силы между показателями альдегиддинитрофенилгидразонов нейтрального характера, как молока так и кисломолочных продуктов.

Ключевые слова: свободнорадикальное окисление, окислительная модификация белков, молоко, кефир, ряженка, варенец

CORRELATION ANALYSIS OF INDICATORS OF OXIDATIVE MODIFICATION OF PROTEINS IN MILK AND DAIRY PRODUCTS

¹Zagorulya I.P., ¹Vysokogorskiy V.E., ¹Lazareva O.N., ²Mkrtchan O.Z.

¹Omsk State Agrarian University n.a. P.A. Stolypin, Omsk, e-mail: dionizag@mail.ru; ²Omsk State Pedagogical University, Omsk

The study revealed certain regularities of distribution of the level of oxidative modification of proteins of milk, yogurt, dairy products and make. Between the content of aldegiddinitrofenilgidrazon neutrality and neutrality keton-dinitrofenilgidrazon revealed significant direct correlation metrics of all four products. Among the indicators of milk and kefir installed reverse correlation between neutrality and aldegiddinitrofenilgidrazon ketondinitrofenilgidrazon of the main character, and between make and dairy products among the aldegiddinitrofenilgidrazon neutral nature and aldegiddinitrofenilgidrazon of the main character. Among other spontaneous oxidizing destruction of proteins and all indicators induced modification of correlations is not installed. The results of the study of oxidative modification of proteins of milk and dairy products indicate whether the strong forces between the aldegiddinitrofenilgidrazon neutrality and the ketondinitrofenilgidrazon neutrality, as milk and dairy products.

Keywords: free-radical oxidation, oxidative modification of proteins, milk, yogurt, dairy products, make

В настоящее время общепризнано, что свободные радикалы участвуют в самых разнообразных биологических процессах, молекулярно-клеточных взаимодействиях, в различных адаптивных реакциях организма к воздействиям факторов внешней и внутренней среды. Одним из важных факторов адаптивных механизмов организма к новым условиям окружающей среды является баланс прооксидантов и антиоксидантов [7]. В качестве маркера нарушений этого баланса, развития окислительного стресса ранее использовались показатели пероксидации липидов, однако в последнее время больше внимания привлекают продукты окислительной модификации белков, так как карбонильные производные белков более стабильны и циркулируют в крови

более длительный период, чем продукты пероксидации липидов. Модифицированные белки сохраняются несколько часов и даже дней, а продукты пероксидации липидов разрушаются в течение минут [4, 5]. Кроме того, некоторые авторы считают, что именно белки мембран в первую очередь подвергаются окислительной деструкции, а модифицированные белки выступают в качестве стимуляторов пероксидации липидов [4]. В связи с этим определение продуктов окислительной модификации белков становится предпочтительней для характеристики развития окислительного стресса или патологического процесса.

Однако, несмотря на многочисленные сведения о нарушениях окислительной модификации белков (ОМБ) при воздействии

различных факторов и патологических состояниях [2, 7], существует много вопросов по механизму окислительного повреждения белков, патогенетической роли окислительной модификации белков [9].

Регистрация 2,4-динитрофенилгидразонов по методу, описанному Е.Е. Дубининой и соавт. [6], при нескольких длинах волн позволяет определять разные карбонильные производные - альдегиддинитрофенилгидразоны и кетондинитрофенилгидразоны как нейтрального, так и основного характера. Считается, что на ранних стадиях окислительного стресса преобладают альдегиддинитрофенилгидразоны, а на поздних – кетондинитрофенилгидразоны [8]. В результате воздействия свободнорадикальных процессов вначале происходит фрагментация белков, сопровождающаяся образованием альдегиддинитрофенилгидразонов, а затем развивается агрегация белков с образованием кетондинитрофенилгидразонов. Однако недостаточно экспериментальных и клинических подтверждений данного положения, отсутствует однозначное мнение о патогенетической значимости динитрофенилгидразонов основного и нейтрального характера.

Цель данного исследования — выявление взаимосвязи различных карбонильных производных белков молока и кисломолочных продуктов.

Материалы и методы исследований

Для оценки окислительной модификации белков использовали метод A.Z. Reznick & L. Parker в модификации Е.Е. Дубининой [6]. Метод определения продуктов карбонильных производных белков основан на том, что конечные продукты свободнорадикального окисления белков могут количественно реагировать с 2,4-динитрофенилгидразином (2,4-ДНФГ) с образованием 2,4-динитрофенилгидразонов.

Для полной характеристики степени воздействия свободнорадикального окисления содержание карбонильных производных определяли при соответствую-

щих длинах волн: альдегид-динитрофенилгидразонов нейтрального характера при 356 нм, кетон-динитрофенилгидразонов нейтрального характера — 370 нм, альдегид-динитрофенилгидразонов основного характера — 430 нм, кетон-динитрофенилгидразонов основного характера — 530 нм. В работе определяли продукты спонтанной окислительной деструкции белков.

Статистическая обработка данных проведена с использованием программы Statistica 6. Коэффициент корреляции определяли по ранговому методу Пирсона. Критический уровень значимости при проверке нулевых гипотез был принят на уровне р = 0,05.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты корреляционного анализа показателей спонтанной окислительной модификации белков молока свидетельствуют о наличии сильной связи между показателями содержания альдегид-динитрофенилгидразонов нейтрального характера и кетондинитрофенилгидразонов нейтрального характера. Значение коэффициента корреляции равно 0,723 при p = 0,022. (табл. 1). Аналогичная зависимость, но менее выраженная, средней силы, между альдегид-динитрофенилгидразонами и кетон-динитрофенилгидразонами нейтрального характера наблюдалась также при исследовании спонтанной окислительной модификации белков кефира, ряженки и варенца.

Совершенно другая картина наблюдалась при анализе связей альдегид-динитрофенилгидразонов нейтрального характера с другими карбонильными продуктами. Между уровнем альдегиддинитрофенилгидразонов нейтрального характера белков молока, так же как и кефира, выявляется обратная зависимость средней силы с кетондинитрофенилгидразонами основного характера, в этом случае коэффициенты корреляции составляют для молока — 0,609 (p = 0,031), а для кефира — ρ = -0,510 (p = 0,044) Среди данных карбонильных производных белков ряженки и варенца

Таблица 1 Коэффициенты корреляции (ρ) содержания продуктов спонтанной окислительной модификации белков молока и кисломолочных продуктов

Продукт	Молоко	Кефир	Ряженка	Варенец
АДНФГ нейтр./ КДНФГ нейтр.	0,723	0,513	0,581	0,608
АДНФГ нейтр./АДНФГ осн.	0,323	0,312	-0,540	-0,508
АДНФГ нейтр./КДНФГ осн.	-0,609	-0,510	0,155	-0,120
КДНФГ нейтр./АДНФГ осн.	0,358	0,162	0,122	0,162
КДНФГ нейтр./КДНФГ осн.	0,411	0,318	0,311	-0,215
КДНФГ осн./АДНФГ осн.	0,212	0,314	0,355	0,221

 Π р и м е ч а н и е . Жирным шрифтом выделены значения коэффициентов корреляции при значениях P < 0.05.

значимой связи не обнаружено. В то же время установлена значимая обратная корреляция средней силы между уровнем альдегид-динитрофенилгидразонов нейтрального и основного характера — коэффициенты корреляции ряженки составляют -0.540 (p = 0.040), варенца — $\rho = -0.508$ (p = 0.042).

При анализе коэффициентов корреляции содержания продуктов металл-катализированной окислительной модификации белков молока, кефира, ряженки и варенца не установлено значимых корреляционных связей между всеми исследуемыми карбонильными производными белков, несмотря на значительное повышение значений карбонильных групп при добавлении индуктора окислительной модификации белков.

модификации белков ряженки и варенца по сравнению с молоком и кефиром значительно выше. Значительную деградацию белков варенца и ряженки подтверждают и результаты корреляционного анализа, демонстрирующего появление иных связей, отличающихся от корреляций молока и кефира.

Различие в показателях окислительной модификации белков варенца и ряженки обусловлено, вероятно, особенностями технологии приготовления кисломолочных продуктов, так, при производстве варенца и кефира температура пастеризации несколько выше и продолжительнее, чем при производстве пастеризованного молока или кефира.

Потеря корреляционных связей показателей индуцированной железом окислительной модификации белков варенца и ряженки

Таблица 2 Коэффициенты корреляции (р) содержания продуктов металл-катализированной окислительной модификации белков молока и кисломолочных продуктов

Продукт Показатели	Молоко	Кефир	Ряженка	Варенец
АДНФГ нейт./КДНФГ нейт.	0,143	0,210	0,108	0,229
АДНФГ нейт./АДНФГ осн.	0,135	0,386	-0,416	-0,320
АДНФГ нейт./ КДНФГ осн.	0,205	0,311	-0,125	0,164
КДНФГ нейт./АДНФГ осн.	0,216	0,321	-0,111	-0,122
КДНФГ нейт./КДНФГ осн.	0,128	0,195	0,449	-0,356
КДНФГ осн./АДНФГ осн.	0,119	0,395	0,450	0,191

При исследовании окислительной модификации белков ранее нами установлено [3], что уровень альдегид-динитрофенилгидразонов нейтрального характера, кетондинитрофенилгидразонов нейтрального характера, альдегиддинитрофенилгидразонов основного характера как продуктов спонтанной окислительной деструкции белков кефира ниже в сравнении с показателями пастеризованного молока, при этом значимых различий в содержании динитрофенилгидразонов основного характера не выявлено. Снижение содержания продуктов окислительной деструкции белков может быть связано с особенностями кефирной закваски, обогащающей продукт антиоксидантами. Так как корреляционные связи кефира существенно не отличаются от данных молока, то можно предположить, что технологические особенности изготовления кефира не вызывают существенной деструкции белков кефира.

В противоположность этому содержание продуктов спонтанной окислительной

позволяет предположить исчерпание защитных резервов, так как при стимуляции наблюдается максимальная окисляемость белков.

Пищевая ценность молока включает всю полноту полезных его качеств, в том числе проявление антиоксидантных свойств [1, 10]. Молоко – продукт обладающий антиоксидантной активностью, антиоксидантная система молока и молочных продуктов представлена ферментными (каталаза, пероксидаза, пероксиддисмутаза и др.) и неферментными компонентами: витамины A, E, C, SH-соединения, ионы металлов [10]. Кроме того, в молоке присутствуют синергисты - вещества, которые восстанавливают антиоксиданты, такие как лимонная, винная, молочная кислоты. Однако количество антиоксидантов подвержено большим колебаниям и их активность в процессе технологической переработки молока снижается [1]. В связи с выявлением сильных корреляционных связей между показателями окислительной модификации белков возникает вопрос о биологических основах этих взаимодействий, свидетельствует ли нарушение этих связей о глубокой окислительной деструкции белков. Вполне вероятно, что аналогичные нарушения корреляционных связей карбонильных производных белков молока возникают не только под воздействием технологических процессов и при патологических состояниях животных.

Заключение

В ходе исследования показателей спонтанной окислительной модификации белков молока и кисломолочных продуктов установлены значимые корреляции между альдегидами и кетонами динитрофенилгидразонов нейтрального характера всех исследуемых образцов молочных продуктов. Однако если между карбонильными производными нейтрального характера выявлена прямая зависимость, то между показателями карбонильных производных нейтрального и основного характера обнаружена обратная зависимость. Причём среди показателей молока и кефира обратная корреляция установлена между альдегиддинитрофенилгидразонами нейтрального характера и кетондинитрофенилгидразонами основного характера, а между показателями варенца и ряженки среди альдегиддинитрофенилгидразонов нейтрального характера и альдегиддинитрофенилгидразонов основного характера. Между другими показателями спонтанной окислительной деструкции белков и всеми показателями индуцированной модификации корреляционных связей не установлено. Различия в показателях корреляции исследуемых молочных продуктов могут быть обусловлены степенью температурного воздействия, так как при производстве варенца и ряженки молоко пастеризуют дольше и температура пастеризации несколько выше, чем при производстве пастеризованного молока или кефира. Установленные корреляционные связи должны учитываться при разработке способов оценки биологической ценности молочных продуктов.

Список литературы

- 1. Высокогорский В.Е. Хемилюминесцентный анализ пастеризованного молока / В.Е. Высокогорский, Г.В. Игнатьева // Пищевая промышленность. 2012. № 10.-C.34–35.
- 2. Высокогорский В. Е. Интенсивность липопероксидации и окислительной модификации белков козъего и коровьего молока / В.Е. Высокогорский, Н.Б. Гаврилова, Ю.А. Архипенко // Вопр. питания. 2014. № 4. С. 82–85.
- 3. Высокогорский В.Е. Сравнительная характеристика показателей карбонильных производных белков в кисломолочных продуктах / В.Е. Высокогорский, И.П. Загоруля // Инновационные подходы и технологии для повышения эффективности производств в условиях глобальной конкуренции. Международная научно-практ. конференция, посвящ. памяти член-корр. КазАСХН, д.т.н., профессора Е.Т. Тулеуова 1 марта 2016 г. Семей: Тосударственный университет имени Шакарима, 2016. Т. I. С. 642–644.
- 4. Губский Ю.И. Токсикологические последствия окислительной модификации белков при различных патологических состояниях / Ю.И. Губский, И.Ф. Беленичев, Е.Л. Левицкий и др. // Совр. проблемы токсикологии. -2005. T. 8, № 3. C. 20–26.
- 5. Дубинина Е.Е. Свободнорадикальные процессы при старении, нейродегенеративных заболеваниях и других патологических состояниях / Е.Е. Дубинина, А.В. Пустыгина // Биомед. химия. 2007. Т. 53, № 4. С. 351–372
- 6. Дубинина Е.Е. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод ее определения / Е.Е. Дубинина, С.О. Бурмистров, Д.А. Ходов // Вопросы мед. химии. -1995. № 1. С. 24–26.
- 7. Зенков Н.К., Ланкин В.З., Меньщикова Е.Б. Окислительный стресс: биохимический и патофизиологический аспекты. М.: МАИК, 2001. 343 с.
- 8. Иванов В.В. Влияние аллоксана на систему глутатиона и окислительную модификацию белков в адипоцитах при экспериментальном диабете / В.В. Иванов, Е.В. Шахристова, Е.А. Степовая, В.В. Новицкий // Бюллетень сибирской медицины. -2011.- № 3.- С. 44-47.
- 9. Кулмагамбетов И.Р. Состояние окислительного метаболизма и кристаллобразующие свойства крови экспериментальных животных при интоксикации несимметричным диметилгидразином / И.Р. Кулмагамбетов, Л.Е. Муравлева, В.В. Койков и др. // Биомед. химия. 2007. Т. 53, Вып. 3. С. 276–284
- 10. Шидловская В.П. Антиоксиданты молока и их роль в оценке его качества / В.П. Шидловская, Е.А. Юрова // Молочная промышленность. 2010. № 2. С. 24–27.

УДК 544.452.2

ПРОМЕЖУТОЧНЫЕ ПРОДУКТЫ ГОРЕНИЯ КАРБОНАТА ЛИТИЯ С НАНОПОРОШКОМ АЛЮМИНИЯ

Ильин А.П., Кривошенна В.В., Роот Л.О.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, e-mail: genchem@mail.ru

В работе исследованы промежуточные продукты горения смеси нанопорошка алюминия с карбонатом лития. Для получения промежуточных продуктов при достижении образцом максимальной температуры (светимости) образец раздавливали между двумя массивными стальными пластинами. После охлаждения продукты осматривали и затем их подготавливали для рентгенофазового анализа. Состав продуктов представлен следующими кристаллическими фазами: γ -Al₂O₃, AlN, остаточный алюминий и предположительно Li₃N. Это может быть объяснено тем, что в процессе горения нанопорошка алюминия в воздухе достигается температура 2200–2400°C, при которой снижается химическая активность молекулярного кислорода, и происходит процесс химического связывания азота воздуха с образованием нитридов алюминия и лития. Косвенными подтверждениями формирования нитрида лития являются окрашивание промежуточных продуктов горения в красно-коричневый цвет и наличие дополнительного экзоэффекта на термограмме смесей нанопорошка алюминия с карбонатом лития.

Ключевые слова: нанопорошок алюминия, карбонат лития, параметры химической активности, промежуточные продукты сгорания, синтез сжиганием, нитрид алюминия, нитрид лития

INTERMEDIATE PRODUCTS OF COMBUSTION LITHIUM CARBONATE WITH ALUMINUM NANOPOWDER

Ilin A.P., Krivosheina V.V., Root L.O.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: genchem@mail.ru

The intermediate products of combustion of the mixture of aluminum nanopowder with lithium carbonate were investigated in the paper. For obtaining of the intermediate products, the sample was crushed between two massive steel plates when it reached of maximum temperature (luminosity). After cooling, the products were visually inspected, and then they were prepared for x-ray analysis. Products composition represented by the following crystalline phases: γ -Al₂O₃, AlN, residual aluminum, and presumably Li₃N. This can be explained by the fact that in the process of aluminum nanopowder combustion in the air the temperature is achieved 2200–2400°C, and chemical activity of molecular oxygen is decreased and which the reduced reactivity of molecular oxygen, and occur the process of chemical binding of atmospheric nitrogen with formation aluminum and lithium nitrides. An indirect confirmation of the lithium nitride formation are staining the intermediate products of combustion which have redbrown color and the presence of additional exothermic reflex on the thermogram mixtures of aluminum nanopowder with lithium carbonate.

Keywords: aluminum nanopowder, lithium carbonate, chemical activity parameters, intermediate combustion products, burning synthesis, aluminum nitride, lithium nitride

Известно, что при сгорании в воздухе нанопорошок (НП) алюминия взаимодействует с азотом с образованием нитрида алюминия [1], при этом на промежуточных стадиях горения выход нитрида алюминия выше, чем в конечных продуктах [2]. В условиях горения происходит дезактивация кислорода воздуха [3], и процесс азотирования алюминия происходит в течение определенного времени в определенном объеме, т.е. образуется только нитрид алюминия, который при охлаждении частично переходит в γ-оксид алюминия [4].

При комнатной температуре только литий взаимодействует с азотом воздуха, образуя Li₃N, который окрашен в красно-коричневый цвет [5]. При комнатной температуре реакция с азотом протекает медленно, поэтому необходим поиск методов быстрого синтеза нитрида лития. При изу-

чении конечных продуктов сгорания смеси нанопорошка алюминия с оксидами магния и кальция обнаружены кристаллические фазы, рефлексы которых были отнесены к кристаллам нитридов магния и кальция вытянутой формы [6, 7]. Учитывая, что оксиды щелочных металлов сильно гигроскопичны, вместо них для приготовления смесей с НП алюминия были использованы соответствующие карбонаты [8].

Цель работы – определение фазового состава промежуточных продуктов горения НП алюминия с добавками карбоната лития.

Материалы и методы исследования

В работе использовался НП алюминия, полученный с помощью электрического взрыва проводников в аргоне [9]. Схема установки для получения НП показана на рис. 1. Установка работает следующим образом: от высоковольтного источника питания — 1 заряжается емкостный накопитель энергии — 2.

Механизм подачи проволоки — 3 обеспечивает автоматическую подачу взрываемого отрезка проволоки — 4 в межэлектродный промежуток. При достижении проволокой высоковольтного электрода — 5 срабатывает коммутатор — 6, происходит разряд накопителя на этот отрезок проволоки, и он взрывается. Образовавшийся порошок собирается в накопителе — 7. Очищенный от порошка газ с помощью вентилятора — 8 подается обратно в камеру — 9. Объем камеры перед работой вакуумируется, а затем заполняется требуемой газовой атмосферой. Эти функции выполняет система газового снабжения — 10.

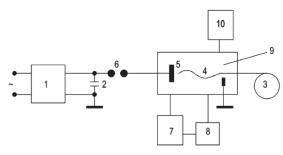


Рис. 1. Принципиальная схема установки для производства нанопорошков металлов в условиях электрического взрыва проводников

Нанопорошок алюминия, полученный в среде аргона, является пирофорным, т.е. воспламеняется при контакте с воздухом. Его пассивировали медленным окислением малыми добавками воздуха [9]. Нанопорошок алюминия характеризовался следующими параметрами активности: температура начала окисления 450°С; степень окисленности 63,8%; максимальная скорость окисления 0,13 мас. %/°С; удельный тепловой эффект 4995 Дж/г. В экспериментах использовали реактив оксида кальция (ч.д.а.).

Для выполнения качественного и количественного фазового анализа использовали дифрактометр ДРОН-3,0 [10]. Диапазон сканирования углов составлял 20–90 град. В работе применяли излучение медной трубки СиКа. Для идентификации кристаллических фаз использовали картотеку PDF-4. Предварительно продукты сгорания дезагрегировали и просеивали через сито с размером ячеек 63 мкм.

Дифференциальный термический анализ [11] (ДТА) проводили с использованием термоанализатора SDT Q600 Научно-аналитического центра ТПУ. Точность измерения температуры составляла 0,001°С. Исходные смеси нанопорошка алюминия с карбонатом лития проверяли на пирофорность путем расчета по ДТА четырех параметров активности [12]: температура начала окисления (t_{max}), максимальная скорость окисления (V_{max}), степень окисленности (α), приведенный тепловой эффект (Δ H). Все приготовленные смеси имеют температуру начала окисления выше 300°С, поэтому не пирофорны.

Электронный микроскопический анализ продуктов сгорания смеси нанопорошка алюминия с карбонатом лития проводили с использованием электронных микроскопов Jeol-840 и Hitachi SU8000. Перед съемкой образцы помещали на поверхность алюминиевого столика диаметром 25 мм, фиксировали при помощи проводящего клея. Морфологию образцов исследовали в естественных условиях, чтобы исключить поверхностные эффекты от напыления проводя-

щего слоя [13–14]. Съемку изображений вели в режиме регистрации вторичных электронов при ускоряющем напряжении 2 кВ и рабочем расстоянии 4–5 мм.

Навески нанопорошка алюминия и карбоната лития смешивали в боксе на кальке с использованием пробки, обернутой в кальку, так как неизвестны характеристики смесей, связанных с трением. Смешивание проводили до тех пор, пока не исчезала неравномерность в окраске смеси. Всего было приготовлено 4 образца, соотношение Li₂CO₃:НП Al = 0,5:3,5; 1:3; 2:2; 3:1. Нанопорошок без добавок использовали в качестве образца сравнения. Инициирование процесса горения осуществляли с помощью нихромовой спирали, через которую пропускали электрический ток, при этом навеске старались придать коническую форму. Процесс горения проходил на подложке из нержавеющей стали толщиной 2 мм.

Горение исследуемых смесей прекращали при достижении максимальной яркости раздавливанием образца двумя массивными стальными плитами.

Результаты исследования и их обсуждение

Для проверки нанопорошка алюминия и его смесей с карбонатом лития на пирофорность была исследована их термическая устойчивость. Образцы нагревали в воздухе со скоростью 10°/мин до 900°С (Q 600). Термограммы образцов представлены на рис. 2, 3.

При нагревании НП алюминия в воздухе происходила десорбция молекул воды и газов. Повышение температуры приводило к окислению алюминия (430°С). Процесс окисления происходил в режиме теплового взрыва [15]. После температурного интервала нагрева НП алюминия с замедлением окисления при дальнейшем нагревании происходило ускорение окисления (рис. 2).

Введение в НП алюминия добавок Li₂CO₃ привело к появлению экзоэффекта с максимумом при 711°С, интенсивность которого усиливалась по мере увеличения содержания добавки. Согласно термограммам смесей НП алюминия с карбонатом лития этот экзоэффект обнаруживается (максимум 711°С) после разложения карбоната лития (680°С). По расчетам разложение карбоната лития – эндотермический процесс с поглощением 226,3 кДж/моль.

В промежуточных продуктах сгорания образца смеси с максимальным содержанием карбоната лития после прерывания горения наблюдали кольцо продуктов красно-коричневого цвета (рис. 4), что является подтверждением наличия в продуктах сгорания нитрида лития. Температура в зоне горения превышала температуру разложения нитрида лития (400°С). Температура в зоне горения НП алюминия превышала 2000°С, поэтому в центре образца нитрид лития не сохранился: температура его разложения 440°С.

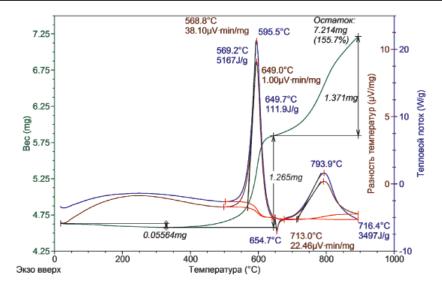


Рис. 2. Термограмма исходного нанопорошка алюминия (обр. 4:0, атмосфера – воздух, скорость нагрева 10°С/мин, масса навески 4,634 мг)

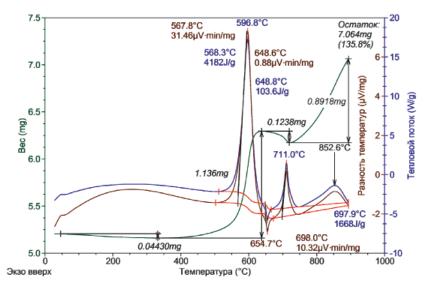


Рис. 3. Термограмма смеси нанопорошка алюминия с карбонатом лития (обр. 3,5:0,5, атмосфера – воздух, скорость нагрева 10°С/мин, масса навески 5,202 мг)



Рис. 4. Фотография промежуточных продуктов горения смеси нанопорошка алюминия с карбонатом лития (образец 1:3)

Согласно полученным данным (табл. 1) с увеличением содержания карбоната лития в смеси температура начала окисления возрастала с 330 до 370°С, при этом максимальная скорость окисления снижалась с увеличением содержания карбоната лития, для образца 1:3 она снизилась на 97%. Степень окисленности алюминия в смесях ниже, чем у исходного НП алюминия: для образца 1:3 она снизилась на 82%. Удельный тепловой эффект с ростом содержания карбоната лития также снижался, для образца 1:3 он снизился на 75%.

Таблица 1 Параметры активности смесей нанопорошка алюминия и карбоната лития

Соотнонионио	Параметры активности смесей				
Соотношение НП A1 к Li ₂ CO ₃	Температура начала окисления, °С	Максимальная скорость окисления, мг/мин	Степень окисленно- сти, %	Удельный тепловой эффект окисления смеси, Дж/г	Удельный тепловой эффект алюминия*, Дж/г
4:0	330	0,15	0,28	5167	5167
3,5:0,5	340	0,14	0,23	4182	4521
3:1	360	0,13	0,19	3953	3875
2:2	360	0,01	0,13	2453	2583
1:3	370	0,01	0,05	995	1292

П р и м е ч а н и е . * При расчетах α , ΔH введена поправка на содержание НП алюминия.

 Таблица 2

 Характеристики горения смесей нанопорошка алюминия и карбоната лития до максимальной яркости и промежуточных продуктов горения

№ π/π	Состав образца НП Al:Li ₂ CO ₃	Описание процесса горения	Описание промежуточных продуктов горения
1	3,5:0,5	 при горении наблюдались искры 	на обеих пластинах присутствовал осадок оранжевого цвета; наличие металлических «пластинок» в промежуточных продуктах
2	3:1	– при горении наблюдались искры;– цвет пламени оранжево-красный	 образования красного цвета на нижней пластине по кольцу
3	2:2	– при поджигании образец«вспыхнул»;– горение протекало быстро	 при горении наблюдались искры; после горения остались следы коричневого цвета на пластинах; промежуточные продукты сыпучие, но твердые
4	1:3	- горение протекало медленно;- красный цвет пламени	при горении наблюдались искры;продукты горения черного цвета;образец прогорел не весь, спёкся

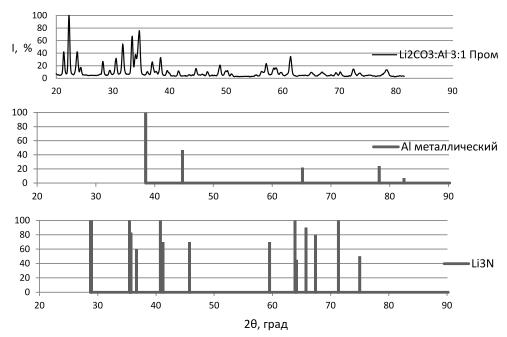


Рис. 5. Типичная рентгенограмма промежуточных продуктов горения смеси нанопорошка алюминия с карбонатом лития (образец 5) и штрихдиаграммы алюминия и Li_3N (данные картотеки PDF-4)

Промежуточные продукты окисления (Li_2O, Al_2O_2) не могут быть при нагревании окислены, поэтому наличие экзоэффекта объясняется как результат окисления металлического лития, восстановленного при высокой температуре НП алюминия и последующего формирования оксида или нитрида лития. Согласно термодинамическим расчетам, восстановление лития из оксида лития: $3Li_2O + 2Al = Al_2O_2 + 6Li$ маловероятно ($\Delta G > 0$). Наиболее вероятен процесс замещения атомов кислорода атомами азота при высокой температуре как это было обнаружено экспериментально при горении НП алюминия. Энтальпия образования Li₂O и Li₂N составляют –1191 и –328 кДж/моль соответственно.

На рис. 5 представлена типичная рентгенограмма промежуточных продуктов горения смеси нанопорошка алюминия с карбонатом лития и штрихдиаграммы нанопорошка алюминия и нитрида алюминия.

Заключение

Согласно проведенным экспериментам добавка карбоната лития повышает температуру начала окисления (табл. 1) с 330 (для НП алюминия без добавок) до 370°С (образец 1:3). С введением добавки карбоната лития максимальная скорость окисления сначала повышалась на 23%, а затем резко снизилась на 87%. Степень окисленности образцов практически не изменялась, но для образца 1:3 резко уменьшилась на 36%. Удельный тепловой эффект изменялся неоднозначно: он был максимален для образца 3:1 (5270 Дж/г) и минимален для образца 1:3.

Для образца 3,5:0,5 на термограмме отмечено уменьшение массы навески и после температуры плавления алюминия экзоэффект с максимумом 711,0°C (рис. на образец 3,5:0,5), который не наблюдался в образце НП алюминия без добавок (рис. 4:0). С увеличением содержания карбоната лития интенсивность экзоэффекта (717,7°C) возрастала. В продуктах сгорания визуально был обнаружен продукт красно-коричневого цвета, а на рентгенограмме (рис. 5) обнаружено увеличение рефлексов, которые не совпадают (20 < 30°) с рефлексами известных для продуктов сгорания НП алюминия фаз, поэтому наиболее вероятно кристаллическая фаза красно-коричневого цвета принадлежит фазе Li₂N [5]. В условиях горения НП алюминия карбонат лития разложился (730°C) и образовавшийся оксид лития восстановился до элементного состояния. При взаимодействии с воздухом литий образовал нитрид лития красно-коричневого цвета, и этот процесс сопровождался экзоэффектом, который отсутствовал на термограмме НП алюминия.

Увеличение интенсивности рефлекса при малых углах ($2\theta = 22^{\circ}$) связано с увеличением содержания карбоната лития, вероятно связано с формированием алюмината лития [8].

Список литературы

- 1. Громов А.А., Хабас Т.А., Ильин А.П. и др. Горение нанопорошков металлов. Томск: Дельтаплан, 2008. С. 172.
- 2. Ильин А.П., Громов А.А. Горение алюминия и бора в сверхтонком состоянии. Томск: Изд-во Том ун-та, 2002. 154 с.
- 3. Ильин А.П., Мостовщиков А.В., Тимченко Н.А. Изучение последовательности фазообразования при горении прессованного нанопорошка алюминия в воздухе с применением синхротронного излучения // Физика горения и взрыва. – 2013. – Т. 49. – № 3. – С. 72–76.
- 4. Ильин А.П., Проскуровская Л.Т. Двустадийное Горение ультрадисперсного порошка алюминия на воздухе // Физика горения и взрыва 1990. Т. 26, № 2. С. 71–72.
- 5. Ильин А.П., Роот Л.О. Высокотемпературное химическое связывание азота воздуха // Известия высших учебных заведений. Физика. 2011. Т. 54. № 11/3. С. 312–317.
- 6. Ильин А.П., Роот Л.О., Кривошеина В.В. Влияние добавки оксида кальция на состав продуктов сгорания нанопорошка алюминия в воздухе // Известия Томского политехнического университета. 2014. Т. 325. № 3. С. 137–143.
- 7. Ильин А.П., Роот Л.О., Кривошеина В.В. Влияние добавки оксида магния на состав продуктов сгорания нанопорошка алюминия в воздухе // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326, № 6. С. 56—61.
- 8. Ильин А.П., Роот Л.О., Мостовщиков А.В. Повышение запасенной энергии в нанопорошках металлов // Журнал технической физики. 2012. Т. 82. Вып. 8. С. 140–142.
- 9. Ильин А.П., Толбанова Л.О., Мостовщиков А.В. Состав промежуточных продуктов горения нанопорошка алюминия в воздухе // Известия ТПУ / Томский политехнический университет (ТПУ). 2008. Т. 313, № 3: Химия. Физика. С. 19–24.
- 10. Качала В.В., Хемчян Л.Л., Кашин А.С. и др. // Комплексное исследование структуры и механизмов получения и превращений газообразных, жидких и твердых химических систем методами масс-спектрометрии, спектроскопии ЯМР и электронной микроскопии // Успехи химии. 2013. № 82. С. 648—685.
- 11. Кашин А.С., Анаников В.П. Формирование наноразмерных покрытий и наночастиц металлов путем магнетронного распыления и их исследование методом сканирующей электронной микроскопии // Изв. академии наук Сер. Хим. -2011. -№ 12. -ℂ. 2551-2556.
- 12. Назаренко О.Б., Ильин А.П., Тихонов Д.В. Электрический взрыв проводников. Получение нанопорошков металлов и тугоплавких неметаллических соединений. Saarbrucken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH&Co/KG. –2012. 274 с.
- 13. Самсонов Г.В. Нитриды. Киев: Наукова думка, 1969. 390 с.
- 14. Химическая энциклопедия Т. 2. М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1990. С. 607.
- 15. Il'in A.P., Gromov A.A., Yablunovskii G.V. Reactivity of Aluminium Powders // Combustion, Explosion and Shock Waves. 2001. Vol. 37. № 4. P. 418–422.

УДК 544.723.21

ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННОЙ ЕМКОСТИ ЦЕОЛИТА КА

¹Паранук А.А., ²Хрисониди В.А.

¹ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, e-mail: rambi.paranuk@gmail.com; ²Филиал Майкопского технологического университета, Яблоновский

Исследование посвящено применению цеолита KA_{co} для осушки спиртовых растворов на предприятиях добычи и транспорта природного газа, так как данный цеолит имеет определенную структуру и размер пор исследуемого цеолита составляет 3 Å. Размер молекул воды варьируется в пределах 2,7–2,9 Å, это позволяет утверждать, что данный цеолит будет вести себя как молекулярное сито благодаря процессу избирательного поглощения молекул воды. Приводится анализ молекулярноситовых свойств данного цеолита, авторам необходимо доказать, что происходит физическая адсорбция, а хемосорбция. Изотермы адсорбции, полученные в результаты опытов, отразят диапазон применения цеолита марки KA_{co} . Полученные данные открывают перспективные технологии адсорбционных фильтров разделения азеотропных растворов методом избирательной адсорбции с использованием молекулярноситовых свойств.

Ключевые слова: цеолит, молекулярные сита, динамическая адсорбции, удельная поверхность, КА...

RESEARCH OF THE ADSORPTIVE CAPACITY OF KA_{CO} ZEOLITE ¹Paranuk A.A., ²Khrisonidi V.A.

¹Kuban State University of Technology, Krasnodar, e-mail: rambi.paranuk@gmail.com; ²Filial Maykop Technological University, Yablonovskiy

Research is devoted to the use of zeolite for drying Caso alcoholic solutions to enterprises of production and transportation of natural gas, since the zeolite has a definite structure and pore size of the zeolite is investigated 3 Å. The size of water molecules varies in the range 2,7–2,9 Å, it suggests that the zeolite will behave as a molecular sieve through a process of selective absorption of water molecules. The analysis of the molecular sieve properties of the zeolite, the authors need to prove that there is physical adsorption and chemisorption. The adsorption isotherms obtained experimental results reflect the range of application of zeolite brand Ca_{so} . The findings open up promising adsorption filters azeotropic separation technology solutions by selective adsorption using molecular sieve properties.

Keywords: zeolite, molecular sieve, the dynamic adsorption, specific surface, $\mathrm{KA}_{_{\mathrm{co}}}$

Адсорбционные процессы занимают лидирующее положение в вопросах осушки природного газа от влаги и нежелательных компонентов, создана обширная база изотерм адсорбции различных газов, это бутан, этан, пропан, метан и др. Но, к сожалению, исследователи, занимающиеся разработкой теории адсорбции для газов, мало внимания уделили адсорбции растворов, и в этом направлении есть незаполненные моменты.

На сегодняшний день появились модифицированные адсорбенты, которые позволяют осуществлять тонкую осушку спиртов и других растворов на основании избирательной адсорбции на цеолитах. Цеолиты — это алюмосиликаты, содержащие в своем составе оксиды щелочных и щелочноземельных металлов, — отличаются строго регулярной структурой пор, которые при обычных температурных условиях заполнены молекулами воды [6].

Общая химическая формула цеолитов $Me_{2/n}O\cdot Al_2O_3\cdot xSiO_2\cdot yH_2O$. (где Me – катионы щелочного металла, а n – его валентность). В природе в качестве катионов обычно в состав цеолитов входят натрий, калий, кальций,

реже барий, стронций и магний [6]. Кристаллическая структура цеолитов образована тетраэдрами SiO_4 и AlO_4 (атомы Al и Si принято классифицировать как T атомы), связанные друг с другом общим ионом кислорода.

В природе цеолиты распространены достаточно обширно и часто встречаются. Они образовались в результате изменения вулканических туфов в морских и континентальных бассейнах и таких образом представляют туфогенный — осадочный тип месторождений. Катионы, входящие в состав цеолитов, под действием среды могут замещаться на ионы других металлов. Варьирование условий гидротермального синтеза и протекание реакций катионного обмена [6] в природных условиях предопределило большое разнообразие типов природных цеолитов.

Синтетические цеолиты получаются при нагревании водных щелочных алюмосиликатных смесей, т.е. смесей, содержащих в качестве обязательных компонентов воду, щелочь, SiO_4 и AlO_4 . Таким путем синтетические цеолиты были получены еще в прошлом веке, однако до конца 40-х гг.

нашего столетия работы в области синтеза цеолитов были эпизодическими, а полученные кристаллические фазы часто не были чистыми и надежно идентифицированными [5].

Цеолиты являются молекулярными ситами [1, 1]. Их широкое применение объясняется тем, что они могут быть использованы для разделения веществ не только на основе избирательности адсорбции, но и на основе разницы в размерах и форме поглощаемых молекул. Для того чтобы проникнуть в адсорбционную полость, критический диаметр молекул адсорбата должен быть меньше размера входного окна [6]. В России наиболее распространенными являются пять видов цеолитов и их модификации.

Основным фактором, определяющим молекулярноситовые свойства, является размер входных окон цеолитов, который зависит от расположения кислородных колец цеолита и от числа атомов кислорода в кольце. Также на размер входного окна оказывает влияние размер катиона, входящего в состав цеолита. Катионы, расположенные близко к окну, блокируют вход для молекул. Например, при катионном обмене, в котором два катиона натрия замещаются одним катионом кальция, входное окно расширяется; вследствие этого цеолит Na имеет размер входного окна 4 Å, а цеолит СаА имеет размер 5 Å [6]. Аналогичный обмен в цеолите типа X приводит к некоторому сужению окна. Рассматривая свойства цеолита КА, можно пояснить, что при обычной температуре данный вид цеолита очень хорошо сорбирует воду. Данное свойство предупредило его применение для осушки нестойких веществ, склонных к реакциям полимеризации.

Если рассматривать свойство цеолита NaA, который способен сорбировать большинство компонентов промышленных газов, критический размер молекул которых не превышает 4 Å: сероводород, сероуглерод, двуокись углерода, аммиак, низшие диеновые и ацетиленовые углеводороды, этан, этилен, пропилен, органические соединения с одной метильной группой в молекуле, а также метан, неон, аргон, криптон, ксенон, кислород, азот, окись углерода [6]. Последняя группа веществ в значительных количествах поглощается только при низких температурах. Пропан и органические соединения с числом атомов углерода в молекуле более 3 не адсорбируются цеолитом и таким образом при осушке и очистке не подавляют адсорбцию указанных выше примесей.

Цеолиты марки CaA адсорбируют углеводороды и спирты только нормального строения, в связи с чем широко используются в процессах разделения многокомпонентных органических веществ на молекулярноситовой основе. Кроме того, цеолит CaA поглощается метил и этилмеркаптаны, органические соединения с числом атомов углерода в молекуле 2 (этиловый спирт, этиламин), диборан и др. Среди цеолитов общего назначения типа CaA отличается повышенной стойкостью в слабокислой среде и поэтому его используют в процессах сероочистки и декарбонизации газов.

Цеолиты типа X имеют достаточно широкие входные окна и адсорбируют подавляющее большинство компонентов сложных смесей: все типы углеводородов органические сернистые, азотистые и кислородные соединения (меркаптаны, тиофен, фуран, хинолин, пиридин, диоксан и др.), галоидозамещенные углеводороды (хлороформ, четыреххлористый углеводород, фреоны), пентаборан и декаборан [2, 7]. Применение цеолитов СаХ и NaX основано на избирательности адсорбции, а не на молекулярноситовых свойствах. При полном замещении катиона натрия на кальций цеолит СаХ, в отличие от цеолита NaX, не адсорбирует ароматические углеводороды или их производные с разветвленными радикалами, например 1,3,5-триэтилбензол и метадихлорбензол. На этом свойстве основан метод идентификации цеолитов этих двух типов и установление полноты ионного обмена при получении цеолита СаХ.

В случае, если критический диаметр молекулы близок к диаметру входного окна, процесс адсорбции происходит с большой энергией активации и адсорбируемая молекула должна обладать определенным запасом кинетической энергии для преодоления энергетического барьера. Кинетическая энергия молекул повышается с ростом температуры [7]. Одновременно повышение температуры приводит к усилению термической пульсации решетки цеолита, что облегчает проникание молекулы в адсорбционную полость. Таким образом, изменением температурного режима можно достигнуть такого рубежа, при котором молекулы адсорбтива начнут поглощаться цеолитом.

Цеолит КА сорбирует – He, H_2 , H_2 О, цеолит NaA сорбирует – инертные газы CH_4 , углеводороды C_2 , C_3H_6 , CO_2 , CS_2 , H_2S , CH_3OH , NH_3 , CH_3CN , CH_3NH_2 , CH_3CI , CH_3Br [1]. Цеолит CaA сорбирует – н-алканы C_2H_5OH , C_2H_2CI , C_2H_2Br , CH_2Br_2 , $(CC_3)_2NH$,

- СН $_3$ I, цеолит СаХ сорбирует разветвленные алканы и спирты, бензол, цеклогексан и их низшие гомологи [1]; Цеолит NaX 1,3,5 сорбирует триэтилбензол, 1,3-дихлорбензол [(H-C_4 F $_9$) $_3$ N].
- 1. Цеолит КА при обычной температуре в значительных количествах поглощает только воду. Это свойство предопределило широкое применение его для осушки нестойких веществ, склонных к реакциям полимеризации.
- 2. Цеолит NaA адсорбирует большинство компонентов промышленных газов, критический размер молекул которых не превышает 4 Å: сероводород, сероуглерод, диоксид углерода, аммиак, низшие диеновые и ацетиленовые углеводороды, этан, этилен, пропилен, органические соединения с одной метильной группой в молекуле, а также метан, неон, аргон, криптон, ксенон, кислород, азот, оксид углерода.
- 3. Цеолит СаА адсорбирует углеводороды и спирты только нормального строения (независимо от длины цепи), в связи с чем широко используется в процессах разделения многокомпонентных органических веществ на молекулярноситовой основе. Кроме того, цеолитом СаА поглощаются метил- и этилмеркаптаны, органические соединения с числом атомов углерода в молекуле, равным двум (этиловый спирт, этиламин, диборан и др.). Цеолит СаА среди синтетических цеолитов других типов отличается повышенной стойкостью в слабокислой среде, и поэтому его используют в процессах сероочистки и декарбонизации газов.

Цеолит CaX при полном замещении катиона натрия на кальций, в отличие от цеолита NaX, не адсорбирует ароматические углеводороды или их производные с разветвленными радикалами

4. Цеолит NaX имеет достаточно широкое входное окно и адсорбирует подавляющее большинство компонентов сложных смесей: все типы углеводородов, органические сернистые, азотистые и кислородные соединения (меркаптаны, тиофен, фуран, хинолин, пиридин, диоксан и др.), галогензамещенные углеводороды (хлороформ, четыреххлористый углеводород, фреоны), пентаборан и декаборан [7].

Цеолиты являются наиболее оптимальными адсорбентами для паров воды. Их отличием от других адсорбентов, к примеру от силикагеля, является способность адсорбировать уже при температуре 100°С пары воды. Их адсорбционная емкость при обычных температурах и давлении порядка

200 Па уникальна. Высокие скорости адсорбции влаги позволяют использовать их короткий слой адсорбента в динамических процессах. Область применения цеолитов очень обширна от осушки воздуха до катализатора в химических реакциях, а также осушки в газовой и нефтеперерабатывающей промышленности [7].

Осушка в газовой промышленности. На газобензиновых заводах использование умеренного и глубокого холода в технологических процессах позволяет увеличить степень извлечения легких фракций углеводородов, решить проблему ожижения природного газа, отделить несконденсированный остаток гелия. На установках сжижения газа происходит охлаждение до -160°C, а на гелиевых заводах и до -170°C. Данная технология стала доступной благодаря применению цеолитов, которые обеспечивают продолжительную непрерывную эксплуатацию аппаратуры разделения в этих условиях. Глубокая и надежная осушка транспортируемого наземным транспортом газа в холодном климате возможна при использовании цеолитов.

Осушка природного газа на промыслах. Газ, выходящий из скважины, насыщен водяными парами, и в зимний период эксплуатация скважины и транспортировки продуктов добычи до газосборного пункта сопровождается выпадением гидратов [7]. Во избежании выпадения гидратов необходимо предусмотреть в технологической цепочке стадию осушки природного газа методами адсорбции, в качестве адсорбента используется цеолит, который обеспечивает более высокую осушку по сравнению с силикагелем.

Осушка газа на газобензиновых заводах. На газобензиновых заводах природный газ из большого числа скважин собирается и подготавливается к дальнейшему транспорту по магистральным газопроводам потребителю. Если на газобензиновом заводе предусмотрено относительно неглубокое извлечение этана, точка росы газа не должна быть выше – 40°С. На таких заводах интенсивно строятся новые и реконструируются на основе синтетических цеолитов старые адсорбционные установки. В некоторых случаях на современных газобензиновых заводах степень извлечения этана предусмотрено довести до 85-90%, пропана до 99%, бутанов – практически до 100%. Столь глубокое извлечение возможно после охлаждения газа до температуры – 90°C. На таких заводах осушку газа ведут цеолитами

до точки росы -85 °C, одновременно цеолитами осуществляют осушку и некоторых промежуточных потоков, например верхнего продукта деэтанизатора.

Осушка природного газа, закачиваемого в пласт. После извлечения из природного газа тяжелых углеводородов (конденсата) его для поддержания давления в пласте снова закачивают в пласт. При закачке газа в пласт для уменьшения затрат на компримирование, осушку и отбензинивание целесообразно проводить при высоком давлении.

Осушка природного газа на криогенных установках. Криогенный метод применяют для сжижения природного газа и извлечения из него гелия. Низкие температуры в холодильном цикле (до –170°С) требуют практически полного удаления паров воды из газа цеолитами. Это соответствует точке росы –100°С. Глубокая осушка газа цеолитами полностью исключает возможность замерзания оборудования, а следовательно, и нарушения непрерывной эксплуатации криогенных установок.

Осушка в нефтеперерабатывающей промышленности. Продукты нефтепереработки значительно отличаются от природного сырья высоким содержанием непредельных углеводородов, осушка и очистка которых имеет определенные особенности.

Осушка непредельных углеводородов. При осушке непредельных углеводородов необходимо учитывать каталитическую активность цеолитов по отношению к реакции полимеризации. Каталитические свойства цеолитов связаны, с одной стороны, с наличием в кристаллитах активных кислотных центров, а с другой, — с каталитическими свойствами связующего. Кристаллит типа NaA среди цеолитов общего назначения обладает наименьшей каталитической активностью [7].

При осушке непредельных углеводородов цеолитами NaA предпочтительно предусматривать одно и то же направление потока газа на стадиях осушки и регенерации. В этом случае сорбирующиеся в первый период одновременно с водой углеводороды постепенно вытесняются водой из слоя цеолитов и уносятся с потоком осущенного газа. После наступления момента проскока адсорбер переключают на стадию регенерации, осуществляемую горячим газом. окончательное вытеснение углеводородов адсорбирующейся водой из «хвостового» слоя цеолитов заканчивается на стадии регенерации при относительно низких температурах, и таким образом снижается до минимума дезактивация адсорбента. Цеолит КА широко применяется для осушки разнообразных сред, склонных к разложению и полимеризации: этилена, бутилена, бутилена, стирола и его смеси с н-гексаном, пентиленов, винилацетата, изопрена, дихлорметана, хлороформа, галогенсодержащих хладагентов, газов процесса Вульфа [7].

Осушка изопропилена с одновременной очисткой от изопропилового спирта. В ряде случаев технологический поток необходимо не только осушить, но и глубоко очистить от нежелательных примесей, например пропилен, используемый для получения полипропилена.

Осушка газов риформинга. При осушке циркуляционного водородосодержащего газа риформинга выбор типа адсорбента должен проводиться с учетом того, что в газе присутствуют микропримеси соляной кислоты.

Осушка сырья на установках алкилирования. На заводах алкилирования в качестве катализаторов используют плавиковую или серную кислоту. Эффективность и экономичность алкилирования во многом зависят от влагосодержания перерабатываемого сырья. Содержание влаги в исходном сырье обычно составляет 100—450 ‰. Задача глубокой осушки сырья решается при помощи цеолитов [7].

На установках алкилирования также возможно использовать цеолиты для тонкой очистки сырья от серы и бутадиена.

В данной работе будет исследован цеолит марки KA_{co} модифицированный на возможность осушки этилового спирта C_2H_5OH . Необходимо установить предельную концентрацию воды, при которой цеолит будет вести себя нестабильно, а также отследить динамику предельной адсорбции.

Исследование адсорбционной емкости выбранного цеолита будем проводить статистическим методом, так как он наиболее доступен в условиях лаборатории.

Масса исследуемого цеолита марки КА 50 г, спирт C₂H₅OH 96%, вода H₂O дистиллированная. Для осушки этанола использовали цеолит марки КА_{СО} диаметр гранул 1,6 мм, насыпная плотность 0,85 г/см³, размер пор данного цеолита, заявленный производителем 3 Å (0,3 нм). Объем раствора 200 мл при разных концентрациях воды. Диапазон концентрации Н₂О (от 10 до 70%). Температура, при которой проводилось данное лабораторное исследование t = 24 °C и давление 0,1 МПа. Плотность смеси определяли ареометрами марки Ареометр АОН-1 измерений 700–1840 кг/м³). (диапазон

Конц. Н ₂ О (%)	10	20	30	35	40	45	50	55	60	70
Величина предельной адсорбции а (моль/г)										
1-й опыт	0,0136	0,01431	0,0155	0,0157	0,0166	0,0092	0,01185	0,0096	0,0114	0,0175
2-й опыт	0,0114	0,01143	0,01201	0,01173	0,0128	0,0175	0,0177	0,0178	0,0177	0,017
3-й опыт	0,0108	0,01154	0,0108	0,01172	0,0117	0,0108	0,0104	0,0162	0,0176	0,017

Результаты исследования по определению предельной адсорбции на цеолите КА

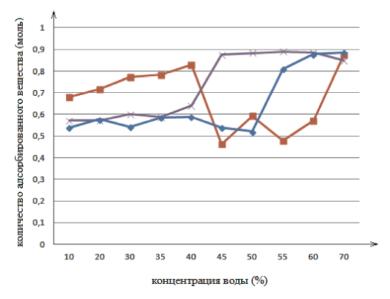


График зависимости концентрации от количества вещества

Массу определяли при помощи лабораторных весов Leki 5002. Величина предельной адсорбции рассчитывается по уравнению

$$a = \frac{v}{m_1} = \frac{m_2}{m_1 \cdot \mu},$$

где υ — количество адсорбированного вещества, моль; m_1 — масса адсорбента, г; μ — молярная масса адсорбировавшегося вещества, г/моль; m_2 — масса навески адсорбента с адсорбированным веществом, г. Результаты, полученные в ходе лабораторных исследований, показаны на рисунке.

Выводы

В результате исследования авторы пришли к выводам, что использование цеолита марки КА со при больших концентрациях воды нецелесообразно. Также авторы исследовали раствор после адсорбции и пришли к выводам, что, возможно, проходит процесс хемосорбции. Но данное утверждение требует более детального анализа и исследования другими методами. Полученные авторами результаты позволяют использовать данный адсорбент при адсорбции небольших концентраций воды и создавать технологические установки со

ступенчатым циклом адсорбции [3, 4]. Полученные данные открывают перспективные технологии адсорбционных фильтров разделения азеотропных растворов методом избирательной адсорбции с использованием молекулярноситовых свойств [5].

Список литературы

- 1. Байдакова Е.В., Байдаков Е.М. Цеолиты как средство очистки воды от радионуклидов // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. -2011. № 1. C. 62—67.
- 2. Жданов С.П., Хвощев С.С., Самулевич Н.Н. Синтетические цеолиты: Кристаллизация, структурно-химическое модифицирование и адсорбционные свойства. М.: Химия, 1981. С. 10–11
- 3. Паранук А.А., Сааведра Х.Х., Киньенез Л.К. Разделение многокомпонентных растворов методами адсорбции на цеолитах // Экспозиция нефть газ. 2015. № 6 (47). С. 66–67.
- 4. Паранук А.А., Сааведра Х.Х. Новые направления применения природных цеолитов в качестве адсорбентов для разделения азеотропных растворов // Экспозиция нефть газ. -2015. -N 6 (45). -C. 32–33.
- 5. Патент на полезную модель № 162098, Российской федерации, МПК F01М1/10В01D25/02 Адсорбционный фильтр] / Паранук А.А. Сааведра Х.Х.А. Киньенез Л.К.Н. заявители и патентообладатели Паранук А.А. Сааведра Х.Х.А. Киньенез Л.К.Н. —№ 2015155504 заявл.23.12.2015, опубл.27.05.2016. Бюл.№ 15.
- 6. Кельцев Н.В. Основы адсорбционной техники. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия, 1984. С. 85–87.
- 7. Grubner O., J iru P., Ralek M. Moleku larsiebe. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften. Berlin, 1968. 176 p.

УДК 541.67:536.2

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПРОТОННОЙ ПРОВОДИМОСТИ ПОЛИБЕНЗИМИДАЗОЛОВ, ДОПИРОВАННЫХ ОРТОФОСФОРНОЙ КИСЛОТОЙ

³Танганов Б.Б., ^{1,2,3}Могнонов Д.М., ^{1,2}Стельмах С.А., ³Балданова Д.М., ²Очиров О.С., ¹Тоневицкий Ю.В.

¹ΦΓБОУ ВО «Бурятский государственный университет», Улан-Удэ; ²ΦГБУН «Байкальский институт природопользования» СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: S stelmakh@bk.ru;

³ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления»

На основании известных принципов электродинамики предложена теоретическая модель оценки протонной проводимости полибензимидазолов (ПБИ), допированных ортофосфорной кислотой. Используя неполную проводимость λ , напряженность внешнего электрического поля E, скорость движения зарядов V и плотность носителей тока n, авторы трансформируют необходимые расчеты в формулу Друде для проводимости твердых тел. Квантовомеханическим расчетом ММ+ с оптимизацией геометрии, определены параметры (расстояние между атомами азота) элементарного звена макромолекулы ПБИ. Определив концентрацию ионов при диссоциации ортофосфорной кислоты, авторы решают формулу Друде путем раздельного анализа плотности носителей тока и времени свободного пробега носителя тока. Определив проводимости ПБИ в электростатической системе единиц и разделив ее на размерный коэффициент, получили значение протонной проводимости ПБИ, допированного ортофосфорной кислотой, $\lambda = 6,9 \cdot 10^{-3}$ См/см. Экспериментальное значение протонной проводимости ПБИ, допированного ортофосфорной кислотой (C = 11 моль/л), составляет $6,7 \cdot 10^{-3}$ См/см.

Ключевые слова: протонная проводимость, полибензимидазол, ортофосфорная кислота, формула Друде

THE THEORETICAL MODEL FOR EVALUATING THE PROTON CONDUCTIVITY POLYBENZIMIDAZOLES DOPED WITH PHOSPHORIC ACID

³Tanganov B.B., ^{1,2,3}Mognonov D.M., ^{1,2}Stelmakh S.A., ³Baldanova D.M., ²Ochirov O.S., ¹Tonevitskiy Yu.V.

¹Buryat State University, Ulan-Ude;

²Baikal Institute of Nature management, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Ulan-Ude, e-mail: S_stelmakh@bk.ru;

³East Siberia State University of Technology and Management

Based on the known principles of electrodynamics, offer a theoretical model estimates the proton conductivity of polybenzimidazole (PBI) doped with phosphoric acid. Using partial conductivity λ , the strength of the external electric field E, velocity V and charge density of carriers n, the authors transformed in the Drude formula for the conductivity of solids. The quantum mechanical calculation of the MM+ optimization of the geometry and the parameters (the distance between nitrogen atoms) elemental unit of macromolecule BRP. Determine the concentration of ions in the dissociation of phosphoric acid, the authors solve the Drude formula by a separate analysis of the density of carriers and the time of free path of the carrier current. After determining the conductivity of PBI in the electrostatic system of units and dividing it into the size coefficient, the obtained value of the proton conductivity of PBI doped phosphoric acid $\lambda = 6.9 \cdot 10^{-3}$ Cm/cm. The experimental value of the proton conductivity of PBI doped phosphoric acid (C = 11 mol/l) amounts to $6.7 \cdot 10^{-3}$ Cm/cm.

Kewords: proton conductiviy, polybenzimidasole, orthophosphoric acid, the Drude formula

Для получения теоретической модели проводимости различных объектов (газовая плазма, растворы электролитов, твердое тело, в том числе и полимерные материалы), требуется привлечение наиболее общих принципов.

В решаемой задаче представляется естественным использование известного принципа электродинамики для эквивалентных представлений i через искомую проводимость λ , напряженность внешнего электрического поля E, числа Фарадея F, скорости движения зарядов V и плотности носителей тока n:

$$i = 1 \cdot E = n \cdot e \cdot V \tag{1}$$

и четырехмерного уравнения движения в ковариантной форме:

$$m \cdot c \cdot \frac{dUi}{dS} = \frac{e}{c} \cdot F_{ik} \cdot U^k, \qquad (2)$$

где
$$Ui = \frac{Xi}{dS}$$
 – четырехмерная скорость;

$$dS = c \cdot dt \cdot \left(1 - \frac{V^2}{C^2}\right)^{1/2}$$
 – пространственный

интервал при
$$V \ll C$$
, $dS = cdt$ и F_{ik}

антисимметричный ковариантный тензор электромагнитного поля. Скорость определяется четырьмя радиус векторами:

$$X^{k} = (ct, r); \quad X^{i} = (ct, r).$$
 (3)

Из равенства (1) видно, что основной проблемой для нахождения λ является установление скорости движения зарядов V, возможное строго лишь на основе уравнения (2), где тензор F_{ik} для наглядности последующих рассуждений можно представить в виде

$$F_{ik} = \begin{cases} i/k & 0 & 1 & 2 & 3\\ 00 & E_x & E_y & E_z\\ 1 & -E_x & 0 & -H_z & H_y\\ 2 & -E_y & -H_z & 0 & H_x\\ 3 & -E_z & H_y & H_x & 0 \end{cases} . \quad (4)$$

Полагаем, что, электрическое поле E направлено вдоль оси $E_{_y}$ и магнитное поле H – вдоль оси $z(H_{_z})$.

Уравнение (2) можно представить покомпонентно в развернутом виде и учитывать, что под дважды повторяющимся немым индексом подразумевается суммирование:

$$m \cdot c \cdot \frac{dUi}{dt} = \frac{e}{c} \cdot \left(F_{i0} \cdot U^0 + F_{i1} \cdot U^1 + F_{i2} \cdot U^2 + F_{i3} \cdot U^3 \right).$$

$$(5)$$

Соотношение (5) допускает раздельный анализ для временной координаты I=0 и пространственных $K=1,\ 2,\ 3.$ Для временной координаты имеет место при

$$U_0 = \frac{1}{\left(1 - V^2/c^2\right)^{1/2}} =$$

$$= \frac{d}{dS} \left(\frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{V_y^2}{c^2}}} \right) = e \cdot E_y \cdot \frac{V_y}{c}. \tag{6}$$

Из матрицы видно, что при i=0 магнитное поле Н отсутствует, скорость $V_{_{\mathcal{Y}}}$ направлена вдоль поля $E_{_{\mathcal{Y}}}$. Движение ионов или зарядов подчиняется условию $V_{_{\mathcal{Y}}}<<$ с, где c — скорость света. Возможно разложение $V_{_{0}}$, приведенное выше в ряд под степенями $V_{_{\mathcal{Y}}}/c$, т.е. справедливо

$$U_0 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V_y^2}{c^2}}} = 1 + \frac{V_y^2}{c^2}.$$
 (7)

Тогда для истинных траекторий движения зарядов с потенциалами

$$U_0 = \frac{\int \rho dV}{R},$$

где ρ — плотность зарядов; $dV = 4\pi r^2 dr$ — элемент объема; R — расстояние от точки наблюдения до dV, для левой части (7) имеет место аппроксимация:

$$\frac{m \cdot c^2}{\sqrt{1 - \frac{V_y^2}{c^2}}} = m \cdot c^2 + \frac{m \cdot V_y^2}{2} + e \cdot \varphi, \qquad (8)$$

что формализует обобщенный импульс P_i [4]. Далее подставляя (8) в (7), при $\frac{d}{dS} \Big(m \cdot c^2 \Big) = 0$ и последующем интегрировании выражения

$$\frac{d\left(\frac{m \cdot V^2}{2} + e \cdot \varphi\right)}{dS} = \frac{e}{c} \cdot E_y \cdot V_y.$$

Приводим к равенству вида

$$\frac{m \cdot V^2}{2} + l \cdot \varphi = e \cdot E_y \cdot U + \text{const.}$$

По определению $i \cdot E_y \cdot U = -e \phi$ работа электрических сил, тогда const является внутренней энергией [5], поскольку слева — сумма кинетической и потенциальной энергий.

Отсюда, учитывая Максвелловское распределение по скоростям $f_m = \exp\left(-\frac{mV^2}{2kT}\right)$, получаем требуемое выражение для скоро-

сти движения зарядов:

$$V = \left[\frac{2}{m} \cdot (U - 2) \cdot e \cdot \varphi\right]^{1/2} \cdot f_m, \tag{9}$$

где m — масса носителя тока; U — полная внутренняя энергия; f_m — Максвелловское распределение по скоростям. Детальное описание этих величин приведено в работах [1, 2].

Следующий вариант анализа (5) связан с пространственными координатами I=1,2,3 при заданной координате сил. Поскольку выбраны направления электрических и магнитных полей E_y и H_z при I=2, то из уравнения (5) и матрицы (4) следует

$$m\frac{dV_y}{dt} = e \cdot E_y - e/c \cdot H_z \cdot V_x; \qquad (10)$$

$$m\frac{dV_x}{dt} = e/c \cdot H_z \cdot V_y. \tag{11}$$

Здесь учитывается, что $U_1=U_2=-V_y/c^n$; $U_i=U_1=V_x/c$ как ковариантные компоненты U- скорости.

Для решения уравнений (10) и (11) умножаем (9), мнимую единицу I складываем с уравнением (10). Это стандартная процедура в теории поля [1], при этом получаем уравнение

$$\frac{d}{dt}(V_x + i \cdot V_y) + i \cdot \omega = i \cdot e \cdot E_y \cdot \frac{1}{m}, \quad (12)$$

где $\omega = \frac{e \cdot H}{m \cdot c}$ — частота циклотронных колебаний.

Последующий анализ этого уравнения дан в [3]. Но если иметь в виду, что «компоненты скорости являются периодическими функциями от времени», то в (12) возмож-

на стандартная аппроксимация $\frac{d}{dt} = i \cdot \omega$.

В этом случае, после очевидных преобразований, имеет место уравнение

$$V_x = \frac{c \cdot E_y}{2 \cdot H_z} = i \cdot V_y. \tag{13}$$

Подставляя это значение V_{x} в (9), можно получить следующее равенство:

$$V_{v} = \frac{c \cdot E_{y} \cdot t}{2 \cdot m} - \frac{1}{1 - i \cdot \omega \cdot t}.$$
 (14)

Таким образом, найденные значения скоростей (13) и (14) для временной и пространственной компонент уравнения (4), при их последовательном использовании в (2), приводят к равенствам

$$\lambda_{y} = \frac{F \cdot V_{y}}{E_{y}} \left[\frac{2}{m} \cdot (U - 2) \cdot m \cdot \varphi \right]^{1/2} \cdot f_{m}; \quad (15)$$

$$\lambda_{y} = \frac{n \cdot e \cdot V_{y}}{E_{y}} = \frac{n \cdot e^{2} \cdot t}{2 \cdot m} \cdot \frac{1}{1 - i \cdot \omega \cdot t}.$$
 (16)

Очевидно, что при H = 0 имеет место $\omega = 0$ и выражение (16) трансформируется в формулу Друде для проводимости твердых тел:

$$\lambda = \frac{n \cdot e^2 \cdot t}{2 \cdot m}.\tag{17}$$

Эта формула справедлива при классическом подходе и из квантовой механики. Поэтому её можно использовать для любых твердых тел, в т.ч. полимерных, полибензимидазолов (ПБИ).

В формуле Друде величина t является временем релаксации, т.е. временем свободного пробега носителя тока. Оно определяется выражением

$$t = \frac{L}{V_{v}},\tag{18}$$

где расстояние L соответствует расстоянию между атомами азота в элементарном звене макромолекулы ПБИ, равному ~ 9 , $11 \cdot 10^{-18}$ см (квантовомеханический метод расчёта ММ+ с оптимизацией геометрии). Скорость движения $V_{_{\parallel}}$ является тепловой:

$$V_y = \sqrt{\frac{kT}{m}} \left[\frac{1,38 \cdot 10^{-16} \cdot 298 \cdot 6 \cdot 10^{23}}{19} \right]^{1/2} \approx$$

$$\approx 3.6 \cdot 10^4 \, \text{cm/c}$$
.

При этих значениях L и V_{y} время релаксации равно

$$t = \frac{9,11 \cdot 10^{-8}}{3,6 \cdot 10^4} = 2,53 \cdot 10^{-12} \text{ cm}.$$

Диссоциация $H_3PO_4 - H_3O^{\otimes} + H_2PO_4^{\ominus}$ дает концентрацию ионов:

$$\left[\mathbf{H}_{3}\mathbf{O}^{\oplus}\right] = \left[\mathbf{H}_{2}\mathbf{PO}_{4}^{\ominus}\right] =$$

$$= \sqrt{K_{\pi}^{1} \cdot C_{0}} = \sqrt{6.31 \cdot 10^{-3} \cdot 10} = 8.10^{-2}$$

(при $C_0=10$ моль/л = 4,8· 10^{19} см⁻³). Эти ионы ориентируются на свободные вакансии δ^{\oplus} и $\bar{\delta^{\ominus}}$ на атомах азота в молекуле ПБИ. Их концентрации оцениваются из плотности:

$$n = \frac{\rho_{\text{пБИ}}}{M_{\text{эл.звена ПБИ}}} \cdot 2 = \frac{0.3}{397} \cdot 2 \approx 3 \cdot 10^{21} \text{ 1/c m}^3;$$
$$\lambda = \frac{U \cdot e^2 \cdot t}{m},$$

где U – плотность носителей тока или их число в 1 см 3 объема ПБИ; t – время релаксации и m – протона, равная $1,66\cdot10^{-24}$ г.

Формула Друде для решаемой задачи предполагает раздельный анализ n, t:

1. Для оценки n, предварительно можно оценить число свободных вакансий (атомы N), δ^{\oplus} и δ^{\ominus} , в 1 г ПБИ. По экспериментальной плотности $\rho \approx 1 \text{ г/см}^3$

$$N = \frac{1.0 \cdot 6.023 \cdot 10^{23}}{199} = 3.10^{21} \text{ cm}^3,$$

где 199 – эквивалентная масса элементарного звена полимера.

Эти вакансии занимают ионы образующиеся при диссоциации H_3PO_4 на первой стадии:

$$H_3PO_4 = H^{\oplus} + H_2PO_4^{\ominus}.$$

Молекулярные концентрации $[H^{\oplus}]$ и $[H_2PO_4^{\ominus}]$ оцениваются по Закону Оствальда по известной константе диссоциации для первой ступени $K_{_{\! A}}^1=6,31\cdot 10^{-3}$. В частном случае выбираем концентрацию кислоты $C_0=11$ моль/л. Тогда

$$[H^{+}] = [H_{2}PO_{4}^{-}] =$$

$$= \sqrt{6,31 \cdot 10^{-3} \cdot 11} = 2,63 \cdot 10^{-1} \text{ моль/л}$$

или число ионов в 1 см³ будет равно

$$\frac{2,63\cdot 10^{-1}\cdot 6,023\cdot 10^{\,23}}{10^3}\,=\,1,58\cdot 10^{20}\,\,\text{cm}^{-3}\,.$$

Видно, что эти величины достаточно близки $N=3\cdot 10^{21}~{\rm cm}^{-1}$.

Для достаточного объема допирующего раствора H_3PO_4 все вакансии будут заняты ионами H^\oplus и $H_2PO_4^\ominus$, проводимость ПБИ – минимальна.

При числе ионов H^{\oplus} и $H_2PO_4^{\ominus}$ больше чем $N=3\cdot 10^{-21}\,\mathrm{cm}^3$, возможен процесс: $H_2PO_4^{\ominus}+H_2PO_4^{\ominus}=HPO_4^{-2}+H_3PO_4$ причем один ион $H_2PO_4^{\ominus}$, в положении δ^{\oplus} , а второй $H_2PO_4^{\ominus}$ образуется при диссоциации избытка H_3PO_4 образующий протон H^{\oplus} является по существу свободным и может рассматриваться как носитель тока. Концентрация этих ионов оценивается по закону Оствальда для второй ступени диссоциации H_3PO_4 , при $K_{\pi}^2=6,3\cdot 10^{-8}$.

$$[H^+] = \sqrt{6,3 \cdot 10^{-8} \cdot 0,261} = 1,28 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л},$$

где $0,261 = [H_2PO_4^{\odot}]$. Если эту величину трансформировать в число ионов в 1 см³, то получаем значение n в формуле Друде:

$$n = \frac{1,28 \cdot 10^{-4} \cdot 6,023 \cdot 10^{23}}{10^{3}} = 7,7 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}.$$

2. Значение времени релаксации t в формуле Друде находится по формуле

$$t = \frac{L}{V},$$

где L – расстояние между соседними δ^{\oplus} или δ^{\ominus} вдоль макромолекулярной цепи, и

$$V = \sqrt{\frac{kT}{m}} = \sqrt{\frac{1,38 \cdot 10^{-26} \cdot 298}{1,66 \cdot 10^{-24}}} = 15,7 \cdot 10^4 \,\text{cm/c}.$$

Расчеты методом ММ+ показывают, что $L=9,11\cdot 10^{-8}$ см, тогда

$$t = \frac{9,11 \cdot 10^{-8}}{15.7 \cdot 10^4} = 0,58 \cdot 10^{-12} \text{ c.}$$

Подставляя найденные значения в формулу Друде, можно получить проводимость ПБИ в электростатической системе единиц, для которой λ :

$$\lambda = \frac{7,75 \cdot 10^{16} \cdot 23 \cdot 10^{-20} \cdot 0,58 \cdot 10^{-12}}{1,66 \cdot 10^{-24}} = 62 \cdot 10^8 \text{ c}^{-1}.$$

Для перевода этой величины C_M/c_M надо разделить её на размерный коэффициент 9.10^{11} :

$$\lambda = \frac{62 \cdot 10^8}{9 \cdot 10^{11}} = 6.9 \cdot 10^{-3} \,\text{Cm/cm}.$$

Экспериментальное определение протонной проводимости ПБИ, допированного 11 моль/л H_3PO_4 , составляет

$$\lambda = 6.7 \cdot 10^{-3} \text{ Cm/cm} [6].$$

Таким образом, теоретически рассчитанное значение протонной проводимости ПБИ хорошо коррелирует с экспериментально полученными значениями.

Работа выполнена при финансовой поддержке Бурятского государственного университета № гранта 2016-16E.

Список литературы

- 1. Балданов М.М., Танганов Б.Б., Мохосоев М.В. // Журнал физической химии. 1990. Т. 64. С. 88.
- 2. Балданов М.М., Танганов Б.Б., Мохосоев М.В. // Журнал физической химии. 1991. T. 65. C. 362.
- 3. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела. М.: Наука, 1978. 360 с.
- 4. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теория поля. М.: Наука, 1988. 510 с.
- 5. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред. М.: Госиздат, Физ.мат.лит., 1959. 526 с.
- 6. Русанов. А.Л., Лихачев Д.Ю., Мюллен К. Электролитические протонпроводящие мембраны на основе ароматических конденсационных полимеров // Успехи химии. — 2002. — № 71. — Т. 9. — С. 873–875.

УДК 547.824

СИНТЕЗ НОВЫХ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОСНОВЕ N-ЗАМЕЩЕННЫХ ГАММА-ПИПЕРИДОНОВ

Хаперская Л.С., Медетбекова Ж.М., Сарымзакова Р.К.

Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына, Бишкек, e-mail: Sarimzakova@mail.ru

Поиск новых, более эффективных лекарственных препаратов продолжает оставаться актуальной проблемой. Множество соединений пиперидинового ряда с успехом применяют в клинической практике для обезболивания. N-производные гамма-пиперидонов достаточно широко используются в медицине и относятся к важной группе биологически активных соединений. Работа посвящена синтез усоединений пиперидинового ряда с потенциальной биологической активностью. Осуществлен синтез 2,6-дифенил-3-изопропил-4-она по методу Петренко – Критченко. В экспериментальной части на его основе по реакции Манниха синтезирован N-(3¹-м-нитрофенил-3¹-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилиперидин-4-он. Было установлено, что реакция синтеза диоксима, дисемикарбазона, дифенилгидразона N-(3¹-м-нитрофенил-3¹-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она легко осуществляется по карбонильной группе. С помощью программы PASS был осуществлен компьютерный прогноз биологической активности полученных соединений.

Ключевые слова: синтез, ү-пиперидон, оксим, семикарбазон, фенилгидрозон

THE SYNTHESIS OF NEW BIOLOGICALLY ACTIVE COMPOUNDS BASED ON N-SUBSTITUTED Γ-PIPERIDONES

Khaperskaya L.S., Medetbekova Zh.M., Sarymzakova R.K.

Kyrgyz National University named after Zh. Balasagyn, Bishkek, e-mail: Sarimzakova@mail.ru

Search of new, more effective medicines remains to be an actual problem of modern chemistry. Many compounds of piperidine series are successfully used as components of analgestic drugs. N-substituted derivatives of γ -piperidones are important category of biologically active compounds and widely used in pharmacy. This article is dedicated to synthesis of piperidine derivatives with potential biological activity. The synthesis of 2,6-diphenyl-3-isopropyl-4-on was carried out by Petrenko – Kritchenko method. Based on this compound, by Mannich reaction it was synthesized N-(3'-m-nitrophenyl-3'-oxopropyl)-2,6-diphenyl-3-isopropylipieridine-4-on. It was found that reaction of dioxime synthesis, disemicarbazone synthesis, diphenylhydrozone synthesis N-(3'-m-nitrophenyl-3'-oxopropyl)-2,6-diphenyl-3-isopropylpiperidine-4-on synthesis easily put into effect by carbonyl group. By using PASS-program the prediction of biological activity for obtained compounds was made.

 $Keywords: synthesis, \gamma\hbox{-piperidones, oxime, semicarbazone, hydrozone}$

Гетероциклические соединения пиперидинового ряда привлекают внимание исследователей разнообразием свойств. Производные пиперидина достаточно широко используются в медицине. К настоящему времени синтезированы и изучены десятки тысяч соединений этого ряда, более трехсот из них применяют в медицинской практике в качестве лекарственных средств. Множество соединений пиперидинового ряда с успехом применяют в клинической практике для обезболивания [1]. В последние годы полигидроксилированные пиперидины и пирролидины представляют значительный интерес в лечении таких заболеваний, как рак и диабет. Некоторые соединения из этого класса оказались перспективными для лечения вирусных инфекций, в том числе ВИЧ. Кроме синтетических аспектов проблемы, важное значение имеет определение стереохимии образующихся соединений, так как возможный физиологический эффект напрямую зависит от взаиморасположения их в пространстве [2]. По аналогии

с литературными данными для получения соединений, обладающих целебными свойствами, нами ранее были осуществлены реакции нуклеофильного присоединения гидроксиламина, гидразина и его производных по карбонильной группе [3]. В их числе препараты центрального периферического нейротропного действия, средства, влияющие на сердечно-сосудистую систему (противоаритмические, антигипертензивные) спазмолитики, диуретики, бронхолитики, противоязвенные средства и ряд других. Известно, что физиологическая активность препаратов пиперидинового ряда зависит от заместителей в цикле и от строения радикалов при атоме азота [4].

В синтетическом и прикладном отношении среди производных пиперидина наибольшее значение имеют у-пиперидоны, на основе которых созданы многие эффективные лекарственные препараты, в том числе у замещенные пиперидины [5, 6]. Гамма-пиперидоны и их производные входят в состав морфина, димедрола, промедола, фентанила.

Таким образом, в качестве лекарственных препаратов выступают многие соединения, имеющие в своем составе пиперидиновый цикл. Поэтому одной из важных причин получения и исследования γ-пиперидонов и их производных является поиск новых лекарственных препаратов, более эффективных, чем ранее известные [7].

В продолжение работ по получению новых соединений в фенилпиперидиновом ряду нами был синтезирован по методу Петренко - Критченко, усовершенствованному Балиага [8], Д.К. Ким [9], 2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-он. В качестве исходных соединений для синтеза были взяты 4-метилпентанон-2, бензальдегид и ацетат аммония. Конденсация 4-метилпентанона-2 с бензальдегидом и дальнейшая циклизация с аммиаком проходит с небольшим осмолением, вследствие чего вы-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она не превышает 57% (схема синтеза № 1 – рис. 1).

Далее, в области синтеза по получению новых соединений нами был проведен синтез гидрохлорида N-(3-'м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропил-

пиперидин-4-она. В качестве исходных соединений для синтеза были взяты 2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-он с м-нитроацетофеноном и параформом (схема синтеза \mathbb{N}_2 2 – рис. 2).

Реакцию проводили в среде абсолютизированного этилового спирта в присутствии соляной кислоты.

Ход реакции контролировали методом тонкослойной хроматографии на окиси алюминия в системе толуол: ацетон = 1:1. В ИК-спектре поглощения гидрохлорида N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она присутствуют полосы, характерные для групп: $1719 \text{ cm}^{-1} \text{ (C} = 0)$, $1207 \text{ cm}^{-1} \text{ (C-N)}$, $1535 \text{ cm}^{-1} \text{ (NO}_3)$, $2557 \text{ cm}^{-1} \text{ (-NH}^+)$.

Нами был осуществлен синтез по реакции нуклеофильного присоединения гидрохлоридов: гидроксиламина, семикарбазида и фенилгидразина по карбонильным группам N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она с образованием гидрохлоридов: диоксима, дисемикарбазона и дифенилгидразона N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она.

Рис. 1. Схема синтеза № 1

$$CH_3$$
 CH_3
 CH_3
 CH_4
 CH_5
 CH_5

Рис. 2. Схема синтеза № 2

$$\begin{array}{c} O \\ CH-CH_3 \\ CH_3 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ O=C \\ \\ NO_2 \\ \end{array} \begin{array}{c} 2NH_2OH \cdot HCI \\ -2H_2O \\ H_5C_6 \\ H_5C_6 \\ CH_2 \\$$

Рис. 3. Схема синтеза № 3

$$\begin{array}{c} O \\ O \\ CH-CH_3 \\ CH_3 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ O=C \\ \end{array} \begin{array}{c} 2H_2N-NH-\overset{.}{C}-NH_2 \cdot HCI \\ -2H_2O \\ CH_2 \\ CH$$

Рис. 4. Схема синтеза № 4

Гидрохлорид диоксима N-(3-'м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она получают действием солянокислого гидроксиламина на N-(3-'м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-он (схема синтеза № 3 – рис. 3).

Синтез проводили в среде абсолютизированного этилового спирта при температуре $80\,^{\circ}$ С. В ИК спектре полученного соединения наблюдаются полосы поглощения характерные для групп: $3242\,\mathrm{cm'}$ (N–OH), $1226\,\mathrm{cm'}^1$ (C–N), $1620\,\mathrm{cm'}^1$ (C = N), $1498\,\mathrm{cm'}^1$ (NO₂), $2485\,\mathrm{cm'}^1$ (–N+H). По аналогии с тем, как был получен гидрохлорид диоксима N-(3-'м-нитрофенил-3¹-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она,

также был получен гидрохлорид семикарбазона (схема синтеза N 4 – рис. 4).

В ИК-спектре поглощения гидрохлорида дисемикарбазона N-(3-'м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она наблюдаются полосы поглощения характерные для групп: 1689 cm^{-1} (C = 0), $1231 \text{ cm} \cdot \text{cm}^{-1}$ (C-N), 1649 cm^{-1} (C = N), 1513 cm^{-1} (NO₂), 2700 cm^{-1} (-N⁺H).

Соединение N-(3-'м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропил-пиперидин-4-он взаимодействует с соляно-кислым фенилгидразином с образованием гидрохлорида дифенилгидразона N-(3-'м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она (схема синтеза № 5 – рис. 5).

$$\begin{array}{c} O \\ CH-CH_3 \\ CH_3 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ O=C \\ \\ NO_2 \\ \end{array} \\ \begin{array}{c} 2H_5C_6-NH-NH_2 \cdot HCI \\ -2H_2O \\ CH_2 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ CH_2 \\ C=N-NH-C_6H_5 \\ \\ NO_2 \\ \end{array}$$

Рис. 5. Схема синтеза № 5

В качестве растворителя был использован абсолютизированный этиловый спирт. Реакционную смесь кипятят в течение 5 часов. Полученное вещество — кристаллическое соединение желтого цвета.

В ИК-спектре поглощения гидрохлорида дифенилнигидразона N-(3-'м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она наблюдается полоса поглощения характерная для групп: $1275 \text{ cm}^{-1} \text{ (C-N)}, 1620 \text{ cm}^{-1} \text{ (C=N)}, 1498 \text{ cm}^{-1} \text{ (NO}_2), 2337 и 2360 \text{ cm}^{-1} \text{ (-N+H)}.$

Синтез 2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она

В круглодонной колбе емкостью 500 мл, снабженной обратным холодильником, смешивают 63 мл (0,5 моль) 4-метилпентанона-2, 102 мл (1 моль) бензальдегида, 53 г (0,7 моль) уксуснокислого аммония и 100 мл этилового спирта. Смесь нагревают при температуре 40–45°С в течение 4–5 ч, перемещивая. По окончании реакции реакционную смесь охлаждают до комнатной температуры и оставляют на сутки для кристаллизации, предварительно отделив нижний слой. Выпавшие кристаллы отфильтровывают под вакуумом на воронке Бюхнера, промывают изопропиловым спиртом и высушивают. Перекристаллизовывают из ацетона.

Получают 84 г (57%) белого кристаллического 2,6-дифенил-3-изопропил пиперидин-4-она с $T_{\text{пл}} = 119-121$ °C, $R_c = 0.83$ в системе бензол: диоксан = 40:1.

ИК-спектр: $3026 \text{ см}^{-1} \text{ (C}_{ap}\text{-H}), 1702 \text{ см}^{-1} \text{ (C} = 0), 3300 \text{ см}^{-1} \text{ (N-H)}.$

Общая формула: $C_{20}H_{23}NO$. Вычислено: N = 4,78%; найдено: N = 4,14%.

Синтез гидрохлорида N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она

В круглодонной колбе емкостью 500 мл, снабженной обратным холодильником в 300 мл абсолютизированного этилового спирта растворяют 87,9 г (0,3 моль) 2,6-дифенил-3изопропилпиперидин-4-она 49,5 г (0,3 моль), м-нитроацетофенона и параформа 15 г в присутствии соляной кислоты. Реакционную смесь кипятят при температуре 80°C в течение 8 часов, периодически перемешивая. Ход реакции контролируют тонкослойной хроматографией на окиси алюминия в системе толуол:ацетон = 1:1. По окончании реакции смесь охлаждают до комнатной температуры и оставляют в эксикаторе с гидроксидом натрия для кристаллизации. Выпавшие кристаллы отфильтровывают и перекристаллизовывают из толуола.

Получают 48,3 г (55%) белого кристаллического гидрохлорида N-(3'-м-нитрофенил- 3^1 -оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она с $T_{n,n} = 210$ °C.

 $R_f = 0.87$ в системе толуол:ацетон = 1:1. Общая формула: $C_{29}H_{30}N_2O_4$. Вычислено: N = 5.95%; найдено: N = 5.27%.

ИК-спектр: 3064 см $^{-1}$ (C $_{\rm ap}$ –H), 1719 см $^{-1}$ (C=O), 1207 см $^{-1}$ (C–N), 1535 см $^{-1}$ (NO $_{\rm 2}$), 2557 см $^{-1}$ (–N $^{+}$ H) .

Синтез гидрохлорида диоксима N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она

В круглодонной колбе, снабженной обратным холодильником, в 10 мл абсолютизированного этилового спирта

растворяют 0,1 г (0,2 ммоль) гидрохлорида N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она и 0,1 г (0,4 ммоль) солянокислого гидроксиламина. Реакционную смесь кипятят в течение 5 часов, периодически перемешивая. Ход реакции контролируют тонкослойной хроматографией на окиси алюминия в системе бензол: диоксан (40:1). По окончании реакции смесь охлаждают до комнатной температуры и оставляют на сутки для кристаллизации. Выпавшие кристаллы отфильтровывают, промывают этиловым спиртом и высушивают. Перекристаллизуют из ацетона.

Получают 0,05 г (50%) белого кристаллического гидрохлорида оксима N-(3'-m-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она с $T_{mn} = 218-220$ °C. $R_f = 0,51$ в системе бензол:диоксан = 40:1.

ИК-спектр: $3040~\text{см}^{-1}~(\text{C}_{\text{ap}}\text{-H}),~3242~\text{см}^{-1}~(\text{N-OH}),~1226~\text{см}^{-1}~(\text{C-N}),~1620~\text{см}^{-1}~(\text{C=N}),~1498~\text{см}^{-1}~(\text{NO}_2),~2485~\text{см}^{-1}~(-\text{N}^+\text{H}).$

Синтез гидрохлорида дисемикарбазона N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она

В круглодонной колбе, снабженной, обратным холодильником, в 10 мл абсолютизированного этилового спирта растворяют 0,1 г (0,2 ммоль) гидрохлорида N-(3-mнитрофенил-3-оксопропил)-2,6-дифенил-3изопропилпиперидин-4-она и 0,1 г (1 ммоль) семикарбазида солянокислого. Реакционную смесь кипятят в течение 19 часов, периодически перемешивая. Ход реакции контролируют тонкослойной хроматографией на окиси алюминия в системе бензол:диоксан = 40:1. По окончании реакции смесь охлаждают до комнатной температуры и оставляют на сутки для кристаллизации. Выпавшие кристаллы отфильтровывают, промывают этиловым спиртом и высушивают. Перекристаллизовывают из ацетона. Получают кристаллы желтого цвета гидрохлорида дисемикарба-N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропил-перидин-4-она с $T_{mr} = 213-215$ °C. $R_{r} = 0.38$ в системе бензол: диоксан = 40:1.

ИК-спектр: 3064 см⁻¹ (С₋H), 1689 см⁻¹ (С=0), 1231 см⁻¹ (С-N), 1649 см⁻¹ (С=N), 1513 см⁻¹ (NO₂), 2700 см⁻¹ (–N⁺H).

Синтез гидрохлорида дифенилгидразона N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она

В круглодонной колбе, снабженной обратным холодильником, в 10 мл абсолютизированного этилового спирта растворяют 0,1 г (0,2 ммоль) гидрохлорида N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-

2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она и 0,1 г (1 ммоль) солянокислого фенилгидразина. Реакционную смесь кипятят в течение 5 часов, периодически перемешивая. Ход реакции контролируют тонкослойной хроматографией на окиси алюминия в системе бензол:диоксан = 40:1. По окончании реакции смесь охлаждают до комнатной температуры и оставляют на сутки для кристаллизации. Выпавшие кристаллы отфильтровывают, промывают этиловым спиртом и высушивают. Перекристаллизовывают из ацетона. Получают гидрохлорид дифенилгидразона N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4она с $T_{\text{пл}} = 224-230$ °C, $R_f = 0.74$ в системе бензол:диоксан = 40:1.

ИК-спектр: 3032 см^{-1} (C₋H), 1275 см^{-1} (C-N), 1637 см^{-1} (C=N), 1498 см^{-1} (NO₂), $2337 \text{ и } 2360 \text{ см}^{-1}$ (-N⁺H).

По программе PASS (Prediction of Activity Spectra for Subctances) [10] для синтезированных соединений был осуществлен компьютерный прогноз биологической активности. По результатам этого прогноза гидрохлорид N-(3'-м-нитрофенил-3'-оксопропил)-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она обладает противоэкземной активностью. Для гидрохлорида диоксима высока вероятность антигипоксантных свойств.

Список литературы

- 1. Станишевский Л.С., Вахаревский А.С., Звонок Н.М., Юдкевич Е.А., Мелектович Л.Н., Луговский А.П. Синтез и фармакологические свойства некоторых 2,4- дегидроксипиперидонов // Хим. фарм. ж. 1990. Вып. 24. № 2. С. 114–117.
- 2. Решетов П.В., Кривенко Н.П., Бореко Е.И., Владыко Г.В., Коротченко Л.С. Синтез и пространственная активность замещенных пиперидона и пергидрохинолинов // Хим. фарм. ж. 1990. Вып. 24. N 12. С. 27–29.
- 3. Хаперская Л.С., Адылов С.А., Медетбекова Ж.М., Сарыбаева Б.Д., Жумабаева Г.А. Присоединение гидразина и его производных по карбонильной группе 14-замещенных-2,6-дифенил-3-пропилпиперидин-4-она // Вестник КНУ. 2002. Серия 3, Вып. 1. С. 102.
- 4. Ибрагимова А.А., Медетбекова Ж.М., Адылов С.А., Хаперская Л.С. Синтез N-бензил-2,6-дифенил-3-изопропилпиперидин-4-она и его производных // Вестник КНУ. 2009. Серия 5, Вып. 2. С. 64.
- 5. Мандал Д.К., Кузнецов В.В., Литвинов А.Ж., Мобио И.Г. Синтез и фунгицидная активность замещенных 4-аминопиперидинов и 4-аминотетрагидропипиридинов // Хим. фарм. ж. -1991. -№ 6. -C. 28–32.
- 6. Макин С.М., Назарова О.Н., Кундрюцкова Л.А. Новый путь синтеза 1,2,5-гриметил- 4-пиперидона // Хим. фарм. журнал. 1989. Т. 23, № 12. С. 1493—1495.
- 7. Машковский М.Д. Лекарственные средства. Т1. Харьков: Торсинг, 1998.
- 8. Наметкин С.С. Гетероциклические соединения. М.: Наука, 1981. С. 511-513.
- 9. Ким Д.К., Тулемисова Г.Б., Новый способ синтеза 2-фенил-2,6-дифенил- 4-пиперидонов // ЖОХ. – Т. 33, Вып. 9. – СПб.: Наука, 1997. – С. 1412–1415.
- 10. Поройков В.В., Филимонов Д.А., Глориозова Т.А., Лагунин А.А., Дружиловский Д.С., Степанчикова А.В. Компьютерное предсказание биологической активности химических веществ: виртуальная хемогеномика // Вестник ВОГиС. -2009. Т. 13, № 1. С. 137-143.

УДК 581.55 (517.56-13)

ТРАВЯНИСТЫЕ РАСТИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА АНТРОПОГЕННЫХ МЕСТ ОБИТАНИЯ В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ (НА ПРИМЕРЕ Г. НЕРЮНГРИ)

Зайцева Н.В.

Технический институт (филиал), Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, Нерюнгри, e-mail: nz demetra@mail.ru

В статье приведены результаты исследований травянистых растительных сообществ, возникших в г. Нерюнгри (Южная Якутия) на местах, преобразованных деятельностью людей. Одно из них – разнотравно-злаково-пижмовое ксеро-мезофитное сообщество пустыря, возникшее вследствие естественных процессов зарастания пожарища. Другое – разнотравно-злаковое сообщество, возникшее в результате целенаправленной деятельности на месте бывшей строительной площадки (газон). Приведены данные по структуре и видовому составу сообществ, соотношению их компонентов, формированию ветошного слоя, участию видов в сложении биомассы. Установлено, что благодаря целенаправленной деятельности по созданию газона формируется устойчивое, закрытое, саморегулирующееся лугоподобное растительное сообщество с оптимальным сочетанием злаковых и разнотравных компонентов, собственным микроклиматом, максимально эффективным использованием пространственных ресурсов экотопа, активным формированием мертвой подстилки и органического слоя. В таком сообществе велика доля бобовых растений и красивоцветущих представителей разнотравья, что делает его инструментом формирования почвенного плодородия, а также придает высокую декоративную ценность. Следовательно, газон, как способ организации травянистого растительного сообщества может быть настоятельно рекомендован для благоустройства и оформления населенных пунктов Южной Якутии (и населенных пунктов других регионов с аналогичными климатическими условиями).

Ключевые слова: Южная Якутия, антропогенные места обитания, травянистые растительные сообщества, пустырь, газон, биомасса

HERBACEOUS PLANT COMMUNITIES OF ANTHROPOGENIC HABITATS IN SOUTHERN YAKUTIA (FOR EXAMPLE ON NERUNGRI TOWN)

Zaytseva N.V.

Technical Institute (branch), North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Nerungri, e-mail: nz demetra@mail.ru

There were present the results of studies of herbaceous plant communities occurred in Neryungri town (South Yakutia) in the habitats have been transformed by human activity. One of them is herb-cereal-tansy xero-mesophyte community, resulting from natural processes of conflagration overgrowing. Other one is herb-cereal community resulting from the activities targeted at the site of the former building area (the lawn). The data on the structure and species composition of communities, the ratio of their components, the part in organic layer formation, the contribution of species in the biomass composition were given. It was established that a stable, closed, self-regulating meadow like plant community with the best combination of cereal and herb components, its own microclimate, maximize the efficient use of spatial resources of ecotope, active formation of dead litter and organic layer formed due to the purposeful activity on creation of the lawn. In this community a proportion of leguminous plants and representatives of flowering herbs is high, that making it as a tool for the formation of soil fertility and decorative attractiveness. Consequently, the lawn as a variant of organizing herbaceous plant communities can be strongly recommended for the improvement and design of settlements in Southern Yakutia (and settlements of other regions with similar climatic conditions).

Keywords: Southern Yakutia, anthropogenic habitats, herbaceous plant communities, vacant lot, lawn, biomass

Южная Якутия (ЮЯ) – регион, располагающийся в пределах Алданского нагорья и на северных отрогах Станового хребта. Характеризуется своеобразным климатом, который определяют как холодный резко континентальный со среднегодовой температурой –7°С и годовыми колебаниями температур от –45°С зимой до + 35°С летом [24]. Горный характер ландшафта, наличие мерзлоты и высокая степень влажности климата (КУ > 1,5) обусловливают специфику почвообразовательных процессов: основная масса почв ЮЯ характеризуется малой мощностью, грубым разложением

органической массы, кислой реакцией почвенной среды, низким содержанием питательных веществ [25].

Как указывают классические источники [7], растительность этого региона относится к Алдано-Зейской флористической провинции, где основу растительного покрова составляют лиственничные леса, образованные лиственницей Гмелина (Larix gmelinii (Rupr.) Rupr.), сосноволиственничные и сосновые леса из сосны обыкновенной (Pinus sylvestris L.), а также еловые долинные формации (эдификатор – Picea obovata L.).

Тем не менее особенности географического расположения Нерюнгринского района (одного из административных районов, отнесенных к ЮЯ) на стыке Забайкальского, Восточносибирского и Дальневосточного регионов, горный характер местности, густая гидрологическая сеть предопределили наличие здесь большого количества микроландшафтов и соответствующих им растительных сообществ.

Свой вклад в формирование растительного покрова ЮЯ в Нерюнгринском районе вносит деятельность по социально-экономическому и индустриальному освоению данного региона. Создание промышленных объектов (а это в основном горнодобывающие предприятия, транспортные магистрали, электростанции) [9] и строительство сопутствующих им населенных пунктов привели к возникновению антропогенных ландшафтов, отличающихся от природных экотопов полным отсутствием плодородного почвенного слоя и нарушением отношений, характеризующих естественные сообщества. Заселение таких территорий растениями происходит, практически заново, за счет семян, привнесенных извне.

Необходимо обратить внимание и на тот факт, что населенные пункты ЮЯ создавались как временные и должного внимания их благоустройству и озеленению на уровне поселковых и районных администраций не придавалось. И тем не менее, в соответствии со строительными и санитарными нормами, семенами газонных трав периодически засевались придомовые территории, защитные полосы вдоль автомобильных трасс, кормовые угодья возле животноводческих комплексов. Источником антропогенной растительности в городе Нерюнгри также являются стихийная деятельность населения по благоустройству своих дворов (создание клумб, зеленых насаждений из плодовых и ягодных деревьев и кустарников) и работа энтузиастов-экологов (школьные кружки, экологические клубы, общества по охране природы), которые тоже внесли свой вклад в распространение семян и привлечение инорайонных видов на территорию населенных пунктов и технических объектов Нерюнгринского района. В итоге в настоящий момент на селитебных территориях ЮЯ идет сложный процесс формирования растительности, представляющей собой конгломерат видов местной, инорайонной, рудеральной и культурной флор; установления между ними межвидовых отношений. По нашим наблюдениям (бывший поселок

«Пионерный» вблизи поселка Чульман, бывший поселок геологов «Чульмакан», бывшая станция по отгрузке угля «Китаянка» в окрестностях г. Нерюнгри; заброшенные пахотные земли в поселке Томмот и другие небольшие, уже необитаемые, поселения в Алданском и Нерюнгринском районах), результатом этих процессов чаще всего является возникновение травянистых лугоподобных сообществ, отличающихся довольно высоким видовым разнообразием и адаптированностью к условиям ЮЯ. В то же время такие сообщества являются динамически равновесными, устойчивыми как к изменениям погодных условий по годам, так и к проникновению «аборигенных» видов, образующих типичные для данного региона природные растительные ценозы. В этом мы видим их значение в деятельности по созданию природных объектов для использования в сельском хозяйстве, промышленности и при оптимизации техногенных ландшафтов региона. По-видимому, в условиях меняющегося климата на территории ЮЯ травянистые растительные сообщества (луговые, лугово-рудеральные, пустырные и т.п.) являются экологически оптимальной формой сосуществования видов растений, а деятельность людей по очистке территории от естественной растительности – фактором возникновения, становления и распространения подобных ассоциаций.

Цель данной работы – дать сравнительное описание двух типов травянистой растительности, возникших в г. Нерюнгри на антропогенных местах обитания (первое – вследствие естественных причин, второе – в результате целенаправленной деятельности), определить особенности их видового состава, соотношения компонентов, накопления биомассы; выявить факторы, в наибольшей степени способствующие становлению устойчивого продуктивного травянистого растительного сообщества в городе на вечной мерзлоте.

Материалы и методы исследований

Характеристика района исследований. Методы исследований

Характеристика климата Южной Якутии. ЮЯ — географическая зона, которая расположена между 56-й и 63-й параллелями северной широты; занимает территорию Алданского нагорья и северные отроги Станового хребта в пределах Республики Саха (Якутия) [4].

Ее климат характеризуется как резко континентальный, относительно холодный и влажный. Вегетационный период здесь длится от 80 до 100 дней

(с середины мая по середину сентября), причем в течение всего этого времени возможно вторжение арктических воздушных масс, влекущих за собой понижение температуры воздуха, в т.ч. заморозки и осадки в виде града и снега. Низкие зимние температуры (до –47°С) являются важнейшим лимитирующим фактором для выращивания тех или иных видов культурных многолетних растений.

Также к особенностям климата ЮЯ можно отнести умеренно теплое (средние температуры июля: +15...+16°С), пасмурное и дождливое лето. Максимум осадков в Нерюнгринском районе приходится на июльавгуст (до 350 мм за сезон) [23]. Количество дождливых дней за летний период составляет не менее 50. Как правило, дожди носят моросящий характер, а это формирует высокую влажность воздуха и почвы.

Для региона характерно широкое распространение почв подзолистого типа, подбуров и болотных торфяников [3]. Снежный покров держится 223 дня в году, его высота может достигать 1 м [23].

Методика исследований

В данном исследовании было проведено сравнительное изучение двух типов травянистых ценозов в г. Нерюнгри (56°66′ с.ш., 124°71′ в.д.; 847 м над уровнем моря) – пустыря, подвергшегося естественному зарастанию, и искусственно созданного газона. «Пустырь» возник на месте сгоревшего в 2006 году жилого дома; общая площадь этого ценоза – 234 кв. м. «Газон» в 350 кв. м заложен в 2002 г. на земельном участке возле административно-учебного корпуса ТИ(ф) СВФУ в г. Нерюнгри и является частью экспериментальной площадки (стационара) по изучению методов озеленения населенных пунктов Южной Якутии.

В настоящей статье приведены данные по состоянию этих сообществ на вторую половину вегетационного периода 2014 г. для сравнительной оценки их структуры и видового состава, эффективности процессов зарастания. Даты проведения описаний и измерений: 27.07–10.08.2014 года.

Изучение растительных сообществ проводили методом закладки пробных площадей — стационаров, не менее 100 кв. м каждая [6; 11]. На пробных площадках в наиболее типичных местах выделяли учетные площадки размером 1×1 м (не менее шести для каждого из приведенных вариантов). На них делали укосы для определения урожайности (биомассы) травостоя, определяли встречаемость видов растений и т.п.

При описании растительного сообщества устанавливали следующую информацию: географическое положение исследуемого участка; описание рельефа и микрорельефа; степень и тип увлажнения; характеристика почвенного покрова и мертвой подстилки; ярусы в сообществе и их видовой состав; степень проективного покрытия, задернованность (истинное покрытие), аспект. При анализе флористического состава: названия видов, обилие, фенологическое состояние, характер размещения на участке. Также оценивали состояние мохово-лишайникового покрова и внеярусной растительности.

Флористические списки для исследуемых фитоценозов составляли сначала в пределах пробной площади, а затем, маршрутным способом, — в пределах описываемого фитоценоза.

Видовую принадлежность растений устанавливали как с использованием классических изданий: «Определитель высших растений Якутии» под ред. А.И. Толмачева [21]; В.Н. Ворошолов «Определитель

растений Советского Дальнего Востока» [5]; «Флора Сибири» (14 томов) [29]; так и при помощи современных электронных информационных систем: «Плантариум» [22], «Наша Ботаничка» [17].

Принадлежность видов растений к категориям по редкости и необходимости охраны устанавливали в соответствии с Красной Книгой Республики Саха (Якутия) [10].

Проективное покрытие оценивали по шкале Раменского.

Степень участия отдельных видов в травостое определяется методом учета их обилия, с опорой на шкалу Друде, в которой приняты следующие условные обозначения: Un (unicum) – единственно; Sol (solitariae) – единично; Sp (sparsae) – рассеяно; Cop $_1$ (соріоѕае $_1$) – достаточно обильно; Cop $_2$ (соріоѕае $_2$) – обильно; Cop $_3$ (соріоѕае $_3$) – очень обильно; Soc (sociales) – массово/сомкнуто [6, 11].

Для определения наземной биомассы растений делали укосы на учетных делянках, взвешивали в сыром состоянии (показатель «биомасса на сырое вещество»), разбирали по видам/фракциям, которые тоже взвешивали. Затем скошенные растения высушивали до постоянной массы и вторично взвешивали для определения показателя «биомасса на сухое вещество» [16; 8]. Повторность измерений 6-кратная.

Математическую обработку результатов проводили посредством встроенного в Exel пакета «Анализ данных», инструментов «Описательная статистика» и «Дисперсионный анализ».

При статистических расчетах были получены следующие значения показателя «наименьшая существенная разность» ($HCP_{\rm os}$):

- для оценки массы сырого вещества компонента «Злаки» всех изученных растительных сообществ и их вариантов 298,9 г/кв.м;
- для оценки массы сырого вещества компонента «Разнотравье» – 184,4 г/кв.м;
- для оценки массы сырого вещества компонента «Ветошь» -250,01 г/кв.м;
- для оценки общей массы сырого вещества всех растений на учетных делянках – 816,4 г/кв.м;
- для оценки массы сухого вещества компонента «Злаки» всех изученных растительных сообществ и их вариантов 76.5 г/кв.м;
- для оценки массы сухого вещества компонента «Разнотравье» – 18,8 г/кв.м;
- для оценки массы сухого вещества компонента «Ветошь» 10,7 г/кв.м;
- для оценки общей массы сухого вещества всех растений на делянке 99,2 г/кв.м.

Результаты исследований и их обсуждение

Для сравнения процессов формирования травянистых растительных сообществ в условиях города в ЮЯ (на примере г. Нерюнгри) мы приводим данные по изучению структуры и флористического состава двух типов ценозов — пустыря, подвергшегося естественному зарастанию посредством засевания семенами с окружающих территорий, и газонов, искусственно созданных в соответствии с требованиями к технологии и видовому составу [28; 12].



Рис. 1. Фотоизображение фитоценоза «Пустырь» (г. Нерюнгри, 27.07.2014 г.)

Пустырь

Описываемый экотоп — пустырь, возникший на месте сгоревшего в 2006 году дома (рис. 1). Это относительно ровное место с уклоном в 5° на восток. Поверхность образована песком и мелким щебнем. Увлажнение участка происходит за счет атмосферных осадков.

Участок зарастает преимущественно травянистыми растениями, хотя отмечены единичные молодые растения ивы (Salix sp.) и березы бородавчатой (Betula pendula Roth.). Общее проективное покрытие травянистых растений – 60%, но задернованность (истинное покрытие) – не более 40%. Между высокими растениями пижмы и злаков видны довольно обширные пространства щебнистого грунта, свободные от растительности.

Ярусы сообщества и их видовой состав: 1 ярус — высокие травы (до 1 м высотой). К этому ярусу мы отнесли: Tanacetum vulgare L. (Cop₂), Elymus sibiricus L. (Cop₁), Chamaenerion angustifolium (L.) Scop. (Sp), Crepis tectorum L. (Sp), Agropyron repens (L.) P. Beauv (Sp), Arabis pendula L. (Sol). Всего 6 видов (17%).

2-й ярус – травы 2-го порядка (до 0,7 м высотой). По видовому составу более многочисленен – 16 видов (46% от общего числа выявленных видов): *Agrostis gigantea* Roth. (Cop₂), *Artemisia mongolica* (Besser) Fisch. ex Nakai (Cop₁), *Geum aleppicum* Jacq. (Cop₁), *Achillea asiatica* Serg. (Cop₁), *Deschampsia submutica* (Trautv.) Nikiforova (Cop₁),

Artemisia integrifolia L. (Sp); Alopecurus pratensis L. (Sol); Poa pratensis L. (Sp); Trifolium pratense L. (Sp); Erigeron acris L. (Sol); Potentilla conferta Bunge (Sol); Atriplex fera (L.) Bunge (Sol); Artemisia scoparia Waldst. & Kit. (Sol); Carex cespitosa L. (Sol); Achillea alpina L. (Sol); Vicia cracca L. (Sol).

Травы 3-го яруса (до 0,3–0,5 м высотой): Potentilla norvegica L. (Cop₁), Astragalus davuricus (Pall.) DC. (Sol), Agrostis scabra Willd. (Sp), Taraxacum officinale F.H. Wigg. (Sp), Plantago major L. (Sp), Plantago depressa Schltdl. (Sp).

Стелющиеся травы (не выше 0,2 м): *Amoria repens* (L.) C. Presl (Cop_1), *Potentilla supina* L. (Cop_1), *Potentilla anserina* L. (Sp).

Мохово-лишайниковый покров представлен отдельными небольшими пятнами зеленых мхов (ПП не более 5%).

Всего в данном ценозе нами выявлены 35 видов сосудистых растений. Доминантным видом является Tanacetum vulgare (проективное покрытие (ПП) наземных частей превышает 30%); обильно представлены виды: Elymus sibiricus (субдоминант в 1-м ярусе), $\Pi\Pi = 5\%$, Agrostis gigantea ($\Pi\Pi = 5\%$), Geum aleppicum $(\Pi\Pi = 5\%)$, относительно обильно Artemisia mongolica (субдоминант во 2-м ярусе), $\Pi\Pi = 15\%$, A. integrifolia, Agropyron repens, Deschampsia submutica, Potentilla norvegica. Следовательно, изученное сообщество мы можем обозначить как разнотравно-злаково-пижмовое с участием в сложении разнотравья Artemisia mongolica и A. integrifolia.

Анализ распределения видов по семействам показывает, что наиболее многочисленны в данном сообществе представители семейств Asteraceae — 9 (23%) и Poaceae — 7 (20%). Rosaceae — 5 (14%) и Fabaceae — 4 (11%) представлены несколькими видами, но их обилие ниже среднего или это единичные растения. Plantaginaceae — 2 вида (6%), но довольно обильны по количеству растений. Семейства Cyperaceae, Onagraceae, Chenopodiaceae, Brassicaceae, Betulaceae, Salicaceae представлены каждое одним видом.

Данные по участию видов в сложении биомассы растительного сообщества изучаемого пустыря (табл. 1) показывают, что наибольшую роль в нем играют растения пижмы, доля которых составляет около 50%. Доля злаков в биомассе участ- $\kappa a - 24 - 25 \%$. И такое же соотношение основных компонентов ценоза остается после их высушивания, что свидетельствует о высокой степени ксерофитности растений, образующих сообщество. В «разнотравье» преобладают мезо-ксерофитные виды Artemisia mongolica и Achillea asiatica (13 и 6% соответственно). Присутствие бобовых - незначительно. Наличие ветоши в небольших количествах свидетельствует о том, что преобразования почвенного покрова имеются, но эти процессы протекают довольно медленно.

Обобщая данные по изучению травянистого сообщества пустыря в г. Нерюнгри, мы можем определить его как находящееся в процессе демутации, динамически неустойчивое, открытое для внедрения адвентивных/рудеральных видов. Зарастание экотопа происходит неравномерно, в основном высокорослыми травами, которые смыкаются высоко над поверхностью земли, при этом сама поверхность почвы освоена растениями незначительно.

Первичная сукцессия осуществляется за счет семян, распространяемых ветром. В дальнейшем преимущество в захвате территории имеют длиннокорневищные виды (*Tanacetum vulgare, Agropyron repens, Artemisia mongolica, Achillea asiatica*), что и определит тенденции в зарастании экотопа.

Присутствие ветоши свидетельствует о начале преобразования экотопа в биотоп, но процессы эти протекают довольно медленно. Не способствует формированию плодородного слоя и то, что сообщество представлено в основном пижмой и пырейником сибирским, стебли которых отличаются высокой механической прочностью и после окончания вегетации не падают на землю, а остаются в вертикальном состоянии. При этом возникает довольно неряшливый вид ландшафта, а также проблемы с побегами возобновления на следующий год у этих же видов вследствие их загущения.

Таблица 1 Анализ видового состава и структуры растительности пустыря по участию видов в биомассе учетной делянки

Вид	Обилие*, проективное покрытие	Масса сырого вещества, г/кв. м	Масса сухого вещества, г/кв. м	Доля сухого вещества, % от сырой массы
Злаки (Elymus sibiricus, Agropyron repens, Agrostis gigantea)	Cop ₁ , 30%	403,6 ± 13,1 (30%)	163,4 ± 5,3 (30 %)	$40,5 \pm 1,3$
Разнотравье, всего	_	841,7 ± 27,3 (62,6%)	314,9 ± 10,2 (58,6%)	$37,4 \pm 1,2$
В Т.Ч.				
Tanacetum vulgare	Cop ₃ , 45 %	$640,0 \pm 20,8 \ (47,5 \%)$	259,2 ± 8,4 (48,2%)	$40,5 \pm 1,3$
Artemisia mongolica	Cop ₁ , 15%	$121,0 \pm 3,9 \ (9\%)$	44,3 ± 1,4 (8,2%)	$36,6 \pm 1,2$
Amoria repens	Sp, 5%	$47,6 \pm 1,5 \ (3,5\%)$	$7,5 \pm 0,2 \ (1,4\%)$	$15,7 \pm 0,5$
Achillea asiatica	Sp, 3%	$33,0 \pm 1,1 \ (2,5\%)$	$3,9 \pm 0,1 \ (0,7\%)$	$11,8 \pm 0,4$
Ветошь	_	$100,0 \pm 3,2 \ (7,4\%)$	58,7 ± 1,9 (11%)	$58,7 \pm 1,9$
Итого		$1345,2 \pm 43,6 \ (100\%)$	537,0 ± 17,4 (100%)	$39,9 \pm 1,3$

 Π р и м е ч а н и я : *расшифровка обозначений (в соответствии со шкалой Друде): Sp — растения размещаются на участке рассеяно; Cop_1 — растения представлены достаточно обильно; Cop_2 — обильно; Cop_3 — очень обильно.

Газон на испытательном участке возле Технического института (филиала) СВФУ

Общий характер рельефа — склон с северо-восточной экспозицией, с уклоном в 15°. Поверхность: элювиальный песчанопылевой слой, оставшийся после сведения соснового леса под строительную площадку. Увлажнение достаточное за счет атмосферных осадков. Распределение увлажнения неравномерное: верхняя часть участка более сухая; в нижней части участка возле канализационного коллектора — условия более влажные, независимо от погоды.

История участка:

2002 г., март — завершено строительство административно-учебного корпуса ТИ(ф)СВФУ; земельный участок — строительная площадка, на которой складировали строительные материалы, разворачивалась техника. Поверхность участка представлена булыжниками, щебнем; замусорена арматурой и фрагментами строительных конструкций. На всей поверхности участка имеются рытвины и отпечатки от прохода гусеничной техники. Плодородного слоя нет.

crispus L. и R. pseudonatronatus (Borbas) Borbas ex Murb. Отдельные растения этих видов размещались рассеянно по всему участку, образуя высокие одревесневающие побеги, между которыми располагались розетки одуванчиков и горцев. Источником первичной сукцессии явились семена, покоящиеся в завезенном грунте и занесенные сюда ветром.

2004 г., июнь — участок в первый раз засеяли семенами газонных трав (травосмесь включала в себя семена следующих видов: Festuca rubra L. — 20%, Poa pratensis L. — 20%, Lolium perenne L. — 20%, Agrostis gigantea Roth — 30%, Amoria repens (L.) C. Presl — 10%).

2005–2006 г. – ежегодный подсев семян газонных трав, в т.ч. *Trifolium pratense* L., *Agropyron repens* (L.) P. Beauv., *Elymus sibiricus* L.

С 2006 г. участок ежегодно косили во второй половине июля. Семена больше не подсевали.

На момент описания участка (27.07.2014 г.) он представлял собой выровненную площадку с уклоном на север, густо поросшую травянистой растительностью (рис. 2).



Рис. 2. Фотоизображение фитоценоза «Газон» (г. Нерюнгри, 27.07.2014 г.)

2003 г., май – август – работы по уборке и планировке участка, выравниванию его поверхности; в июле был завезен почвогрунт (верхний слой заболоченного луга возле животноводческой фермы), который распределили слоем 3–5 см по поверхности. Первичная растительность участка – Artemisia mongolica, Rumex

В структуре травостоя можно выделить следующие ярусы:

І ярус — высокие травы (до 1,5 м высотой): Alopecurus arundinaceus Poir., Bromopsis inermis (Leyss.) Holub, Agropyron repens, Sanguisorba officinalis L.; суммарное проективное покрытие этого яруса — 80%. Источники семян: А. arundinaceus, В. inermis —

соседние городские газоны, *S. officinalis* – семена завезены с почвогрунтом.

2 ярус — **злаки 2-й величины** (до 0,7 м): *Agrostis gigantea*, *Achillea asiatica*, *A. alpina* L.; суммарное проективное покрытие яруса — 80%.

3 ярус — разнотравье (до 0,5 м): Trifolium pratense, Amoria hybrida (L.) C. Presl, Lupinaster pentaphyllus Moench., Vicia cracca L., Galium boreale L.; суммар-

ное проективное покрытие яруса -50%. (*T. pratense, A. hybrida* - посеяны искусственно, остальные виды растений - из семян, покоящихся в почве).

4 ярус – низкие травы (до 0,3 м): Festuca rubra, Amoria repens, Taraxacum officinale, Plantago sp., Fragaria orientalis Losinsk.; суммарное проективное покрытие яруса – 40%.

Полный список всех видов, встреченных на участке, представлен в табл. 2.

 Таблица 2

 Перечень видов, произрастающих на земельном участке по газонам

№ п/п	Вид растения	Обилие*	Проективное покрытие, %	Происхож- дение**
1	2	3	4	5
	1 ярус – высокие трав			
1	Agropyron repens (Пырей ползучий)	Cop ₂	10	I
2	Sanguisorba officinalis (Кровохлебка лекарственная)	Cop ₁	7	III
3	Bromopsis inermis (Кострец безостый)	Cop ₂	5	I
4	Alopecurus arundinaceus (Лисохвост тростниковидный)	Cop ₂	5	I
5	Cirsium setosum (Бодяк щетинистый)	Cop ₁	3	III
6	Tanacetum vulgare (Пижма обыкновенная)	Sol	3	II
7	Duschekia fruticosa (Ольховник кустарниковый), подрост	Sp	2	III
8	Rumex crispus (Щавель курчавый)	Sp	1	III
9	Rumex pseudonatronatus (Щавель ложносолончаковый)	Sp	1	III
10	Elymus sibiricus (Пырейник сибирский)	Sol	_	I
11	Lolium perenne (Плевел многолетний)	Sol	_	I
12	Polemonium sp. (Синюха)	Sp	_	III
13	Chamaenerion angustifolium (Иван-чай узколистный)	Sp	_	III
14	Crepis tectorum (Скерда кровельная)	Sp	_	III
15	Calamagrostis langsdorffii (Вейник Лангсдорфа)	Sp	_	III
	2 ярус			
16	Agrostis gigantea (Полевица белая)	Cop ₃	45	I
17	Trifolium pretense (Клевер луговой)	Cop ₁	5	I
18	Achillea asiatica (Тысячелистник азиатский)	Cop ₁	5	III
19	Alopecurus pratensis (Лисохвост луговой)	Sp	_	III
20	Artemisia mongolica (Полынь монгольская)	Sp	_	III
21	Leucanthemum vulgare (Нивяник обыкновенный)	Sol	_	I
22	Oberna behen (Смолевка обыкновенная)	Sol	_	I
23	Seseli condensatum (Жабрица густоцветковая)	Sol	_	III
24	Potentilla conferta (Лапчатка сжатая)	Sol	_	II
25	Erigeron acris (Остролепестник едкий)	Sol	_	III
26	Tripleurospermum perforatum (Трехреберник продырявленный)	Sol	_	I
	3 ярус			
27	Plantago major (Подорожник большой)	Cop ₃	25	III
28	Festuca rubra (Овсяница красная)	Cop ₂	10	I
29	Taraxacum officinale (Одуванчик лекарственный)	Sp	7	III
30	Amoria hybrida (Клевер гибридный)	Cop ₁	5	I
31	Galium boreale (Подмаренник северный)	Cop ₁	5	III
32	Lupinaster pentaphyllus (Клевер люпинолистный)	Sp	2	III

			Оконча	ние табл. 2
1	2	3	4	5
33	Plantago depressa (Подорожник прижатый)	Cop ₁	_	III
34	Achillea alpina (Тысячелистник альпийский)	Sp	_	III
35	Potentilla norvegica (Лапчатка норвежская)	Sol	_	III
36	Vicia cracca (Вика мышиная)	Sp	_	I
37	Agrostis clavata (Полевица шероховатая)	Cop ₁	_	I
38	Geum aleppicum (Гравилат алеппский)	Cop ₁	_	III
	4 ярус			
39	Amoria repens (Клевер ползучий)	Cop ₂	15	I
40	Euphrasia sp. (Очанка)	Cop ₁	7	III
41	Galium uliginosum (Подмаренник болотный)	Sp	_	III
42	Stellaria umbelata (Звездчатка зонтичная)	Sp	_	III

Примечания:

Необходимо обратить внимание, что виды Lolium perenne и Poa pratensis практически выпали из травостоя. Это подтверждает сведения о слабой морозойстойкости L. perenne, полученные другими авторами, и высоких потенциальных возможностях Festuca rubra как газонной культуры в условиях Сибири и Крайнего Севера [15; 1; 2].

43 | Fragaria orientalis (Земляника восточная)

Мертвая подстилка в большей степени представлена в местах с достаточным увлажнением, под Festuca rubra и Amoria repens. Распределена неравномерно. Под *F. rubra* слой мертвой подстилки до 3 см представляет собой войлок из отмерших листьев нижней части дернин. Под A. repens – мертвый слой в 1 см имеет вид спутанных толстых волокон. В сухих местах – мертвая подстилка представлена шелухой, измельченными фрагментами соломин.

По периметру участок подвергается зарастанию кустарниковыми и древесными растениями – ивой, березой, сосной, ольхой кустарниковой; источники семян - растения, произрастающие на соседних участках. Но молодая поросль с участка периодически удаляется во время кошения газона.

Анализ участия видов в сложении газона

Для анализа участия видов в сложении фитоценоза и оценки состояния растительности как результата протекания процессов формирования травостоя в погодно-климатических условиях г. Нерюнгри на его площади были заложены учетные делянки в местах с наиболее характерными фрагментами растительности.

Учетная делянка № 1

Sp

5

Расположена в средней части склона, в месте, достаточно сухом, увлажняемом только за счет атмосферных осадков. Основным компонентом растительности на данной делянке явились растения Agrostis gigantea, доля которых в биомассе составила 60% (табл. 3), а после высушивания – 76 %. В разнотравье (34 % от сырой биомассы) представлены ксеро-мезофитные виды: Amoria repens, Fragaria orientalis и Achillea sp. Присутствие адвентивных видов Taraxacum officinale и Plantago major L., доля которых в травостое значительна, является следствием истории зарастания участка и наличием небольшого временного промежутка между таянием снегов и началом вегетации луговых компонентов ценоза, в течение которого одуванчики успевают войти в состояние цветения и плодоношения. В дальнейшем рост злаков и разнотравья уже не мешает им вегетировать в составе травостоя и образовывать довольно значительную массу, т.к. в припочвенном слое формируется влажный микроклимат. Но после высушивания сухая биомасса таких растений минимальна, поэтому и доля разнотравья в сухой биомассе делянки резко сокращается.

Наличие ветоши в виде волокон и перепревших листьев свидетельствует об образовании органического слоя в почве и высокой степени его утилизации, разложения на минеральные компоненты.

^{*}Расшифровка обозначений (в соответствии со шкалой Друде): Sol – вид представлен единичными растениями; Sp – растения вида размещаются на участке рассеянно; Сор, – растения вида представлены достаточно обильно; Cop₂ – обильно; Cop₃ – очень обильно.

**I – искусственный посев семян; II – искусственно посажены корневища растений; III – самосев.

Таблица 3 Анализ видового состава и структуры биоценоза «Газон, учетная делянка № 1» по участию видов в биомассе учетной делянки

Вид	Обилие, проек- тивное покрытие	Масса сырого вещества, г/кв. м (%)	Масса сухого вещества, г/кв. м (%)	Доля сухого вещества, % от сырой массы
Злаки (Agrostis gigantea)	Cop ₃ , 45 %	$631.8 \pm 20.5 (58.9\%)$	312,0 ± 10,1 (76,1%)	$49,4 \pm 1,6$
Разнотравье, всего		365,9 ± 11,8 (34,1 %)	$68,2 \pm 2,2 \ (16,6 \%)$	$18,6 \pm 0,6$
В Т.Ч.				
Trifolium repens	Cop ₂ , 15%	216,0 ± 7,0 (20,1 %)	38,1 ± 1,2 (9,2 %)	$17,6 \pm 0,5$
Achillea alpina + A. asiatica	Cop ₁ , 5%	48,1 ± 1,5 (4,4%)	13,4 ± 0,4 (3,3 %)	$27,8 \pm 0,9$
Taraxacum officinale	Cop ₁ , 7%	86,3 ± 2,8 (8,0 %)	$11.8 \pm 0.4 \ (2.9 \%)$	$13,6 \pm 0,2$
Pазнотравье (Geum aleppicum, Artemisia mongolica, Plantago major)	Cop ₁ , 5%	15,5 ± 0,5 (1,4%)	4,9 ± 0,4 (1,2%)	31,6 ± 1,0
Ветошь	_	$71,6 \pm 2,3 \ (6,7\%)$	$30,2 \pm 1,0 \ (7,3 \%)$	$42,1 \pm 1,1$
Итого		$1073.8 \pm 34.8 \ (100\%)$	410,4 ± 13,3 (100%)	$38,2 \pm 1,2$

 Π р и м е ч а н и е . *Расшифровка обозначений (в соответствии со шкалой Друде): Cop_1 – растения вида представлены достаточно обильно; Cop_2 – обильно; Cop_3 – очень обильно.

Учетная делянка № 2

Расположена в средней части участка, прилегающей к соседнему пустырю. Условия увлажнения средние, поверхность — щебнистая. В этой части участка господствует Festuca rubra, дернины которой образуют густую кошму, расположенную сплошным ковром. Имеется мощный слой ветоши, образованной спутавшимися волокнами от прошлогодних листьев, масса которой составляет до 20–22% биомассы площадки (табл. 4). Дернины и ветошь хорошо удерживают влагу и создают своеобразный прохладный влажный микроклимат в припочвенном

и корнеобитаемом слое. Видовое разнообразие разнотравья невелико. Основу его составляют растения *Amoria repens* (посеяны искусственно) и несколько адвентивных видов, внедрение которых происходит крайне низкими темпами. Адвентивные виды представлены единичными ослабленными растениями, их доля в биомассе площадки — не более 2,5%. Таким образом, биомасса данного сообщества в основном представлена дернинами *Festuca rubra* (живые части растений — 66%, отмершие — 20%), которые занимают практически всю наземную часть участка и не допускают внедрение других видов.

Таблица 4 Анализ видового состава и структуры ценоза «Газон, учетная делянка № 2» по участию видов в биомассе учетной делянки

Вид	Обилие (проек- тивное покрытие)	Масса сырого вещества, г/кв. м	Масса сухого вещества, г/кв. м	Доля сухого вещества, % от сырой массы
Злаки (Festuca rubra)	Soc, 80%	$855,4 \pm 27,7 (66,2\%)$	438,0 ± 14,2 (72,6%)	$51 \pm 1,6$
Разнотравье, всего		$181,1 \pm 5,8 \ (14,0 \%)$	$34,3 \pm 1,1 \ (5,7\%)$	$18,9 \pm 0,6$
В Т.Ч.				
Trifolium repens	Cop ₂ , 20 %	$148,1 \pm 4,8 \ (11,5\%)$	$30,4 \pm 0,9 \ (5,0 \%)$	20 ± 0.6
Разнотравье (<i>Taraxacum officinale, Cirsium setosum, Stellaria umbelata</i>)	Sol	33,0 ± 1,07 (2,5 %)	3,9 ± 0,12 (0,6%)	12 ± 0.38
Ветошь	_	$254,6 \pm 8,2 \ (19,7 \%)$	$130.8 \pm 4.2 \ (21.7\%)$	$51 \pm 1,6$
Итого		1291,1 ± 41,9 (100%)	$603,1 \pm 19,5 (100\%)$	$47 \pm 1,5$

Примечание. *Расшифровка обозначений (в соответствии со шкалой Друде): Sol – вид представлен единичными растениями; Cop₂ – растения вида представлены достаточно обильно; Soc – растения вида представлены массово.

Таблица 5 Анализ видового состава и структуры ценоза «Газон, учетная делянка № 3» по участию видов в биомассе учетной делянки

Вид	Обилие (проек- тивное покрытие)	Масса сырого вещества, г/кв. м	Масса сухого вещества, г/кв. м	Доля сухого вещества, % от сырой массы
Злаки (Agrostis gigantea, Elymus sibiricus)	Cop ₂ , 75%	604,4 ± 19,6 (87,2%)	356,6 ± 11,5 (93,1%)	59,0 ± 1,9
Разнотравье, всего		87,6 ± 2,8 (12,6%)	$26,2 \pm 2,8 \ (6,8 \%)$	$29,9 \pm 0,9$
в т.ч.				
Taraxacum officinale	Cop ₁ , 20%	49,0 ± 1,6 (7,1 %)	$12.8 \pm 0.4 (3.3\%)$	$26,1 \pm 0,8$
Pазнотравье (Trifolium pratense, Crepis tectorum, Achillea alpina)	_	38,6 ± 1,2 (5,5 %)	13,4 ± 0,4 (3,5%)	$34,7 \pm 1,1$
Итого		$692,0 \pm 22,4 \ (100 \%)$	$382.8 \pm 12.4 \ (100 \%)$	$26,1 \pm 0,8$

Примечание. *Расшифровка обозначений (в соответствии со шкалой Друде): Сор₁ – растения вида представлены достаточно обильно; Сор₂ – обильно.

Учетная делянка № 3

Расположена в верхней части участка. Грунт образован песчаным выходом, увлажнение недостаточное. В травостое на таком участке господствуют злаки Agrostis gigantea, Elymus sibiricus, доля которых составляет 87% от общей массы растений участка (табл. 5). При высушивании их вклад в биомассу возрастает до 93%. В разнотравье активно принимает участие адвентивный мезофитный вид Taraxacum officinale (его доля в сырой массе - 7%, в сухой биомассе -3.3%). На долю остальных видов разнотравья, а это мезо-ксерофитный Achillea alpina и мезофитный Trifolium pratense, приходится не более 5,5% от биомассы площадки. Особенность участка - отсутствие ветоши: формирование органического слоя затруднено вследствие сухости почвы.

Таким образом, на более сухом участке формируется травостой, основу которого составляют злаки. В этом случае преимущество получила Agrostis gigantea. Разнотравье и органический слой не формируются, интенсивность образования и накопления биомассы низкая.

Учетная делянка № 4

Площадка расположена в нижней части склона вблизи канализационного коллектора (дополнительный источник увлажнения под поверхностью почвы). Условия увлажнения достаточные. Травостой образован высокими злаками, обиль-

но представлено разнотравье, в сложении которого участвуют как луговые, так и адвентивные виды. В ярусе высоких трав доминируют Alopecurus arundinaceus, Bromopsis inermis, Agropyron repens, ceмена которых попали сюда с соседних участков, в то время как на других, более сухих делянках, в большей степени представлена Agrostis gigantea. В разнотравье значительная доля приходится на Sanguisorba officinalis и Trifolium lupinaster, семена которых были привнесены с почвогрунтом. Условия обитания и функционирования газона способствовали увеличению численности представителей этих видов и образованию ими довольно значительной биомассы. Соотношение «злаки:разнотравье» по сырой массе примерно равны друг другу (48:44%), но при высушивании доля биомассы, приходящаяся на злаки увеличивается (59:31%), а доля мезофитного разнотравья в сухой биомассе уменьшается почти в 2 раза (табл. 6). Ветоши довольно много, но она имеет вид сухой трухи, фрагментов чешуй и остатков соломин. Из всех изученных делянок данный тип ценоза обеспечивает образование максимальной биомассы.

Таким образом, в погодно-климатических условиях г. Нерюнгри при зарастании свободных экотопов довольно высока вероятность формирования травянистых сообществ, но видовой состав, структура и продуктивность их будут зависеть от многих факторов и, прежде всего, от условий увлажнения.

Таблица 6 Анализ видового состава и структуры ценоза «Газон, учетная делянка № 4» по участию видов в биомассе учетной делянки

Вид	Обилие (проек- тивное покрытие)	Масса сырого вещества, г/кв. м (%)	Масса сухого вещества, г/кв. м (%)	Доля сухого вещества, % от сырой массы
Злаки (Agropyron repens, Bromopsis inermis, Alopecurus arundinaceus)	Soc, 50%	776,9 ± 25,2 (48,3 %)	368,8 ± 11,9 (59 %)	53,8 ± 1,7
Разнотравье, всего		$716,3 \pm 23,2 (44,5\%)$	$191,5 \pm 6,2 \ (30,8 \%)$	$26,7 \pm 0,8$
в т.ч.				
Sanguisorba officinalis	Cop ₃ , 25 %	$345,1 \pm 15,2 \ (21,4\%)$	$113,8 \pm 13,7 \ (18,2\%)$	$32,9 \pm 1,6$
Taraxacum officinale	Cop ₃ , 12%	225,1 ± 7,3 (14%)	38,4 ± 1,2 (6,1 %)	$17,0 \pm 0,5$
Trifolium lupinaster	Cop ₁ , 10%	80,5 ± 2,6 (5 %)	23,6 ± 0,7 (3,8 %)	$29,3 \pm 0,9$
Pазнотравье (Trifolium repens, Geum aleppicum, Plantago major, Artemisia mongolica)	Cop ₁ , 3 %	65,5 ± 2,1 (4%)	15,7 ± 0,5 (2,5 %)	$23,9 \pm 0,8$
Ветошь	_	$115,1 \pm 3,7 \ (7,1 \%)$	$63.8 \pm 2.0 \ (10.2 \%)$	$55,4 \pm 1,8$
Итого		$1608,2 \pm 52,2 \ (100\%)$	$624,1 \pm 20,2 \ (100 \%)$	$38,8 \pm 1,2$

 Π р и м е ч а н и е . *Расшифровка обозначений (в соответствии со шкалой Друде): Cop_1 – растения вида представлены достаточно обильно; Cop_2 – обильно; Cop_3 – очень обильно; Soc – растения вида представлены массово.

При стихийном зарастании пустыря на нем формируется сообщество, в котором главную роль играют ксеро-мезофитные компоненты разнотравья (преимущественно виды семейства Asteraceae), семена которых распространяются ветром. В условиях города Нерюнгри видами, имеющими наибольшую вероятность «захватить» новый участок, являются: Tanacetum vulgare, Artemisia mongolica, Artemisia integrifolia, Achillea asiatica, Taraxacum officinale. Из злаков: Agropyron repens, Agrostis scabra. Свободное пространство между высокими растениями захватывают рудеральные и адвентивные виды, инвазия которых довольно активна. Сукцессионные процессы выражены. Использование экотопического пространства – неоптиально (40%).

В случае создания газона на участке высевались семена растений, рекомендуемых именно для этих целей. Среди них Festuca rubra, Agrostis gigantea, Poa pratensis, Lolium perenne, Amoria repens. Дополнительно — семена Trifolium pratense и Amoria hybrida. Ежегодное выкашивание газонов способствовало формированию более густого и плотного напочвенного покрова из дернин злаков и выпадению из травостоя представителей первичной сукцессии (полыней и крупных щавелей). В условиях

газона и регулярных скашиваний неплохо себя чувствуют представители лугового разнотравья — как посеянные искусственно, так и попавшие сюда семенами через грунт (Trifolium pratense, Amoria hybrida, Lupinaster pentaphyllus, Sanguisorba officinalis).

В биомассе учетных делянок преобладают злаки (т.е. газон можно отнести к разнотравно-злаковой ассоциации), но их участие в травостое зависит от условий увлажнения: чем суше участок, тем больше доля злаков в биомассе (рис. 3, а, б), что соответствует данным об особенностях функционирования природных луговых сообществ [18–20]. На хорошо увлажненном участке доля разнотравья возрастает почти до 47%, и оно более разнообразно по своему видовому составу. А поскольку абсолютная масса злаков также возрастает по сравнению с другими делянками, в таком фитоценозе формируется максимальная масса наземных органов (рис. 4).

Условия увлажнения оказывают влияние и на видовой состав травостоя. В более сухих условиях доминируют Agrostis gigantea и Festuca rubra, в более влажных – Agropyron repens, Bromopsis inermis, Alopecurus arundinaceus, размеры которых в высоту могут превышать 1,3 м. Формируется слишком высокий травостой, который уже не может выполнять функцию газона

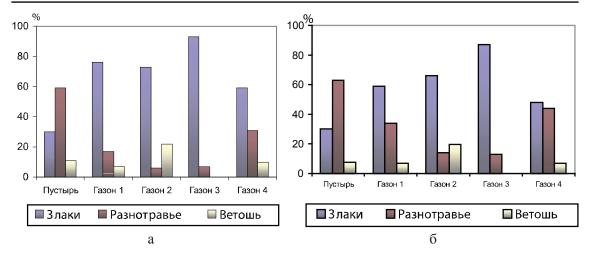


Рис. 3. Соотношение компонентов изучаемых травянистых сообществ («пустырь», «газон») по их участию в формировании биомассы:

а – масса сырых растений; б – масса сухого вещества растений учетной делянки

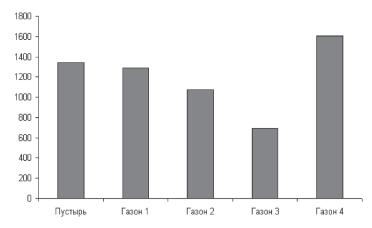


Рис. 4. Масса наземных частей растений с 1 кв. м травянистых растительных сообществ г. Нерюнгри (сырой вес), $HCP_{05} = 816 \text{ г/м}^2$

(скорее такой травостой более перспективен в качестве кормового угодья). Следовательно, использование этих видов растений для создания газонов в условиях г. Нерюнгри нежелательно, лучше применять семена более низкорослых дерновинных злаков типа овсянниц и низкорослых полевиц (так называемые «низовые» злаки) [26; 27].

Заключение

Условия Южной Якутии (г. Нерюнгри) довольно благоприятны для возникновения и существования травянистых растительных сообществ. Эти процессы протекают даже независимо от участия человека (например, зарастание пустыря). Но благодаря осознанной и целенаправленной деятельности, формирование травостоев может происходить в более сжатые сроки и с наиболее оптимальным результатом. Основные технологические приемы в создании газона - организация ландшафта с целью оптимизации условий увлажнения и освещения, формирование плодородного слоя, подбор видов травянистых растений, скашивание травы не реже одного раза за сезон. В результате формируется устойчивое, закрытое, саморегулирующееся лугоподобное растительное сообщество с оптимальным сочетанием злаковых и разнотравных компонентов, собственным микроклиматом, максимально эффективным использованием пространственных ресурсов экотопа, активным формированием мертвой подстилки и органического слоя. В таком сообществе велика доля бобовых растений, а также красивоцветущих представителей мезофитного разнотравья, что делает его, с одной стороны, инструментом формирования почвенного плодородия в климатических условиях, где формирование почвенного слоя принципиально затруднено, а с другой, придает ему высокие декоративные качества. Следовательно, газоны как способ организации травянистого растительного сообщества могут быть настоятельно рекомендованы для оформления населенных пунктов ЮЯ (и населенных пунктов других регионов с аналогичными климатическими условиями). Травянистый покров газона выполняет важнейшие санитарно-гигиенические функции: создает более комфортный микроклимат, обладает фитонцидными свойствами, очищает почву и воздух от вредных микроорганизмов, обладает газопоглощающей и шумозадерживающей способностью [31; 13].

Но нужно учитывать, что в условиях дождливого и пасмурного лета, а также вследствие качественного состава солнечного света, характерного для высокогорья, злаковые растения, обычно используемые для газонов в умеренных широтах, приобретают довольно крупные размеры, что выводит их из группы рекомендуемых для этих целей. В условиях ЮЯ предпочтение стоит отдавать невысоким дерновинным травам (кустовым, рыхлокустовым) и стелющимся травянистым многолетникам.

Список литературы

- 1. Авдеева Е.В., Надемянов В.Ф., Маслюк Н.В. Оценка качества зеленых насаждений (на примере газонов общего пользования г. Красноярска) // Системы. Методы. Технологии. -2013.- N 2 (19). -C. 196-201.
- 2. Анищенко И.Е., Голованов Я.М., Абрамова Л.М. Вопросы оптимизации растительности газонов в населенных пунктах Предуралья республики Башкортостан // Аграрный вестник Урала. -2011. -№ 5 (84). -C. 50–51.
- 3. Атлас сельского хозяйства Якутской АССР. М.: ГУГК СССР, 1989.-116 с.
- 4. Быкадорова Т.К. Физико-географический обзор Южной Якутии // Нерюнгринский район: история, культура, фольклор. Якутск: Бичик, 2007. С. 14–22.
- 5. Ворошолов В.Н. Определитель растений Советского Дальнего Востока. М.: Наука, 1982. 674 с.
- 6. Егорова Н.А. Учебная практика по ботанической географии. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984.-56 с.
- 7. Жизнь растений. Том 1 / под ред. Н.А. Красильникова и А.А. Уранова. М.: Просвещение, 1974. С. 5-15.
- 8. Кобозев И.В., Латифов Н.Л., Уразбахтин З.М. Проведение полевых опытов по формированию газонов и оценке их качества. М.: Изд-во МСХА, 2002.-246 с.
- 9. Корпорация развития Южной Якутии [Электронный ресурс]. URL: http://www.sy-corp.ru (дата обращения: 07.06.2016).
- 10. Красная книга Республики Саха (Якутия). Том 1: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов / М-во охраны природы РС (Я), Департамент биологических ресурсов. Якутск: НИПК «Сахаполиграфиздат», 2000. 256 с.

- 11. Куликова Г.Г. Основные геоботанические методы изучения растительности. М.: МГУ, 2006.
- 12. Лазарев Н.Н., Головня А.И., Лесина В.А. Газоноводство. М.: Изд. МСХА, 2008. 113 с.
- 13. Лепкович И.П. Современное луговодство. СПб.: Профи-информ, 2005. 424 с.
- 14. Лукиных Г.Л. Газон как прием создания устойчивой среды современного города Среднего Урала // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2013. № 12. С. 87—91.
- 15. Лукиных Г.Л. Перспективные сорта низовых многолетних злаковых трав для озеленения в условиях Среднего Урала // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. -2013. -№ 11. -C. 115–118.
- $16.\ {
 m Metoдические}$ указания по проведению научных исследований на сенокосах и пастбищах. М.: ВНИ Институт кормов, $1996.-98\ {
 m c}.$
- 17. Наша Ботаничка [Электронный ресурс]. URL: http://geobotany.narod.ru (дата обращения: 07.06.2016).
- 18. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и продуктивности влажных лугов аласов Центральной Якутии // Растительные ресурсы. 2015. T. 51. № 1. C. 70-80.
- 19. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и продуктивности остепненных лугов аласов Центральной Якутии // Растительные ресурсы. -2016.-T.52.-№ 1.-C.20–27.
- 20. Николаева М.Х., Десяткин Р.В. Динамика видового разнообразия и продуктивности настоящих лугов аласов Центральной Якутии // Растительные ресурсы. -2015. -T. 51. -№ 3. -C. 328–335.
- 21. Определитель высших растений флоры Якутии / под ред. А.И. Толмачева. Новосибирск: Наука, 1974. 544 с.
- 22. Плантариум [Электронный ресурс]. URL: http://www.plantarium.ru/ (дата обращения: 07.06.2016).
- 23. Погода и климат [Электронный ресурс]. URL: http://www.pogoda.ru.net/ (дата обращения: 07.06.2016).
- $24.\,\Pi$ особие по географии Якутии. Якутск: Бичик, 1993.-80 с.
- 25. Саввинов Д.Д. Почвы Якутии: Проблемы рационального использования почвенных ресурсов, их мелиорация и охрана. Якутск: Кн. изд-во, 1989. 152 с.
- 26. Степанов А.Ф. Создание и использование многолетних травостоев. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, $2006.-312~\mathrm{c}.$
- 27. Трофимов Л.С., Кулаков В.А., Новиков С.В. Продуктивный и средообразующий потенциал луговых агрофитоценозов и пути его повышения // Кормопроизводство. 2008. № 9. С. 17–19.
- $28.\$ Тюльдюков В.А., Кобозев И.В., Парахин Н.В. Газоноведение и озеленение населенных территорий. М.: Колос, 2002.-264 с.
- 29. Флора Сибири. Новосибирск: Наука СО РАН, 1988–2003. Т. 1–14.
- 30. Шеметова И.С., Шеметов И.И., Коновалова Е.Б. Конкурентноспособность овсяницы красной в газонных агрофитоценозах Предбайкалья // Вестник ИрГСХА. -2013. Т. 3. № 57. С. 25–28.
- 31. Шульгин В.Н., Карпухин М. Ю. Особенности создания мавританских газонов // Аграрное образование и наука. -2016. -№ 1. C. 8–16.

УДК 630.181

ИТОГИ ОПЫТНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РАБОТ ПО ПЕРЕСАДКЕ ДЕРЕВЬЕВ В МЕЖКУЛИСНЫЕ ПРОСТРАНСТВА И ВВЕДЕНИЮ ХВОЙНЫХ ИНТРОДУЦЕНТОВ В ЗЕЛЕНОЙ ЗОНЕ Г. АСТАНЫ

¹Кабанова С.А., ²Нысанбаев Е.Н., ³Данченко М.А., ¹Кабанов А.Н.

¹Казахский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации, Щучинск, e-mail: kabanova.05@mail.ru;
²Министерство сельского хозяйства РК, Астана;
³Национальный исследовательский Томский государственный университет,
Томск, e-mail: t-ekos@mail.ru

В зеленой зоне Астаны был проведен ряд опытных работ: пересадка 8-летних деревьев сосны обыкновенной и березы повислой из кулис в межкулисные пространства; введение в лесные культуры хвойных интродуцентов; применение абсорбента и биоудобрения при посадке растений. Выявлено, что сохранность березы повислой в кулисах, из которых были пересажены растения, составила 83,3%. На пересаженных участках сохранность березы повислой составила 49,2%. Следует отметить, что опыт был заложен на высоком и низком местоположении и в низине сохранность была в 1,4 раза больше, чем на более высоком месте. Пересаженные растения, произрастающие на возвышенном местоположении, имеют самые низкие показатели роста. Сохранность пересаженной сосны обыкновенной составила 79,9%. Состояние сосны оценивается как хорошее, охвоенность деревьев густая, цвет хвои в основном зеленый. Из всех наблюдаемых видов интродуцентов, посаженных с открытой (ОКС) и закрытой (ЗК) корневой системой, наибольшую сохранность (из всех видов ели) имела ель колючая (53,8%), наименьшую - ель Энгельмана (39,4%). Наименьшую сохранность имела пихта бальзамическая – 16,5%. Среди ОКС лучшая сохранность была у дуба черешчатого (88,2%) и ели сибирской (70,0%). Низкая сохранность была у сосны обыкновенной и лиственницы сибирской (27,8%). Хуже всего сохранилась пихта сибирская (13,0%). Наибольшие высота и прирост из всех видов ели были у ели черной (соответственно 66,4 и 24,0 см), наименьшие – у ели Энгельмана (соответственно 43,4 и 10,8 см). У хвойных пород, посаженных ОКС, наибольшая высота наблюдалась у сосны обыкновенной (118,6 см). У дуба черешчатого прирост в 2015 году составил 67,4 см, а высота достигла 154,2 см.

Ключевые слова: интродуценты, лесные культуры, посадочный материал с закрытой и открытой корневой системой

THE OUTCOMES OF THE PILOT PROJECTS ON TREE REPLANTATION INTO THE SPACES BETWEEN STRIPS AND INTRODUCTION OF CONIFEROUS INTRODUCENTS IN THE GREEN ZONE OF THE CITY OF ASTANA

¹Kabanova S.A., ²Nysanbaev E.N., ³Danchenko M.A., ¹Kabanov A.N.

¹TOO «Kazakh research Institute of forestry and agroforestry», Schuchinsk, e-mail: Kabanova.05@mail.ru; ²Ministry of Agriculture of Kazakhstan, Astana; ³National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: t-ekos@mail.ru

In the green zone of Astana some pilot projects were carried out: transplantation of 8-year-old trees of Scotch pine and Silver birch from the strips to the spaces between strips; introduction of coniferous introducents into forest plantations and implication of absorbent and bio fertilizers while doing the planting. It was found out that the preservation of Silver birch in the strips was 83,3%, while in the new location – 49,2%. It should be noted that the experiment was carried out in high and low locations; in the lowlands the preservation was 1,4 times better than in the higher location. The replanted plants growing in the higher location had the lowest rate of growth. The preservation of the replanted Scotch pine was 79,9%. The state of the pine was estimated as satisfactory: fir-needle was thick; the color of it was mainly green. Among all kinds of introducents under the study - planted both with bare root and closed root systems - the best preservation (among all kinds of the spruce) was demonstrated by Spruce barbed (Picea pungens) - 53,8 %; and the poorest - by Engelmann Spruce (Picea engelmannii) - 39,4 %. The worst preservation was shown by Balsam fir (Abies balsamea) – 16,5%. Among the trees planted with bare root system, English oak had the best preservation – 88,2% and Siberian spruce (Picea obovata) had 70,0%. The low rate of preservation was shown by Scotch pine and Larch Siberian – 27,8%. Fir Siberian demonstrated the lowest rate of preservation (13,0%). Among all kinds of spruce, the best height and growth were shown by Black spruce (66,4 and 24,0 sm relatively); the least – by Engelmann Spruce (43,4 and 10,8 sm relatively). Among softwood species planted with bare root system Scotch pine reached the best height - 118,6 sm. In 2015 English oak had an increase in height of 67,4 sm, its height reached 154,2 sm.

Keywords: introducent, forest plantations, planting material with a closed (open) root system

Интенсивный рост городов породил целый ряд проблем, связанных с высокой концентрацией основной массы населения на ограниченных территориях с боль-

шим числом промышленных предприятий и транспортных магистралей, значительно ухудшающих экологическое состояние урбанизированных ландшафтов. Противостоять

этим негативным явлениям призваны зеленые насаждения, которые способны компенсировать ухудшение качества воздуха, уменьшать пылевые выбросы, аккумулировать выбросы в атмосферу тяжелых металлов. Наиболее эффективным средством экологической защиты городов является озеленение [9, 10]. В настоящее время прогрессивной тенденцией озеленения городов считается создание вокруг них зеленых зон и лесопарков, которые выполняют важнейшие охранные и санитарно-гигиенические функции, являются местами отдыха населения, что положительно сказывается на социально-экономическом и экологическом развитии городских поселений [5, 6].

Как известно, испытание новых, интродуцированных видов и их акклиматизация является очень долгим и сложным процессом, протекающим в природе крайне медленно [5]. Однако акклиматизация древесных видов в лесных культурах проходит значительно быстрее. Поэтому введение интродуцентов, которые более устойчивы к резко континентальному климату северного Казахстана и его почвенным условиям, является одним из направлений научных исследований.

За последние два десятилетия лесоводами Казахстана была проведена огромная работа по созданию «зеленого пояса» вокруг г. Астаны. Пригородные леса закладывались кулисами шириной от 12 до 24 м с межкулисьем такой же ширины. В настоящее время начато заполнение межкулисных пространств древесными и кустарниковыми растениями. Совместно с ТОО «Астана орманы» Казахским НИИ лесного хозяйства и агролесомелиорации проводится закладка опытно-производственных объектов в зеленом поясе г. Астаны [3, 4, 8, 11].

В данной работе рассматриваются результаты научных опытов, проведенных в 2010–2016 годах: по пересадке 8-летних деревьев сосны обыкновенной и березы повислой из кулис в межкулисные пространства; по введению в лесные культуры хвойных интродуцентов (различные виды ели, лиственница сибирская, пихта сибирская и бальзамическая); по применению абсорбента ПЭВД и биоудобрений местного производства при посадке растений.

Материалы и методы исследований

Постоянные пробные площади закладывались в лесных культурах с тем условием, чтобы на них имелось не менее 200 деревьев определенной породы [12]. Изучение лесных культур включало определение приживаемости или сохранности, высоты и при-

роста, диаметра ствола, густоты охвоения (облиствения), повреждения, учет урожая. Приживаемость и сохранность учитывались как отношение 100% живых и 50% сомнительных деревьев к числу посадочных мест. Для погибших растений устанавливали причину гибели путем раскопки. Высоту культур до 3–5 метров измеряли мерной рейкой с точностью до 1 см у всех деревьев на пробной площади. Диаметр ствола измеряли на высоте 1,3 м штангенциркулем с точностью до 1 мм. Густоту охвоения или облиствления определяли по 4 категориям – редкое, среднее, густое или отсутствует. Учитывали все растения, имеющие повреждения, отмечали вид и степень повреждений, вредителей и болезни, их вызвавшие.

Результаты исследований и их обсуждение

Цель пересадки березы повислой из кулис в межкулисные пространства заключается в том, что при положительном результате можно снизить частоту или совсем отменить рубки ухода в кулисах. Это будет способствовать экономии денежных средств на проведение рубок ухода, уменьшению затрат на приобретение посадочного материала, снижению трудоемкости проведения работ. Все эти мероприятия могут перевести процесс лесовыращивания на качественно новый уровень [1, 2]. Но самый главный аргумент в пользу этих мер заключается в экологической стороне опыта – достаточно взрослые деревья быстрее 2-летних сеянцев создали бы устойчивый биоценоз. С помощью кейсовой техники деревья из кулис пересаживались в межкулисные пространства весной 2010 года с размещением 3,0×3,0 м. В течение всего года они поливались, в приствольные круги вносились стимуляторы и удобрения.

По результатам наблюдений 2015 года сохранность лесных культур березы повислой в кулисах, из которых были пересажены растения, составила 83,3%. На сохранность березы повислой в кулисах повлияло нарушение корневой системы вследствие выкопки рядом стоящих деревьев. На пересаженных участках сохранность березы повислой составила в среднем 49,2%. Следует отметить, что опыт был заложен на высоком и низком местоположении и в низине сохранность была в 1,4 раза больше, чем на более высоком месте. Пересаженные растения, произрастающие на возвышенном местоположении, имеют самые низкие показатели роста (рис. 1).

Аналогичный опыт был проведен с сосной обыкновенной, но посадка деревьев производилась на ровном участке. Сохранность сосны в 2015 году составила 79,9%, количество сомнительных и погибших деревьев незначительное. Состояние сосны оценивается как хорошее, охвоенность деревьев густая, цвет хвои в основном зеленый. Если в предыдущие годы, особенно в первый год после пересадки, более длинная хвоя была на концах ветвей, то в 2015 году длина хвои одинакова по всей длине ветвей. Ассимиляционный аппарат деревьев достаточно хорошо развит, длина хвои в 2015 году составила 5,1 см, варьирование показателя среднее (17,3%). Наблюдается плодоношение на некоторых деревьях, средний балл – 3,2. На рис. 2 приведены данные по динамике роста пересаженных культур сосны обыкновенной. Прирост сосны в 2015 году более чем в 2 раза превышал прирост 2014 года, сказались благоприятные погодные условия вегетационного периода.

В 2011 году на площади 14,8 га были созданы культуры из интродуцентов и местных растений, посаженных однолетними сеянцами с закрытой (ЗК) и открытой (ОКС) корневой системой [7].

Из всех наблюдаемых видов ели, посаженных с закрытой корневой системой, наибольшую сохранность имела ель колючая (53,8%), наименьшую — ель Энгельмана (39,4%). Сохранность пихты бальзамической составила 16,5%, при этом у этого вида имелось большое число сомнительных растений. Среди саженцев ОКС лучшая сохранность была у дуба черешчатого (88,2%) и ели сибирской (70,0%). Примерно одинаковая сохранность была у сосны обыкновенной (27,7%) и лиственницы сибирской (27,8%). Хуже всего сохранилась пихта сибирская (13,0%), поэтому можно сказать, что для произрастания обоих изученных видов пихты условия зеленого пояса г. Астаны не подходят.

В табл. 1 приведена сравнительная характеристика сохранности саженцев ЗК и ОКС после первоначального отпада после посадки в 2011 и 2015 гг.

После учета приживаемости в 2011 году резко снизилась сохранность в 2015 году у пихты сибирской (в 3,3 раза). У остальных пород сохранность понизилась в 1,1 раза (ель сибирская (ЗК), дуб черешчатый, лиственница сибирская (ОКС)), в 1,2–1,5 раза (ель Энгельмана, ель колючая, ель сибирская (ЗК), сосна обыкновенная (ОКС)).

Если сравнивать сохранность ели сибирской, имеющей разный возраст при посадке (однолетние (ЗК) и трехлетние (ОКС) сеянцы), видно, что саженцы ЗК имели сохранность незначительно меньше по сравнению с ОКС.

Определены биометрические показатели роста растений, высаженных с открытой и закрытой корневой системой (табл. 2).

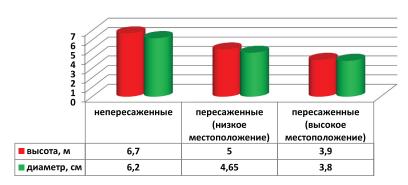


Рис. 1. Биометрические показатели лесных культур березы повислой

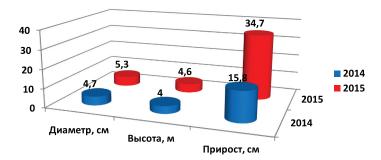


Рис. 2. Биометрические показатели пересаженных культур сосны обыкновенной

 Таблица 1

 Приживаемость и сохранность интродуцированных и местных растений по годам

Породо	Приживает	Приживаемость и сохранность, %				
Порода	2011	2015				
3К						
Пихта бальзамическая	17,8	16,5				
Ель Энгельмана	48,7	39,4				
Ель колючая	72,9	53,8				
Ель черная	41,5	44,1				
Ель сибирская	87,8	65,6				
	ОКС	·				
Ель сибирская	70,0	70,0				
Сосна обыкновенная	41,7	27,7				
Дуб черешчатый	95,3	88,2				
Пихта сибирская	43,9	13,3				
Лиственница сибирская	35,8	27,8				

Таблица 2 Биометрические показатели древесных пород, высаженных с открытой и закрытой корневой системой

Породо	Возраст,	Высота, см		Прирост, см						
Порода	биолог. лет	среднее, $X \pm m$	V, %	δ	среднее, $X \pm m$	V, %	δ			
	3К									
Ель Энгельмана	5*	$41,3 \pm 1,1$	28,0	11,7	$11,7 \pm 0,4$	41,5	4,8			
Ель колючая	5	$58,8 \pm 1,8$	30,8	18,5	$18,8 \pm 0,9$	40,9	7,8			
Ель сибирская	5	$59,7 \pm 1,2$	27,6	16,4	$21,3 \pm 0,6$	40,8	8,7			
Ель чёрная	5	$66,4 \pm 1,6$	30,5	20,5	$24,0 \pm 0,8$	36,3	17,3			
Пихта бальзамическая	5	$39,4 \pm 1,1$	30,3	12,1	$9,0 \pm 0,5$	45,7	5,6			
		ОКС								
Сосна обыкновенная	7	$118,6 \pm 4,8$	18,9	21,7	$40,5 \pm 2,1$	23,9	9,4			
Ель сибирская	8	$62,2 \pm 0,7$	17,3	10,7	$13,2 \pm 0,3$	33,2	4,4			
Дуб черешчатый	6	$154,2 \pm 4,2$	28,5	44,5	$67,4 \pm 2,5$	39,3	26,1			
Лиственница сибирская	6	$102,4 \pm 2,6$	33,6	34,6	$45,6 \pm 1,2$	34,1	15,5			

Примечание. *- возраст биологический, вычисляемый со времени посева семян.

Изучение роста хвойных растений, посаженных с закрытой корневой системой, показало, что наибольшая высота и прирост из всех видов ели были у ели черной (соответственно 66,4 и 24,0 см), наименьшая — у ели Энгельмана (соответственно 43,4 и 10,8 см). Пихта сибирская имела медленный рост (39,4 см). У всех хвойных пород изменчивость высоты и прироста колебалась на высоком и очень высоком уровне (27,6–45,7%).

У хвойных пород, посаженных с открытой корневой системой, наибольшая высота наблюдалась у сосны обыкновенной (118,6 см). Большой прирост в 2015 г. был у лиственницы сибирской (45,6 см). У дуба черешчатого прирост в 2015 году составил 67,4 см, а высота достигла 154,2 см.

При сравнении роста ели сибирской, посаженной ЗК в 1-летнем возрасте и ОКС в 3-летнем возрасте, видно, что их высота практически сравнялась (59,7 и 62,2 см соответственно), а прирост в 2015 году был выше у ели сибирской ЗК (21,3 см). Состояние хвойных растений, как ЗК, так и ОКС, в целом удовлетворительное, охвоенность деревьев густая, хвоя зеленая, солнечных ожогов хвои не наблюдается. Дуб черешчатый при самой высокой сохранности имеет хорошее состояние и рост, что говорит о том, что он находится на данном этапе в оптимальных для роста условиях, хотя и повреждается поздневесенними заморозками.

Определены основные биометрические показатели ассимиляционного аппарата дуба черешчатого, сосны обыкновенной и пихты сибирской (табл. 3).

Статистические показатели Биометрические Порода показатели, см среднее, $X \pm m$ V, % Дуб черешчатый 1,9 Длина листа $13,5 \pm 0,3$ 14,4 Ширина листа $7,2 \pm 0,2$ 20,1 1,4 Сосна обыкновенная Длина хвои $7,1 \pm 1,5$ 22,4 15,9 Пихта сибирская $2,9 \pm 0,7$ 25,4 7,3

 Таблица 3

 Биометрические показатели ассимиляционного аппарата изучаемых древесных пород

Биометрические показатели растений на опытных участках с внесением биогумуса и абсорбента

Пополо	Водология в П		Высота, см			
Порода	Варианты опыта	Приживамость, %	$X \pm m$	V, %	σ	
Вяз приземистый	Биогумус	86,4	$62,1 \pm 1,3$	36,7	22,8	
	Контроль	78,3	$62,9 \pm 2,9$	31,5	19,8	
Сосна обыкновенная	Абсорбент	56,9	$5,4 \pm 0,2$	47,9	2,6	
	Контроль	56,3	$6,6 \pm 0,6$	47,6	3,1	

Листья дуба черешчатого изменялись по длине и ширине на среднем уровне (соответственно 14,4 и 20,1 %), но длина листовой пластинки была более выравненной.

Заложен опыт по внесению удобрения — биогумуса и абсорбента ПЭВД в почву после весенней посадки растений. Биогумус вносился в посадки вяза приземистого, абсорбент — в посадки сосны (табл. 4).

материалы Анализируя таблицы, можно сказать, что на данный момент вариант с внесением биогумуса не показывает никакого положительного результата по показателям роста в посадках вяза приземистого. Внесение абсорбента в посадки сосны обыкновенной, возможно, повлияло на уменьшение роста растений по сравнению с контролем. Приживаемость вяза приземистого в варианте с внесением биогумуса выше, чем приживаемость контрольных растений (соответственно 86,4 и 78,3%). Приживаемость сосны обыкновенной на варианте с внесением абсорбента практически не отличалась от контроля.

Выводы

Изучение пересаженной березы повислой и сосны обыкновенной показа-

ло, что пересадку достаточно взрослых деревьев можно производить, но в очень ограниченном количестве и при этом учитывать рельеф местности. Пересаженные растения требуют тщательного и длительного ухода, подкормки стимуляторами и удобрениями.

Для условий зеленой зоны Астаны наиболее подходящими интродуцированными породами являются ель колючая и сибирская, имеющие хорошую приживаемость, рост и состояние. Пихта сибирская и бальзамическая вообще не пригодна для выращивания в районе исследований. Следует отметить, что при посадке посадочного материала с закрытой корневой системой желательно увеличить возраст сеянцев до 2–3 лет, т.к. в однолетнем возрасте сеянцы не приспособлены к суровым почвенноклиматическим условиям и часто заглушаются сорняками даже при тщательных и многократных уходах.

После испытания влияния биогумуса и абсорбента на приживаемость и рост древесных растений выявлено, что наблюдается увеличение приживаемости вяза приземистого при внесении биогумуса, на сосну обыкновенную внесение абсорбента положительного воздействия не оказало, отмечено даже некоторое снижение высоты по сравнению с контролем.

Список литературы

- 1. Байзаков С., Искаков С.И. Нысанбаев Е.Н. Способ создания маточно-транзитных лесных культур (на примере одной схемы размещения посадочного материала) // Инновационный патент № 26199 от 26.09.2012.
- 2. Байзаков С., Искаков С.И. Нысанбаев Е.Н. Инновационные способы воспроизводства лесов, направленные на повышение общей эффективности и устойчивости лесных культур в аридных условиях (на примере ленточных боров казахстанского Прииртышья) // Материалы II Международной научно-практической конференции Часть 1. ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства». 2012.
- 3. Борцов В.А., Хасенов А.А., Шахматов П.Ф., Байрамова И.П. Изучение роста и состояния лесных культур березы повислой и сосны обыкновенной в «ТОО Астана Орманы» // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири: материалы VII Международной научной интернетконференции. 2015. С. 41–46.
- 4. Данченко А.М., Кабанова С.А., Данченко М.А., Мясников А.Г. Создание двухприемных лесных культур в условиях зеленых зон городов (на примере г. Астаны) // В мире научных открытий. 2014. N2 8 (56). С. 54–68.
- 5. Данченко М.А. Система лесоводственных мероприятий по повышению рекреационной емкости и устойчивости городских лесов // Вестник Томского государственного университета. -2011. № 347. -C. 156-158.

- 6. Данченко М.А., Кабанова С.А. К разработке технологии формирования ландшафтов и лесонасаждений на территории зеленой зоны городов (на примере г. Астана) // Вестник Томского государственного университета. -2012. −№ 354. -C. 180–186.
- 7. Кабанова С.А., Данченко М.А., Мясников А.Г. Динамика приживаемости лесообразующих пород зеленой зоны г. Астаны // Проблемы региональной экологии. $2012.-N_{\rm 2} 2.-C.144-146.$
- 9. Кентбаева Б.А., Кентбаев Е.Ж., Азбаев Б.О. Аккумулирование тяжелых металлов в листьях защитных насаждений зеленого пояса г. Астаны // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений. -2013. T. XVI. № XVI. С. 53-57.
- $10.\ \mbox{Культиасов}$ И. М. Экология растений. М.: МГУ, $1982.-63\ \mbox{c}.$
- 11. Мироненко О.Н., Азбаев Б.О., Хасенов А.А., Борцов В.А. Аспекты зеленого строительства вокруг г. Астаны // Лесное хозяйство и зеленое строительство в Западной Сибири. Материалы VII Международной научной интернетконференции. 2015. С. 102—109.
- 12. Огиевский В.В., Хиров А.А. Обследование и исследование лесных культур. Л., 1967. 50 с.

УДК 633.2:631.53.04:631.51

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПРОДУКТИВНОСТИ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ В УСЛОВИЯХ ЗАСУШЛИВОЙ СТЕПИ

¹Киричкова И.В., ²Беленков А.И., ¹Межевова А.С., ¹Мелихов А.В.

¹ΦΓБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет», Волгоград, e-mail: vnialmi@yandex.ru; ²ΦΓБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет», Москва, e-mail: vnialmi@yandex.ru

Многолетние травы в условиях засушливой степи Волгоградской области – основное сырье для производства травянистых кормов. Одним из условий повышения их продуктивности являются способы обработки почвы. В статье представлены материалы, позволяющие дать критическую оценку влияния способов обработки почвы на рост, развитие и продуктивность многолетних трав: люцерна «Артемида», эспарцет «Песчаный 1251», кострец «Моршанский 760». Продуктивность эспарцета «Песчаный 1251» второго года по выходу кормовых единиц составила 3,06-3,29 т/га, протеина 0,47-0,5 т/га. В посевах третьего года выход кормовых единиц у люцерны «Артемида», по сравнению со вторым годом, повышался до 3,87 т/га и протеина до 0,61 т/га. В посевах эспарцета «Песчаный 1251» продуктивность по сравнению со вторым годом снижалась до 2,32 т/га и протеина до 0,36 т/га. В посевах костреца «Моршанский 760» продуктивность повышалась и достигала 3,62 т/га кормовых единиц и 0,40 т/га протеина. На травостоях четвёртого года продуктивность снижается и составила у люцерны «Артемида» 2,30–2,75 т/га кормовых единиц, у костреца «Моршанский 760» 3,00-3,24 т/га, протеина соответственно 0,36-0,44 т/га. Установлены закономерности развития многолетних трав на черноземных почвах Волгоградской области. Продуктивным долголетием характеризуются кострец «Моршанский 760» и люцерна «Артемида». На основе многолетнего экспериментального материала получен обоснованный уровень продуктивности возделываемых многолетних трав на черноземных почвах засушливой степи. В сложных и меняющихся по годам климатических условиях многолетние травы хорошо переносят зимовку и гарантируют высокие урожаи в любые экстремальные годы. Выявлено, что среди способов основной обработки преимущество следует отдавать отвальной вспашке и безотвальному рыхлению. Поверхностная обработка допустима при отсутствии в полях многолетних сорняков.

Ключевые слова: многолетние травы, люцерна «Артемида», эспарцет «Песчаный 1251», кострец «Моршанский 760», черноземные почвы, способы обработки почвы, продуктивность

RELATIVE ASSESSMENT OF EFFICIENCY OF PERENNIAL GRASSES IN ARID STEPPE

¹Kirichkova I.V., ²Belenkov A.I., ¹Mezhevova A.S., ¹Melikhov A.V.

¹Volgograd State Agricultural University, Volgograd, e-mail: vnialmi@yandex.ru; ²Russian State Agrarian University, Moscow, e-mail: vnialmi@yandex.ru

Perennial grasses in the arid steppes of Volgograd region – the main raw material for the production of grass fodder. One of the conditions for increasing their productivity are the methods of tillage. The article presents the materials, allowing to give a critical assessment of the effect of tillage methods on growth, development and productivity of perennial grasses: lucerne «Artemis» sainfoin «Sandy 1251», Rump «Morshansky 760». The productivity of sainfoin «Sandy 1251» for the second year of the exit feed units was 3,06–3,29 t/ha, protein 0,47–0,5 t/ha. In the third year of the crops yield in alfalfa feed units «Artemis» by rose to 3,87 t/ha and protein to 0.61 t/ha compared to the second year. In crops sainfoin «sand 1251» productivity compared with the second year was reduced to 2,32 t/ha to 0,36 and protein tons/ha. In crops rump «Morshansky 760 'productivity increased and reached 3.62 t/ha fodder units and 0,40 t/ha protein. In the fourth year of herbage productivity decreases, and alfalfa was «Artemis» 2,30–2,75 t/ha of fodder units, from rump «Morshansky 760» 3,00–3,24 t/ha, respectively protein 0,36–0,44 t/ha. The laws of development of perennial grasses on chernozems of the Volgograd region. Productive longevity characterized Rump «Morshansky 760» and alfalfa «Artemis». Based on years of experimental data obtained reasonable level of productivity of cultivated perennial grasses on chernozems arid steppe. In a complex and changing data climates perennial grasses tolerate winter and ensure high yields in any extreme years. It was revealed that among the main methods of processing the advantage should be given to moldboard plowing and subsurface loosening. Surface treatment is permissible in the absence of perennial weeds in the fields.

Keywords: perennial grasses, alfalfa «Artemis», sainfoin «Sandy 1251», Rump «Morshansky 760», black soil, tillage methods, productivity

Стабильность и устойчивость кормовой базы в условиях засушливой степи Волгоградской области зависит не только от адаптивных свойств видов и сортов многолетних трав, их реакции на стрессовые погодные условия, но и способов основной обработки почвы под многолетние травы [1, 3–5, 7].

Мировое земледелие продвигается в сторону минимальных и даже нулевых обработок почвы. Данное положение характерно для производства зерна, но эти положения актуальны и в кормопроизводстве. Экономика сельского хозяйства считается устойчивой и полноценной, когда доли

земледелия и животноводства находятся в разумном соотношении. Вместе с тем доля животноводства в большинстве регионов опустилась ниже 30%, что является недопустимым для продовольственной безопасности страны [8–10].

Сравнительная оценка продуктивности многолетних трав в условиях засушливой степи в зависимости от способов обработки почвы под многолетние травы остается сложным звеном и актуальной проблемой в технологии возделывания многолетних трав в богарных условиях.

Материалы и методы исследования

Экспериментальная часть опытов проводилась в 2009—2014 гг. на черноземных почвах Новоаннинского района Волгоградской области (К(ф)Х «С.Ф. Башкиров»). Территория расположена в засушливой степи Волгоградской области, средняя температура воздуха составляет 6,0°С. Величина гидротермического коэффициента (ГТК) составляет 0,7. Преобладающими типами почв хозяйства являются маломощные южные черноземы тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Содержание гумуса в пахотном горизонте составляет 5,6%. Реакция почвенного раствора рН 7,0–7,2 [9].

Для решения поставленных задач заложены специальные опыты по оценке различных способов обработки почвы под многолетние травы (фактор A). Варианты основной обработки: отвальная вспашка на 25–27 см (ПН-4-35), безотвальное рыхление на 18–20 см (АПК-6) и средняя обработка на глубину до 12–15 см (БДМ-6). Обработка почвы проводилась по фону внесения соломы 5 т/га и удобрений 1,5 ц/га в форме аммофоса. Весной под предпосевную культивацию вносили N_{30} . Семена люцерны и эспарцета обрабатывали ризоторфином. Повторность во времени двухкратная, в пространстве — трёхкратная, размер делянок — 500 м², размещение систематическое (последовательное), предшественник — озимая пшеница.

Предпосевная обработка под многолетние травы состояла из покровного боронования зубовыми боронами (БЗСС-1,0), предпосевной культивации на глубину 6-8 см (КПГ-4), прикатыванием до и после (ЗККШ-6), посев проводили сеялками СЗТ-3,6. В опыте высевали три культуры (фактор В): люцерна «Артемида» с нормой высева 5 млн всхожих семян на гектар, эспарцет «Песчаный 1251», норма высева – 5 млн всхожих семян, кострец «Моршанский 760», норма высева 6 млн всхожих семян на гектар. Полевые опыты закладывались в соответствии с методическими указаниями Б.А. Доспехова [2]. Для всесторонней оценки результатов исследований проведены все наблюдения и анализы: за развитием растений в травостое, контроль над влажностью почвы, определение основных параметров травостоя. Биоэнергетическую оценку эффективности изучаемых вариантов проводили с учетом методических рекомендаций [6].

Результаты исследования и их обсуждение

При безотвальной и поверхностной обработках почвы верхний слой почвы подвергается интенсивному рыхлению до мелкокомковатого состояния. Плотность сложения за счёт значительного количества измельчённой соломы была благоприятной для усвоения осадков. Влажность почвы в момент посева в слое 3-5 см более высокой была на вариантах безотвальной и поверхностной обработок, что сказалось на показателях полевой всхожести (51–56%). Среди факторов, влияющих на полевую всхожесть семян, наибольшее влияние оказывают подготовка почвы к посеву, посевные качества семян, влажность и температура почвы. Выявлено, что на полевую всхожесть (полноту всходов) способы основной обработки почвы оказывали незначительное влияние. Так, по вспашке полнота всходов у люцерны в годы исследований составила 50,1-52,6%, у эспарцета 55,4-56,8%, у костреца безостого 52,7-54,0%. Существенное значение для полевой всхожести и продолжительности периода посев – всходы имеют гидротермические условия этого периода (табл. 1). Сроки сева, способы посева и гидротермические условия весеннего периода имеют большое значение для роста и развития многолетних трав, что является определяющим в продуктивном долголетии посевов многолетних трав. Влажность почвы в период появления всходов и начального развития – наиболее значимый фактор для развития многолетних трав.

Таблица 1 Гидротермические условия начального периода роста многолетних трав

Поморожати	Го	ды
Показатели	2009	2010
Дата посева	22.04	16.04
Появление всходов:		
люцерна	8.05	3.05
эспарцет	6.05	2.05
кострец	4.05	30.05
Количество доступной влаги в слое 020 см, мм:		
отвальная обработка	27	28
безотвальная обработка	30	31
поверхностная обработка	30	30
Количество осадков за период посев – всходы, мм	5,7	22,3
Сумма положительных температур за период посев – всходы, °С		
люцерна «Артемида»	163,2	188,7
эспарцет «Песчаный 1251»	142,8	177,6
кострец «Моршанский 760»	122,4	155,4
Сумма положительных температур за период посев – укос (покровная культура), °С	1225,6	1150,4
Сумма осадков за период посев – укос (покровная культура), мм	156,9	85,6
ГТК за период посев – укос	1,28	0,74

Таблица 2 Урожайность зелёной массы посевов первого года в зависимости от способов основной обработки почвы (среднее за 2009–2010 гг.)

	Урожайность		Доля ком	ипонентов	в урожае,	%
Варианты обработки почвы	зелёной массы, т/га	овёс	люцерна	эспарцет	кострец	сорные растения
	Люцерна «А	ртеми	da»			
Отвальная вспашка	17,2	82,6	7,3	_	_	10,1
Безотвальное рыхление	15,7	81,7	5,6	_	_	12,7
Поверхностная обработка	15,1	81,2	6,4	_	_	12,4
	Эспарцет «Пес	чаный	1251»			
Отвальная вспашка	18,3	73,6	_	19,3	_	7,1
Безотвальное рыхление	18,1	74,3	_	17,1	_	8,6
Поверхностная обработка	17,2	75,3	_	15,6	_	9,1
	Кострец «Мори	иански	й 760»			
Отвальная вспашка	17,3	85,7	_	_	6,3	8,0
Безотвальное рыхление	16,0	86,0	_	_	5,8	8,2
Поверхностная обработка	15,0	85,3	_	_	5,3	9,4

Для получения стабильно высоких урожаев многолетних трав большое значение, как показали исследования, имеет видовой состав при оптимальной плотности стеблестоя. В зоне исследований многолетние травы по непаровым предшественникам высеваются в весенние сроки под покров зерновых или кормовых культур и беспокровно. Целесообразность подпокровных посевов определяется, как уже отмечалось, полноценным урожаем покровной культуры, снижением засоренности, что положительно сказывается на увеличении продуктивности в последующие годы (табл. 2).

На травостоях второго года урожайность люцерны по вспашке составила 18,1-19,7 т/га зелёной массы, при безотвальной обработке — 17,6-19,2 т/га, по поверхностной — 16,2-17,8 т/г (табл. 3).

Кострец безостый как более долголетний вид со второго года начинает хорошо куститься, и если в травостоях бобовых плотность стеблестоя начинает снижаться, то у костреца безостого она повышается. Эта особенность костреца безостого проявляется с третьего года жизни (табл. 4).

Урожайность зелёной массы многолетних трав второго года в зависимости от способов основной обработки почвы, т/га

	2009	9 год	2010 год						
Варианты обработки почвы	Основная	Сорные	Основная	Сорные					
	культура	растения	культура	растения					
Люцерна «Артемида»									
Отвальная вспашка	18,1	0,15	19,7	0,13					
Безотвальное рыхление	17,6	0,20	19,2 0,1						
Поверхностная обработка	16,2	0,23	17,8	0,16					
Эспарцет «Песчаный 1251»									
Отвальная вспашка	17,6	0,20	19,1	0,13					
Безотвальное рыхление	17,0	0,24	18,4	0,18					
Поверхностная обработка	16,5	0,27	17,5	0,22					
Кострец «Моршанский 760»									
Отвальная вспашка	14,7	0,11	16,4	0,09					
Безотвальное рыхление	15,4	0,10	15,7	0,11					
Поверхностная обработка	15,0	1,13	15,2	0,16					
HCP 05 (A), m/га	1,33		1,43						
HCP 05 (В), m/га	0,62		0,67						
HCP 05 (AB), m/га	1,33		1,43						

Урожайность зелёной массы многолетних трав третьего года в зависимости от способов основной обработки почвы, т/га

		2011 год		2012 год					
Варианты обработки почвы	Урожай- ность з/м	Доля комп	онентов, %	Урожай-	Доля компонентов, %				
		основная	сорные	ность 3/м	основная	сорные			
		культура	растения		культура	растения			
Люцерна «Артемида»									
Отвальная вспашка	21,7	96,7	3,1	19,1	93,6	6,4			
Безотвальное рыхление	20,1	96,1	3,9	17,4	92,1	7,9			
Поверхностная обработка	18,4	95,4	4,6	16,8	90,7	9,3			
	Эспарі	џет «Песча	ный 1251»						
Отвальная вспашка	15,6	89,4	10,6	14,3	87,4	12,6			
Безотвальное рыхление	15,0	87,9	12,1	13,8	86,9	13,1			
Поверхностная обработка	13,2	85,7	14,3	12,6	85,3	14,7			
Кострец «Моршанский 760»									
Отвальная вспашка	19,8	97,3	2,7	18,3	96,3	3,7			
Безотвальное рыхление	20,6	97,1	2,9	17,6	96,7	3,3			
Поверхностная обработка	20,1	96,2	3,8	17,0	96,5	3,5			
HCP 05 (A), m/га	1,24			1,03					
HCP 05 (B), m/га	1,24			1,03					
HCP 05 (AB),m/га	1,24			1,03					

Продление срока использования посевов эспарцета после трёх лет пользования нецелесообразно, так как отмечается значительный выпад растений и повышается засорённость. В посевах люцерны четвёртого года (урожайность по годам исследований достигала от 11,4 до 15,7 т/га зелёной массы, при этом засорённость травостоя повышала 16,1–17,4%, поэтому дальнейшее использование таких травостоев приводило к значительному снижению урожайности и качества корма из-за повышенного содержания в зеленой массе

плохо поедаемых и не поедаемых сорных растений (табл. 5).

Из способов основной обработки преимущество должно отдаваться вспашке и безотвальному рыхлению. При отсутствии в полях многолетних сорняков допустима и поверхностная обработка на глубину до 12–15 см. Лучше на поверхностную обработку реагирует кострец безостый. Оценка продуктивности многолетних трав по выходу кормовых единиц и переваримого протеина по годам жизни (использования) показывает, что выход кормовых

Таблица 5 Урожайность зелёной массы многолетних трав четвёртого года в зависимости от способов основной обработки почвы, т/га

		2012 год		2013 год					
Варианты обработки почвы	Урожай- ность з/м	Доля комп	онентов, %	Vnovcoř	Доля компонентов, %				
		основная	сорные	Урожай- ность з/м	основная	сорные			
		культура	растения		культура	растения			
Люцерна «Артемида»									
Отвальная вспашка	15,7	84,7	15,3	13,7	83,6	16,4			
Безотвальное рыхление	14,1	83,9	17,1	13,0	83,9	16,1			
Поверхностная обработка	12,8	,8 81,6 18,4		11,4	82,6	17,4			
Кострец «Моршанский 760»									
Отвальная вспашка	17,0	92,3	7,7	15,7	90,4	9,6			
Безотвальное рыхление	17,8	92,0	8,0	16,3	90,7	9,3			
Поверхностная обработка	16,6	90,7	9,3	15,1	88,6	11,4			
HCP 05 (A), m/га	1,26			0,45					
HCP 05 (В), т/га	1,54			0,55					
HCP 05 (AB),m/га	1,54			0,56					

единиц в посевах люцерны второго года по способам основной обработки почвы достигал от 3,59 т/га (отвальная вспашка) до 3,23 т/га (поверхностная обработка). Выход протеина достигал 0,51–0,57 т/га, при этом обеспеченность 1 корм. ед. переваримым протеином составила порядка 158–160 г. Продуктивность эспарцета второго года по выходу кормовых единиц составила от 3,06 до 3,29 т/га, протеина от 0,47 до 0,5 т/га.

Выход кормовых единиц в урожае зелёной массы у костреца второго года был значительно ниже и достигал 2,87-2,94 т/га, а протеина до 0,32 т/га. В зелёной массе костреца обеспеченность кормовой единицы протеином по отношению к люцерне и эспарцету снижалась до 108 г. В посевах третьего года выход кормовых единиц у люцерны, по сравнению со вторым годом, повышался до 3,87 т/га и протеина до 0,61 т/га. В посевах эспарцета продуктивность по сравнению со вторым годом снижалась до 2,32 т/га и протеина до 0,36 т/га. В посевах костреца продуктивность повышалась и достигала до 3,62 т/га кормовых единиц и 0,40 т/га протеина. На травостоях четвёртого года продуктивность снижается и составила у люцерны от 2,30 до 2,75 т/га кормовых единиц, у костреца от 3,00 до 3,24 т/га, протеина соответственно 0,44 и 0,36 т/га.

Заключение

Для получения стабильно высоких урожаев многолетних трав большое значение имеет видовой состав при оптимальной плотности стеблестоя. В зоне исследований многолетние травы по непаровым предшественникам высеваются в весенние сроки под покров зерновых или кормовых культур и беспокровно. С учётом биологических особенностей изучаемых культур и результатов исследований под многолетние бобовые травы (люцерна «Артемида», эспарцет «Песчаный 1251») лучше применять отвальную и безотвальную обработки, допустима и поверхностная обработка, при условии, что предшественники не засорены многолетними сорняками. При отсутствии многолетних корневищных и корнеотпрысковых сорняков

под кострец «Моршанский 760» можно применять поверхностную обработку.

В посевах эспарцета «Песчаный 1251» второго года урожайность зелёной массы, по сравнению с люцерной «Артемида» изменялась незначительно. Она снижалась по отвальной обработке до 17,6 т/га, по безотвальной до 17,0 т/га и незначительно повышалась по поверхностной, что связано с большей мощностью корневой системы, которая лучше проникает в глубокие слои. Более продуктивным долголетием в условиях засушливой степи характеризуются кострец «Моршанский 760», люцерна «Артемида». Продуктивное долголетие люцерны «Артемида» может ограничиваться тремя-четырьмя годами, костреца - четырьмя годами, эспарцета «Песчаный 1251» – двумя-тремя годами.

Список литературы

- 1. Беленков А.И. Агротехнические принципы полевых севооборотов зерновой специализации, основной обработки и регулирования плодородия зональных почв в черноземностепной, сухостепной и полупустынной зонах Нижнего Поволжья: автореф. дис. ... д-ра с-х. наук: 06.01.01. Волгоград, 2006. 43 с.
- 2. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1985. С. 25–125.
- 3. Киричкова И.В. Эффективность возделывания многолетних трав в Нижнем Поволжье // Плодородие. -2008. -№ 3. C. 41–42.
- 4. Киричкова И.В. Продуктивность посевов многолетних трав по годам жизни в условиях Нижнего Поволжья // Кормопроизводство. -2008. -№ 4. -C. 14–15.
- 5. Киричкова И.В., Беленков А.И. Приемы основной обработки почвы и продуктивность многолетних трав // Земледелие. 2009. N 7. C. 28–29.
- 6. Методические указания по проведению полевых опытов с кормовыми культурами. М.: ВНИИ кормов им. В.Р. Вильямса, 1983. 198 с.
- 7. Плескачев Ю.Н. Ресурсосберегающие приемы основной обработки светло-каштановых почв // Основы достижения устойчивого развития сельского хозяйства: мат межд. конф. Волгоград, 2004. С. 61–62.
- 8. Толпекин А.А. Люцерна посевная и козлятник восточный в посевах с кострецом безостым при конвейерном производстве кормов в лесостепи Среднего Поволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.09. Кинель, 2002. 23 с.
- 9. Филин В.И. Плодородие зональных почв Волгоградской области и приемы его воспроизводства при программировании урожая // Повышение плодородия почв в интенсивном земледелии. Волгорад, 2008. С. 4—19.
- 10. Чурзин В.Н. Влияние приемов агротехники на урожайность и качество кормов из люцерны // Достижения науки и техники АПК. 1989. № 7. С. 29–31.

УДК 630*283.9

ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ И БИОТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ГРИБОВ-МАКРОМИЦЕТОВ В УСЛОВИЯХ ЮЖНОГО ПРИМОРЬЯ

Полещук Т.Н., Полещук В.А.

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

Определено влияние метеорологических и биотических факторов на продуктивность грибов-макромицетов в условиях Южного Приморья. Объектом исследования были съедобные грибы семейства трубчатых (*Boletaceae*) и сыроежковых (*Russulaceae*). За многолетний период исследования выявлена определенная зависимость между урожайностью грибной массы, суммой месячных осадков, температурой воздуха и почвы. В южной части Приморского края грибные массивы в большей степени тяготеют к слабопокатым выположенным склонам разных экспозиций. Главные грибные угодья здесь составляют дубовые и производные белоберезовые леса, представленные леспедецевыми, лещинными, высокотравными и белоберезовыми смешанными типами. Наиболее продуктивным типом является леспедецевый дубняк, урожайность макромищетов в среднем составляет 112,6 кг/га, в лещинном дубняке — 96,2 кг/га. В высокотравном дубняке биологическая продуктивность грибов-макромицетов наименьшая и в среднем не превышает 25,4 кг/га.

Ключевые слова: грибы-макромицеты, продуктивность, метеорологические и биотические факторы

THE INFLUENCE OF WEATHER AND BIOTIC FACTORS ON THE PRODUCTIVITY OF FUNGI-MACROMYCETES IN THE SOUTHERN PRIMORYE

Poleschuk T.N., Poleschuk V.A.

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

The influence of weather and biotic factors on the productivity of fungi –macromycetes in the southern Primorye. The object of the study was to edible mushrooms of the tubular family (Boletaceae) and (Russulaceae). Years of study revealed a definite relationship between the yield of fungal mass, the amount of monthly precipitation, temperature and soil. In the southern part of Primorsky Krai mushroom arrays in increasingly tend to clubparty wyposazonym the slopes of different expositions. The main mushroom grounds are oak forests and derived birch forests presented lespedezae, hazelnut, grass and birch forests mixed types. The most productive type is bush-clover oakery, the yield of macromycetes average of 112,6 kg/ha, in the hazel nut oakery at 96,2 kg/ha. In the shrub-grass oakery biological productivity of fungi – macromycetes of the smallest and does not exceed an average of 25,4 kg/ha.

Keywords: macrofungi, productivity, weather and biotic factors

В южной части Приморского края результате деятельности человека вблизи городов и многочисленных населенных пунктов коренным образом изменился состав и многие другие лесотаксационные показатели лесов. На месте хвойных и хвойно-широколиственных древостоев сформировались порослевые низкокачественные дубово-березовые леса, образованные самыми устойчивыми к огневым повреждениям породами дубом монгольским (Quercus mongolica Fisch. ex Ledeb.) и березой даурской (Betula davurica Pall.) [4]. Производные дубово-березовые леса несут не только значительную рекреационную нагрузку, но и обладают большими запасами недревесных продуктов, которые носят общее название «побочных пользований». В настоящее время одним из основных побочных пользований является массовое увлечение населения сбором грибов.

Влияние факторов среды на динамику урожайности шляпочных грибов изучено еще недостаточно. В связи с этим отношение грибов к тому или иному экологическому фактору, а также обилие и запасы плодовых тел мы изучали непосредственно в совокупности с различными растительными ценозами, в которых они формируются. Отсюда цель данной работы — определить влияние метеорологических и биотических факторов на продуктивность грибов-макромицетов в условиях Южного Приморья.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования были съедобные грибы семейства трубчатых (Boletaceae) и сыроежковых (Russulaceae). Наиболее часто собираемыми и пользующимися неизменной популярностью у населения в условиях юга Приморского края являются белый гриб (Boletus edulis Fr.), дубовик (Boletus luridus Fr.), обабок дальневосточный (Leccinum extremiorientale (L. Vass.) Sing.), моховик каштановый (Xerocomus badius (Fr.) Gilb.), подберезовик (Leccinum scabrum (Fr.) S.F. Gray.), подосиновик (Leccinum aurantiacum S.F. Gray.),

сыроежка сине-желтая (Russula cyanoxantha (Schw.) Fr.), сыроежка съедобная (Russula vesca Fr.), сыроежка зеленая (Russula aeruginea Lindbl.) волнушки розовая (Lactarius torminosus (Fr.) S.F. Gray.) и белая (L. pubescens Fr.), груздь настоящий (L. resimus Fr.) и дубовый (L. insulsus (Fr.) Fr.). Изучение влияния метеорологических и биотических факторов на продуктивность грибов-макромицетов осуществляли в Уссурийском, Михайловском, Октябрьском и Хорольском районах, входящих в Ханкайский округ Приханкайско-Уссурийской провинции Приморского края [7].

В период полевых исследований с 2002 по 2014 гг. было заложено 18 пробных площадей (0,25 га) в сухих, свежих и влажных лесорастительных условиях. Особое внимание обращали на то, чтобы пробная площадь была вполне типичной и на всем своем протяжении однородной. Закладку пробных площадей проводили по общепринятым в таксации и лесоустройстве методикам [8, 2, 5]. После описания типов леса приступали к определению урожайности и расчету запасов съедобных грибов по разработанным для этих целей методикам [3, 1, 5]. По углам и в центре каждой пробной площади закладывали 5 крупных учетных площадок размером 4×5 м. На учетных площадках на уровне почвы срезали плодовые тела всех грибов. При сборе грибов отмечали все особенности их произрастания. Влияние экологических условий на рост и продуктивность грибов в различных типах леса изучали в сочетании с метеорологическими и биотическими факторами среды. Для этих целей использовали данные метеорологических станций Горнотаежной станции ДВО РАН (температура воздуха, осадки, влажность воздуха, сумма активных температур и т.д.), а также собственные наблюдения под пологом леса на пробных площадях, где фиксировали температуру воздуха и поверхности почвы, температуру почвы на глубине 5-10 см и влажность почвы.

Результаты исследования и их обсуждение

Характеризуя дубовые и белоберезовые леса районов исследования, мы выделяли следующие группы типов лесов: рододендроново-осочковые (Д-I), леспедецевые (Д-II), лещинные (Д-III), высокотравные дубняки с березой даурской (Д-V), белоберезовые смешанные (Бс-V) и березняки папоротниково-крупнотравные (Бб-II). Лесоводственно-таксационная характеристика типов леса приведена в таблице.

Дубняки рододендроново-осочковые (Д-1) приурочены в основном к узким гребням водоразделов и прилегающим к ним крутым склонам южных экспозиций. Почвы бурые, горно-лесные, сильно скелетные, мелкие, сухие. Гумусовый горизонт 7–9 см, комковато-пылеватой структуры.

Подлесок редкий, групповой, высотой от 0,5 до 1 м, представлен рододендроном даурским (*Rhododendron davuricum* L.) (50%) и леспедецей двуцветной (*Lespedeza bicolor* Turcz.) (10%). Травяной покров высотой до 30 см проективно покрывает 30% площади, беден в видовом отношении. Фон создают мелкие осочки и злаки.

Леспедецевые дубняки (Д-II) – наиболее часто встречающийся тип дубовых лесов. Обычно они распространены на пологих и крутых южных склонах, отмечены по речным террасам, рёлкам и увалам. Почвы бурые лесные, маломощные, скелетные. Подзолистый процесс выражен слабо.

В подлеске доминирует леспедеца двуцветная. Травяной покров разновидовой, но наиболее обычен подмаренник даурский (Galium davuricum Turcz. ex Ledeb.), осока уссурийская (Carex ussuriensis Kom.), вика однопарная (Vicia unijuga A.Br.) и марьянник розовый (Melampyrum roseum Maxim.).

Дубняки лещинные (Д-III) занимают пологие склоны южной экспозиции. Почвы бурые горно-лесные, суглинистые, средней мощности, хорошо гумусированные, свежие. Подлесок средней густоты, высотой 0,5-1 м, распределен по площади неравномерно. Фон создают лещина разнолистная (Corylus heterophylla Fish. Ex Trautv.) высотой 0,5-1 м. Травяной покров средней густоты, двухъярусный, проективное покрытие почвы 30-40%. Высота первого подъяруса 30-40 см, второго – 10-20 см. Фон создают осоки уссурийская и ржавопятнистая (*Carex* siderosticta Hance). Рассеянно встречаются вика однопарная, орляк обыкновенный (Pteridium aquilinum (L.) Kuhn.) и лихнис сверкающий (Lychnis fulgens Fisch).

Влажные высокотравные дубняки с березой даурской (Д-V) приурочены к пологим склонам, затененным в верхних частях долин горных ключей. Почвы бурые горно-лесные, суглинистые, средней мощности. Гумусовый горизонт 7 см, комковатой структуры, густо переплетенный корнями, задернение среднее.

Подлесок средней густоты, размещен по площади неравномерно. В составе подлеска преобладают леспедеца двуцветная и лещина разнолистная. Рассеянно встречаются чубушник тонколистный (Philadelphus tenuifolius Rupr. et Maxim.), бересклет малоцветковый (Euonymus pauciflor Maxim.), акантопанакс силячецветковый (Acantopanax sessiliflorus (Rupr. et Maxim.) Seem.) и шиповник приятный (Rosa suavis Willd). Травяной покров двухьярусный, проективное покрытие 50–70%. Высота первого подъяруса 30–40 см, второго – 10–20 см. Фон создают осока уссурийская и ржавопятнистая. Рассеянно на пробной площади встречаются орляк обыкновенный, оноклея чувствительная (Onoclea sensibilis L.), щитовник толстокорневищный (Dryopteris crassirhizoma Nakai), чистоуст азиатский (Osmunda asiaticum (Fern.) Tagawa), вика однопарная и другие виды.

Таксационная характеристика пробных площадей

Номер пробной площади	Географическое положение, экспозиция, крутизна, высота над уровнем моря	Состав древостоя	Возраст, лет	Число стволов	Сомкнутость крон	Сумма площа- дей сечения, M^2	Средний диа- метр, см	Средняя высота, м	Бони-тет	Запас, м³/га
	Рододендроново-осочковый дубняк (Д-I)									
1	Верхняя часть склона южной экспозиции 20–25°, 120 м над уровнем моря	10Д, едБдОс	40	750	0,9	11,15	9,0	8,0	V	59,5
		Леспедецевый ду	бняк	: (Д-II)						
2	Верхняя часть южного склона,5–10°, 168 м над уровнем моря, N – 43°41′, E – 132°09′	10Д ед Бм, Бч	60	790	0,7	20,94	16	15	III	174,7
		Лещинный дубн	як (,	Д-III)						
3	Увалистая терраса юго-западной экспо-зиции, 76 м над уровнем моря, N – 43°41′, E – 132°07′	8Д 2Бч + Ид, Лп	60	451	0,5	12,65	20	14,2	IV	100
	Высокот	равный дубняк с бе	грезо	ой даур	ской	(Д-V)				
4	Средняя часть юго-за- падного склона 2–5°, 120 м над уровнем моря	4Д 3Бч 2Ма 1Ид	43	1040	0,7	21,37	18,0	16,0	III	192,5
	Бел	поберезово-смешан	іный	лес (Б	(c-V)					
5	Средняя часть пологого юго-восточного склона, 160 м над уровнем моря, N – 43°43′, E – 13°209′	7Бм 3Д + Бч	60	788	0,8	23,94	20	17	III	174,7
Березняк папоротниково-крупнотравный (Бб -11)										
6	Средняя часть вогнутого северного склона, 96 м над уровнем моря	6Бм 2Д 2 Ян	70	643	0,6	16,32	18	16,0	III	135

 Π р и м е ч а н и е . В таблице Д – дуб монгольский, Бм – береза маньчжурская (Betula manshurica Regel), Бч – береза черная (даурская), Ид – ильм долинный (Ulmus japonica Rehd. Sarg.), Лп – липа амурская (Tilia amurensis Rupr.), Ос – осина Давида (Populus davidiana Dode), Ма – маакия амурская (Maackia amurensis Rupr. et Maxim.), Ян – ясень носолистный (Fraxinus rhynchophylla Hance).

Белоберезовые смешанные леса обычно занимают теневые западные, северо-западные, восточные и юго-восточные склоны средней крутизны в верхних и средних частях. Почвы обычно бурые лесные, скелетные, суглинистые, сильно гумисированные. Подлесок, как правило, средней густоты и состоит из леспедецы двуцветной, лещины разнолистной, шиповника приятного (Rosa suavis Willd) и др. Распространены вегетирующие лимонник китайский (Schisandra chinensis (Turcz.) Baill.) и виноград амурский (Vitis amurensis Rupr.) Травяной по-

кров не всегда постоянен: в нижних частях склонов зачастую преобладают папоротники, в верхних преобладание переходит к осокам. Обычными видами трав являются горошек однопарный (Vicia unijuga A.Br.), полынь побегоносная (Artemisia stolonifera Maxim.), астра шероховатая (Aster scaber Thunb.), диарена маньчжурская (Diarrhena mandshurica Maxim.). Широко распространены различные виды Cazex и Artemisia.

Березняки папоротниково-крупнотравные в большинстве случаев распространены в средних частях склонов северной

ориентации на ровных или вогнутых элементах рельефа. Подлесок довольно разрежен, сомкнутость его 0,3, высота до 1,5 м, состоит из акантопанакса сидячецветкового (Acanthopanax sessiliflorum (Rupr. et Maxim.) Seem.), аралии высокой (Aralia elata (Mig.) Seem.) и чубушника тонколистноro (*Philadelphus tenuifolius* Rupr. et Maxim.). Травостой чрезвычайно мощный, проективное покрытие на исследованной территории 75%, при средней высоте 50 см. Доминирующими видами являются щитовник мужской (Dryopteris filix mas Schott.), кочедыжник красночерешковый (Athyrym rubripes (Kom.), оноклея чувствительная (Onoclea sensibilis L.), а также лабазник дланевидный (Filipendula palmata Maxim.) и осока Арнелля (*Carex arnellii* Christ ex Scheutz).

При анализе метеорологических данных было установлено, что при температуре воздуха близкой к средним многолетним значениям, среднемесячная сумма осадков с мая по сентябрь может варьировать в широких пределах. За многолетний период исследования нами выявлена определенная зависимость между урожайностью грибной массы, суммой месячных осадков, температурой воздуха и почвы. Можно отметить, что начало появления первых плодовых тел и пик урожайности приходится на тот период, когда температура воздуха была выше 16 и 20°C соответственно. С устойчивым повышением температуры воздуха продуктивность грибной массы возрастает и достигает своего максимума при температуре 22°C. Такая же тенденция наблюдалась при повышении температуры почвы, причем наибольшее количество плодовых тел было собрано в период, когда установилась постоянная температура (18°C) на глубине 5 и 10 см.

Достаточно выраженная связь также прослеживается между продуктивностью грибной массы и суммой месячных осадков. Обильные осадки в конце мая — начале июня способствуют более раннему массовому появлению грибов из семейств Вoletaceae и Russulaceae. Совершенно иная ситуация складывается, если в мае и июне выпадает незначительное количество осадков, в этом случае происходит сдвигание образования плодовых тел на более поздние сроки, что в конечном итоге приводит к снижению биологической продуктивности грибной массы под пологом дубовых и белоберезовых фитоценозов.

При всем разнообразии лесорастительных условий на территории южной

части Приморского края грибные массивы в большей степени тяготеют к слабопокатым выположенным склонам разных экспозиций. Главные грибные угодья здесь составляют дубовые и производные белоберезовые леса, представленные леспедецевыми, лещинными, высокотравными и белоберезовыми смешанными типами. В горной части районов исследования грибные массивы ценных видов съедобных грибов встречаются редко и на небольших площадях.

Общая урожайность грибов не одинакова в различных типах леса. Наиболее продуктивными типом является леспедецевый дубняк, урожайность макромицетов в среднем за многолетний период наблюдений составляет 112,6 кг/га, в лещинном дубняке — 96,2 кг/га. В высокотравном дубняке с хорошо развитым напочвенным покровом биологическая продуктивность грибов-макромицетов наименьшая и в среднем не превышает 25,4 кг/га.

В отдельные годы значительные коррективы хозяйственного урожая съедобных грибов вносит повреждение их личинками насекомых. Повреждаемость грибов тесно связана с погодными условиями и зависит от типа леса. Общая поврежденность грибов за период исследований в дубняках составила 40-45%, в березняках 32-36%. Высокая степень поврежденности в дубовых типах леса объясняется преобладанием трубчатых грибов, которые достаточно быстро поражаются насекомыми. Наибольшая степень повреждаемости отмечена у дубовика и рядовки (до 70%). У белого гриба, подосиновиков, сыроежек, груздя настоящего она составляет 40-50%. Практически не повреждаются насекомыми скрипун и лисичка настоящая (Cantarellus cibarius Fr.).

Неоднократное посещение населением и выпас скота в лесу сопровождается появлением сети тропинок и дорог, в результате происходит изреживание живого напочвенного покрова, что в последующем способствует увеличению плодоношения большинства макромицетов. Видовое разнообразие и количество макромицетов на более освещенных местах у дорог и вдоль опушек может быть в несколько раз больше чем, в глубине леса. Напротив, интенсивные атропогенные нагрузки на одни и те же экотопы, сопровождающиеся разрушением растительного покрова и уплотнением верхнего слоя почвы, ухудшают плодоношение шляпочных грибов.

Влияние пирогенного фактора на биологическую продуктивность и распространение съедобных видов грибов неоднозначно и зависит от интенсивности, сезонности и повторяемости низовых пожаров в дубовых и белоберезовых типах леса. Ежегодные низовые пожары, возникающие в осенний период, в сухих дубняках уничтожают споры и повреждают грибницы макромицетов, что в конечном итоге приводит к уменьшению запасов, а в отдельных экотопах порой и к полному исчезновению ценных видов съедобных грибов. С другой стороны, в свежих дубовых и белоберезовых типах леса, характеризующихся хорошо развитым подлеском и достаточно мощной подстилкой, ранневесенние беглые низовые палы с периодичностью 5-7 лет стимулируют появление грибов из семейства Boletaceae и Russulaceae.

Заключение

В результате многолетних исследований было определено, что разнообразие климатических условий в пределах южного Приморья обеспечивает различные урожаи одного вида съедобных грибов в одном и том же типе леса. Абсолютных неурожаев всех видов съедобных грибов не бывает. При анализе многолетних заготовок съедобных грибов в Уссурийском, Хорольском и Октябрьском районах Приморского края выведена формула урожая 3В4С3Н. В течение 10 лет на пробных площадях в районах исследований можно ожидать три высоких, четыре средних и три низких урожаев грибов.

Неурожаи грибов наблюдались в годы с малым количеством осадков в июле — сентябре при повышенных или пониженных среднемесячных температурах воздуха и почвы. При всем разнообразии лесорастительных условий на территории южной части Приморского края грибные массивы в большей степени тяготеют к слабопокатым выположенным склонам разных экспозиций. Главные грибные угодья здесь составляют дубовые и производные белоберезовые леса, представленные леспедецевыми, лещинными, высокотравными и белоберезовыми смешанными типами.

Список литературы

- 1. Анискина А.А., Лапицкая Л.С. Экспрессный метод учета урожая грибов // Лес. х-во. 1991. № 5. С. 39.
- 2. Анучин Н.П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-ть, 1971. 512 с.
- 3. Васильков Б.П. Белый гриб (опыт монографии одного вида). М.-Л.: Изд-во Наука, 1966. 132 с.
- 4. Гуков Г.В., Полещук Т.Н., Полещук В.А. Проблемы рекреационной роли лесов Южного Приморья // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса: сборник материалов международной научнотехнической конференции. Екатеринбург: УГЛТУ, 2005. С. 282–284
- 5. Методы изучения лесных сообществ. СПб.: НИИ-Химии СПбГУ, 2002. - 240 с.
- 6. Полещук Т.Н., Полещук А.В. Методологические подходы к определению сроков развития и продуктивности съедобных грибов в различных эколого-ценотических условиях Южного Приморья // Вестник КрасГАУ. 2008. Вып. 4. С. 159–162.
- 7. Степанько А.А., Каракин В.П. Агроэкологическое пространство // Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX–XXI веков. Т.2. Природные ресурсы и реги-ональное природопользование. Владивосток: Дальнаука, 2010. С. 64.
- 8. Сукачев, В.Н., Зонн С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.

УДК 630.16:502.7

КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЕЛЕНЁННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПОСЕЛЕНИЙ

Потапова Е.В.

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет», Иркутск, e-mail: e.v.potapova.isu@mail.ru

Большая часть населения Земли – жители городов, а площадь, занятая населёнными пунктами разной величины, хотя и составляет всего 2%, сравнима с площадью занятой широколиственными лесами, степями, болотами и реками. Следовательно, необходима разработка методов познания этой созданной человеком и увеличивающейся среды. Наибольший интерес для экологического исследования представляют - незастроенные участки поселений. Программа ООН-Хабитат отмечает высокую роль насаждений поселений в обеспечении безопасности и выполнении экосистемных услуг. В результате сбора и системного анализа обширного материала по 200 населённым пунктам, расположенным в 10 странах мира, за 20 лет автором разработана полная классификация озеленённых территорий поселений. Она состоит из 4 категорий – общего и ограниченного пользования, специального назначения и резервных территорий. Каждая категория подразделяется на типы, всего их 26. Для оптимизации процессов их устойчивого развития созданы авторские профили состояния. Полный профиль содержит более десяти характеристик, в статье представлены пять ключевых - баланс застройки, сомкнутость крон древесно-кустарниковой растительности, проективное покрытие травостоя, замусоренность и единовременная рекреационная нагрузка. Анализ показателей профильных характеристик указывает на высокий спрос экосистемных услуг, представляемых озеленёнными территориями, и напряжённое, критическое состояние некоторых показателей состояния, что если и не ставит под угрозу само существование озеленённых территорий, то может повлечь планомерную деградацию без контроля и своевременного возобновления.

Ключевые слова: экосистемные услуги, категории озеленения, профиль, методика, состояние, нагрузка, безопасность

CLASSIFICATION OF THE SETTLEMENTS GREENED AREA Potapova E.V.

Irkutsk State University, Irkutsk, e-mail: e.v.potapova.isu@mail.ru

Most of the world's population – residents of the cities. The area occupied with settlements of various size though makes only 2%, is comparable on the area occupied with the broad-leaved woods, marsh, bogs and the rivers. Therefore, development of methods of knowledge of this environment created by the person and increasing is necessary. The greatest interest to environmental research is of – vacant sites of settlements. UN-Habitat program notes the important of settlement areas in the security and performance of ecosystem services. The author developed the complete classification of the plot of land settlement by results of collecting and systems analysis of extensive material. A total of 200 settlements, located in 10 countries of the world, in 20 years are surveyed. It consists of 4 categories – the general and restricted use, a special purpose and reserve territories. Each category is divided into types, all them 26. For optimization of processes of their sustainable development author's profiles of a state are created. The complete profile contains more than ten characteristics. Five key – balance of building, closeness of kroner of trees and shrubs, a projective covering of herbage, a littered and one-time recreational loading are presented in article. The analysis of indexes of profile characteristics indicates a great demand of the ecosystem services represented by green areas. A critical state of some indicators of a state, threatens if not existence of the planted trees and shrubs territories, then on systematic degradation, without monitoring and the timely reproduction.

Keywords: ecosystem services, landscaping category, profile, method, condition, load, safety

Программа ООН-Хабитат определила колоссальную значимость поселений как в обеспечении определённого качества жизни большинства населения Земли, так и в совокупном влиянии поселений, преимущественно городов, на состояние окружающей среды Земли. Больше половины россиян (74%) и большая часть человечества живёт в крупных населённых пунктах [3]. Города являются центрами цивилизации, определяющими социальный, культурный и научный прогресс человечества, но именно в них ухудшаются условия жизни – загазованность, замусоренность, шум, агрессивные поверхности и гомогенные поля восприятия. В поселениях выделяются

три тесно переплетённые, взаимосвязанные составные части: природная, техногенная и социальная, равновесие между которыми должно привести к устойчивому развитию.

В общемировой практике отсутствует унифицированное понятие – город, нет общепринятых методов функционального зонирования его частей. В связи с чем представляются проблематичными исследования, особенно международного характера [4]. Стоит отметить, что поселения представляют интерес и исследуются многими научными направлениями – строительством, менеджментом, медициной, экологией, географией и чаще в узком специфичном ключе.

Цель – разработка универсальной классификации озеленённых территорий населённых пунктов в рамках общей теории и практики изучения поселений.

Материалы и методы исследования

С 1996 по 2016 г. в более чем 200 населённых пунктах, в том числе в городах Иркутск, Москва, Меленки, Владивосток, Калининград, Париж, Берлин, Шарм-аль-Шейх, Нячанг и др., автором исследовано белее 10 000 озеленённых территорий. Проводилась оценка их структуры, состояния, рекреационной нагрузки и многих других показателей. Разработана специальная методика сбора полевого материала — фрейм-сценарий [5].

В основу обобщения, при классификации озеленённых территорий, положен ГОСТ «Озеленение городов» [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Населенный пункт - это больше чем группа людей, больше чем сосредоточение жилья, мест труда и развлечений. Многообразие в особенностях населенных пунктов, отражающее культурные и эстетические ценности, должно уважаться и поощряться, а районы, представляющие историческую, религиозную или археологическую ценность, и районы, представляющие особый интерес, должны сохраняться для последующих поколений. Многие объекты озеленения в большинстве поселений имеют все указанные ценностные характеристики, т.к. часто их возраст равен возрасту самого населённого пункта, а иногда и превышает его - так называемые реликтовые участки. В некоторых азиатских странах существуют культы поклонения деревьям, особенно старым. Согласно последним рекомендациям ООН-Хабитат, доля насаждений, приходящаяся на каждого жителя, должна значительно превышать 20 м² [3]. Градостроительные нормы предполагают учёт озеленённых территорий, но это не значит, что вся их площадь занята насаждениями, особенно древесно-кустарниковыми, выполняющими значительно большее количество экосистемных услуг.

Использование стандартных полевых методов, давно существующих в науке для изучения природного компонента, не способно отразить реальное положение озеленённых территорий, ведь состояние, например деревьев в городских условиях а priori несравнимо хуже, чем в лесах, не затронутых хозяйственной деятельностью. Видовое разнообразие растительности (не только травянистой) во много раз

больше, чем в окружающей город природной среде, и коренным образом от неё отличается. С большой долей уверенности можно утверждать, что виды-синантропы лучше приспособились к обитанию рядом с человеком, вытеснили дикие виды и сделали похожими все города, и, что хуже всего, эти процессы нарастают, особенно благодаря деятельности человека по «благоустройству». Центральные улицы, парки, скверы в любом городе очень похожи друг на друга: безликие ровно подстриженные газоны, клумбы с одинаковыми видами цветов, «оформленные» кроны деревьев, чётко «расставленные» кустарники, а в России (и даже на большей её части, в связи с суровыми климатическими условиями) ассортиментный набор видов деревьев и кустарников, используемых в городском озеленении, ограничивается одним-двумя десятками [6].

Каким же образом можно проводить оценку насаждений и озеленённых территорий в контексте расположения и значимости для техногенной и социальной среды, а главное, сделать эту методику универсальной, не зависящей от нормативных актов отдельных стран? Для сохранения и оптимизации развития таких объектов предложена классификация озеленённых территорий.

Наиболее приемлемым можно считать выделение категорий зелёных насаждений и использовать терминологию градостроительной практики нашей страны. Необходимо разделить все незастроенные участки поселений, озеленённые, самозарастания и даже перспективные для любых видов деятельности (застройки или формирования объекта озеленения) на четыре категории: общего, ограниченного пользования, специального назначения и резерва, но внутренний набор компонентов, в сравнении с существующим, необходимо значительно расширить. В ГОСТ «Озеленённые территории» предложены только три, первые, а внутренняя чёткая классификация отсутствует полностью и чрезвычайно разрознена, рассматривается в других нормативных актах [7].

Согласно анализу полевых данных, созданию профилей предлагается к первой категории отнести шесть компонентов городского озеленения, ко второй — пять, к третьей — двенадцать, а к четвёртой — три типа. Всего 26 типов в четырёх категориях (таблица). Курсивом в таблице прописаны категории и типы, выявленные и предложенные для классификации автором.

Профили озеленённых территорий

№ п/п	Категории, озеленение	Баланс застрой-ки, %	Сомкнутость крон	Проективное покрытие тра- востоя, %1	Замусорен- ность, %	Единовремен- ная рекреаци- онная нагрузка, чел.
1	2	3	4	5	6	7
1	Общего пользования		1	(0.100	0.5	1
1	городские леса	5	1	60–100	0-5	1
2	парки	30	1	40–100	0-10	13
3	скверы, рощи, сады	70	0,9	20–100	5-20	18
4	бульвары	50 ²	0,7	10-70	10–25	11
5	при административных, общественных объектах	90	0,6	10–50	0-5	35
6	стадионы	60	0,5	20–60	0–10	2
7	Ограниченного пользования	100	0.4	0.40	0–15	
	территории образовательных учреждений	100	0,4	0-40		5
8	территории учреждений здравоохранения	100	0,4	0–60	0–10	8
9	в пределах жилой застройки	100	0,6	0-80	5-25	4
10	частного сектора, садоводства	50	0,6	10–75 0–50	5–20 0–5	6
3	территорий культовых объектов, храмов	40	0,0	0-30	0–3	0
12	Специального назначения	50	0.7	15 (5	10–25	1
	С33*, промплощадки	50 15	0,7	15–65		1
13	кладбища и их СЗЗ		-	30–80	5–15	1 (20)
14	водоохранные зоны	80 50	$(0,7)^3$	20–70	0-50	(30)
15	при автомобильных дорогах		(0,4)	0-40	15–30	(50)
16	при железных дорогах	20	0	0–30 10–20	15–25	4
17	при речных и морских портах	15 50	0,2		10-20	1 X ⁴
18 19	при аэропортах под ЛЭП*	30	0	20–100 0–45	5–15 20–80	25
20		100	0	70–100	0-100	1
20	при трубопроводах ООПТ*	50	1	20–50	5–10	7
21 22			_	20–30 X		X
	тепличные хозяйства, питомники	100	0,5		5–20	2
23	при режимных, закрытых объектах	40	0,3	40–60	10–50	
24	Резервные территории	5	0.6	0–80	10–20	1
25	неудобья	5	0,6	0-80	10-20	1
26	пустыри	100	0,4	0-60	15–50	2
	площадки для сбора мусора	100	U	0-20	13-30	2

 Π р и м е ч а н и я : *C33 — санитарно-защитная зона; \mathcal{H} ЛЭ Π — линия электропередачи, ООПТ — особо охраняемая природная территория; для баланса, сомкнутости и нагрузки показатели указаны по максимальному значению; для покрытия и замусоренности отмечены лимиты — максимум и минимум; 1 — данные только по естественной растительности; 2 — без учёта дорожного полотна; 3 — среднее значение для всех объектов; 4 X — показатель не исследовался или размах слишком велик.

Представленные профили характеризуют озеленённые территории, на которых озеленение есть, и лишь те объекты, где замощение является обязательным элементом, зависимые показатели начинаются с 0.

В редких случаях возможно зонирование конкретного объекта озеленения, например при анализе береговых полос, иногда дорог, можно выделить,

при наличии, примыкающие скверы, рощи и парки.

Созданные профили озеленённых территорий представляют собой совокупность основных, типичных черт и признаков современного состояния озеленённой территории конкретного типа. Они необходимы для создания «идеальных профилей» — как набора стандартов, ориентированных на выполнение конкретной задачи.

Автором предлагается до пяти комплексов профильных характеристик. Это:

- общие характеристики площадь, возраст, назначение и др.;
- характеристики древесно-кустарниковой растительности - высота, сомкнутость крон, диаметр ствола и др.;
- характеристики травянистого покрова – проективное покрытие, задернованность, доля искусственного разнообразия и др.;
- характеристики ключевого участка видовая насыщенность, биомасса и др.;
- характеристики давления рекреационная нагрузка, замусоренность и др.

профиль Дополнительно каждый представляется в нескольких статистических значениях – идеальный, с учётом применяемых к нему норм; в лимитах и в среднем значении с указанием доли объектов, принадлежащих к каждому значению. Важным является наличие хронологических данных по ключевым объектам и выявление особенностей - не как статистических отклонений, а опрединамических направлений деления и сукцессионных статусов.

В рамках этой статьи представлены профили по пяти основным характеристикам: балансу застройки; сомкнутости крон древесной (кустарниковой) растительности и т.д. (таблица).

Анализ показанных профильных характеристик позволяет отметить, что для некоторых объектов баланс застройки превышает все нормы и доходит до 100%, в связи с чем можно утверждать, что на таких объектах не выполняются стандарты по уровню шума и ряду показателей качества атмосферного воздуха, превышен температурный баланс, и эстетическая составляющая такого объекта застройки вряд ли высока. Для образовательных учреждений, вместе с насаждениями, утрачена возможность ежедневного общения детей с компонентами растительного и животного мира.

Сомкнутость крон древесно-кустарникового яруса на 15 типах объектов может быть более 0,5, но на четырёх практически вообще отсутствует. По правилам описания – сомкнутость отмечается, когда она превышает 0,4, ниже – характеризуется как отсутствие сомкнутости, растения не образуют ярус [2].

Проективное покрытие травостоя ниже, чем в нативных сообществах, практически редко превышает 50%, что способствует выветриванию и без того

слабого плодородного горизонта почв в поселениях, а также увеличивает запылённость атмосферного воздуха. Для 11 типов минимумом является 0 % и лишь для пяти доходит до 100 %.

Замусоренность отмечается на всех типах и объектах, особенно если обследование проводится перед проведением уборочных работ. Лишь для девяти типов отмечается положение 0%, но на шести может превышать 50% занимаемой площади озеленённой территории.

Единовременная рекреационная нагрузка характерна также для всех типов, на многих транзитная отмечается круглосуточно. Показатели балльной и суточной нагрузки значительно превышают единовременную и указывают на большой спрос экосистемных услуг, предлагаемых озеленёнными территориями поселений.

Использование профилей для конкретных типов озеленённых территорий различных категорий может как быть необходимо с научной точки зрения, так и иметь практическое применение, например для работ по восстановлению или их планированию, для расчёта стоимости, в т.ч. компенсационной, и др. Оно позволяет оценить вклад узловых показателей состава, структуры, состояния, нагрузки и более частных, например элементов ключевого участка в характеристике типа озеленённой территории и параметров устойчивого развития. При наличии идеальных характеристик есть ориентиры и, как следствие, своевременное создание программ и планов по корректировке и улучшению состояния.

Предложенная автором классификация позволит учесть не только территориальные, региональные компоненты, но и частично укажет на структурные проблемы и перспективные возможности.

Выводы

- Проблема изучения различных компонентов биосферы и техносферы – задача важная и необходимая для обеспечения безопасности и устойчивого развития планеты.
- На основе системного анализа полевого опыта сбора материала в нескольких регионах мира Европа, Азия, Африка, Северная и Южная Америка; населённых пунктах разных категорий, от деревень в 20 дворов до мегаполисов, автором создана классификация озеленённых территорий, применимая в глобальном масштабе.

- Все категории и большая часть типов (15) озеленённых территорий встречаются фактически в любом населенном пункте (за редким исключением маленьких деревень, посёлков и т.п.). Константными, по ряду объективных причин, не являются городские леса, бульвары, озеленение в границах отвода железных дорог, санитарно-защитной зоны при речных и морских портах, аэропортах, трубопроводах, ООПТ, тепличные хозяйства и питомники, озеленение при режимных, закрытых объектах.
- Обобщённый анализ профильных характеристик указывает на высокий спрос, большие рекреационные нагрузки, но напряжённое, критическое состояние некоторых показателей, что если и не ставит под угрозу само существование озеленённых территорий, то может повлечь планомерную деградацию без контроля и своевременного возобновления.
- Созданные профили имеют колоссальную научную ценность для специалистов в области биологии, экологии, ботаники, селекции, агрономии и др. Имеет широкие перспективы практиче-

ского применения при градостроительном планировании и мониторинге сред поселений, а также для контролирования безопасности санитарных норм, экологических и эстетических характеристик как совокупно населённых пунктов, так и отдельных поселений.

Список литературы

- 1. ГОСТ 28329-89. Озеленение городов. М.: Стандартинформ, 2006. 8 с.
- 2. Лебедева Н.В. Биологическое разнообразие: учеб. пособие / Н.В. Лебедева, Н.Н. Дроздов, Д.А. Криволуцкий. М.: ВЛАДОС, 2004. 432 с.
- 3. ООН-Хабитат. [Электронный ресурс]. сайт. URL: http://www.un.org/ru/ga/habitat/ (дата обращения 23.07.2016).
- 4. Потапова Е.В. Методология анализа озеленённых территорий // Омега-сайнс. Уфа Символ науки «Омега-сайнс» , 2016. № 1 часть. С. 30–32.
- 5. Потапова Е.В. Общая экология. В 3 ч. Ч. 2. Методы полевых исследований: учебное пособие Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015.-155 с.
- 6. Потапова Е.В. Проблемы озеленения городов: монография. Изд-во LAP LAMBERT Academic Pablishing, Германия, 2014. 219 с.
- 7. СНиП 2.07.01-89. Градостроительство. Планировка городских и сельских поселений [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: http://www.complexdoc.ru (дата обращения 23.07.2016).

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ПЛОДОРОДИЕ АГРОТЕМНОГУМУСОВЫХ ОТБЕЛЕННЫХ ПОЧВ ПРИМОРЬЯ

¹Пуртова Л.Н., ¹Щапова Л.Н., ²Емельянов А.Н., ²Тимошинов Р.В., ¹Киселева И.В.

¹ФГБУН «Биолого-почвенный институт» ДВО РАН, Владивосток, e-mail: Purtova@ibss.dvo.ru; ²ФГБНУН «Приморский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», пос. Тимирязевский, e-mail: L fe.smc rf@mail.ru

Исследовано влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на физико-химические свойства агротемногумусовых отбеленных почв и функционирование микрофлоры. Наибольшее накопление гумуса зафиксировано на вариантах с внесением навоза (2) и смеси навоз + известь + NPK (3). Количество подвижного фосфора варьировало от низких (варианты: 1) контроль; 2) навоз; 5) NPK) до средних значений (варианты: 3) навоз + известь + NPK; 4) известь + NPK). Содержание обменного калия на всех исследуемых вариантах опыта избыточное. Отмечались негативные моменты в функционировании микрофлоры. Снижался уровень обогащённости почв каталазой. Высокое содержание грибов и актиномицетов на варианте 4 (известь + NPK) усиливали процессы минерализации органического вещества. Резкое увеличение соотношения грибов и актиномицетов свидетельствовало о снижении окультуренности почв на варианте с внесением высоких доз минеральных удобрений.

Ключевые слова: почва, гумус, каталаза, микрофлора почв, плодородие

INFLUENCE OF LONG-TERM USE OF FERTILIZERS ON FERTILITY OF AGROTEMNOGUMUSOVYH BLEACHED SOIL PRIMORYE

¹Purtova L.N., ¹Schapova L.N., ²Emelyanov A.N., ²Timoshinov R.V., ¹Kiseleva I.V.

¹Institute of Biology and Soil Science, FEB RAS, Vladivostok, e-mail: Purtova@ibss.dvo.ru; ²Primorsky Scientific Research Institute of Agriculture, Timiryazevsky villag, e-mail: L fe.smc rf@mail.ru

Influence of long-term use of organic and mineral fertilizers on physical and chemical properties of bleached agrotemnogumusovyh soils and functioning of microflora was research. The greatest accumulation of humus on the options is recorded with the incorporation of manure (2), and manure $+ \lim + NPK$ (3). Number of rolling phosphorus ranged from low (variants: 1) control; 2) manure; 5) NPK) to average values (options: 3) manure $+ \lim + NPK$; 4) lime + NPK). The content exchange potassium in all the investigated variants experience was excess. There were negative developments in the functioning of the microflora. Decreased levels of enrichment of soil catalase. High content fungi and actinomycetes at version 4 (lime + NPK) reinforce processes of mineralization of organic matter. The sharp increase in the ratio of fungi and actinomycetes testified about reduction of soil okul'turennosti on the variant with the introduction of high doses of mineral fertilizers.

Keywords: soil, humus, catalase, microflora of soils, fertilizer

Исследованию влияния длительного применения удобрений на плодородие различных типов почв посвящено достаточно большое количество работ [1, 3, 4]. Установлено улучшение качества гумуса при применении органо-минеральной системы удобрений. Отмечено, что на минеральном фоне с увеличением доз минеральных удобрений увеличивалось содержание фульвокислот и усиливалась подвижность гумуса, что приводило к снижению его содержания.

Между тем вопросы, связанные с разработкой научных основ повышения плодородия почв, урожайности сельскохозяйственных растений, не могут быть решены без углубленного знания микрофлоры и микробиологических процессов трансформации органического вещества. Являясь одним из важнейших факторов плодородия почв, органическое вещество при современном земледелии с использованием высоких доз минеральных удобрений минерализуется, что приводит к снижению в почве общих запасов гумуса. Это в значительной мере касается и почв Дальневосточного региона, в которых наблюдается снижение энергозапасов почв из-за потерь гумуса.

Основная цель работы — оценить изменения в физико-химических показателях почв и сообществах микроорганизмов, участвующих в процессах разложения органического вещества, а также направленность этих процессов под влиянием различных агроприемов (внесение органических, минеральных удобрений, извести).

Материалы и методы исследований

Объектом исследований явились агротемногумусовые отбеленные почвы (названия приведены согласно современной классификации почв 2004 [5]). Профиль почв дифференцирован на горизонты: PU (0–25 см) – серый, неоднородной окраски, комковатой структуры, среднесуглинистый, с ясным

переходом в ELng (25–47 см) – сизо-бурый, много Fe-Mn конкреций, плотный, мелко-комковато-слоистый среднесуглинистый, переход постепенный; ВТg (47–102) – сизовато-серо-бурый, призматически-слоистый, много мелких конкреций, плотный, влажный, тяжелосуглинистый; Сg (> 102 см) – охристо-сизая глина, плотная, сырая, обилие Fe-Mn конкреций.

Полевые работы проводились в Уссурийском районе (пос. Тимирязевский Приморского края) на стационарных площадках Приморского НИИСХ в длительном опыте с 1941 года. Опыт заложен на агротемногумусовой отбеленной почве по схеме:

- 1. Контроль.
- 2. Навоз $_{240 \mathrm{T/ra}}$.
- 3. ${\rm Habo3}_{{\rm 240 T/Tra}} + {\rm известь}_{{\rm 17 T/ra}} + {\rm N}_{{\rm 120}} {\rm P}_{{\rm 180}} {\rm K}_{{\rm 180}}.$
- 4. Известь $_{17\text{т/га}} + N_{1605} P_{1905} K_{1215}$.
- 5. $N_{2614}P_{2800}K_{2025}$

При изучении физико-химических свойств почв использовали общепринятые методы в почвоведении: рН водный и рН солевой измеряли потенциометрически, гидролитическую кислотность определяли по Каппену, поглощенные катионы по Шолленбергеру, содержание гумуса по Тюрину, обменный калий по Масловой, фосфор по Кирсанову [2]. Оценка содержания гумуса проведена по [8], агрохимических показателей почв по [10]. При исследовании изменений в показателях биогенности и биологической активности почв применяли общепринятые методы в почвенной микробиологии [7]. Показатели эмиссии СО2 исследовали в условиях *in exp* по Шаркову [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Согласно схеме географического районирования исследуемая территория приурочена к лесостепной зоне, а почвы относятся к Приморской юго-западной гидротермической провинции. Для провинции характерны высокие показатели выпадения осад-

ков (до 800 мм), радиационного баланса (52,2 ккал/см² год) и затрат энергии на почвообразование (44,9 ккал/см² год) [9]. Процесс гумусообразования в вариантах опыта с длительным применением удобрений, судя по параметрам рНс в горизонте PU, протекал в условиях среднекислой и слабокислой реакции среды (табл. 1).

рН водный варьировал от 5,90 до 6,54 и находился в диапазоне слабокислой реакции среды. Гидролитическая кислотность изменялась от низкой (варианты 1, 2, 3), до незначительной (варианты 4, 5). В составе поглощенных катионов преобладали ионы Ca²⁺ и Mg²⁺. Во всех вариантах опыта, по сравнению с контролем, зафиксировано возрастание содержания гумуса, которое составило на вариантах

3-(навоз $_{240}$ т/га + известь $_{17}$ т/га + N_{120} P_{180} K_{180}) + + 0,43 %;

 $2 - (\text{Habo3}_{240} \text{ T/ra}) + 0.36;$

4-(известь $_{17\text{т/га}}+N_{1605}P_{1905}K_{1215})+0,16;$

 $5-(\mathrm{N}_{2614}\mathrm{P}_{2800}\mathrm{K}_{2025})+0,11\,\%$ (табл. 2).

При этом содержание гумуса согласно градациям [8] соответствовало уровню низких значений. Содержание подвижного фосфора низкое как на контроле, так и на вариантах 2 и 5. Возрастание содержания подвижного фосфора до средних значений установлено на варианте 5 с внесением высоких доз NPK. На варианте 4 (Известь + NPK) количество фосфора в горизонте PU возрастало до повышенных, а на варианте 3 (навоз + известь + NPK) до высоких значений.

 Таблица 1

 Физико-химические показатели агротемногумусовых отбеленных почв Приморья

	Горизонт	а, см	p	Н	./100 r bi	Поглощенные катионы по Шолленбергеру, мг-экв./100 г почвы					
Варианты опыта		Глубина	водный	солевой	Нг [*] м-экв почв	Ca ²⁺	$\mathrm{Mg}^{2^{+}}$	K ⁺	Na ⁺		
1. Контроль			6,09	5,25	3,56	17,16	8,32	0,73	1,41		
2. Навоз _{240т/га}			6,54	5,71	2,40	19,95	7,35	0,89	1,63		
3 . Навоз _{240т/гга} + известь _{17т/га} + N_{120} P_{180} K_{180}	PU	0–20	6,33	5,58	2,89	17,68	7,28	0,80	1,23		
4. M_{3} Bectb _{17r/ra} + N_{1605} P ₁₉₀₅ K_{1215**}			5,99	5,21	5,21 3,96 16,64 10,4	10,40	0,99	1,88			
5. N ₂₆₁₄ P ₂₈₀₀ K ₂₀₂₅			5,90	5,07	4,47	14,04	8,32	1,24	1,74		

Примечания:

Нг* – гидролитическая кислотность почв;

^{** –} суммарное количество удобрений, внесённых за 1941–2015 гг.

Фосфор Калий Глубина, см Степень по Мас-Гумус, по Кир-Варианты опыта насыщенности санову ловой основаниями, % мг/100 г почвы 1. Контроль 3,55 0,68 34,11 88,0 2. Навоз_{240т/га} 3,91 1,31 53,76 92.0 3. Навоз $_{240\text{т/гга}}$ + известь $_{17\text{т/га}}$ + $N_{120}P_{180}K_{180}$ PU 0-20 3,98 5,88 69,47 86,0 $\overline{\text{4. Изве}}$ сть $_{17\text{т/ra}}$ + N_{1605} P_{1905} K_{1215} 3,71 4,26 61,57 86,0 $\overline{5. N}_{2614} P_{2800} K_{2025}$ 3,66 3,48 55,33 83,0

Таблица 2 Агрохимические показатели агротемногумусовых отбеленных почв

Содержание подвижного калия на исследуемых вариантах опыта достаточно высокое. На контроле количество его достигало высоких показателей, а на вариантах 2, 3, 4, 5 — избыточных.

Для горизонта PU агротемногумусовых подбелов, при длительном применении удобрений, свойственны высокие показатели степени насыщенности основаниями. Это свидетельствует о низком содержании в почвенном поглощающем комплексе ионов водорода. Низкое содержание гумуса, высокая степень насыщенности основаниями говорит о нехватке свежего органического вещества, необходимого для усиления процессов трансформации органического вещества микрофлорой почв и активизации процессов гумусонакопления.

На необходимость активизации микробиологических процессов указывали и достаточно низкие показатели ферментативной (каталазной) активности почв. Согласно оценочным градациям обогащенности почв каталазой [7], для горизонта PU исследуемых почв, свойственна бедная (варианты 2, 3, 4, 5) и средняя (контроль) обогащенность почв каталазой. Показатели каталазной активности составили на вариантах: 1 (контроль) -3,2 O_2 см $^3/1$ г почвы за 1 мин; 2, 3, 4-2,0; 5-2,7 O_2 см $^3/1$ г почвы за 1 мин соответственно. Таким образом, длительное применение удобрений во многом способствовало снижению ферментативной (каталазной) активности почв.

Внесение извести совместно с минеральными удобрениями (вариант 4), судя по показателям эмиссии CO_2 (1,57 г $C-CO_2$ м²/сут) заметно усилило интенсивность разложения органического вещества почвы. На вариантах 3 и 5 продуцирование CO_2 составило 1,52 г $C-CO_2$ м²/сут. На контроле и на варианте 2 зафиксировано снижение эмиссии $C-CO_2$ из горизонта PU до 1,43 г $C-CO_2$ м²/сут.

Исследования микрофлоры показали, что большая численность микроорганизмов, утилизирующих органический азот, отмечена на контроле (табл. 3).

Таблица 3 Численность и групповой состав микроорганизмов в длительном опыте с органическими, минеральными удобрениями и известью (тыс. КОЕ на 1 г почвы)

Вариант	Аммо- нифи- каторы, (МПА)	Грибы (среда Чапека)	Бактерии, использую- щие минер. азот (КАА)	Акти- номи- цеты	Олиго- нитро- филы (Эшби)
1. Контроль	24000	65,5	37800	1400	32000
2. Навоз ₂₄₀	15650	63,5	29600	800	27600
$\boxed{ 3.\ \text{Навоз}_{\ 240 ext{r/ra}} + ext{Известь}_{17 ext{r/ra}} + ext{N}_{120} + ext{P}_{180} + ext{K}_{180} }$	16500	65,5	29000	1100	23400
4. Известь _{17т/га} + N_{1605} + P_{1905} + K_{1215}	12600	95,0	32000	1200	31600
$5. N_{2614} + P_{2800} + K_{2025}(NPK)$	48200	104,0	94400	300	65200

Здесь же наблюдается достаточно высокая численность микроорганизмов, развивающихся за счет минерального азота. Эти процессы сбалансированы, и коэффициент минерализации, характеризующий направленность и активность основных процессов круговорота азота, значительно меньше, чем на других вариантах. Это указывает на меньшую интенсивность минерализации растительных остатков (табл. 4). В сохранении и пополнении азота в почве большую роль играет олигонитрофильная микрофлора. Значительное содержание олигонитрофилов на контроле свидетельствует об обеспеченности почвы азотом. Коэффициент эвтрофности (отношение численности микроорганизмов на МПА и КАА) на контроле -0.63.

весть + минеральные удобрения равен 0,56. Некоторое увеличение коэффициента эвтрофности скорее всего происходит за счет присутствия в почве извести и минеральных удобрений, которые сохраняют органические удобрения от быстрой минерализации микроорганизмами, хотя коэффициент минерализации в этом варианте достаточно высокий (1,90).

Очень высокая численность микроорганизмов всех групп в почве отмечена на варианте с минеральными удобрениями. Коэффициент эвтрофности по-прежнему остается относительно высоким (0,51). Ежегодное внесение минеральных удобрений заметно стимулирует развитие всех групп микроорганизмов. Большая численность микроорганизмов способствует интенсивному

Таблица 4 Влияние удобрений на интенсивность микробиологических процессов агротемногумусовой отбеленной почвы

Вариант	Гори- зонт	[Гр] / [Акт]·10 ⁻²	$K_{\text{\tiny MUH}}$ (KAA/MПA	$K_{_{\mathrm{3BT}}}\left(\mathrm{M\Pi A/KAA}\right)$
1. Контроль		4,70	1,60	0,63
2. Навоз ₂₄₀		7,90	1,90	0,57
3 . Навоз 240 + И $_{3_{17}}$ + $N_{_{120}}$ + $P_{_{180}}$ + $K_{_{180}}$	PU	5,90	1,70	0,56
$\boxed{4. \text{ M3}_{17} + \text{N}_{1605} + \text{P}_{1905} + \text{K}_{1215}}$		7,90	2,50	0,40
$5. N_{2614} + P_{2800} + K_{2025}(NPK)$		34,6	1,90	0,51

Примечание. [Гр] – грибы, [Акт] – актиномицеты.

На варианте с навозом содержание всех групп микроорганизмов заметно меньше, чем на контроле. Вероятнее всего, последействие навоза как органического удобрения уже не сказывается. О недостаточной обеспеченности микрофлоры свежим органическим веществом свидетельствует коэффициент эвтрофности равный 0,57.

При этом численность микроорганизмов, развивающихся за счет минеральных источников азота (КАА) и являющихся показателем минерализационных процессов в почве, снижалась по сравнению с контролем. Недостаточная интенсивность микробиологических процессов, вероятно, способствует сохранению гумуса в варианте с навозом (табл. 2), хотя коэффициент минерализации достаточно высокий. Добавление к навозу извести и минеральных удобрений слабо сказывается на развитии микробиологических процессов. Коэффициент эвтрофности на варианте навоз + изразложению гумуса, и его содержание оказывается более низким в варианте с одними минеральными удобрениями.

Внесение извести заметно снижает содержание микроорганизмов, хотя и способствует развитию минерализационных процессов. Возрастает численность микроорганизмов, использующих минеральные формы азота (среда КАА), и коэффициент минерализации оказывается самым высоким. Вариант известь + минеральные удобрения имеет самый низкий коэффициент эвтрофности — 0,30, что указывает на слабую обеспеченность микрофлоры свежим органическим веществом и вероятность минерализации гумуса.

На вариантах с внесением минеральных удобрений увеличивалось содержание грибов. На наш взгляд, вероятно, это связано с подкислением почвы. Развитие грибов увеличивалось в ряду: навоз < навоз + известь + NPK < контроль < Известь + NPK < NPK.

Содержание актиномицетов – активных минерализаторов трудноразлагаемого органического вещества существенно изменялось. Наибольшее их количество зафиксировано на контроле и на вариантах 3 (навоз + известь + NPK) и 4 (Известь + NPK).

Резкое увеличение соотношения грибов и актиномицетов [Гр]/[Акт] указывает на снижение окультуренности почв [6]. Это подтверждается значительным увеличением численности микроорганизмов, развивающихся за счет минеральных форм азота (среда КАА) и являющихся показателем развития минерализационных процессов, интенсивность которых определяла высокая доза минеральных удобрений.

Выводы

- 1. Длительное применение удобрений способствовало возрастанию содержания гумуса. Наибольшее накопление гумуса зафиксировано на вариантах с внесением навоза (3,91%) и смеси навоз + известь + NPK (3,98%). Количество подвижного фосфора изменялось от низких (варианты 1, 2, 5) до средних значений (варианты 3, 4). Содержание обменного калия на всех исследуемых вариантах опыта избыточное.
- 2. Внесение минеральных удобрений и извести (вариант 4) активизировало процессы разложения органического вещества и отразилось в увеличении показателей эмиссии CO₂.
- 3. Отмечались негативные моменты в функционировании микрофлоры снижался (до низких значений), по сравнению с контролем, уровень обогащённости почв каталазой. Высокое содержание грибов и актиномицетов на варианте 4 (известь + NPK) указывало на глубокие процессы минерализации органического вещества. На варианте с внесением высоких доз NPK прослежива-

- лась тенденция к возрастанию численности аммонификаторов и усиление микробиологических процессов мобилизации азотсодержащих компонентов.
- 4. Резкое увеличение соотношения грибов и актиномицетов свидетельствовало о снижении окультуренности почв на варианте с внесением высоких доз минеральных удобрений.

Список литературы

- 1. Алексеева Е.Н. Влияние длительного применения разных доз удобрений на плодородие средневыщелоченного тяжелосуглинистого чернозема // Почвоведение. -1970. -№ 3. ℂ. 127–131.
- 2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 487 с.
- 3. Гомонова Н.Ф., Овчинникова М.Ф. Влияние длительного применения минеральных удобрений и известкования на химические свойства, групповой и фракционный состав гумуса дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 1986. № 1. C. 85—90.
- 4. Доспехов Б.А., Кирюшин Б.Д., Братерская А.Н. Действие 60- летнего применения удобрений, периодического известкования и севооборотов на агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 1976. № 4. C 3–14
- 5. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- 6. Кукишева А.А. Влияние экологических факторов на микрофлору и ферментативную активность дерново-подзолистой почвы Томской области и чернозема выщелоченного Алтайского Приобья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 2011. 20 с.
- 7. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д.Г. Звягенцева. М.: МГУ, 1991. 303 с.
- 8. Орлов Д.С. Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. -2004. -№ 8. C. 918–926.
- 9. Пуртова Л.Н. Костенков Н.М. Влияние гербицидов на процессы гумификации, оптико-энергетические, показатели агрогенных почв Приморья // Агрохимия. -2011. -№ 2. C. 3–9.
- 10. Рыбачук Н.А., Ознобихин В.И. Разработка методики картографической оценки трансформации и динамики агрохимических показателей пахотных почв // Тр. Дальневост. отд-ния Докучаевского о-ва почвоведов РАН. Владивосток: ДВО РАН, 2005. Т.2. С. 12–18.
- 11. Шарков И.Н. Сравнительная характеристика двух модификаций абсорбционного метода определения дыхания почв // Почвоведение. 1987. N 10. С. 153–157.

УДК 630.2

ОЦЕНКА АЭРОИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ФИТОЛОГИЧЕСКИХ ИНГАЛЯТОРИЕВ

Севостьянов В.А., Грязькин А.В.

ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», Санкт-Петербург, e-mail: budhi@mail.ru, lesovod.bk.ru

Городской воздух мегаполисов (на примере г. Москвы) в результате воздействия множества факторов имеет низкий уровень ионизации, т.е. низкое качество атмосферного воздуха, это приводит к общему ухудшению здоровья населения городов. Научные данные XIX—XX веков показывают, что древесные растения способны вырабатывать аэроионы. Ранее при озеленении городов возможность повышения уровня отрицательных ионов в воздухе с помощью древесных растений не рассматривалась. В данной статье анализируются материалы по уровню аэроионизации атмосферного воздуха и зависимость его величины от видового состава древесных растений. Измерена аэроионная активность различных видов деревьев, которые произрастают в Москве и за чертой города. Анализ полученных данных показал динамику аэроионной активности древесных видов на протяжении вегетативного периода, выявил наиболее активные растения-продуценты аэроионов. Установлено повышение уровня аэроионизации воздуха в среднем в пять раз с участием основных древесных видов в отличие от фонового уровня ионизации воздуха на участках без древесной растительности. Проведенное исследование подтвердило гипотезу о целесообразности применения при озеленении населенных мест такими древесными растениями, которые могут повышать уровень аэроионизации воздуха.

Ключевые слова: аэроионизация, отрицательные ионы воздуха, аэроионная активность зеленых насаждений, древесные породы, ионный состав воздуха, качество воздуха, гигиеническая роль леса

ASSESSMENT OF AERO IONIC ABILITY OF WOOD PLANTS FOR CREATION LOCAL PHYTOLOGICAL INHALATORIUMS

Sevostyanov V.A., Gryazkin A.V.

St. Petersburg State Timber University of S.M. Kirov, St. Petersburg, e-mail: budhi@mail.ru, lesovod.bk.ru

City air of megalopolises (on the example of Moscow) as a result of influence of a set of factors has the low level of ionization, i.e. poor quality of atmospheric air, it leads to the general deterioration in health of the population of the cities. Scientific data of the 19–20 th centuries show that wood plants are capable to develop aero ions. Earlier, when gardening the cities the possibility of increase of level of negative ions in air by means of wood plants wasn't considered. In this article materials on the level of aero ionization of atmospheric air and dependence of his size on specific structure of wood plants are analyzed. Aero ionic activity of different types of trees which grow in Moscow and behind city boundaries is measured. The analysis of the obtained data has shown dynamics of aero ionic activity of wood types throughout the vegetative period, has revealed the most active plants producers of aero ions. Increase of level of aero ionization of air on average five times with participation of the main wood types unlike the background level of ionization of air on sites without wood vegetation is established. The conducted research has confirmed a hypothesis of expediency of application when gardening of the inhabited places of such wood plants which can increase air aero ionization level.

Keywords: aero ionization, negative ions of air, aero ionic activity of green plantings, tree species, ionic composition of air, quality of air, hygienic role of the wood

Попытки оценить «невесомые» полезности леса исследователями предпринимались многократно. Главное направление таких исследований - гигиеническая роль леса [5, 11, 12, 13]. Атмосферный воздух - один из важнейших компонентов окружающей среды. Поддержание чистоты воздуха необходимо для обеспечения благоприятных условий труда, отдыха и жизни человека сегодня и в будущем [7]. Ионный состав воздушных масс, согласно ГОСТ 12.1.0003-74 «Вредные и опасные факторы производства», относится к группе физических факторов и является одним из важнейших показателей состояния атмосферного воздуха [9].

Согласно данным Мосэкомониторинга в 2015 г. индекс загрязнения московского воздуха является недопустимо высоким -9,9 усл. единиц (при норме 5 единиц); ситуация кризисная – уровень ионизированности воздуха колеблется в пределах 50–100 N/см³, т.е. примерно на порядок ниже нормы. Существующие объемы московских зеленых насаждений не справляются с антропогенными нагрузками, несмотря на то, что взрослое дерево способно за год поглотить объем отработанных автомобильных газов, эквивалентных 25000 км пробега. Над городскими зелеными массивами летом преобладают нисходящие воздушные потоки, которые увлекают за собой скопившуюся в атмосфере пыль и осаждают ее на кронах деревьев и кустарников. Известно, что каждый гектар хвойных деревьев способен задерживать за год до 40 т пыли, а лиственных — свыше 100 т [4].

По статистике кафедры коммунальной гигиены Российской медицинской академии Росздрава каждый житель Москвы не доживает только за счет загрязненного воздуха один год. Ежегодно 3,5 тысяч человек в Москве умирают, еще 250 москвичей заболевают раком из-за низкого качества атмосферного воздуха [6].

По СанПиН 2.2.5.1295-03, уровень ионизации воздуха должен находиться в пределах от 600 до 5000 N–/см³. Для человека является опасным отклонение в меньшую сторону от приведенного диапазона значений. Косвенно эти нормы имеют отношение и к атмосфере [4].

Еще в 20-е годы XX века было сформулировано предположение, согласно которому качество воздуха напрямую связано с уровнем его ионизации, играющим важнейшую роль при оценке гигиеничности воздушной среды, как в природных условиях, так и в закрытых помещениях [14].

Аэроионный режим традиционно считается важнейшим критерием качества природных воздушных масс и воздуха в закрытых помещениях [8]. Большинство наблюдений свидетельствуют о наличии зависимости между уровнем ионизации воздуха и состоянием человеческого организма — концентрация ионов выше максимально допустимого и ниже минимально необходимого уровня создает угрозу для здоровья человека [9].

По данным, полученным А.А. Минхом, Ю.Д. Губернским, А.Л. Чижевским, в загрязненном воздухе крупных промышленных городов и в плохо проветриваемых помещениях наблюдается резкое увеличение количества тяжелых ионов и снижение концентрации легких. Характер и степень ионизированности воздуха могут выступать в качестве косвенного показателя гигиенического состояния воздуха (Цитируется по В.П. Скипетрову, 1997) [10].

Одним из наиболее рациональных способов нормализации воздушной среды крупных мегаполисов является создание локальных зеленых насаждений, которые способны продуцировать качественные составляющие атмосферного воздуха — аэроионы и фитонциды. Значение фитонцидов подробно рассматривается уже много десятилетий, это направление поддерживается

и многими современными исследователями [4, 5, 11, 13]. Данная статья посвящена изучению аэроионной способности древесных растений.

В прошлом это научное направление наиболее интенсивно разрабатывалось в 50–70-е гг. XX века Л.Л. Васильевым (1953), Н.П. Тверской (1955); А.А. Минхом (1958); С.М. Чубинским (1959); Ф.Г. Портновым (1961); С.П. Финогеновым (1961); А.П. Сверчковым (1963). Согласно их наблюдениям, в атмосферном воздухе одни виды растений увеличивают число тяжелых ионов, а другие – легких [10].

И.А. Хмелевская, проведя в 2007 году комплексные эколого-физиологические исследования пород деревьев, пришла к выводу, что наибольшим эффектом ионизации отличаются сосна, ель обыкновенная, туя, дуб черешчатый, тополь черный, лиственница сибирская, рябина обыкновенная, сирень [15]. При этом наибольшую оздоровительную роль играют смешанные насаждения, то есть состоящие из разных видов хвойных и лиственных пород. Способствуют повышению концентрации легких ионов в воздухе акация белая, береза карельская, дуб красный и черешчатый, ива белая и плакучая, лиственница сибирская, пихта сибирская, рябина обыкновенная, сирень обыкновенная, тополь черный.

Целью данной работы является подтверждение гипотезы о том, что при оценке полезных функций древесных растений, используемых для озеленения городов, необходимо выявлять такие древесные виды, которые способствуют формированию требуемого уровня ионизированности атмосферного воздуха.

Материалы и методы исследования

Для выбора объектов исследования были сформированы следующие критерии:

- 1. Исследуемый объект на основании МГСН 1.02-02 должен входить в перечень древесных растений, применяемых для озеленения г. Москвы.
- 2. Исследуемый объект должен иметь объем вегетативной массы, необходимый для максимального продуцирования аэроионов.
- Исследуемые объекты в группах должны иметь одинаковый возраст и видовую однородность.
- 4. Исследуемый объект должен быть широко представлен среди древесных насаждений г. Москвы, при этом он должен находиться в непосредственной близости от других исследуемых объектов, для обеспечения равномерного уровня ионизации в группе.

Согласно приведенным выше критериям отбора для проведения исследований были выбраны следующие виды древесных растений:

- 1. Береза повислая (Bétula péndula Roth.).
- 2. Ива ломкая (Sálix fragílis L.).

- 3. Дуб черешчатый (Quércus róbur L.).
- 4. Клен остролистный (Ácer platanoides L.)
- 5. Клен ясенелистный (Acer negúndo L.)
- 6. Каштан конский (Aesculus hippocastanum L.)
- 7. Липа мелколистная или сердцевидная (*Tilia cordáta* Mill.).
 - 8. Рябина обыкновенная (Sórbus aucupária L.)
 - 9. Cocha обыкновенная (Pinus sylvéstris L.)
- Лиственница сибирская (*Lárix sibírica* Ledeb.)
 Объекты исследований обладают следующими характеристиками:

Береза повислая — моногруппа из 10 растений, диаметр кроны 3,5—4 м, диаметр ствола 37—42 см. Протяженность штамба 1,3—1,5 м. Расстояние между деревьями 6—8 м.

Ива ломкая — моногруппа из 5 растений, диаметр кроны 4–4,5 м, диаметр ствола 15–19 см. Протяженность штамба 1,3–1,5 м. Расстояние между стволами 4–6 м.

Дуб черешчатый – моногруппа из 15 растений, диаметр кроны 6–8 м, диаметр ствола 50–70 см. Протяженность штамба 3–4 м. Расстояние между стволами 8–11 м.

Клен остролистный — моногруппа из 7 растений, диаметр кроны 3,5–4 м, диаметр ствола 17–25 см. Низ кроны на расстоянии 1,5–2 м. Расстояние между стволами 5–8 м.

Клен ясенелистный — моногруппа из 10 растений, диаметр кроны 3,5—4 м, диаметр ствола 17—25 см. Протяженность штамба 1,5—2 м. Расстояние между стволами 5—6 м.

Каштан конский — моногруппа из 8 растений, диаметр кроны 4–5 м, диаметр ствола 27–35 см. Протяженность штамба 2–2,5 м. Расстояние между стволами 6–8 м.

Липа мелколистная — моногруппа из 7 растений, диаметр кроны 4—4,5 м, диаметр ствола 15—22 см. Протяженность штамба 1,5—1,8 м. Расстояние между стволами 5—7 м.

Рябина обыкновенная — моногруппа из 11 растений, диаметр кроны 3,5—4 м, диаметр ствола 13—16 см. Протяженность штамба 1,4—1,6 м. Расстояние между стволами 4—6 м.

Сосна обыкновенная — моногруппа из 14 растений, диаметр кроны 4–5 м, диаметр ствола 35–40 см. Протяженность штамба 2–2,8 м. Расстояние между стволами 12–14 м

Лиственница сибирская – моногруппа из 6 растений, диаметр кроны 3–3,5 м, диаметр ствола 15–17 см. Протяженность штамба 1,2–1,5 м. Расстояние между стволами 4–6 м.

Методы исследования

Измерение уровней ионизации проводилось в соответствии с ГОСТ [2] на территории Москвы на 4-х опытных участках:

Участок № 1 (контроль): местонахождение: г. Москва, Восточный административный округ, фрагмент Измайловского парка. Площадь участка: 1,08 га. Рельеф участка преимущественно плоский, с уклоном 1% с севера на юг и 1% с запада на восток. Представлены все объекты исследования.

Участок № 2: местонахождение: г. Москва, Восточный административный округ, Сиреневый бульвар, фрагмент от пересечения с 9-й до пересечения с 15-й Парковой улицей. Площадь участка: 6,21 га. Рельеф участка преимущественно плоский, с уклоном 2% с севера на юг и 0,001% с запада на восток.

Участок № 3: местонахождение: г. Москва, Восточный административный округ, Щелковское шосточный административный округ, исплементация и постоя посто

се, фрагмент от пересечения с 9-й до пересечения с 15-й Парковой улицей. Площадь участка: 7,41 га. Рельеф участка преимущественно плоский, с уклоном 1,6% с севера на юг и 0.006% с запада на восток.

Участок № 4: местонахождение: г. Москва, Восточный административный округ, Советская улица (участок был представлен заасфальтированной территорией без древесных растений). Площадь участка: 20,4 га. Рельеф участка преимущественно плоский, с уклоном 0,02% с севера на юг и 0,001% с запада на восток.

Исследования проводились в течение активного периода вегетации (01,06–30,08) с 2013 по 2015 г.

Измерения влажности и температуры воздуха, инсоляции, скорости ветра были проведены согласно Руководству по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.187-89 Росгидромета РФ и ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002 [2]. Концентрация аэроионов измерялась с помощью метода аспирационного конденсатора [1, 3].

При полевых исследованиях съемка показаний измерительных приборов осуществлялась поэтапно:

- 1. Осуществляется выезд на указанные опытные участки и, с помощью спутникового GPSнавигатора и карты местности, определяются границы опытных участков на местности, точки размещения измерительного оборудования для будущей съемки данных, фиксируя глобальные координаты точек стояния с дисплея спутникового GPSнавигатора в журнал измерений.
- 2. В соответствии с графиком измерений, в день измерений, в 12-00 Мск, измерительное оборудование размещается в соответствующих, ранее определенных координатах опытных участков, снимаются показания измерительных приборов по следующей схеме: на каждом опытном участке выбирается растительная группировка одного древесного вида из исследуемого списка пород.
- 3. Приборы в составе: психрометр, счетчик аэроионов, анемометр и электротермометр – устанавливаются на штативы в точке съемки показаний (в центре растительной группировки) одновременно.
- 4. Высота установки приборов на штатив 1 м. После установки приборов в течение 1 минуты происходит их автокалибровка. После автокалибровки выполняется цикл снятия показаний с приборов. Кратность циклов: 3. Интервал между циклами: 1 минута. Снятые показания усредняются и заносятся в журнал измерений.
- 5. После снятия показаний с растительной группировки одного вида измерительное оборудование перемещается к растительной группировке другого вида в пределах одного ОУ и процедура действий повторяется.

При камеральной обработке данных, собранных с опытных участков, они были подвергнуты статистическому анализу с использованием программы Microsoft EXCEL 2007, с применением корреляционного и регрессивного методов.

Методом параметрической статистики получены результаты доверительного коэффициента Стьюдента, с обязательной проверкой статистической достоверности (репрезентативности) сравниваемых признаков.

Также полученные данные обработаны с использованием методов вариационной статистики, с расчетом достоверности различий сравниваемых величин. Достоверность отклонений каждой величины от средневзвешенной рассчитана с вероятностью 0.95 (P < 0.05).

Результаты исследования и их обсуждение

На участке, где полностью отсутствуют зеленые насаждения, показатели уровня аэроионизации составляют: N+=120 ион/см³, N-=94 ион/см³ и $N\pm=214$ ион/см³. Воздействие растительных объектов на ионизацию воздуха на опытных участках в виде усредненных показателей представлено на рис. 1.

Здесь фиолетовые столбцы — фоновые показатели аэроионного уровня на территории с отсутствием древесной растительности, синие столбцы — показатели

аэроионного уровня на лесопарковой территории, содержащей исследуемые виды. Анализ полученных данных показывает, что наиболее эффективные продуценты отрицательных аэроионов: дуб черешчатый, сосна обыкновенная и ива ломкая. Породы с минимальной эффективностью продуцирования отрицательных аэроионов: липа мелколистная, клен остролистный и каштан конский.

Динамика аэроионной способности объектов наблюдений в течение вегетационного периода отражена на рис. 2.

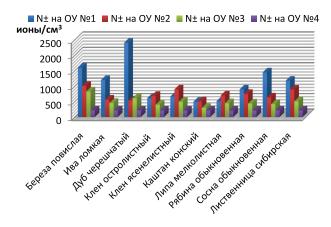


Рис. 1. Уровень максимальной ионизации воздуха для каждого исследуемого вида на опытных участках

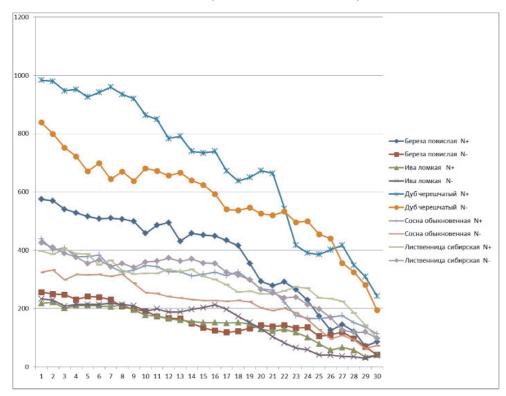


Рис. 2. Угасание аэроионной способности древесных растений в течение вегетационного периода (вертикальная ось — $N\pm/cm^3$, горизонтальная ось — порядковый номер измерений с интервалом в три дня). Усредненные показатели трех участков

Как видно, в период интенсивного роста (начало вегетации) растения обладают максимальной способностью продуцировать аэроионы. При этом выделяются древесные породы со стабильной аэроионной продуктивностью (береза, ива), когда количество аэроионов в см³ воздуха за сезон снижается с 210 до 50–80, и породы с резко выраженной динамикой (дуб), когда наблюдается резкое снижение количества аэроинов за сезон, с 980 до 230 ионов/см³.

В ходе исследований установлено:

- 1. На протяжении всего вегетационного периода способность всех объектов наблюдений продуцировать аэроионы понижается в течение вегетационного периода, что связано с оседанием на листву и хвою атмосферной пыли и смога.
- 2. У сосны обыкновенной, в силу круглогодичной охвоенности побегов, способность к продуцированию аэроионов сохраняется даже при окончании периода вегетации.
- 3. Репрезентативность эксперимента подтверждается корреляционным анализом, в ходе которого установлено наличие статистически сильной линейной зависимости данных за 2009 и 2010 гг. Коэффициент корреляции Пирсона для данных за эти два года составляет 0.91.
- 4. Корреляционный анализ массива данных, собранных в летний период показывает, что линейная зависимость между метеорологическими данными и уровнем аэроионной активности практически отсутствует для всех пород деревьев.
- 5. Регрессионный анализ временного ряда изменения аэроионной активности в течение летнего периода показал тенденцию к её уменьшению с течением времени как на урбанизированных участках, так и на контрольном участке, расположенном на территории парка.

Выводы

1. Примененные методы исследований эффективны для выявления растений – продуцентов аэроионов, значительно повышающих уровень ионизации воздушных масс в условиях современного промышленного центра. Наиболее продуктивными являются дуб черешчатый, лиственница сибирская, рябина обыкновенная.

- 2. Уровень ионизации атмосферы в лесопарках (опытный участок № 1) значительно выше, чем на бульварах и улицах (опытные участки № 2, 3).
- 3. Гипотеза о способности древесных растений продуцировать аэроионы в концентрациях, превышающих фоновые в 2–10 раз и тем самым значительно улучшающих ионный состав городского воздуха, подтверждается.
- 4. Так как ионизация воздуха не включена в число факторов, которые учитываются на станциях и постах Гидрометеобюро, целесообразно осуществлять мониторинг по данному показателю на территории крупных городов. Уровень аэроионизации необходимо учитывать при комплексной гигиенической характеристике населенных пунктов.

Список литературы

- 1. ГОСТ Р 8.845-2013. Метод измерений объемной плотности электрического заряда воздуха и счетной концентрации легких аэроионов на основе аспирационного конденсатора. М., 2013. С. 23–26.
- 2. ГОСТ Р ИСО 5725-2-2002. Часть 2. Основной метод определения повторяемости и воспроизводимости стандартного метода измерений. М., 2002. С. 14–17.
- 3. ИСО 15900:2009. Определение гранулометрического состава. Анализ дифференциальной подвижности частиц аэрозолей в электрическом поле. М.: 2009. С. 5–11.
- 4. Дмитриев С.М. Фитонциды в жизни человека. М., 2001. С. 207–213.
- 5. Зеленое пространство крупных городов: наука и инновации // Отв. Редакторы А.В. Грязькин, Н.В. Беляева. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 124 с.
- 6. Конверс У. Сущность озона. Нью Йорк, 1998. С. 164-170.
- 7. Об охране атмосферного воздуха: Федер. закон РФ от 04.05.1999 № 96-ФЗ. М.: Российская газета, 1999. 11 с.
- 8. Реута В.П. Из жизни атмосферных ионов. М., 2005. С. 163–167.
- 9. Рождественский Л.М. Краткий обзор основных аспектов применения аэроионов. M_{\odot} 2003. C_{\odot} 243–248.
 - 10. Скипетров В.П. Аэроионы и жизнь. М., 2003. 197 с.
- 11. Слепых В.В. Фитонцидные и ионизирующие свойства древесной растительности. Кисловодск, 2009. 180 с.
 - 12. Токин Б.П. Фитонциды. М., 1948. 178 с.
- 13. Токин Б.П. Целебные яды растений. Л., 1980.-280 с.
- 14. Чижевский А.Л. Аэроионизация в народном хозяйстве. М., 1938. С. 94–96.
- 15. Хмелевская И.А. Эколого-физиологические исследования древесных пород в г. Пскове // Вестник Псковского государственного педагогического университета: Серия «Естественные и физико-математические науки». 2008. № 6. C. 37—57.

УДК 633.2

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЗЕЛЕНЫХ НАСАЖДЕНИЙ МАЛЫХ ГОРОДОВ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Семенютина А.В., ¹Белицкая М.Н., ¹Ноянова Н.Г., ²Алферова Г.А.

¹ΦГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации», Волгоград, e-mail: vnialmi@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный социально-педагогический университет», Волгоград, e-mail: vnialmi@yandex.ru

В работе представлены результаты исследований по состоянию зеленых насаждений малых городов. Актуальность этой проблемы возрастает в связи с засушливостью климата, усилением антропогенной нагрузки и низкой лесистостью региона. Описаны недостатки существующей системы озеленения населенных пунктов засушливых регионов на примере малых городов южной сухостепной зоны Волгоградской области (Калачна-Дону, Котельниково, Октябрьский). На основе инвентаризации выявлен дендрологический состав зелёных насаждений общего пользования, представлена структура насаждений по возрастным категориям и таксационным показателям, дана оценка жизнеспособности древесной растительности. Изучение архивных материалов позволило выявить возраст существующих насаждений. Основная доля зеленых насаждений изученных объектов включает возрастные категории - 31-45, 46-60 лет, что отражает «старение» зеленого фонда городов и требует компенсационной замены. Выявлено, что формирование существующего ассортимента древесных растений объектов исследований происходило в основном стихийно. Видовой состав зеленых насаждений общего пользования представлен преимущественно монокультурами. Основу озеленения в исследуемых городах составляют виды Ulmus (вяз), Populus (тополь), остальные виды представлены незначительно. Установлено, что на фоне общего ослабляющего антропогенного воздействия на зеленые насаждения особую актуальность приобретает проблема массового заселения древостоев вредителями. Анализируется видовой состав, численность насекомых и их кормовые предпочтения. Процесс трансформации зеленых насаждений из положительного фактора, каким он является в первые десятилетия после создания, с наступлением зрелости становится отрицательным: они стареют, распадаются, разрушаются и гибнут. Обоснована необходимость повышения устойчивости зеленых насаждений методом расширения биоразнообразия адаптированных деревьев и кустарников, их сочетаний и типов посадки. Оптимизация структуры насаждений должна учитывать их функциональное назначение и включать формирование вертикальной и горизонтальной сомкнутости, разнообразие типовых посадок (живые изгороди, газоны, декоративные группы, цветочный декор и др.).

Ключевые слова: малые города, устойчивость, древесные виды, кустарники, зеленые насаждения, таксационная характеристика, оценка состояния, вредители, изменение площадей

STATE AND PROSPECTS IMPROVE STABILITY OF GREEN PLANTS SMALL TOWNS VOLGOGRAD REGION

¹Semenyutina A.V., ¹Belitskaya M.N., ¹Noyanova N.G., ²Alferova G.A.

¹All-Russian Scientific Research Institute of agroforestry, Volgograd, e-mail: vnialmi@yandex.ru; ²Volgograd State Pedagogical University, Volgograd, e-mail: vnialmi@yandex.ru

The paper presents the results of studies on the state of green plantations of small towns. The urgency of this problem is increasing due to climate aridity, increased anthropogenic load and low forest cover region. Described shortcomings of the existing system of planting settlements arid regions on the example of the small towns of southern dry steppe zone of the Volgograd area: Kalach-on-Don, Kotelnikovo, October. On the basis of the inventory revealed dendrological composition of green areas of common use, the structure of spaces by age group and taxational indicators, assesses the viability of woody vegetation. Study of archive material revealed the age of the existing plants. The main share of green space objects studied include age categories - 31-45, 46-60 years, which reflects the «aging» green fund cities and require compensatory replacement. It was found that the formation of the existing range of woody plants research facilities was mainly spontaneously. Species composition of public green spaces is represented by mainly monocultures. The basis of the landscaping in the surveyed cities is kind of Ulmus (elm) Populus (poplar), other species are represented slightly. It was established that on the background of a general weakening of human impact on green spaces is becoming particularly urgent problem of mass settlement stands pests. It analyzed the species composition, the number of insects and their food preferences. The transformation of green space from a positive factor, as it is in the early decades after its creation, with the onset of maturity is negative: they grow old, decay, collapse and die. The necessity of increasing the stability of green space by expanding biodiversity adapted trees and shrubs, planting combinations and types, planting structure optimization should take account of their functionality and include the formation of vertical and horizontal closeness, a variety of standard planting (hedges, lawns, decorative panels, floral decorations, etc.).

Keywords: small cities, sustainability, tree species, shrubs, greenery, taxation data, assessment, pests, changing areas

Зеленые насаждения малых городов Волгоградской области закладывались в основном в послевоенные годы и в настоящее время не выполняют свою многофункциональную роль [1, 2, 9]. На рост и долговеч-

ность древесной растительности влияют естественные факторы (неблагоприятные климатические условия, возраст насаждений, комплекс болезней и вредителей) и антропогенные.

В малых городах Волгоградской области остро стоит задача оптимизации зеленых насаждений путем обогащения видового состава древесных растений, изменения их структуры [1, 5, 7, 8].

Цель исследований — обоснование мероприятий по повышению устойчивости зеленых насаждений малых городов с учетом изучения их возрастной структуры, состояния, видового состава, таксационной характеристики.

Материалы и методы исследований

Объектами исследований являлись зеленые насаждения общего пользования малых городов южной сухостепной зоны Волгоградской области, это Калачна-Дону, Котельниково, Октябрьский (табл. 1).

Анализ малых городов проведен в соответствии со СП 42.13330.2011 [3].

Материалом для исследований стали существующие деревья и кустарники озелененных территорий. Площадь озелененной поверхности считалась с помощью программы AutoCAD Civil 3D.

Инвентаризация насаждений основывалась на собственных исследованиях и ведомственных материалах. На ключевых объектах и участках закладывались пробные площади, проводилось описание сплошным перечетом деревьев и кустарников с определением следующих показателей: видовой принадлежности, средней высоты, диаметра и состояния. Для описания видового состава насаждений использовался маршрутный метод. Систематическую принадлежность уточняли по справочной литературе. Состояние зеленых насаждений определялось по общепринятым методикам [5–7]. Использовались типовые и усовершенствованные методики, применяемые в таксации, дендрологии, экологии и энтомологии [1, 2, 9].

Результаты исследования и их обсуждение

Состояние и устойчивость зеленых насаждений во многом зависит от почвенных условий. История озеленительных посадок в этих городах свидетельствует о явном недоучете почвенных условий, определяющих приживаемость, рост, развитие и долговечность зеленых насаждений. Гумусность почв, мощность горизонтов и в целом почвенного профиля, плотность, гранулометрический состав, почвенная влага, засоленность, солонцеватость и др. лимитируют функционирование озеленительных посадок [1, 2, 9]. Природная составляющая почв в малых городах претерпела многократную трансформацию. В настоящее время сформировались антропогенные, а местами антропогенно-окультуренные урбаноземы, с весьма пестрыми лесорастительными условиями, которые следует учитывать как при реконструкции старовозрастных зеленых насаждений, так и при создании новых насаждений [1, 2, 5, 7, 9].

Анализ изменения площадей насаждений по годам представлен на рис. 1.

Изучение архивных материалов позволило выявить возраст существующих насаждений. Основная доля зеленых насаждений изученных объектов включает возрастные категории 31–45, 46–60 лет, что отражает «старение» зеленого фонда городов и требует компенсационной замены (табл. 2).

Характеристика объектов

Таблица 1

Населённые пункты	Год основания	Площадь, га	Население, тыс. чел. (по состоянию на 2013 г.)	Наличие водоёмов
Котельниково	1897	44565,9	20,42	р. Аксай Курмоярский
Калач-на-Дону	1708	74200,0	26,21	Цимлянское водохранилище
Октябрьский	1937	746,6	6,09	р. Аксай Есауловский

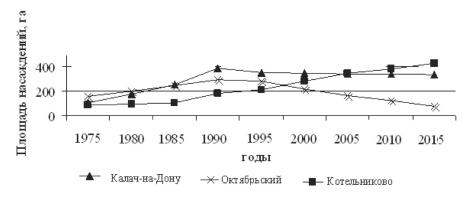


Рис. 1. Изменение площадей зеленых насаждений

Таблица 2

_			
Возрастная	структура	зеленых	насаждений

Возраст, лет	Котельниково, %	Калач-на-Дону, %	Октябрьский, %
До 15	3,8	9,8	2,7
16–30	16,2	21,3	15,8
31–45	29,3	26,5	28,9
46–60	50.7	42.4	52.6

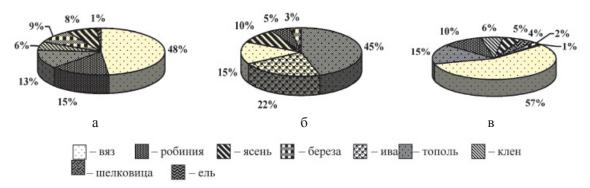


Рис. 2. Видовой состав (%) древесных растений в зеленых насаждениях общего пользования: a- Котельниково; b- Калач-на-Дону; b- Октябрьский

История озеленительных посадок в этих городах свидетельствует о явном недоучете почвенных условий, определяющих приживаемость, рост, развитие и долговечность зеленых насаждений. На основании анализа архивных документов приходим к выводу, что формирование существующего ассортимента древесных растений объектов исследований происходило в основном стихийно. Видовой состав зеленых насаждений общего пользования представлен преимущественно монокультурами. Основу озеленения в исследуемых городах составляют вяз и тополь, остальные виды представлены незначительно (рис. 2).

Изучение основных таксационных показателей (высота и диаметр) наи-

более распространенных видов в различных почвенно-гидрологических условиях показало, что к 40 годам данные виды достигают предельной высоты 10,0—17,0 м (табл. 3).

Максимальной высоты достигают деревья тополя черного — 15,2—17,3 м. На рост и долговечность древесной растительности урбоэкосистем влияют естественные факторы: неблагоприятные климатические условия, возраст насаждений, комплекс болезней и вредителей. Происходит ухудшение качественного состояния насаждений (усыхание, угнетенность, старовозрастные посадки). Обновление зеленого фонда объектов исследования ведется крайне медленными темпами [2, 6, 7].

Таблица 3 Таксационная характеристика насаждений общего пользования

		Котельни	ково		Калач-на-	Дону		Октябрьс	брьский				
Виды деревьев	<i>А</i> , лет	Н, м	<i>D</i> , см	<i>А</i> , лет	Н, м	<i>D</i> , см	<i>А</i> , лет	Н, м	Д,см				
Вяз приземистый (Ulmus pumila)	45	$10,2 \pm 0,7$	$33,8 \pm 2,7$	48	$11,3 \pm 0,3$	$35,6 \pm 1,4$	50	$9,8 \pm 0,3$	$34,7 \pm 2,8$				
Тополь черный (Populus nigra)	49	$16,4 \pm 0,3$	$65,5 \pm 0,2$	47	$15,2 \pm 0,6$	$64,6 \pm 0,4$	50	$17,3 \pm 1,3$	$66,2 \pm 0,6$				
Робиния лжеа- кация (<i>Robinia</i> pseudoacacia)	37	$9,7 \pm 0,5$	$21,5 \pm 3,2$	25	$6,9 \pm 0,4$	$13,6 \pm 0,9$	47	13.8 ± 0.2	$15,8 \pm 1,0$				
Ясень обыкновенный (Fraxinus excelsior)	44	$13,2 \pm 1,6$	$37,7 \pm 1,9$	36	$10,7 \pm 0,5$	$34,7 \pm 2,1$	40	$12,6 \pm 0,8$	$36,2 \pm 1,6$				
Береза повислая (Betula pendula)	23	$7,7 \pm 0,8$	23,4 ± 1,6	20	$8,7 \pm 0,6$	$18,5 \pm 1,0$	34	$8,5 \pm 0,6$	23,9 ± 1,2				

Ведущую роль в ухудшении санитарного состояния насаждений на урбанизированной территории играют вредные насекомые, чему способствует несвоевременное проведение защитных мероприятий. Зачастую они дают вспышки массового размножения листогрызущих чешуекрылых. Ильмовым в последние годы существенный вред причинял ильмовый листоед (Galerucella luteola Müll.), имеющий в южных районах страны три-четыре генерации. При этом уже в июле жуки и личинки вредителя практически полностью (75-80%) уничтожают листву в кронах Ulmus pumila, тогда как у *Ulmus laevis* этот показатель не превышает 10%. Следующим по встречаемости и численности (8-12%) является ильмовый ногохвост (Exaereta ulmi Schiff.). В отдельные годы на долю ногохвоста здесь приходится до 92% от общей численности листогрызущих вредителей.

Периодически дают совместные вспышки массового размножения и нередко полностью уничтожают листву в кронах деревьев непарный и кольчатый шелкопряды, златогузка, зимняя пяденица, пяденица-обдирало, пяденица-шелкопряд, волосистая.

По возрастным группам относительной устойчивостью выделяются молодые (до 10–12 лет) посадки древесных видов [1, 2–4]. С увеличением возраста состояние насаждений значительно ухудшается [8, 9].

Локальное ослабление хвойных видов связано с неравномерным распределением в насаждениях хвоегрызущих вредителей. В свою очередь, дифференцированное заселение насекомыми деревьев - следствие физиологического неоднородности их состояния. Повышенная численность вредителей приводит к усилению интенсивности патологических процессов, изменению защитных свойств и биохимического состава, увеличению доступа света и ухудшению микроклимата под пологом, снижению прироста (в последние годы это отмечалось у деревьев всех категорий состояния), увеличению расхода минимальных запасов влаги из почвы. В результате происходит еще большее ослабление деревьев, и они переходят в качественно новую категорию состояния.

Результаты проведенной оценки состояния зеленых насаждений общего пользования приведены в табл. 4.

Таблица 4

Оценка состояния зеленых насаждений

Виды деревьев	Возраст, лет	Состояние, балл							
Котельниково	Котельниково								
Вяз приземистый (Ulmus pumila)	45	$3,0 \pm 0,17$							
Робиния лжеакация (Robinia pseudoacacia)	37	2.8 ± 0.21							
Тополь черный (Populus nigra)	49	$2,9 \pm 0,18$							
Калач-на-Дону									
Тополь черный (Populus nigra)	47	$2,7 \pm 0,15$							
Ива белая (Salix alba)	45	2.8 ± 0.21							
Октябрьский	Октябрьский								
Вяз приземистый (Ulmus pumila)	50	$3,1 \pm 0,16$							
Робиния лжеакация (Robinia pseudoacacia)	47	$2,9 \pm 0,19$							

В ранневесенний период они повреждают многие виды — *Ulmus, Betula, Acer*, некоторые виды *Rosaceae*.

Следующая по встречаемости и численности группа, составляющая 49,8% всех вредителей ассимиляционного аппарата лиственных пород, представлена семейством Aphididae (тли), Stigmellidae (моли-малютки), Tisheriidae (моли-минеры), Cimbicidae (булавоусые), Cecidomyidae (галлицы). Интенсивнее поражаются ими виды Acer (29,1–35,5% всех листьев), Robinia и Amelanchier (8,5–12,9%).

Утратившие устойчивость старовозрастные деревья интенсивно заселяются стволовыми вредителями.

Оптимизация структуры насаждений должна учитывать их функциональное назначение и включать формирование вертикальной и горизонтальной сомкнутости, разнообразие типовых посадок (живые изгороди, газоны, декоративные группы, цветочный декор и др.) [4, 7]. Особое внимание необходимо уделять подбору ассортимента видов и отдавать приоритет хвойным, красивоцветущим, декоративно-лиственным растениям.

Заключение

Современное состояние озеленения малых городов Волгоградской области не отвечает научно обоснованным требованиям. Насаждения бедны по составу, структуре и не выполняют в большинстве своем ни санитарных, ни экологических, ни эстетических функций.

Ассортимент древесных растений до сих пор формируется, большей степенью случайно, вследствие чего включает в себя малоустойчивые, мало декоративные и т.п. в городских условиях виды. Улучшение санитарного состояния деревьев следует проводить на протяжении всей жизни. В последние годы в городских насаждениях проводится лишь интенсивная омолаживающая обрезка деревьев с удалением полностью кроны и даже части ствола в один прием. Это мероприятие носит массовый характер.

Главное средство системы озеленения – дендрологические ресурсы. Они используются в насаждениях общего, ограниченного и специального назначения. Инвентаризация показала, что имеющиеся насаждения не соответствуют современным требованиям, это по существу густые заросли. Они характеризуются бедным ассортиментом видов, плохим санитарным состоянием, отсутствием водных устройств и малых архитектурных форм (беседок, скамеек и т.д.), необходимых в жарком и засушливом климате. Особое значение приобретает вертикальное озеленение с применением разнообразных вьющихся и лазающих растений - лиан. Явным недостатком озеленения является отсутствие кустарниковых посадок, а которые имеются, не стригутся. Вопросы формирования и ухода за растениями требуют постоянного внимания озеленителей, организаций и домовладельцев. При значительной нехватке насаждений в населенных пунктах много захламленных пустырей «ничейных» территорий, которые можно использовать под озеленение.

Процесс трансформации зеленых насаждений из положительного фактора, каким он является в первые десятилетия после создания, с наступлением зрелости становится отрицательным: они стареют, распадаются, разрушаются и гибнут.

Необходимость реконструкции обуславливается, помимо возрастного фактора, и рядом других обстоятельств, когда насаждения становятся неспособными выполнять свои основные функции: планировочную, оздоровительную, декоративно-художественную.

Список литературы

- 1. Дендрофлора лесомелиоративных комплексов / А.В. Семенютина; под ред. И.П. Свинцова. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2013. 266 с.
- 2. Ландшафтное озеленение сельских территорий: учебно-методическое пособие / А.В. Семенютина [и др.]. Волгоград, 2014. 144 с.
- 3. Семенютина А.В., Свинцов И.П., Таран С.С., Кружилин С.Н. Стратегия формирования рекреационно-озеленительных насаждений ландшафтно-мемориальных парковых комплексов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 5–6. С. 51–65.
- 4. Семенютина А.В. Стратегия сохранения и непрерывного использования дендрологических ресурсов в Нижнем Поволжье // Hortus botanicus. 2001. № 1. С. 110—111.
- 5. Семенютина А.В., Хужахметова А.Ш., Подковыров И.Ю., Свинцов И.П. Научные основы интродукции методом родовых комплексов с целью подбора древесных видов для зеленых технологий // Фундаментальные исследования. 2015. № 2–21. С. 4687–4692.
- 6. СП 42.13330.2011 «Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01-89». Утв. Приказом Минрегиона РФ от 28.12.2010 № 820.
- 7. Таран С.С., Кружилин С.Н., Семенютина А.В. Анализ декоративных особенностей и критерии подбора древесных видов для ландшафтной архитектуры и озеленения урбанизированных экосистем // Международна научна школа «Парадигма». Лято-2015: сборник научни статии в 8 тома. Варна, 2015. С. 196—206.
- 8. Терешкин А.В., Андрушко Т.А., Петров В.И., Семенютина А.В. Биоэкологическая эффективность применения кустарииков в насаждениях зеленых зон населенных пунктов // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2015. № 9–10. С. 51–63.
- 9. Semenyutina A.V., Kostyukov S.M. Bioecological justification assortment of shrubs for landscaping urban landscapes. Accent graphics communications. Montreal, QC, Canada, 2013. 164 p.

УДК 632.937.15

ЭКСТРАКТЫ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА LAMIACEAE LINDL КАК РОСТРЕГУЛИРУЮЩИЕ И ПРОТИВОГРИБКОВЫЕ ПРЕПАРАТЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ТОМАТОВ

Шемшура О.Н., Сейтбатталова А.И., Исмаилова Э.Т., Мазунина М.Н., Каптагай Р.Ж., Маханбетова Г.М.

РГП «Институт микробиологии и вирусологии», Алматы, e-mail: olgashemshura@mail.ru

В статье представлены результаты лабораторных исследований водно-этанольных экстрактов некоторых видов растений семейства Lamiaceae Lindl (Satureja hortensis, Monarda citriodora, Hyssopus officinalis, Ocimum basilikum) в качестве стимуляторов роста томатов и защиты их от основных возбудителей болезней. Показано, что наиболее перспективным в качестве стимулятора роста томатов и защиты их от комплекса фитопатогенных грибов, вызывающих почвенную инфекцию является экстракт Monarda citriodora. Экстракт Hyssopus officinalis может быть использован для стимуляции роста и защиты томатов от возбудителя фитофторы по всем биометрическим показателям. Так, всхожесть семян превышала контроль на 5,5% (Monarda citriodora) и 4,4% (Hyssopus officinalis). Длина стебля и корня после обработки Monarda citriodora превышала контроль на 5 и 19% соответственно. В случае с Hyssopus officinalis длина стебля и корня превышала таковые в контроле соответственно на 16 и 23%.

Ключевые слова: томаты, грибные фитопатогены, экстракты, Lamiaceae Lindl, Satureja hortensis, Monarda citriodora, Hyssopus officinalis, Ocimum basilikum, стимуляция роста

EXTRACTS OF PLANTS OF FAMILY AS LAMIACEAE LINDL GROWTH-REGULATORY AND ANTI-FUNGAL PREPARATIONS FOR THE PROTECTION TOMATOES

Shemshura O.N., Seytbattalova A.I., Ismailova E.T., Mazunina M.N., Kaptagay R.Zh., Makhanbetova G.M.

RSE «Institute of Microbiology and Virology», Almaty, e-mail: olgashemshura@mail.ru

The article presents the results of laboratory tests of water-ethanol extracts of some species of the family Lamiaceae Lindl plant (Satureja hortensis, Monarda citriodora, Hyssopus officinalis, Ocimum basilikum) as tomato growth promoters and protect them from major pathogens. It is shown that the most promising as a stimulator of tomato growth and protect them from the complex of pathogenic fungi causing the soil infection is extract of the Monarda citriodora. The extract of Hyssopus officinalis according to all biometric indicators can be used to stimulate growth of the tomatoes and protect them from Phytophthora pathogen. For example, the germination of seeds higher than the control by 5,5% (Monarda citriodora) and 4,4% (Hyssopus officinalis). The length of the stem and root after Monarda citriodora processing exceeded control on 5 and 19%, respectively. In the case of the Hyssopus officinalis stem and root length greater than those in the control respectively on 16 and 23%.

Keywords: tomato, fungal phytopathogens, extracts, Lamiaceae Lindl, Satureja hortensis, Monarda citriodora, Hyssopus officinalis, Ocimum basilikum, growth stimulation

Томаты — одна из наиболее широко распространенных овощных культур в мире. Это объясняется ее высокой урожайностью, многообразием использования, высокой биологической ценностью и высокими вкусовыми качествами плодов [1]. В комплекс наиболее вредоносных грибных заболеваний томатов входят возбудители фитофтороза, альтернариоза, фузариоза и ботритиоза. Потери урожая томатов вследствие их поражения могут достигать 50–60 % [2, 3, 8].

В настоящее время в технологиях выращивания томатов, как и других сельскохозяйственных культур, важную роль играет повышение экологической безопасности систем защиты растений от комплекса болезней без снижения их эффективности. Как известно, среди химических средств

защиты имеется немало токсичных для человека веществ, оказывающих негативное влияние на агробиоценозы, что связано с загрязнением окружающей среды, накоплением остаточных количеств пестицидов в продукции, нарушением естественных механизмов саморегуляции агроэкосистем. Эти нарушения прежде всего выражаются в развитии резистентных популяций патогенов [4], что ухудшает фитосанитарное состояние и требует повторных обработок пестицидами, т.е. усиления пестицидной нагрузки, что в свою очередь приводит к еще большему экологическому загрязнению среды. Особенно важное значение экологизированные технологии защиты имеют при выращивании овощной продукции защищенного грунта, значительная часть которой употребляется в свежем виде и предназначена для диетического и детского и питания.

Приемы защиты томата совершенствуются в направлении повышения защитных реакций растения с помощью новых препаратов на основе индукторов болезнеустойчивости, создания новых препаративных форм и биопрепаратов защитно-стимулирующего действия, разработки новых средств контроля почвенной микробиоты.

В современных системах защиты растений от болезней важную роль играют препараты не только фунгицидного действия, но и препараты защитно-стимулирующего действия, активизирующие механизмы повышения болезнеустойчивости растений на биохимическом уровне. Они применяются для профилактики заболеваний томата, оказывают положительное влияние на энергию прорастания и всхожесть семян, стимулируют корнеобразование [9].

В настоящее время интенсивно развиваются исследования зеленых технологий для получения антигрибковых средств на основе зеленой массы растений либо водных (органических) экстрактов [5, 6]. Виды растений семейства Lamiaceae Lindl обладают широким спектром биологически активных веществ и весьма перспективны в качестве основы для создания биопрепаратов для защиты растений [7, 10].

Целью работы явилось изучение экстрактов некоторых видов растений семейства *Lamiaceae Lindl*, в качестве основы для препаратов — регуляторов роста томатов и их защиты от важнейших заболеваний грибной этиологии.

Материалы и методы исследования

Лабораторные исследования проводились с семенами томатов сорта «Перцевидный» урожая 2014 г., полученных из картофельного хозяйства, Каскеленского района Алматинской области. Для получения этанольных экстрактов были взяты виды семейства Lamiaceae Lindl: Satureja hortensis (чабер садовый), Monarda citriodora (монарда лимонная), Hyssopus officinalis L. (иссоп лекарственный) и Ocimum basilikum L. (базилик фиолетовый). Зеленую массу растений собирали в начале цветения, когда выделение эфирных масел было максимальным. Естественную сушку сырья осуществляли в тени, на хлопчатобумажной ткани. Воздушно-сухого состояния растения достигали в течение 3-7 дней в зависимости от погодных условий, при этом сохраняется естественная окраска сырья. Растения измельчали до 3-7 мм и экстрагировали 70% этанолом с последующим отстаиванием при температуре 25-28°C и фильтрованием.

В качестве патогенов использовали микроскопические грибы, выделенные из ризосферы боль-

ных растений томатов и идентифицированные как Phytophthora infestans, Alternaria alternata, Fusarium solani, Botrytis cinerea.

Для создания искусственного инфекционного фона фитопатогенные грибы культивировались на жидкой среде Чапека-7 на качалке в течение 5 суток. Культуральную жидкость отдельно каждого патогена в количестве 5 мл вносили в стерильную почву, предварительно размещенную в контейнеры. Семена томатов, предварительно продезинфицированные в слабо-розовом растворе КМпО, обрабатывались экстрактами растений семейства Lamiaceae Lindl. Концентрация растительного экстракта составила 2,5% для каждого вида, содержание растворителя (этанола) - 35%. В контроле семена обрабатывались в 35% этаноле. Обработанные семена томатов вносились в зараженную почву по 30 штук в каждый контейнер. Повторность опыта – трехкратная. По истечении 10 суток проводили биометрические измерения и патологические изменения у выросших проростков томатов.

Результаты исследований и их обсуждение

Полученные результаты показали, что в варианте, где в почве присутствует Phytophthora infestans, биометрические показатели проростков томатов после обработки семян экстрактами монарды лимонной и иссопа лекарственного были наилучшими (таблица). Так, всхожесть семян превышала контроль на 5,5% (монарда) и 4,4% (иссоп). Длина стебля и корня после обработки монарды превышала контроль на 5 и 19% соответственно. В случае с иссопом длина стебля и корня превышала таковые в контроле соответственно на 16 и 23%. Кроме того, в контроле были недоразвитые проростки с признаками корневой гнили (рис. 1).

При обработке семян чабером отмечено повышение всхожести на 4,4%, что касается длины стебля, то она оказалась на уровне контроля, при этом длина корня отставала от контроля на 23%. В варианте с базиликом отмечена наибольшая, по сравнению с другими экстрактами, всхожесть семян, превышающая контроль на 8,9%.

В почве, искусственно зараженной *Alternaria alternata*, по всем биометрическим показателем лучшим для проростков томатов оказался экстракт монарды. В этом случае всхожесть семян, длина стебля и корня превышали таковые в контроле на 5,5; 23 и 23% соответственно (таблица, рис. 2).

Что касается других используемых в опыте экстрактов, то все они простимулировали всхожесть семян на 5,5–12,2%. По остальным показателям контроль был выше, за исключением варианта с экстрактом иссопа, в этом случае длина стебля томатов превосходила таковую в контроле на 8%.

Биометрические показатели проростков томата, обработанных экстрактами растений семейства *Lamiaceae Lindl* и выращенных на искусственно созданном инфекционном фоне

	Phy	toph	thora	infest	ans	Ali	terna	ria al	terna	ta	i	Fusa	rium s	olan	i	1	Botry	tis cir	ıerea	
Варианты опыта	BCX.	сте	бель	кор	ень	BCX.	сте	бель	кор	ень	BCX.	сте	бель	кој	ень	всх.	сте	бель	кор	ень
	%	СМ	%	СМ	%	%	СМ	%	СМ	%	%	СМ	%	СМ	%	%	СМ	%	СМ	%
Контроль	77,8	$6,0 \pm 0,56$	100	$2,6 \pm 0,48$	100	70%	$6,2 \pm 0,61$	100	$2,6 \pm 0,24$	100	78,7	$7,0 \pm 0,51$	100	$2,2 \pm 0,25$	100	70	5 ± 0,21	100	2.7 ± 0.04	100
Monarda citriodora (монарда лимонная)	83,3	$6,3 \pm 0,66$	105	$3,1 \pm 0,8$	119	75,5	$7,6 \pm 0,34$	123	$3,2 \pm 0,09$	123	82,2	$7,2 \pm 0,1$	103	$2,9 \pm 0,09$	132	93,3	7,1 ± 0,3	142	$3,8 \pm 0,15$	141
Satureja hortensis (чабер садовый)	82,2	6,0 ± 0,75	100	$2,0 \pm 0,31$	77	82,2	$5,6 \pm 0,23$	90	2,3 ± 0,21	88	86,7	$6,4 \pm 0,28$	91	$1,5 \pm 0,22$	68	71	$5,3 \pm 0,17$	106	$2,0 \pm 0,13$	74
Hyssopus officinalis (иссоп лекарственный)	82,2	$7,0 \pm 0,75$	116	$3,2 \pm 0,9$	123	77,8	6,7 ± 0,4	108	2.5 ± 0.29	96	83,3	$7,0 \pm 0,49$	100	$4,0 \pm 0,24$	182	72,2	6.9 ± 0.24	128	2.5 ± 0.21	93
Ocimum basilikum (бази- лик фиолетовый)	86,7	5.1 ± 0.32	85	2.8 ± 0.37	108	75,5	5.9 ± 0.55	95	$2,0 \pm 0,11$	77	77,8	5,5 ± 0,37	79	$1,7 \pm 0,36$	77	85,5	5.5 ± 0.28	110	$2,1 \pm 0,27$	78



Puc. 1. Проростки томатов, выращенные на почве, зараженной Phytophthora infestans (слева – контроль; справа – вариант с иссопом)



Рис. 2. Рост томатов на почве, зараженной Alternaria alternata



Рис. 3. Рост томатов на искусственно созданном инфекционном фоне с Fusarium solani: а – рост проростков на зараженной почве; б – корни, пораженные корневой гнилью (контроль)



Puc. 4. Рост томатов на искусственно созданном инфекционном фоне с Botrytis cinerea

В почве, зараженной Fusarium solani, все экстракты за исключением базилика, стимулировали всхожесть семян томатов, которая превышала контроль на 4,6–8%. Что касается длины стебля и корня, то только в варианте с экстрактом монарды отмечено одновременное увеличение их длины по сравнению с контролем на 3% (стебель) и 32% (корень). Кроме того, в контроле отмечены признаки корневой гнили проростков (рис. 3). В варианте, где семена обрабатывались иссопом, у томатов на зараженной Fusarium solani почве наблюдался рост корня, длина которого превышала контроль на 82%, при этом значение длины стебля оставалось на уровне контроля. Наименьшие ростовые показатели томатов отмечены в варианте с чабером и базиликом, у которых длина стебля и корня отставали от контроля в среднем на 9-23 %.

В вариантах, где в почве присутствует Вotrytis cinerea, биометрические показа-

тели проростков томатов были наилучшими при обработке семян экстрактом монарды. В этом случае превышение по сравнению с контролем составило: всхожесть на 23,3 %; длина стебля на 42 %; длина корня на 41 % (рис. 4).

Кроме монарды, у томатов после обработки семян другими растительными экстрактами, в условиях роста на почве, зараженной *Botrytis cinerea*, также отмечено превышение линейной длины стебля на 6% (чабер); 10% (базилик); 28% (иссоп), однако при этом длина корня у них оказалась меньше контроля на 26; 7 и 22% соответственно.

Заключение

Таким образом, лабораторные опыты показали, что из всех исследуемых видов растений семейства *Lamiaceae Lindl*. наиболее перспективным в качестве основы для создания препаратов — стимуляторов роста

томатов и защиты их от комплекса фитопатогенных грибов, вызывающих почвенную инфекцию, является экстракт монарды. Экстракт иссопа может быть использован для стимуляции роста и защиты томатов от возбудителя фитофторы по всем биометрическим показателям. В других случаях, он оказывает стимулирующий эффект на всхожесть, при этом может оказывать в одних случаях стимулирующее, в других токсичное действие либо на корень, либо на стебель. Дальнейшие исследования будут направлены на выявление компонентов, обладающих фунгицидной и рострегулирующей активностью, входящих в комплекс биологически активных веществ исследуемых экстрактов.

Список литературы

- 1. Гавриш С.Ф. Томаты. М., 2005. 158 с.
- 2. Желдакова Р.А., Мямин В.Е. Фитопатогенные микроорганизмы: учебно-методический комплекс. Минск, БГУ, 2006. 116 с.
- 3. Кокаева Л.Ю., Побединская М.А., Николаев А.В., Александрова А.В., Еланский, С.Н. Видовой состав возбу-

- дителей альтернариоза картофеля и томата // Картофелеводство. 2012. Т. 19. С. 333–342.
- 4. Мыца Е.Д. Влияние некоторых пестицидов на возбудителей грибных болезней картофеля (Solanum tuberosum L.) и томата (Lycopersicon esculentum Mill.): дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ, 2015. 113 с.
- 5. Осипян Л.Л. Патогенная микобиота, ассоциированная с возделываемыми зелеными растениями // Материалы Международной конференции, посвященной 75-летию Биологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. М., 2006. С. 117–118.
- 6. Попов Ф.А., Наумова Г.В. Фунгицидные свойства препаратов растительного происхождения // Овощеводство на рубеже третьего тысячелетия: материалы Международной научно-практической конференции. Минск, 2000. С 171–173
- 7. Рабжаева А.Н. Компонентный состав эфирного масла Thymus baicalensis (Lamiaceae) на разных стадиях сезонного развития // Растительные ресурсы. 2012. T. 48, Вып. 2. C. 234—237.
- 8. Чикин Ю.А. Общая фитопатология (учебное пособие). Томск: Томский Госуниверситет, $2001.-170~\rm c.$
- 9. Экологически безопасные приемы защиты томата от болезней и вредителей (Руководство) / под ред. Р.Д. Нурметова. М.: Россельхозакадемия, 2010. 32 с.
- 10. Шаварда А.Л. Анализ эфирного масла Dracocephalum oblongifolium (Lamiaceae) с использованием полной двумерной хроматографии // Растительные ресурсы. 2013. Т. 49, Вып. 1. С. 107—117.

УДК 551.4 (571.5)

ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕГА НА АКВАТОРИИ СЕВЕРНОЙ КОТЛОВИНЫ ОЗЕРА БАЙКАЛ И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

^{1,2}Белозерцева И.А., ¹Воробьева И.Б., ¹Власова Н.В., ¹Янчук М.С., ¹Лопатина Д.Н.

¹ФАНО России ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: belozia@mail.ru;

²ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет», Иркутск

По результатам снегогеохимической съемки Северной котловины озера Байкал проведена оценка загрязнения атмосферы. Загрязнение атмосферного воздуха акватории котловины озера отмечается вблизи прибрежных населенных пунктов Северобайкальск, Нижнеангарск. Установлены относительно повышенные содержания SO_4 , NO_3 , PO_4 , K, Na, NH_4 , Mo, Mn, Ba, Al, Pb, Ni, Cu, V, Cr, Fe, Si, Sr и нефтепродуктов – превышающие фоновые значения в 2–55 раз. Фоновые содержания большинства изученных химических элементов и веществ в снеге Байкальского региона низкие, ниже ПДК. Концентрации NH_4 , Pb и нефтепродуктов в снеговой воде превышают санитарно-гигиенические нормы более чем в 2 раза. Основной вклад в загрязнение атмосферы вносят предприятия строительных материалов, котельные и автотранспорт. Загрязнение имеет локальный характер.

Ключевые слова: озеро Байкал, геоэкология, загрязнение снега

POLLUTION OF SNOW ON THE WATER AREA OF THE NORTHERN HOLLOW OF LAKE BAIKAL AND THE ADJACENT TERRITORY

^{1,2}Belozertseva I.A., ¹Vorobeva I.B., ¹Vlasova N.V., ¹Yanchuk M.S., ¹Lopatina D.N.

¹V.B. Sochava Institute of Geografy SB RAS, Irkutsk, e-mail: belozia@mail.ru; ²Irkutsk State University, Irkutsk

By results of snegogeokhimichesky shooting of the Northern hollow of Lake Baikal the assessment of pollution of the atmosphere is carried out. Pollution of atmospheric air of the water area of a hollow of the lake is noted near coastal settlements Severobaykalsk, Nizhneangarsk. Rather increased contents of SO_4 , SO_3 , SO_4 ,

Keywords: Lake Baikal, geoecology, technogenesis, pollution of a snow

Материалы и методы исследования

Объект исследования - снежный покров Северной котловины озера Байкал и прилегающей территории. Снежный покров, обладающий высокой сорбционной способностью, представляется наиболее информативным объектом при выявлении техногенного загрязнения атмосферы. Снег захватывает существенную часть продуктов техногенеза и накапливает их в течение зимнего периода. Химический состав фильтрата талого снега формируется в результате поступления с осадками различных химических элементов, поглощения снеговым покровом газов, водорастворимых аэрозолей и взаимодействия со снеговым покровом твердых частиц, оседающих из атмосферы. Количество выпадающего со снегом твердого осадка характеризует запыленность территории, фильтрат талого снега отражает степень загрязнения воздушного бассейна наиболее растворимыми формами элементов, которые являются наиболее токсичными для растений и живых организмов.

В зимний – весенний периоды 2015 г. проводился отбор проб снега с целью выявления загрязнения атмосферного воздуха. Наблюдения с отбором проб образцов осуществлялись по системе ключевых площадок и поперечных маршрутов с учетом источников атмосферного загрязнения и розы ветров с учетом требований ГОСТов [5, 6]. Всего отобрано более 70 проб снега в Северной котловине оз. Байкал и на прилегающей территории. На момент отбора проб период снегонакопления составил 131–140 дней. Места отбора проб показаны на рисунке. В табл. 1 приведены сведения о координатах точек отбора проб.

Аналитические работы проводились в Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН в лабораторных условиях по стандартизованным методикам на современном аналитическом оборудовании. Величина рН определена в суспензии потенциометрическим методом с использованием комбинированных электродов. Концентрации основных анионов и катионов в снеговой воде определены стандартными химическими методами [11].

Содержание подвижных форм металлов установлено количественным атомно-эмиссионным спектральным методом на приборе Optima 2000DV (Optical Emission Spectrometer). Содержание фтора измерялось на иономере H–120 с применением фторселективного электрода. Нефтепродукты определены на флюорате. В работе учитывались ранее проведенные исследования [1–3, 9, 10, 11], отчеты о состоянии окружающей среды Министерства природных ресурсов и экологии России [7, 8].

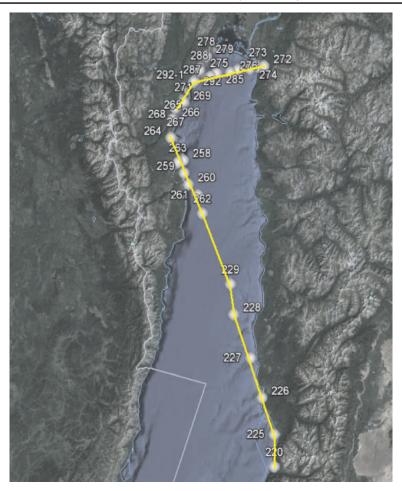


Схема ключевых участков и профилей в Северной котловине оз. Байкал (февраль – март 2015 г.):

— ключевой участок отбора проб снега; 220–292 – номер площадки; — – профиль

Таблица 1 Координаты и местоположение площадок отбора проб снега

Номер площадки	Координаты	Местоположение
1	2	3
220	N54 13 71,3 E109 28 98,6	Устье р. Бол. Черемшанка
225	N54 92 94,9 E109 30 49,6	Устье р. Кулдалды, оз. Байкал
226	N54 19 80,9 E109 28 28,6	Устье р. Сосновка
227	N54 29 25,5 E109 26 45,4	Устье р. Большая
228	N54 40 59,9 E109 22 34,0	Напротив устья р. Кабанья, оз. Байкал
229	N54 48 35,4 E109 23 43,6	Профиль в северной части оз. Байкал
258	N55 21 23,0 E109 12 22,9	С. Байкальское, оз. Байкал
259	N55 18 14,4 E109 11 35,3	Мыс Котельниковский, оз. Байкал
260	N55 15 13,3 E109 12 36,0	15 км от мыса Котельниковский
261	N55 12 30,0 E109 16 15,5	20 км от Горячей губы
262	N55 72 38,7 E109 16 39,0	Напротив Горячинской губы, на оз. Байкал в 30 км
263	N55 21 10,8 E109 09 33,0	Река Рель
264	N55 27 35,2 E109 08 21,4	Озеро Слюдяное
265	N55 32 01,0 E109 10 51,0	Онокочанская губа, оз. Байкал
266	N55 32 00,4 E109 10 43,4	Онокочанская губа, берег
267	N55 34 33,4 E109 13 06,0	Губа Сеногда, оз. Байкал
268	N55 34 38,8 E109 13 00,0	Губа Сеногда, берег

Окончание табл. 1

1	2	3
269	N55 35 28,1 E109 17 31,2	Около пионерского лагеря, напротив пос. Заречный, оз. Байкал
270	N55 35 28,1 E109 17 31,2	Около пионер. лагеря, напротив пос. Заречный, оз. Байкал
271	N55 35 43,0 E109 17 25,3	По дороге от Байкала к пос. Заречный, 500 метров от предыдущей точки
272	N55 39 53,3 E109 59 01,0	Дагарская губа, берег
273	N55 40 36,1 E109 56 13,8	Дагарская губа, оз. Байкал
274	N55 40 62,5 E109 59 59,9	Напротив Дагарской губы, оз. Байкал
275	N55 40 27,0 E109 46 61,2	Напротив Дагарской губы, оз. Байкал
276	N55 40 14,6 E109 42 21,5	Напротив Дагарской губы, оз. Байкал
277	N55 46 39,2 E109 37 28,7	Нижнеагарск, Ярки
278	N55 45 39,7 E109 32 23,3	Южная граница Нижнеангарска по дороге Нижнеангарск – Северобайкальск, оз. Байкал
279	N55 45 39,7 E109 32 18,2	Южная граница Нижнеангарска по дороге Нижнеангарск – Северобайкальск, берег
280	N55 45 14,2 E109 31 35,9	По дороге Нижнеангарск – Северобайкальск, оз. Байкал
281	N55 45 18,1 E109 31 30,2	По дороге Нижнеангарск – Северобайкальск, берег
282	N55 44 04,1 E109 29 44,6	По дороге Нижнеангарск – Северобайкальск, оз. Байкал
283	N55 44 04,1 E109 29 44,6	По дороге Нижнеангарск – Северобайкальск, оз. Байкал
284	N55 44 05,9 E109 29 36,4	По дороге Нижнеангарск – Северобайкальск, берег
285	N55 40 54,5 E109 35 41,8	Между Нижнеангарском и Северобайкальском, оз. Байкал
286	N55 40 41,0 E109 29 50,6	Между Нижнеангарском и Северобайкальском, оз. Байкал
287	N55 40 22,5 E109 32 36,2	Между Нижнеангарском и Северобайкальском, оз. Байкал
288	N55 42 36,8 E109 27 52,4	По дороге Нижнеангарск – Северобайкальск
289	N55 41 51,6 E109 27 00,6	по дороге Нижнеангарск – Северобайкальск, оз. Байкал
290	N55 41 53,1 E109 26 56,1	По дороге Нижнеангарск – Северобайкальск, берег
291	N55 40 30,1 E109 25 26,0	По дороге Нижнеангарск – Северобайкальск, оз. Байкал
292	N55 40 05,3 E109 24 07,3	Северная граница Северобайкальска, оз. Байкал
292-1	N55 40 04,9 E109 24 08,4	Северная граница Северобайкальска, оз. Байкал

Результаты исследований и их обсуждение

Ареал Северобайкальского промышленного узла охватывает часть территории Северобайкальского района Бурятии и вытянут в широтном направлении вдоль трассы Байкало-Амурской магистрали. Начиная с 1974 года на северном побережье Байкала построен город Северобайкальск, восточнее его – крупные поселки: Новый Уоян, Ангоя, Янгунан. В целом Северобайкальский район стал огромной строительной площадкой БАМ. Были проведены большие объемы работ с разрушением естественного природного ландшафта. На территории района разработаны 176 карьеров и лишь 30% из них частично рекультивированы. Строительство поселков велось также без предварительного ввода очистных сооружений, шлакозолоотвалов и т.д. Поселки постоянных жителей района – Нижнеангарск, Уоян и др. – в настоящее время испытывают проблемы с точки зрения экологии и благоустройства.

Очевидно, что г. Северобайкальск расположен на БАМ крайне неудачно в экологическом отношении. Промзона, включающая такие объекты, как локомотивное депо, вагонное хозяйство, котельную, площадки разгрузки угля и т.д., расположена в непосредственной близости от Байкала (менее чем в 300 м). Экологически не защищена прибрежная полоса вдоль ж/д по долине рек Тыя, Гоуджекит.

Резервов электроэнергетики практически нет. Использование угля ведет к дополнительному загрязнению воздуха. В воздухе Северного Байкала присутствует масса вредных элементов, характерных для крупных промышленных городов Сибири. В г. Северобайкальске — центре промузла — основными загрязнителями атмосферного воздуха являются стационарные источники «Нижнеангарскстрой», ПМК, «ЛенБАМстрой», асфальтобетонный завод.

 Таблица 2

 Величина рН, содержание нефтепродуктов и основных ионов в снеговой воде

 Северной котловины оз. Байкал и прилегающей территории, март 2015 г.

<u>№</u> п/п			Анионы								Катион	ы	Взве-	Мине-	Нефте-	
I II/II I	pН	F-	HCO ₂	Cl-	SO ₄ ²⁻	NO,	NO ₃	PO ₄ ³⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄	шенное веще-	рали-	про-
11/11	pii	1	- 3	Ci	004	2		, i	Cu	1115		114	4	ство,	зация, мг/дм ³	дукты, мг/дм ³
		мг/дм ³						0.50 0.10 0.244 0.642 0.55					г/дм³			
220	6,35	0,095	1,85	3,50	16,50	0,007	0,010	0,001	0,58	0,10	0,244	0,613	0,20	0,056	23,70	0,050
225	6,43	0,077	4,27	4,20	0,11	0,020	0,001	0,008	1,44	0,33	0,854	0,762	0,001	0,156	12,07	0,045
226	6,53	0,072	6,71	3,68	0,11	0,005	0,001	0,001	1,63	0,34	0,481	0,865	0,001	0,067	13,90	0,034
227	6,33	0,061	4,88	4,20	8,80	0,020	0,010	0,001	1,26	0,13	0,150	0,394	0,008	0,069	19,91	0,013
228	6,77	0,068	9,64	4,73	0,11	0,050	0,001	0,003	2,67	0,63	0,152	0,396	0,001	0,138	18,45	0,039
229	6,11	0,082	5,49	3,85	0,11	0,006	0,001	0,001	1,07	0,23	0,215	0,752	0,001	0,061	11,81	0,048
258	6,46	0,025	5,49	3,50	0,11	0,035	0,100	0,002	0,76	0,17	0,248	0,300	0,01	0,017	10,75	0,066
259	6,31	0,016	1,83	3,68	0,11	0,010	0,010	0,001	0,47	0,15	0,088	0,292	0,01	0,009	6,67	0,021
260	6,36	0,022	1,22	2,98	0,22	0,210	0,010	0,002	1,00	0,25	1,116	0,405	0,01	0,045	7,45	0,027
261	6,30	0,020	1,26	2,80	12,10	0,100	0,011	0,003	1,38	0,36	0,201	0,346	0,009	0,054	18,59	0,020
262	6,60	0,070	6,10	2,10	9,90	0,020	0,001	0,001	1,52	0,37	0,231	0,442	0,001	0,039	20,76	0,024
263	6,23	0,027	3,66	1,93	15,40	0,035	0,750	0,002	0,61	0,15	0,340	0,544	0,80	0,065	24,25	0,029
264	6,08	0,047	4,27	2,98	2,75	0,035	1,005	0,005	0,49	0,11	0,109	0,237	0,01	0,001	12,05	0,036
265	6,23	0,090	1,83	3,33	0,11	0,030	0,250	0,001	3,45	0,66	0,196	0,649	0,001	0,051	10,60	0,032
266	5,88	0,081	1,83	3,33	0,11	0,044	0,150	0,017	5,19	0,88	0,402	1,100	0,001	0,001	13,14	0,094
267	6,60	0,105	6,71	3,15	0,11	0,022	0,400	0,001	0,77	0,19	0,171	0,314	0,001	0,125	11,94	0,033
268	5,90	0,093	1,83	3,50	0,11	0,030	0,260	0,004	4,07	0,21	0,058	0,564	0,001	0,100	10,73	0,051
269	6,59	0,095	5,49	3,05	0,22	0,030	0,350	0,003	0,23	0,07	0,089	0,172	0,30	0,150	10,10	0,044
270	6,50	0,090	4,56	3,15	0,11	0,020	0,010	0,002	2,09	0,28	0,209	0,432	0,009	0,090	10,96	0,054
271	6,67	0,091	3,66	2,10	17,60	0,044	0,250	0,001	1,23	0,32	0,228	0,822	0,001	0,127	26,35	0,095
272	6,48	0,028	6,10	2,98	8,25	0,022	0,750	0,004	1,09	0,22	0,203	0,408	0,01	0,038	20,07	0,047
273	7,03	0,025	9,81	3,85	0,11	0,020	0,010	0,001	3,58	0,61	0,146	0,023	0,01	0,025	18,20	0,051
274	6,54	0,078	1,22	3,68	4,40	0,001	0,001	0,001	0,63	0,15	0,120	0,196	0,001	0,037	10,48	0,034
275	6,45	0,082	1,83	2,45	8,80	0,001	0,001	0,001	5,21	0,29	0,157	0,285	0,001	0,119	19,11	0,038
276	6,32	0,036	3,05	2,03	0,11	0,025	0,009	0,001	0,65	0,14	0,216	0,379	0,35	0,025	7,00	0,046
277	6,41	0,030	4,27	2,80	0,11	0,020	0,350	0,009	1,03	0,25	0,182	0,539	0,001	0,081	9,59	0,031
278	6,54	0,020	10,37	2,98	0,11	0,029	0,851	0,001	2,83	0,74	0,111	0,189	0,50	0,039	18,73	0,067
279	6,55	0,019	12,20	3,15	0,11	0,042	0,010	0,001	3,50	0,48	0,341	0,409	0,01	0,050	20,27	0,095
280	6,98	0,125	9,15	3,33	0,11	0,022	0,150	0,002	1,73	0,38	0,239	0,535	0,001	0,042	15,77	0,062
281	6,37	0,095	6,10	3,33	0,11	0,030	0,010	0,001	2,46	0,41	0,086	0,084	0,01	0,031	12,73	0,117
282	6,50	0,090	1,83	3,10	0,22	0,040	0,012	0,002	0,43	0,10	0,092	0,219	0,01	0,054	6,15	0,038
283	6,55	0,085	1,98	3,33	9,90	0,025	0,150	0,001	0,25	0,07	0,109	0,240	0,001	0,050	16,14	0,048
284	6,57	0,070	4,27	4,03	0,11	0,030	0,011	0,012	1,43	0,39	0,309	0,163	0,01	0,116	10,84	0,076
285	6,46	0,075	1,83	2,63	7,70	0,018	0,750	0,001	0,79	0,20	0,167	0,592	0,50	0,190	15,25	0,069
286	6,24	0,093	2,44	4,38	0,11	0,030	0,011	0,058	1,30	0,34	0,736	0,389	0,01	0,083	9,90	0,072
287	6,72	0,021	9,76	2,98	2,75	0,030	0,010	0,001	3,40	0,45	1,011	1,531	0,20	0,142	22,14	0,036
288	6,43	0,018	4,27	2,98	5,50	0,030	0,010	0,001	1,19	0,30	0,399	0,299	0,01	0,057	15,01	0,110
289	6,34	0,064	2,44	3,50	0,11	0,030	0,011	0,013	1,80	0,37	0,240	0,464	0,01	0,020	9,05	0,056
290	6,35	0,060	5,49	2,80	0,11	0,030	0,012	0,014	2,31	0,45	0,627	0,481	0,01	0,088	12,39	0,083
291	6,49	0,062	6,10	3,50	0,11	0,022	0,280	0,001	9,11	3,70	1,054	3,118	0,20	0,066	27,26	0,043
292	6,49	0,095	4,56	2,95	0,22	0,025	0,150	0,002	2,05	0,20	0,193	0,310	0,200	0,091	10,96	0,076
292-1	6,50	0,090	4,88	2,80	0,11	0,030	0,010	0,001	1,48	0,24	0,196	0,312	0,150	0,192	10,30	0,010
сред- нее	6,44	0,064	4,68	3,22	3,19	0,03	0,17	0,005	1,91	0,39	0,300	0,510	0,09	0,070	11,8	0,050
max	7,03	0,125	12,20	4,73	17,60	0,21	1,00	0,058	9,11	3,70	1,116	3,118	0,80	0,192	27,2	0,117
min	5,88	0,016	1,22	1,93	0,11	0,001	0,001	0,001	0,23	0,07	0,058	0,023	0,001	0,001	5,95	0,010
ПДК, ОДК		0,7– 1,5	-	350	500	-	130	0,001	180	50	40– 50	120- 200	0,40	_	-	0,050

 Π р и м е ч а н и е . ПДК, ОДК вод для питьевых и рыбохозяйственных нужд ГОСТ 2874-82, ГН 2.1.5.1315-03; прочерк – ПДК и ОДК не установлены.

Таблица 3 Содержание макро- и микроэлементов в снеговой воде Северной котловины оз. Байкал и прилегающей территории, март 2015 г.

Но-	Mo	Mn	Ba	Al	Pb	Ni	Cu	Ве	V	Cr	Fe	Si	Zn	Sr	Ti	Со	Cd	Hg
мера пло- щадок	$\mathrm{M}\Gamma/\mathrm{J}\mathrm{J}\mathrm{M}^3$													мкг/дм ³				
220	0,004	0,003	0,001	0,007	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,555	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,10
225	0,001	0,025	0,005	0,034	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,005	0,018	0,006	0,006	0,001	0,001	0,001	0,10
226	0,001	0,002	0,003	0,010	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,025	0,001	0,009	0,001	0,001	0,001	0,20
227	0,001	0,006	0,002	0,010	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001	0,005	0,008	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,10
228	0,005	0,009	0,004	0,020	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,009	0,001	0,004	0,009	0,001	0,001	0,001	0,12
229	0,004	0,005	0,002	0,015	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,010	0,001	0,008	0,005	0,001	0,001	0,001	0,10
258	0,008	0,010	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,086	0,021	0,006	0,001	0,001	0,001	0,16
259	0,001	0,006	0,001	0,015	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,20
260	0,004	0,022	0,002	0,004	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,103	0,014	0,008	0,001	0,001	0,001	0,18
261	0,004	0,033	0,005	0,044	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,012	0,002	0,002	0,001	0,15
262	0,003	0,006	0,004	0,007	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0,004	0,009	0,001	0,001	0,001	0,20
263	0,011	0,010	0,003	0,011	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,089	0,010	0,004	0,001	0,001	0,001	0,15
264	0,001	0,003	0,002	0,003	0,007	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,004	0,035	0,003	0,004	0,002	0,001	0,001	0,40
265	0,002	0,011	0,007	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,039	0,001	0,002	0,002	0,15
266	0,003	0,005	0,010	0,012	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001	0,030	0,001	0,001	0,001	0,20
267	0,001	0,001	0,001	0,012	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,009	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,18
268	0,001	0,003	0,004	0,009	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,01	0,001	0,011	0,001	0,002	0,001	0,001	0,20
269	0,016	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,010	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,21
270	0,007	0,003	0,003	0,003	0,005	0,002	0,002	0,001	0,004	0,002	0,023	0,001	0,003	0,016	0,001	0,002	0,002	0,19
271	0,013	0,007	0,002	0,004	0,004	0,002	0,003	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,008	0,001	0,002	0,002	0,20
272	0,005	0,003	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,014	0,010	0,017	0,001	0,001	0,001	0,26
273	0,012	0,009	0,006	0,020	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,007	0,171	0,006	0,009	0,001	0,002	0,001	0,35
274	0,001	0,004	0,006	0,011	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,006	0,027	0,018	0,006	0,001	0,001	0,001	0,28
275	0,001	0,004	0,002	0,019	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001	0,010	0,001	0,001	0,001	0,20
276	0,008	0,003	0,004	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,014	0,007	0,006	0,001	0,001	0,001	0,41
277	0,008	0,008	0,003	0,010	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,008	0,001	0,010	0,018	0,001	0,001	0,001	0,30
278	0,001	0,004	0,017	0,015	0,001	0,008	0,005	0,002	0,001	0,002	0,008	0,192	0,001	0,087	0,001	0,002	0,002	0,34
279	0,014	0,007	0,014	0,026	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,049	0,308	0,001	0,064	0,001	0,001	0,001	0,30
280	0,001	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,011	0,001	0,001	0,001	0,25
281	0,010	0,006	0,011	0,013	0,001	0,002	0,006	0,002	0,001	0,002	0,027	0,100	0,010	0,040	0,001	0,002	0,002	0,26
282	0,008	0,002	0,007	0,010	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,010	0,006	0,008	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,20
283	0,012	0,006	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,01	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,21
284	0,015	0,037	0,009	0,002	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,029	0,171	0,007	0,022	0,001	0,001	0,001	0,24
285	0,007	0,004	0,001	0,003	0,001	0,002	0,004	0,002	0,001	0,002	0,005	0,084	0,001	0,007	0,001	0,002	0,002	0,30
286	0,001	0,010	0,005	0,019	0,006	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,022	0,169	0,006	0,015	0,001	0,002	0,002	0,25
287	0,011	0,010	0,012	0,050	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,016	0,084	0,024	0,020	0,001	0,001	0,001	0,40
288	0,006	0,015	0,003	0,040	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,001	0,020	0,006	0,010	0,013	0,001	0,002	0,001	0,25
289	0,001	0,006	0,005	0,005	0,001	0,001	0,003	0,001	0,002	0,001	0,005	0,001	0,008	0,019	0,001	0,001	0,001	0,22
290	0,009	0,025	0,006	0,013	0,001	0,001	0,003	0,001	0,004	0,001	0,022	0,014	0,011	0,025	0,001	0,001	0,001	0,29
291	0,006	0,008	0,014	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,010	0,003	1,149	0,001	0,098	0,001	0,002	0,002	0,25
292	0,005	0,002	0,004	0,010	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,006	0,002	0,002	0,006	0,002	0,002	0,002	0,24
292-1	0,004	0,002	0,003	0,013	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,008	0,001	0,001	0,007	0,001	0,001	0,001	0,25
сред- нее	0,006	0,008	0,005	0,012	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,009	0,082	0,006	0,016	0,001	0,001	0,001	0,23
max	0,016	0,037	0,017	0,050	0,007	0,008	0,006	0,002	0,005	0,010	0,049	1,149	0,024	0,098	0,002	0,002	0,002	0,41
min	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,10
ПДК, ОДК	0,25	0,1	0,7	0,5	0,001	0,02	1,0	0,002	_	0,05	0,3	10	5,0- 1,0	7	_	0,1	0,001- 0,005	0,3-0,5

П р и м е ч а н и е . ПДК, ОДК вод ГОСТ 2874-82, ГН 2.1.5.1315-03; прочерк — ПДК и ОДК не установлены.

Значительный объем загрязнения атмосферы города исходит от 26 котельных в связи с повышенным расходом топлива и низким КПД его сжигания. Очистные агрегаты на стационарных источниках выбросов практически отсутствуют. В среднем за год в атмосферу от стационарных источников предприятий г. Северобайкальска поступает 3,1 тыс. т загрязняющих веществ, в том числе: твердых веществ - 1,1 тыс. т; окислов азота -0,2 тыс. т; углеводородов – 0,0005 тыс. т. В атмосферном воздухе города среднегодовая концентрация диоксида азота составила 1,2 ПДК, взвешенных веществ 1,1 ПДК, по диоксиду серы и оксиду углерода ПДК не превышались. Основной вклад в выбросы диоксида азота в атмосферу вносят НГИ – 10, локомотивное депо, Северобайкальский ДРСУп Горкоммунэнерго (85,8%),(12,2%). Вклад автотранспорта в валовые выбросы загрязняющих веществ тавляет 6,5 %.

В п. Нижнеангарск валовой выброс вредных веществ в среднем за год составляет около 3 тыс. т/г. В поселке функционируют 22 котельных, в которых сжигается черемховский уголь. При ежегодном расходе около18 тыс. т угля в атмосферу ежесуточно выбрасывается 5,3 т золы, 2,5 т оксида углерода, 1,3 т диоксида серы.

По данным снегогеохимического опробования снежный покров Северобайкальского промышленного узла имеет преимущественно нейтральную среду: рН изменяется от 6,4 до 7,0, минерализация от 11 до 27 мг/л. Установлены повышенные содержания SO₄, NO₃, PO₄ K, Na, NH₄, Mo, Mn, Ba, Al, Pb, Ni, Cu, V, Cr, Fe, Si, Sr и нефтепродуктов – превышающие фоновые значения в 55, 6, 12, 4, 6, 9, 3, 5, 3, 4, 4, 8, 3, 3, 5, 5, 14, 6 и 2 раза соответственно вблизи населенных пунктов Северобайкальск и Нижнеангарск (табл. 2, 3).

Высокие содержания нитритов, сульфатов, фосфора, калия и натрия установлены на побережье Байкала от устья р. Турка до Баргузинского залива, превышающие фон в 20, 12, 8 и 3 раза.

По данным опубликованных материалов [1, 8, 9, 12] наибольшее загрязнение снежного покрова Республики Бурятия наблюдается рядом с промышленными предприятиями и котельными городов

Улан-Удэ, Гусиноозерск, Петровск-Забайкальск, Кяхта и других, расположенных в буферной зоне БПТ. Однако существенного влияния непосредственно через атмосферу на озеро Байкал они не имеют вследствие удаленности, особенностей метеорологических условий и орографических препятствий.

Таким образом, на северном побережье оз. Байкал формируется единая зона распространения атмосферных загрязнений, вытянутая вдоль оз. Байкал. Площадь ее для города Северобайкальска ориентировочно составляет 150 км, а для п. Нижнеангарска — 60 км. Несмотря на то, что содержание отдельными примесями имеет тенденцию к снижению, уровень загрязнения воздушного бассейна продолжает оставаться высоким.

Заключение

Анализ проведенных работ в Северной котловине оз. Байкал выявил контрастные аномальные содержания SO₄, превышающие фоновые значения в 55 раз; NO_3 – 5,9; PO_4 – 11,6; K – 3,7; Na – 6,1; NH_4 – 8,9; Mo – 2,7; Mn – 4,6; Ba - 3,4; Al - 4,2; Pb - 3,5; Ni - 8; Cu - 3; V - 2.5; Cr - 5; Fe - 5.4; Si - 14; Sr - 6.1; нефтепродуктов - 2,3 раза вблизи городов Нижнеангарска и Северобайкальска. Концентрации NH₄, Рb и нефтепродуктов в снеге превышают санитарно-гигиенические нормы в 2,7 и 2 раза соответственно. Основной вклад в загрязнение атмосферы вносят предприятия строительных материалов, котельные и автотранспорт. Загрязнение имеет локальный характер.

атмосферного возду-Загрязнение ха акватории оз. Байкал по результатам снегомерных съемок и химико-аналитических работ отмечается вблизи прибрежных населенных пунктов Северобайкальск и Нижнеангарск. Фоновые содержания изученных химических элементов и веществ в Байкальском регионе низкие, ниже ПДК в десятки - тысячи раз. По некоторым компонентам ощущается дефицит. Результаты полевых исследований и химико-аналитические работы согласно санитарно-гигиеническим требованиям показывают относительно удовлетворительное современное состояние окружающей среды в Северной котловине оз. Байкал.

Список литературы

- 1. Белоголовов В.Ф. Геохимический атлас г. Улан-Удэ. – Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1989. – 52 с.
- 2. Белозерцева И.А., Матушкина О.А. Загрязнение атмосферы // Экологически ориентированное планирование землепользования в Байкальском регионе. Байкальская природная территория. Иркутск: ИГ СО РАН, 2002. С. 31–37.
- 3. Воробьева И.Б., Напрасникова Е.В., Власова Н.В. Эколого-геохимическая оценка системы: снег на льду лед подледная вода оз. Байкал // Ледовые и термические процессы на водных объектах России. Архангельск: Институт водных проблем РАН, 2007. С. 87–90.
- 4. ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». 2003. http://www.infosait.ru/norma_doc/41/41363/index.htm.
- 5. ГОСТ 17.1.3.07-82. Охрана природы. Гидросфера. Правила контроля качества воды водоемов и водотоков. 1983. http://docs.cntd.ru/document/1200012472.
- 6. ГОСТ 17.1.5.05.85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков (дождь, роса, снег, град, изморозь). М.: Государственный комитет России по гидрометеорологии и контролю природной среды. 1985. http://www.docload.ru/Basesdoc/9/9215/index.htm.

- 7. Государственный доклад о состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2006 г. МПР РФ, Федеральная служба по надзору в сфере природопользования. М.-Иркутск: Сибирский филиал ФРУНПП «Росгеофонд», 2007. 420 с.
- 8. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2011–2013 году». Министерство природных ресурсов и экологии РФ. 2012–2014. http://www.mnr.gov.ru/regulatory/list.php?part=1101.
- 9. Михеева А.С. Загрязнение атмосферы // Антропогенная трансформация природных систем и социально-экономические последствия в бассейне реки Селенги. Министерство образования и науки Российской Федерации, Бурятский государственный университет, Байкальский институт природопользования СО РАН. Улан-Удэ, 2012. С. 124—133.
- 10. Нечаева Е.Г., Белозерцева И.А., Напрасникова Е.В., Воробьева И.Б., Дубынина С.С., Давыдова Н.Д., Власова Н.В. Мониторинг и прогнозирование вещественно-динамического состояния геосистем сибирских регионов. Новосибирск: Наука, 2010. 315 с.
- 11. Семенов А.Д. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеоиздат, 1977.-486 с.
- 12. 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. C. 185-191.

УДК 911.52:528.94

ИНДИКАЦИЯ ГОРНЫХ ГЕОСИСТЕМ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ

Бражников М.Л.

ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: brazhnikov max@mail.ru

В статье рассмотрены теоретические основы индикации горных территорий по космическим снимкам для отображения исследуемых природно-территориальных комплексов на карте геосистем. Данные космических съёмок раскрывают структуру, динамику и направление преобразования горных геосистем. Выявлены наиболее характерные индикаторы природно-территориальных комплексов для территорий с высокой геодинамической активностью, позволяющие наиболее полно и достоверно отображать геосистемы гор на картах. Процесс исследования осуществляется на основе анализа систем дешифровочных признаков: яркостных, геометрических, текстурных и косвенных. Спектральный и временной диапазон космических съемок выступает критерием дифференциации качественно различных объектов, а анализ фототона, структуры или текстуры изображения космических снимков дает возможность выявлять определенную базу данных, которая затем переводится в теоретический блок знаний. Карты такого типа позволяют отобразить пространственно-временные взаимосвязи как межкомпонентной структуры ландшафтов, так и взаимосвязь между ландшафтами, связанными потоками вещества и энергией.

Ключевые слова: индикация, космоснимок, дешифровочный признак, геосистема

INDICATION OF MOUNTAIN GEOSYSTEMS TO SATELLITE IMAGES Brazhnikov M.L.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: brazhnikov max@mail.ru

The article deals with the theoretical basis of indication of mountain areas on satellite images for mapping study natural complexes on the map geosystems. Data space shootings reveal the structure, dynamics and direction of the transformation of mountain geosystems. Revealed the most typical indicators for areas with a high geodynamic activity, allowing the most complete and reliable display Geosystems mountains on the maps. The research process is based on analysis systems interpretive features: brightness, geometry, texture and indirect. Spectral and temporal range of satellite imagery in favor of differentiation criterion qualitatively different objects, and analysis fototona, structure or texture of satellite images allows the image to identify a specific database is given, which is then translated into a theoretical unit of knowledge. Maps of this type make it possible to display spatial and temporal relationship as intercomponent landscape structure and the relationship between the landscapes associated flows of matter and energy.

Keywords: indication, satellite image, interpretive signs, geosystem

Современное развитие космических технологий привело к широкому использованию космической информации для решения различных научных и практических задач, в том числе и для развития современного картографирования геосистем. Космические снимки служат источником для исследования, отображения и картографирования пространственно-временных данных. Карта геосистем, созданная на основе космических снимков разного масштаба и разрешения, является хорошей базой для решения различных географических задач, т.к. она отображает не только пространственные характеристики геосистем, но и их изменения во времени, тем самым показывает их динамику. Пространственно-временной характер отображения природно-территориальных комплексов на космических снимках (КС) позволяет экстраполировать материалы локальных наземных полевых исследований. В конечном итоге данные космических съёмок раскрывают структуру, динамику и направления преобразования геосистем.

С другой стороны, отображенный участок местности, дополненный наземными точечными и линейными полевыми данными, повышает точность карт и, соответственно, эффективность проводимых исследований.

Индикация и определение основных индикативных свойств геосистем

Наиболее универсальной формой представления информации при космических исследованиях является снимок – изображение, полученное в результате дистанционной регистрации техническими средствами собственного или отраженного излучения Земли. Он предназначен для обнаружения, качественного и количественного изучения объектов, явлений и процессов путем дешифрирования, измерения и картографирования. КС рассматривается как метрическая картинно-образная модель местности. Генерализованный характер изображения составляет важное свойство снимка как модели, который имеет много общего с образно-знаковой моделью – картой [3].

Термин «геосистема» введен в научную географическую литературу В.Б. Сочавой и означает «особый класс управляющих систем; земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определённая целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом» [5, с. 292]. Другими словами, геосистема — это совокупность взаимосвязанных компонентов географической оболочки, объединённых потоками вещества, энергии и информации.

Один из первых шагов, которые необходимо провести при создании карт геосистем на основе космических снимков, — это определение основных индикаторов и индикативных признаков природно-территориальных комплексов (ПТК).

Индикация — методы и приёмы наблюдения, фиксации, контроля, характеристики и оценки состояния и стадий развития различных процессов, объектов и систем исследования для установления и контроля зависимостей от изменения условий во времени, статистики количественного и качественного порядка, сопоставления с нормой. Иными словами, индикация — это определение индиката с помощью индикатора, т.е. определение труднонаблюдаемых компонентов ландшафта по его внешнему облику [1].

Ландшафтная индикация — совокупность методов оценки состояния природнотерриториальных комплексов, отдельных их компонентов и протекающих в них процессах по легко доступным для непосредственного наблюдения компонентам или аэрофотоснимкам/космоснимкам.

Индикатами могут служить не только отдельные компоненты ПТК и их свойства, но и протекающие в них процессы. При этом существуют три вида такой индикации:

- индикация процессов, происходивших в ПТК в прошлом и прекратившихся к настоящему времени;
- индикация процессов, протекающих в настоящее время;
- индикация процессов, которые будут происходить в будущем.

Наиболее распространенной разновидностью индикации процессов является стадийно-синхронная индикация, представляющая собой распознавание с помощью ландшафтных индикаторов характера и направленности процессов, протекающих в настоящее время. Индикаторами в этом случае выступают экто-

ярусы ландшафтно-генетических рядов. Эктоярус – верхний ярус, образован физиономическими компонентами, участками открытой почвы, поверхностью водоемов и следами деятельности человека. Эктоярус может быть беспрепятственно наблюдаем при маршрутных исследованиях, а также наиболее явно отображается на аэрофотоснимках/космоснимках.

Выбор «центрального» индикатора горных геосистем

Следующим этапом является определение ландшафтно-генетических рядов. Ландшафтно-генетическими рядами называются ряды, образованные природно-территориальными комплексами, расположенными в пространстве в той последовательности, в какой эти комплексы сменяют друг друга во времени. Каждый ПТК, входящий в такой ряд, отражает определенную стадию процесса. При этом ландшафтно-генетический ряд не обязательно должен представлять единый сопряженный комплекс на одном профиле, а может быть скомпонован путем описаний на нескольких участках.

Опыт показывает, что от применяемого подхода к дешифрированию КС зависит и эффективность исследований. Несомненно, что некоторая часть результатов, полученных разными способами, совпадает, однако есть и много различий, вплоть до противоречивых. Иногда полученные выводы трудно сравнивать в силу выбора неодинаковых элементов, которым придается особое, «центральное», значение. В результате такого рода анализа выявляются несколько наиболее информативных признаков, по которым производится дальнейшее деление территории, классификация геосистем [3].

Чаще всего в качестве «центрального» фактора выбирается рельеф, биота, литогенная основа либо почвенный покров на лишенных древесно-кустарниковой растительности пространствах. Вместе с тем вопрос о ведущем факторе в индикационных исследованиях до сих пор не решен, т.к. не получено бесспорных доводов в пользу его выбора. Это связано с тем, что на разных территориях основным или центральным фактором может быть принят разный фактор, например, в силу отсутствия того или иного элемента ПТК или в случае наиболее выраженного из выбираемых компонентов. Так же выбор может зависеть от цели производимых исследований. Противоречие сглаживается развитием разных индикационных направлений. Вместе с тем проблема ведущего компонента неразрешима по следующим причинам: изменение любого элемента геосистемы оказывает влияние на все остальные; воздействие геосистемы на другие формируется с участием всех ее элементов; придание тому или иному компоненту ведущей роли фактически влечет за собой сведение целого к части, т.е. к редукции [3].

Дистанционные исследования индикации геосистем базируются на представлении о том, что отражательные и излучательные характеристики объектов являются не только индикационными дешифровочными признаками, но и свойствами природы, сформировавшимися в течение длительной эволюции, которые играют существенную роль в функционировании геосистем [2].

Процесс исследования осуществляется на основе анализа систем дешифровочных признаков: яркостных, геометрических, текстурных и косвенных. Спектральный и временной диапазон космических съемок выступает критерием дифференциации качественно различных объектов, а анализ фототона, структуры или текстуры изображения КС дает возможность выявлять определенную базу данных, которая затем переводится в теоретический блок знаний. При этом параметр «текстура» (структура изображения + характерный рисунок) относится в целом к геосистеме, а яркостные и геометрические показатели применимы непосредственно лишь к отдельным ее компонентам. Косвенные признаки (особенности смежности, соседства, взаимосвязей) характеризуют дешифрируемый опосредованно [4].

Дешифровочные признаки геосистем делятся на три группы:

- 1) *прямые* свойства объектов, непосредственно проявляющиеся на поверхности Земли и отображающиеся в виде набора характеристик дистанционного изображения;
- 2) косвенные свойства объектов, непосредственно не выраженные на поверхности, но тем или иным образом связанные с набором прямых признаков;
- 3) контекстуальные (топологические) свойства объектов земной поверхности, выявляющиеся для текущего объекта при анализе признаков его окружения.

Косвенные и контекстуальные признаки имеют непосредственное отношение к процедурам индикации. Кроме того, признаки дешифрирования обладают различной индикационной способностью или степенью достоверности. Далеко не всегда прямые признаки оказываются более достоверными

по сравнению с косвенными и контекстуальными. Однако число косвенных и контекстуальных признаков дешифрирования практически всегда существенно превышает число прямых. Следовательно, оперируя ими, можно более уверенно подтверждать гипотезу отнесения текущего объекта к тому или иному классу легенды.

Индикаторы геосистем и их компонентов (ландшафтно-индикационный метод)

Геосистемы на космических снимках выделяются как специфическими особенностями их строения в целом, так и физиономическими особенностями компонентов природной среды — рельефа, растительности, почв и т.д. При дешифрировании геосистем используют различные индикаторы, по тематическому типу они подразделяются на гео-, лито-, почво-, био-, гидро- и другие [4].

Одним из важнейших элементов геосистем, а значит, и наглядным индикатором является рельеф, особенно на участках поверхности Земли с его резкой расчленённостью, т.е. в горных территориях.

Рельеф и его элементы являются основополагающими индикаторами внутреннего строения горного ландшафта, основанием для его детальной сегментации. Элементы рельефа возникли в результате взаимодействия атмо-, гидро-, крио- и биосферы с геологической средой и процессов внутри последней. Рельеф разрушения (деструктивный) формируется при воздействии различных экзогенных процессов на субстрат при изменении климатических условий или смене групп агентов разрушения.

Рельеф характеризует условия увлажнения, дренажа, влияет на интенсивность склоновых процессов и накопление минеральных, органических веществ, их перенос, почвообразование, характер почв. Указанные взаимосвязи позволяют использовать элементы рельефа в качестве геоиндикаторов.

Элементы рельефа в виде осевых хребтов и их отрогов чётко отображают и характеризуют конфигурацию водотоков, отражая особенности сети речных долин, которые также являются хорошими индикаторами.

Литогенный фактор в различных климатических и неотектонических условиях проявляет разные свойства субстрата. Демаскирующие свойства рельефа зависят от степени различия эрозионной и денудационной устойчивости субстрата, размеров транспортируемых обломков, значений пористости, способности к размоканию

и набуханию пород, типов агентов денудации. Близость этих свойств и характера их распределения внутри смежных геологических тел предопределяет их неразличимость в характеристиках поверхности. Площади, занятые такими монотонными комплексами горных пород, наиболее неблагоприятны для дешифрирования. Контрастность свойств смежных тел определяет их особое отражение в рельефе.

Например, литофицированная толща с мелкослоистым распределением свойств дешифрируется плохо, реже удовлетворительно: могут быть выделены системы трещин, разрывы, фрагментами складчатая структура, оценено общее простирание. Толща, сложенная пачками горных пород с различным распределением свойств, характеризуется анизотропией слоистого типа: могут быть установлены границы между пачками, складчатая структура, системы разломов и трещин — дешифрируемость хорошая.

Под воздействием *тектонического* фактора формируются:

- 1) первично-тектонические поверхности, возникшие в результате разрыва сплошности пород и выхода на поверхность крыла разрыва;
- 2) деформации поверхностей аккумулятивного рельефа, образованного в процессе денудации (сноса, удаления и накопления продуктов физико-химического выветривания) и др.

Элементы гидрографии являются индикаторами литокомплексов, зон трещиноватости, дробления, разломов, что выражается в густоте и рисунке речной сети, аномальных изгибах или, наоборот, прямолинейности долин. Речная сеть на космических снимках распознается до 5–6-го порядка. Древовидный тип сети отражает наклонное или горизонтальное залегание слоев, радиальный — антиклинальное или синклинальное строение, параллельный — параллельно согласное направление структур, решетчатый свойствен складчатым областям с удлиненными складками.

Растительность и почвы демаскируют участки фронта выветривания (т.е. полосы между выветрелой и невыветрелой горной породой) на литифицированных, кристаллических породах, что отражается в структуре однородного растительного покрова или в характере размещения растений с разной развитостью вегетативных органов. Экспозиция склонов и их крутизна также выражены соответствующей растительно-

стью, связанной с количеством солнечной энергии, мощностью почвенного покрова, его составом и т.д.

Заключение

Вопросы оценки состояния горных геосистем затронуты в аэрокосмических исследованиях достаточно мало. Развитие методов индикации геосистем является одним из приоритетных направлений дистанционного зондирования Земли.

Каждый вид дистанционной съемки дает свою специфическую информацию о геосистемах: фотографический - хорошо выявляет детальную плановую структуру, но плохо – видовой состав и ритмику; многоспектральный – видовой состав и ритмику, но хуже - структуру и привязку; тепловой и радиотепловой - некоторые физические и геометрические параметры. Различия в характере местности и её свойствах, соотношение прямых и косвенных признаков, созданных разными факторами, определяет выбор космической информации и методов ее дешифрирования. Связи индикаторов и демаскируемых ими объектов всегда вероятностны. Чем строже и определеннее они оценены, тем достовернее результат дешифрирования, максимально отвечающий целям, задачам и тематической направленности исследования. При комплексном изучении различных геосистем особое внимание уделяется интеграции данных о природной среде. Дистанционная индикация является одним из методов, при котором интеграция осуществляется в процессе образования электромагнитного сигнала.

Лишь совокупное использование различных дистанционных методов, а также полный и правильный выбор индикаторов обеспечивает получение многосторонней информации о геосистемах — составе, ритмике, динамике, плановой структуре и геофизических характеристиках.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00902).

Список литературы

- 1. Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация. М.: Наука, 1985. 96 с. (Человек и окружающая среда).
- 2. Виноградов Б.В. Преобразованная земля. М.: Наука, 1984. 213 с.
- 3. Коновалова Т.И. Геосистемное картографирование. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. 186 с.
- 4. Ландшафтно-интерпритационное картографирование / Т.И. Коновалова, Е.П. Бессолицина, И.Н. Владимиров и др. Новосибирск: Наука, 2005. С. 424.
- 5. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 320 с.

УДК 622

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПЛАНИРОВАНИЯ ГДИС ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

¹Воробьева Е.С., ²Севастьянов А.А.

¹Филиал ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» «КогалымНИПИнефть», Тюмень, e-mail: VorobevaES@tmn.lukoil.com;

 2 ФГБОУ BO «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, e-mail: contact@ogtcentre.ru

В данной работе представлено обоснование необходимости применения комплекса гидродинамических исследований скважин (ГДИС). Приведены этапы планирования и задачи гидродинамических исследований. Выявлены наиболее характерные осложнения при проведении гидродинамических исследований скважин на нестационарных режимах фильтрации. Произведен анализ основных методик оценки времени наступления радиального притока для вертикальных скважин. На основе фактических данных выполнена сравнительная оценка прогнозируемого времени начала радиального притока жидкости в скважину по представленным методикам с использованием различных программных комплексов. Рассмотрена взаимосвязь времени наступления радиального притока от дебита, на котором скважина работала перед КВД. Разработана методика для оперативного планирования гидродинамических исследований скважин на стадии поисково-разведочных работ или на начальной стадии разработки месторождений.

Ключевые слова: гидродинамические исследования скважин (ГДИС), поисково-разведочные работы, КВД, время наступления радиального притока, правило Чена и Бригхэма

OPTIMIZATION OF THE PLANNING PROCESS HYDRODYNAMIC STUDIES FOR THE CONDUCT OF EXPLORATION

¹Vorobeva E.S., ²Sevastyanov A.A.

¹Branch of OOO «LUKOIL-Engineering» «Kogalymnipineft Tyumen»,

Tyumen, e-mail: VorobevaES@tmn.lukoil.com;

²Federal Budget Educational Institution of Higher Education «Tyumen Industrial University»,

Tyumen, e-mail: contact@ogtcentre.ru

This paper presents the rationale for applying a set of wells hydrodynamic research (whdr). Given the planning stages and objectives of well testing. The most typical complications during well testing on unsteady filtration modes. Analysis of the main methods of estimating the time of onset of radial inflow to vertical wells. Evidence-based comparative assessment of the predicted start time of a radial inflow of fluid into the well according to the presented methods using various software packages. To investigate the relationship between time of occurrence of radial inflow from the flow rate at which the well is worked prior to KVD. Developed a methodology for operational planning of well testing at the stage of exploration or at the initial stage of field development.

Keywords: hydrodynamic investigations of wells (well testing), exploration, KVD, the time of onset of the radial inflow, the rule of Chen and Brigham

Одним из условий получения достоверных данных по результатам гидродинамических исследований скважин (ГДИС) является планирование и соблюдение технологии проведения исследований. Планирование ГДИС включает выбор метода и технологии исследований, компоновки оборудования, способа дренирования пласта, оценку длительности работы скважины перед остановкой на исследование [1].

При проведении поисково-разведочных работ имеются ограниченные сведения о свойствах пласта, пластовом давлении и насыщающих его флюидов. Зачастую в такой ситуации планирование исследований не проводится, что в свою очередь снижает качество ГДИС и приводит к ошибкам в определении фильтрационно-ёмкостных свойств (ФЕС) пласта.

Основными задачами при планировании исследования являются обеспечение выхода скважины на установившийся режим и длительность КВД, обеспечивающая регистрацию данных на радиальном режиме фильтрации.

При решении данных задач необходимо учесть основные факторы, определяющие качество ГДИС:

- геологический особенности строения пласта, свойства флюида, режим залежи, режим эксплуатации скважины [3], система разработки;
- технический состояние внутрискважинного оборудования, корректность работы исследовательского оборудования;
- технологический технология проведения ГДИС.

Технологический фактор является наиболее распространенным, к нему можно отнести недовосстановленность до пластового давления, т.е. недостаточную длительность исследования. Критерием восстановленности является наступление радиального притока, характеризующего работу пласта, и на стадии разведки, и начальной стадии эксплуатации время его не известно.

Невосстановленные исследования можно условно разделить на три категории:

- исследования с достаточной продолжительностью регистрации давления на радиальном режиме. По этим исследованиям возможно достоверно или оценочно определить фильтрационно-емкостные свойства пласта и пластовое давление;
- кратковременные исследования являются некондиционными и отбраковываются на начальном этапе;
- промежуточные категории исследований, на наш взгляд, не стоит отбраковывать, по ним возможно смоделировать поведение давления в скважине с помощью известных симуляторов. И на вероятном уровне оценить фильтрационно-емкостные свойства и пластовое давление.

Для решения задачи в условиях неопределенности рассмотрим метод аналогий с использованием накопленного опыта проведения ГДИС в условиях аналогичных коллекторов, который подразумевает:

- а) использование исходных параметров по аналогии;
- б) адаптацию результатов фактических исследований и ретроспективных данных ГДИ скважин с аналогичными горно-геологическими условиями.

В статье на примере ряда месторождений, приуроченных к одному району, представлен анализ адаптации результатов интерпретации фактических и ретроспективных результатов ГДИ (КВД, КВУ и КПД):

- 1. Анализ существующих методик расчета наступления радиального притока.
- 2. Апробация методики определения времени наступления радиального притока жидкости в скважину на примере КВД.

Существует ряд методик по расчету времени наступления и окончания радиального притока, характеризующего работу пласта. Однако при его расчете возникают сложности в учете: проницаемости, множественных разломов, локальной трещиноватости, высокой расчлененности, пониженного пластового давления, наличия газовой шапки и многого другого.

В работе рассмотрены основные методики оценки времени наступления радиального притока для вертикальных скважин:

1. Приближенная формула, учитывающая коэффициент влияния ствола скважины и коэффициент продуктивности, представленная в [1]:

$$t_r \approx 680 \frac{C}{K_{\text{прол}}}, \tag{1}$$

где t_r — время начала участка радиального течения на диагностическом графике, ч; C — коэффициент влияния ствола скважины, м³/атм; $K_{\rm прод}$ — коэффициент продуктивности, (м³/сут)/атм.

2. Эмпирические приближения, предложенные в [2] для бесконечного радиального пласта, в зависимости от знака \pm скин фактора:

$$t_r = \frac{C\mu}{kh} \cdot F(S) = \begin{cases} 9973(S+10), & S \ge 0; \\ 26497(S+4,3), & -3 < S < 0, \end{cases}$$
(2)

где S — скин фактор, ед.; k — проницаемость, мД; h — эффективная толщина пласта, м; μ — вязкость, мПа·с.

3. Безразмерное выражение для исследований методом падения давления в добывающих скважинах (КСД – кривая стабилизации давления), а также при закачке, представленное в [2]:

$$t_D = (60 + 3,5S)C_{D'} (3)$$

где t_D — безразмерное время наступления радиального притока; C_D — безразмерный коэффициент влияния ствола скважины.

4. Правило Рамея (Ramey HJ Jr):

$$t_r = \frac{(26526 + 1547 S)C}{\binom{kh/\mu}{\mu}}.$$
 (4)

Безразмерное выражение для исследований методом восстановления давления, представленное в [5]:

$$t_D = 50C_D e^{0.14S}. (5)$$

5. Правило Чена и Бригхэма (Chen and Brigham):

$$t_r = \frac{22105Ce^{0.14s}}{\binom{kh/\mu}{\mu}} \ . \tag{6}$$

Дополнительная формула [5] для скважин после ГРП с учетом размеров трещины после гидроразрыва пласта:

$$t_r = \frac{2X_f^2 \phi \mu c_t}{0.00036k} \,, \tag{7}$$

где X_f — полудлина вертикальной трещины, м; ф — пористость, д.ед.; c_t — общая сжимаемость, 1/атм.

6. Формула [4] для скважин с трещиной ГРП конечной проводимости с учетом безразмерной проводимости и размеров трещины:

$$t_r = \frac{5e^{(-0.5\pi F_{cd})^{-0.6}} X_f^2 \phi \mu c_t}{0.00036k},$$
 (8)

где F_{cd} — безразмерная проводимость трещины

$$F_{cd} = \frac{k_f w}{X_f k} \,, \tag{9}$$

где k_f — проницаемость трещины, мД; w — ширина трещины, м; X_f — полудлина вертикальной трещины, м.

Проведена сравнительная оценка прогнозируемого времени начала радиального притока жидкости в скважину по представленным методикам (таблица). Из расчета были исключены методы 3, 4 и 5: методы 3 и 4 предназначены для исследований КСД и КПД, 5 метод — для расчета безразмерного времени наступления притока.

Использовались фактические кривые восстановления давления с закрытием на устье фонтанных скважин с предварительно отработанных на штуцерах. Интерпретация КВД проводилась с помощью компьютерных программ ПО Saphir Карра Engineering, Мониторинг-ГДИС Ресурсы и Технологии.

Из таблицы следует, что минимальная погрешность между фактическим и прогнозируемым временем начала радиального притока жидкости в скважину получена по методике (6) Чена и Бригхэма (Chen and Brigham). Таким образом, для условий рассматриваемого района можно пользоваться (6). Если месторождение находится на стадии разведки либо на начальной стадии эксплуатации, то формулой (6) можно пользоваться, взяв параметры (коэффициент влияния ствола скважины, скин фактор, проницаемость, динамическая вязкость) по аналогии с соседними объектами, при этом надежность оценки напрямую будет зависеть от корректности аналогии.

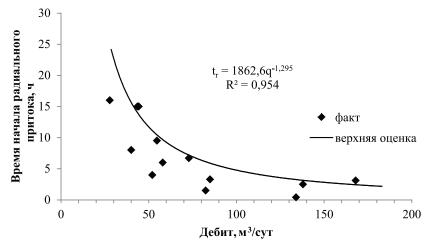
Рассмотрев взаимосвязь времени наступления радиального притока от дебита, на котором скважина работала перед КВД (рисунок), следует отметить наличие степенной зависимости. Рекомендуется использовать верхнюю оценку t_p (10) и оптимизировать время исследования по методу (6) с появлением достоверных данных.

$$t_r = 1862,6q^{-1,295}. (10)$$

Таким образом, уравнение (10) можно использовать на стадии разведки и начальной эксплуатации при планировании ГДИС для условий рассматриваемого района, т.е. при минимальных сведениях о скважине и пласте. Данная степенная зависимость справедлива для дебита в интервалах от 25 до 170 м³/сут.

Сравнение расчетов нахождения времени начала радиального притока жидкости в скважину по разным методикам

№ π/π	Дебит, м ³ /сут	<i>k</i> , мД	<i>S</i> , ед.	μ, мПа·с	$h_{\stackrel{\mathrm{3}}{ ext{-}} \stackrel{\mathrm{h}}{ ext{-}} \stackrel{\mathrm{h}}{ ext{-}} \stackrel{\mathrm{h}}{ ext{-}} }$	<i>С</i> , м ³ /атм	Время иссле- дова- ния, ч	<i>t_r</i> , факт,	аль в с	ет вре ного г кважи	риток ну по	По- греш- ность, %		
1	82,5	64,8	5	1,70	17,8	0,03	12,7	1,5	5,9	5,9	1,8	7	8	18
2	54,7	28,9	-3	1,92	8,4	0,03	35,9	9,5	41,8	22,8	9,5	_	_	0,5
3	85,0	93,4	-3,5	2,20	11,6	0,08	9,1	3,3	6,6		2,1	0,1	0,2	36,8
4	40,0	48,5	-4,4	1,92	8,0	0,15	31,7	8,0	41,4	_	8,6	4,9	9,9	7,7
5	168,0	112,7	-3,7	1,38	6,4	0,10	12,5	3,1	8,4	_	2,7	_	_	13,6
6	27,8	7,6	-3	1,55	10,6	0,06	19,7	16,0	44,1	١	16,1	_	_	0,6
7	43,6	35,5	5,3	1,15	8,1	0,09	25,6	15,0	69,9	54,7	16,9	_	_	12,9
8	44,3	8,1	5	0,74	16,2	0,06	25,6	15,0	63,5	50,0	15,1	_	_	0,7
9	52,0	127,0	-3,4	3,14	2,6	0,03	23,7	4,0	5,6	_	4,4	_	_	8,7
10	72,9	28,1	-5	2,00	3,1	0,03	29,5	6,7	15,5	ı	6,4	122,5	201,4	5,1
11	138,0	28,6	-2	2,15	17,7	0,03	25,9	2,5	7,1	6,7	1,9	_	_	26,1
12	58,0	53,0	4	2,16	8,9	0,03	23,7	6,0	23,2	21,5	6,0	_	_	0,6
13	134,0	872,0	2,3	1,99	7,2	0,04	13,0	0,4	1,6	1,4	0,3	_	_	14,3



Зависимости реального времени начала радиального притока от дебита скважины

Предлагаемая зависимость применима для оперативной оценки времени наступления радиального притока для вертикальных поисково-разведочных скважин, на которых была проведена кратковременная отработка (время закрытия скважины на КВД меньше в 5 раз времени отработки).

В случаях исследования скважин с использованием оборудования для закрытия скважины на забое, либо при длительной эксплуатации скважины перед проведением исследования на нестационарных режимах фильтрации с периодом более чем в 5 раз превышающим время КВД применимость метода не рассматривалась.

Список литературы

- 1. Корпоративное методическое руководство по проведению и интерпретации гидродинамических исследований скважин для условий терригенных и карбонатных пластов месторождений Группы «ЛУКОЙЛ». Редакция 1.0 М.: ОАО «ЛУКОЙЛ», 2012.
- 2. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1987. 840 с.
- 3. Медведский Р.И., Севастьянов А.А. Комплексная оценка упругого запаса нефтяной залежи с учетом законтурной воды // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. -1998. -№ 3. -C. 33–42.
- 4. Технический стандарт ТНК-ВР. Гидродинамические исследования скважин. M_{\odot} 2011.
- 5. Эрлагер Роберт мл. Гидродинамические исследования скважин. Перевод с английского А.В. Щебетова / под ред. д.т.н., профессора М.М. Хасанова. М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2006. 512 с.

УДК 550.832+550.849

ТЕХНОЛОГИЯ СОВМЕСТНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ГИС И ЭКСПРЕСС-ГЕОХИМИИ ДЛЯ ПОИСКОВ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕДНОГО ОРУДЕНЕНИЯ

Глушкова Т.А., Лефтон О.Л., Талалай А.Г., Шинкарюк И.Е.

ООО Концерн «НЕДРА», Екатеринбург, e-mail: groupnedra@mail.ru

Основной задачей поисков и прогнозирования месторождений является выделение на изучаемой площади аномального по комплексу свойств (геологических, геохимических, геофизических) объекта. Прогнозная оценка на перспективность оруденения осуществляется по методу аналогии путем сравнения с эталоном. В основу технологии положен анализ современного состояния геолого-геофизических работ, в том числе: физико-геологических моделей объектов поисков, эффективности применяемых геолого-геофизических критериев поисков и прогноза, эффективности применения комплексов геофизических и аналитических методов. По результатам проведенных исследований разработана технология совместного применения ГИС и экспресс-геохимии для прогнозирования медноколчеданного оруденения. Применение разработанной технологии, включающей методы ГИС (каротаж) и экспресс-геохимические исследования, позволяет осуществлять прогноз скрытого медноколчеданного оруденения с расстояния 250–300 м от рудного тела. Отличительной особенностью предлагаемой технологии является экспрессность получения заключения о перспективности разреза и возможность оперативного управления геологоразведочным процессом.

Ключевые слова: месторождение, технология, экспресс-геохимия, медное оруденение, комплексный анализ, каротаж

JOINT TECHNOLOGY OF GIS AND EXPRESS GEOCHEMISTRY TO SEARCH FOR AND COPPER MINERALIZATION PREDICTION

Glushkova T.A., Lefton O.L., Talalay A.G., Shinkaryuk I.E.

Co Ltd «Nedra», Ekaterinburg, e-mail: groupnedra@mail.ru

The main objective of the search fields and forecasting is to identify in the study area on the complex anomalous properties (geological, geochemical, geophysical) object. The forecast of a promising mineralization is carried out by the method of analogy, by comparison with the standard. The basis of the technology on the analysis of the current state of geological and geophysical work, including physical and geological models of objects of searching, the efficiency of applied geological and geophysical criteria searches and forecast the effectiveness of complex geophysical and analytical methods. The results of the research developed by the joint application of GIS technology and the rapid geochemistry to predict massive sulfide mineralization. Application of the technology, including GIS methods (logging) and express geochemical studies, allows hidden forecast chalcopyrite mineralization at a distance of 250–300 meters from the ore body. A distinctive feature of the proposed technology is the rapidity of obtaining the opinion of the cut prospects and the possibility of operational management of exploration process.

Keywords: deposit, technology, rapid geochemistry, copper mineralization, complex analysis, logging

С целью повышения эффективности поисков работ для ряда месторождений рудных полезных ископаемых разработаны прогнозно-поисковые комплексы, включающие наземные геофизические и геохимические исследования, а также методы скважинной геофизики.

Разработка новой технологии проводилась с целью определения возможности использования методов геофизических исследований скважин (ГИС) (каротажа) в комплексе с экспресс-геохимическими исследованиями для прогнозирования скрытого оруденения в околоскважинном пространстве.

В основу технологии положен анализ современного состояния геолого-геофизических работ, в том числе: физико-геологических моделей объектов поисков; эффективности применяемых геолого-геофизических критериев поисков и про-

гноза; эффективности применения комплексов геофизических и аналитических методов [1–4, 8].

По результатам проведенных исследований разработана технология совместного применения ГИС и экспресс-геохимии для прогнозирования медноколчеданного оруденения.

Основной задачей поисков и прогнозирования месторождений является выделение на изучаемой площади аномального по комплексу свойств (геологических, геохимических, геофизических) объекта. Прогнозная оценка на перспективность оруденения осуществляется по методу аналогии путем сравнения с эталоном. Для разработки технологии поисков и прогноза медноколчеданного оруденения за эталонные объекты приняты Западно-Озерное, Ново-Учалинское и Камаганское месторождения, по которым проведено изучение пространственного распределения концентраций породообразующих окислов, рудных и радиоактивных элементов, магнитных свойств и плотности, кажущегося сопротивления, естественной радиоактивности и ядернофизических параметров горных пород, а также анализ графиков высокочастотных составляющих физических полей и автокорреляционных функций. На основании этого установлены критерии локального прогноза оруденения по дан-

ным ГИС (каротаж) и экспресс-геохимии по скважинам (табл. 1).

Основными из них являются:

— Петрохимические, проявляющиеся в преимущественном образовании в надрудной толще пород зон выноса легких петрогенных окислов SiO_2 , K_2O , зон привноса Na_2O , Al_2O_3 и тяжелых окислов (CaO, FeO), а также в закономерном изменении с глубиной коэффициентов корреляции в парах K_2O-Na_2O , $SiO_2-Al_2O_3$, SiO_2-Z_{ab} .

Таблица 1 Основные критерии локального прогноза оруденения по данным ГИС и экспресс-геохимии

Критерии	Закономерности изменения петрохимических, геохимических, физических параметров в надрудной толще пород	Количественная характеристика изменений относительно нормального фона
Петрохими- ческие	Вынос породообразующих окислов с расстояния 250–600 м от рудного тела: $\begin{array}{c} {\rm SiO}_2 \\ {\rm K_2O} \end{array}$	-10-15 % -50-100 %
	Привнос породообразующих окислов с расстояния $250{\text -}600$ м от рудного тела: ${\rm Na_2O}\atop {\rm Al_2O_3}$	+20-30% +10%
	Закономерное уменьшение значений коэффициентов корреляции с расстояния $350{\text -}500$ м от рудного тела в парах: $SiO_2{\text -}Al_2O_3$ $K_2O{\text -}Na_2O$ $SiO_2{\text -}Z_{3\varphi}$	0,4480–0,8858 0,1666–0,3130 0,5762–0,9668
Геохимиче-ские	Первичные ореолы повышенных концентраций элементов-индикаторов на расстоянии 350–700 м от рудного тела Си Zn Pb As	в 2–6 раз в 2–6 раз в 3–10 раз в 2–4 раза
	Первичные ореолы пониженных концентраций элементов- индикаторов на расстоянии 350–700 м от рудного тела: Ва	в 5 раз до полного выноса
Петрофизи- ческие	Интервалы аномально низких значений магнитной восприимчивости пород с включением локальных зон с аномально высокими значениями æ на расстоянии до 300–700 м от рудного тела	в 5–10 раз и более
	Интервалы пониженной плотности горных пород	-3-10%
	Интервалы низких значений кажущегося сопротивления	в 3–5 раз ниже измененных пород
	Высокие значения параметра δZ^* на диаграммах локальных неоднородностей поля КС	в 3–5 раз выше фоновых значений
	Сглаженная (низкоамплитудная) форма графиков автокорреляционной функции поля КС	
Ядернофизи- ческие	Закономерное уменьшение нейтронных параметров с расстояния 250–500 м	
	$\left[egin{array}{c} L_s \ L_d \ t \end{array} ight]$	на 10–15 % на 15–25 % на 50–60 %

Примечание. ${}^*\delta Z$ — параметр, определяемый в результате статистической обработки диаграмм КС и ГК.

- Геохимические, связанные с образованием первичных геохимических ореолов рудных элементов (Cu, Zn, Pb, As, Ba) в породах надрудной толщи.
- Петрофизические, обусловленные преобразованиями материнских пород под воздействием процессов рудообразования и характеризующихся аномально низкой магнитной восприимчивостью, небольшим снижением плотности по глубине скважин, низкими значениями кажущегося сопротивления.
- Ядернофизические, характеризующиеся снижением диффузионных и замедляющих характеристик (L_s , L_d , au) пород и повышением $Z_{\rm эф}$ по мере приближения к рудному телу.

Технологическая схема проведения работ базируется на комплексных геологогеофизических исследованиях:

- выполнение комплекса ГИС с последующей обработкой и интерпретацией материалов;
- отбор геохимических проб из керна или шлама скважин, их обработка и экспресс-анализ на элементы-индикаторы;
- комплексный анализ данных ГИС и экспресс-геохимии, получение заключения о возможном наличии оруденения в околоскважинном или подзабойном пространстве.

Комплекс геофизических исследований скважин включает методы каротажа, реализуемые в непрерывных режимах со скоростью 100–800 м/ч – КС, ГК, КМВ, ГГК-П, ГГК-С, ННК, НАК (Al, O), а также дискретные модификации методов НАК-Na и ГК-С.

Последовательность выполнения методов ГИС определяется экономичностью, производительностью и эффективностью выявления поисковых признаков объектов.

Технология выполнения комплексных геолого-геофизических исследований реализуется в 3 этапа. На I этапе предусматривается выполнение методов стандартного каротажа (КС, ГК) и экспресс-геохимии. При неопределенности заключения о наличии оруденения по результатам первого этапа производятся исследования скважин II этапа – КМВ, ГГК-П, ГГК-С, ННК. Каротажные работы III этапа – НАК и ГК-С – наиболее трудоемкие и выполняются при неоднозначности информации, полученной на первых двух этапах. Методы НАК и ГК-С заменены экспресс-петрохимическими определениями содержаний Al, Si, Na и K на экспрессном рентгенфлуоресцентном анализаторе. Для анализа могут быть использованы пробы, отобранные для экспресс-геохимических исследований.

Комплексный анализ результатов исследований производится в соответствии с этапами проведения работ. В первую очередь анализируются результаты стандартного каротажа (КС, ГК) и экспресс-геохимии. Результаты последующих исследований (КМВ, ГГК-П, ГК-С, ННК, НАК и ГК-С) анализируются совместно с данными, полученными на первом этапе.

В настоящей работе технология применения ГИС и экспресс-геохимии реализована в два этапа: ГИС (КС, ГК) + рентгено-спектральный флуоресцентный анализ (РСФА).

Рассмотрим примеры выделения рудных тел вышеназванными методами.

Метод кажущегося сопротивления (КС)

В качестве индикаторных признаков наличия оруденения в подзабойном или околоскважинном пространстве используются абсолютные значения ρ_{κ} , а также диаграммы локальных неоднородностей, характеризующие локальные изменения кажущегося сопротивления по разрезу скважины.

Результаты измерений ρ_{κ} представляются в виде диаграмм по разрезам отдельных скважин или в виде планов изоом в вертикальной плоскости бурового профиля.

О потенциальной продуктивности разреза и возможном наличии оруденения в околоскважинном пространстве свидетельствуют следующие особенности поля ρ_{κ} :

- преобладание в надрудном геоэлектрическом разрезе низкоомных образований, характеризующихся общим снижением сопротивления горных пород в 2–3 раза;
- резко дифференцированная до сплошной изрезанности форма диаграмм локальных неоднородностей с аномальными значениями параметра δZ ;
- низкоамплитудная, сглаженная форма графиков автокорреляционной функции (рис. 1).

Метод гамма-каротажа (ГК)

Результаты ГК по отдельным скважинам представляются в виде диаграмм или карт изолиний у-активности пород в плоскости разведочного профиля. Наиболее удаленные от рудного тела измененные породы, характеризующиеся выносом окиси калия, выделяются снижением радиоактивности в 1,5–2 раза – до 5 мкР/ч. Породы внутренней зоны метасоматоза, граничащие с рудным телом и характеризующиеся

привносом K_2O и небольшими мощностями, отмечаются на диаграммах повышениями гамма-активности до $10~\rm MkP/v$. Аналогичными или близкими значениями естественной радиоактивности характеризуются и неизмененные породы при выклинивании рудного тела.

О возможном наличии промышленного оруденения свидетельствуют концентрации элементов, превышающие фоновые в 2 раза и более.

Распределение аномальных концентраций по глубине скважины может быть относительно равномерным или преобладать в нижней части разреза. Достоверность прогнозирования оруденения повышается при совпадении интервалов аномальных содержаний рудных элементов и интервалов максимальных значений параметра δZ на диаграммах локальных неоднородностей поля КС (рис. 2) вследствие приуроченности ореолов к зонам гидротермально измененных пород.

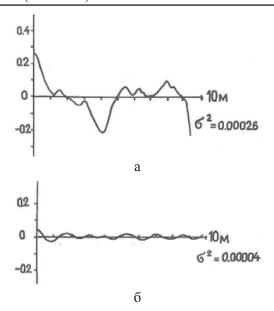


Рис. 1. Форма графиков автокорреляционной функции: а – неизмененные породы; б – измененные породы

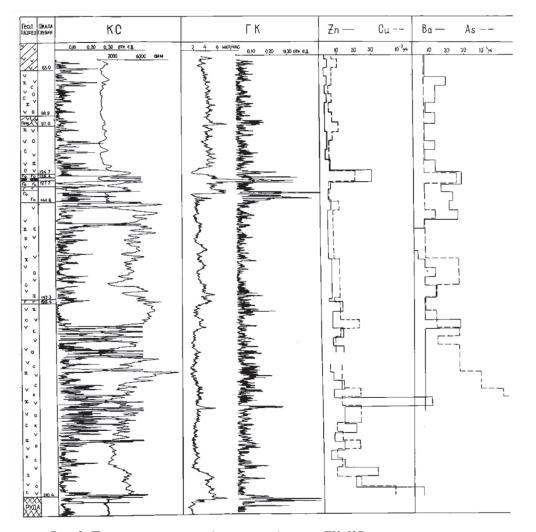


Рис. 2. Прогнозирование оруденения по данным ГК, КС и экспресс-геохимии

При геохимических исследованиях, как правило, изучают распределение рассеянных и рудных элементов в горных породах различного состава. В этом случае задача сводится к определению достаточно широкого круга тяжелых элементов (Z > 26) в легком наполнителе (породообразующие окислы), содержание определяемых элементов находится на уровне < 0,1%. Возможности рентгеноспектрального анализа определяются соотношением пределов обнаружения различных элементов и их кларков. Многолетний опыт использования рентгеноспектрального анализа в геологии свидетельствует, что в большинстве геохимических проб уверенно определяются до 30-35 элементов, кларки и средние содержания которых выше или близки к пределам обнаружения: Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co,Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ba, La, Ce, W, Pb. Задача анализа геохимических проб близка к задачам экологических исследований, когда требуется определение тяжелых и токсичных элементов на уровне ПДК.

При анализе руд задача сводится к определению рудных и ряда сопутствующих компонент. Анализ руд является задачей различной степени сложности:

- 1) руда имеет постоянный по составу наполнитель и небольшой диапазон изменения полезного компонента;
- 2) руда является многокомпонентной, и содержания полезного компонента и наполнителя меняются в значительных пределах.
- В данной работе вместо рентгеноспектрального метода авторами применен более эффективный метод количественного анализа РСФА [5–7, 9].

Предлагаемая методика выполнения измерений содержания элементов в горных породах, рудах и отходах их переработки использует традиционные для РСФА методические приемы и способы учета фона, влияния матрицы и мешающих элементов. Методика предназначена для определения содержаний Cr, Mg, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb, Wo, Rb, Sr, It, Zr, No, Mb в порошковых пробах горных пород, руд и отходов их переработки в диапазонах, указанных в табл. 2.

Методика реализована на сканирующем рентгеновском кристалл-дифракционном спектрометре «Спектроскан».

Применение разработанной технологии, включающей методы ГИС (каротаж) и экспресс-геохимические исследования, позволяет осуществлять прогноз скрытого медноколчеданного оруденения с расстояния

250–300 м от рудного тела. Отличительной особенностью предлагаемой технологии является экспрессность получения заключения о перспективности разреза и возможность оперативного управления геологоразведочным процессом.

Таблица 2 Элементы и диапазоны определяемых содержаний для горных пород, руд и отходов их переработки

Элемент	Диапазон,	Элемент	Диапазон,
Хром	0,005–20	Свинец	0,005-1
Марганец	0,01–20	Вольфрам	0,005-1
Железо	0,01–20	Рубидий	0,005-0,5
Кобальт	0,005-5	Стронций	0,005-0,5
Никель	0,005-1	Иттрий	0,005-0,5
Медь	0,010-5	Цирконий	0,005-0,5
Цинк	0,005-1	Ниобий	0,005-0,5
Мышьяк	0,005-1	Молиб-	0,010-1,0
		ден	

Использование данной технологии при поисках месторождений других типов возможно при создании соответствующей информационной базы и поисковых геологогеофизических моделей.

Список литературы

- 1. А.с. 1609320. Радиометрический способ определения содержания элементов в горных породах / В.Ю. Давыдов, Ю.Б. Давыдов, А.Г. Талалай // Бюл. изобр. от 22.07.1990.
- 2. А.с. 1800425. Способ обнаружения скрытых рудных тел / А.Р. Кучурина, Г.С. Возжеников, Е.С. Кучурин // Бюлл. изобр. от 09.09.1992.
- 3. А.с. 1596949. Способ определения содержания меди и цинка в медных рудах переменного химического состава / В.Ю. Давыдов, Ю.Б. Давыдов, А.Г. Талалай // Бюл. изобр. от 01 06 1990
- 4. Глушкова Т.А., Давыдов Ю.Б., Лефтон О.Л., Талалай А.Г. Ядернофизическое опробование керна буровых и шлака буровзрывных скважин в условиях открытого рудника // Известия вузов. Горный журнал. 2015. № 3. С. 156–163.
- 5. Глушкова Т.А., Талалай А.Г. Применение ядернофизических методов анализа при исследовании природно-техногенных процессов в геологической среде // Горный вестник. 1995. № 4. С. 66–70.
- 6. МВИ № 6-94. Методика определения содержаний элементов в порошковых пробах руд, горных пород и продуктах их переработки методом рентгенофлуоресцентного анализа. Екатеринбург: Испытательный центр, 1994. 20 с.
- 7. Определение основных петрогенных элементов в силикатных горных породах, бокситах, карбонатах и железистых кварцитах флуоресцентным рентгеноспектральным методом. НСАМ № 313-PC. -1990.-35 с.
- 8. Разработка технологии совместного применения скважинных геофизических и экспресс-геохимических методов для поисков и прогнозирования медного оруденения: Отчет о НИР (заключительный). Октябрьский: ВНИИГИС, 1990. 130 с.
- 9. Рентгеноспектральное флуоресцентное определение меди, цинка и свинца способом внутреннего стандарта. HCAM N 310-PC. - 1989. - 28 c.

УДК 553.81

НЕРАВНОВЕСНЫЙ УРАН В ОКОЛОТРУБОЧНОМ ПРОСТРАНСТВЕ КИМБЕРЛИТОВЫХ ТЕЛ ЗОЛОТИЦКОГО ПОЛЯ АРХАНГЕЛЬСКОЙ АЛМАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Киселев Г.П., Яковлев Е.Ю., Дружинин С.В.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН, Архангельск, e-mail: yakovlev eu@inbox.ru

Выполнено исследование изотопного состава урана во вмещающих породах околотрубочного пространства и кимберлитах, а также природных водах в районе Золотицкого кимберлитового поля Архангельской алмазоносной провинции. В околотрубочном пространстве кимберлитовых тел установлен ореол неравновесного урана, размеры которого могут достигать двух диаметров трубок. Установлено, что подземные воды, циркулирующие в околотрубочном пространстве кимберлитовых тел, сопровождаются аномальными активностями дочернего изотопа 234 U по отношению к 238 U. Закономерности пространственного изменения величины $\gamma = ^{234}$ U/ 238 U в подземных водах и породах указывают на их генетическую связь, обусловленную геологическим строением околотрубочного пространства кимберлитовых тел. Закономерности распределения избытков изотопа 234 U хорошо согласуются с данными по тектоническим и вещественным изменениям в породах околотрубочного пространства.

Ключевые слова: эффект Чердынцева — Чалова, кимберлиты, альфа-активность, $^{234}\mathrm{U}/^{238}\mathrm{U}$, Архангельская алмазоносная провинция

NON-EQUILIBRIUM URANIUM IN THE NEAR-CONTACT ZONE OF THE ZOLOTITSKOE KIMBERLITE FIELD OF ARKHANGELSK DIAMONDIFEROUS PROVINCE

Kiselev G.P., Yakovlev E.Yu., Druzhinin S.V.

Federal Research Centre for Integrated Study of the Arctic of the RAS, Arkhangelsk, e-mail: yakovlev eu@inbox.ru

Studies of the uranium isotopic composition in host rocks and kimberlites of near-contact zone were carried out in the Zolotitskoe kimberlite field of the Arkhangelsk diamondiferous province. The aureole of the non-equilibrium uranium was found in the near-contact zone of kimberlite pipes, it size can reach two pipes diameter. It has been established that groundwater circulating in the near-contact zone of kimberlite pipes is accompanied by abnormal activity of ^{234}U daughter isotope. Patterns of the spatial variation of the value $\gamma = ^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ in groundwater and rocks indicate their genetic relationship which is determined the geological structure of the near-contact zone of kimberlite pipes. Regularities in the distribution of excess ^{234}U are consistent with the tectonic and real changes data of the rocks near-contact zone.

Keywords: Cherdyntsev - Chalov effect, kimberlites, alpha-activity, 234U/238U, Arkhangelsk diamondiferous province

К настоящему времени в применении традиционных методов прогноза и поисков месторождений алмазов, таких как магниторазведка, на территории Архангельской области наметился определенный кризис, выражающийся в снижении интенсивности аномалий магнитного поля и приближения к уровню геологических помех. Эффективность магниторазведки при поисках кимберлитовых тел по всей Архангельской алмазоносной провинции (ААП) в настоящее время значительно снизилась [17, 23]. Множество других геофизических и геохимических методов, опробованных для решения задачи поисков коренных месторождений алмазов, не продемонстрировали устойчивую эффективность [2]. В связи с этим особую важность приобретает необходимость разработки новых подходов в решении задач поисков месторождений алмазов и вне-

дрения их в практику поисковых работ. Одним из перспективных подходов выступает разрабатываемый в последние годы рядом исследователей комплекс методов, основанных на заверке слабоконтрастных аномалий по структурно-тектоническому принципу [1, 5, 6, 17]. Главным вопросом при поисках и разведке коренных месторождений алмазов является исследование рудоконтролирующих и рудовмещающих структур. Однако выделение подобных структур традиционными геофизическими методами зачастую не приносит положительного результата в связи с закрытостью территории и слабой проявленностью рудоконтролирующих разломов в физических полях [11]. Важнейшее значение при этом приобретает выделение признаков разломной тектоники и околорудных изменений горных пород непосредственно в разрезах поисковых скважин [11].

Однако выделение признаков разломной тектоники осложняется наличием пластичной кимберлитовмещающей толщи, малоамплитудных тектонических нарушений и «сухих» зон разломов без признаков гидротермальной деятельности [5]. В последние годы решению данной проблемы посвящены ряд исследований, проводимых как на территории Якутской, так и Архангельской алмазоносных провинций [4, 7, 10–14, 26]. Данными исследованиями во вмещающих породах вокруг кимберлитовых тел обнаружены ореолы макро- и микротектоники и новообразования в породах венда-кембрия. Специальная документация керна позволила выделять кимберлитоконтролирующие разломные структуры [14]. В околотрубочном пространстве кимберлитовых тел установлены локальные тектонические элементы, сопровождающие экзоконтакты кимберлитов [5], вещественные изменения пород в виде эндогенного прожилкового осветления [15], а также увеличение концентраций радиационных дефектов в кварцах вмещающих песчаников при приближении к экзоконтактам трубок [9].

Таким образом, перспективным направлением развития методов поисков кимберлитовых тел выступает выделение кимберлитоконтролирующих структур и выявление признаков околотрубочного пространства.

Выполненные нами исследования на примере трубки Пионерская позволили установить в околотрубочном пространстве резкое нарушение равновесия изотопов ²³⁴U и ²³⁸U [27]. Величина изотопного отношения $\gamma = {}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U}$ достигала 3,57, что является аномальным для горных пород, во вмещающих породах, удаленных от трубки, изотопный состав урана равновесный. В ходе этих исследований было установлено, что околотрубочное пространство кимберлитов выделяется по нарушению равновесия отношения активностей четных изотопов урана (эффект Чердынцева – Чалова) [24–25], которое является индикатором проявления геологических процессов, приводящих к фракционированию ²³⁴U и ²³⁸U [15–16]. В свою очередь это создает хорошие предпосылки для использования величины $\gamma = {}^{234}{\rm U}/{}^{238}{\rm U}$ в качестве признака околотрубочного пространства кимберлитовых тел.

Целью работы является изучение особенностей фракционирования четных изотопов урана в околотрубочном пространстве кимберлитовых тел Золотицкого поля АПП для установления возможности выявления признаков кимберлитовых тел по

неравновесному урану. В соответствии с целью исследования была поставлена задача изучения изотопного состава урана в кимберлитах, вмещающих отложениях, подземных и поверхностных водах на территории Золотицкого поля. Данное поле было выбрано ввиду наибольшей изученности среди кимберлитовых полей на территории АПП, в связи с нахождением в его пределах месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова. Кроме этого, наличие разрабатываемых карьеров на трубках Архангельская и Карпинского-1 дает возможность непосредственно исследовать особенности формирования изотопного состава урана в породах околотрубочного пространства. Для решения поставленной задачи были отобраны 45 проб кимберлитов, вмещающих и перекрывающих пород в карьерах трубок Архангельская и Карпинского-1, а также 32 пробы поверхностных и подземных вод по площади Золотицкого поля.

Краткая характеристика района исследования

Золотицкое кимберлитовое поле расположено в 90 км к северо-востоку от г. Архангельска и насчитывает в своем составе десять трубок, образующих цепочку длиной около 20 км с направлением на север-северо-восток (рис. 1). Шесть кимберлитовых трубок — Архангельская, Карпинского-1, Карпинского-2, Пионерская, Поморская, Ломоносова — входят в состав месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова [1, 3, 18].

Вмещающая толща верхнего венда мощностью около 920 м представлена отложениями усть-пинежской, мезенской и падунской свит. Комплекс перекрывающих пород представлен отложениями среднекаменноугольного возраста, общая мощность которых возрастает с юга на север от 28 до 55 м, и четвертичного возраста. Четвертичные рыхлые образования сплошным чехлом перекрывают древние породы. В генетическом отношении — это флювиогляциальные, ледниковые, озерные, озерно-болотные и аллювиальные отложения. Средняя мощность отложений составляет около 35 м.

В вертикальном разрезе кимберлитовые тела имеют форму типичной воронки взрыва с раструбом в верхней части. Трубки Поморская и им. Карпинского-2 и Пионерская относятся к двухкорневым и представляют собой две сближенные трубки с общим раструбом.

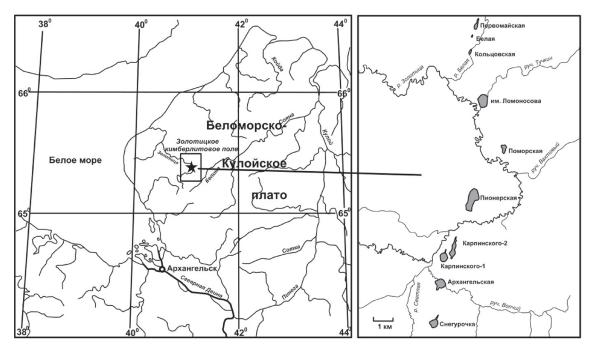


Рис. 1. Местоположение Золотицкого кимберлитового поля ААП

Особенностью гидрогеологического строения территории является отсутствие в разрезе выдержанных по мощности и в пространстве слабопроницаемых отложений, которые могли бы рассматриваться как региональный водоупор [19].

Материалы и методы исследования

Исследование уран-изотопных характеристик в образцах кимберлитов, горных пород и природных вод проводилось с помощью альфа-спектрометрического метода с предварительным радиохимическим выделением [20, 21]. Для одновременного определения содержания урана и его изотопного состава, а также контроля полноты выхода урана из образцов в пробы вносили трассер – искусственный долгоживущий изотоп ²³²U.

Препараты из кимберлитов и горных пород готовили путем измельчения пробы массой $100 \, \mathrm{r}$ до размера фракций $0,075 \, \mathrm{mm}$. Из гомогенизированной таким образом пробы брали навеску массой $10 \, \mathrm{r}$ и подвергали полному растворению воздействием раствора концентрированных кислот HF и HClO₄ в соотношении 4:1. Кимберлитовый материал, содержащий труднорастворимые минеральные включения, дополнительно подвергали спеканию с $\mathrm{Na_2CO_3}$ при температуре $900\,\mathrm{^{\circ}C}$.

Предварительное концентрирование урана из крупнообъемных водных проб (20–30 литров) проводили в полевых условиях с помощью специально подготовленного активированного угля марки БАУ-А, избирательно сорбирующего до 80% урана. Для адсорбции урана из воды в пробы добавляли порошок активированного угля и тщательно перемешивали. После полного оседания угля на дно емкости воду сливали, а уголь с остатками воды отфильтровывали через фильтр «синяя лента», который затем высуши-

вали на воздухе. Десорбция урана с активированного угля осуществлялась в лабораторных условиях путем промывания фильтра с углем горячей соляной кислотой. После десорбции фильтр с углем полностью озоляли в муфельной печи, а золу присоединяли к десорбированному фильтрату и кипятили в течение 20 минут для удаления углекислоты [22].

После полного растворения горных пород и кимберлитов, а также после десорбции угля радиохимическую очистку урана от соосажденных с ним радиоактивных элементов осуществляли методом экстракции трибутилфлосфатом.

Источники для альфа-спектрометрического детектирования готовили путем электролитического осаждения урана на полированные диски из нержавеющей стали диаметром 34 мм. Измерения проводили на полупроводниковом альфа-спектрометре серии «Прогресс».

Результаты исследования и их обсуждение

Изотопный состав и концентрация урана в кимберлитах и вмещающих породах околотрубочного пространства, отобранных в карьерах трубок Архангельская (35 образцов) и Карпинского-1 (10 образцов), характеризуются широким разбросом значений. Точки опробования показаны на рис. 2. Изотопное отношение урана $\gamma^{=234} \text{U}/^{238} \text{U}$ в образцах, отобранных в карьере трубки Архангельская, изменяется в пределах от 0,86 до 1,60. Концентрация урана колеблется в диапазоне 0,61–4,07 г/т. Величина γ в породах трубки Карпинского-1 колеблется от 0,88 до 1,35. Концентрация урана изменяется от 0,28 до 1,78 г/т.

В древних породах, возраст которых более 1 миллиона лет, между четными изотопами урана наступает секулярное равновесие, выражающееся в выравнивании альфа-активностей ²³⁸U и ²³⁴U, по причине преимущественного распада радиогенных атомов урана-234 [2]. Однако во многих исследованных нами образцах древних пород трубок Архангельская и Карпинского-1 изотопное равновесие резко нарушено.

Пространственное положение избытков изотопа ²³⁴U в кимберлитах и вмещающих породах по площади карьеров трубок Карпинского-1 и Архангельская выделено ореолами с величинами у более 1,1. Ореолы неравновесного урана показаны на рис. 2.

Образцы пород на трубке Карпинского-1 были отобраны только в западной части карьера. Равномерность опробования была осложнена тем, что на момент отбора образцов (2014 год) восточный борт трубки не был вскрыт карьером. Максимальные значения величины у в породах околотрубочного пространства трубки Карпинского-1 приурочены к песчаникам и алевролитам венда. Изотопное отношение в них изменяется в пределах 1,17–1,35у. Туф кратерной фации характеризуется изотопным отношением урана ниже равновесного (0,88у). Образец водно-ледниковых отложений четвертичного возраста характеризуется близким к равновесному изотопным составом урана, то же характерно и для песков урзугской свиты карбона.

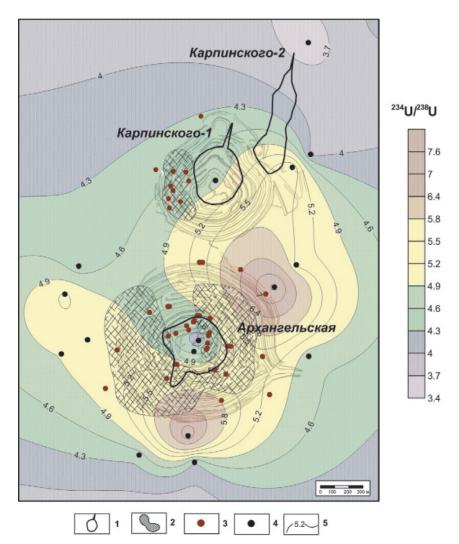


Рис. 2. Величина изотопного отношения $\gamma = ^{234}U/^{238}U$ в подземных водах вендских отложений в районе южной группы трубок месторождения им. Ломоносова, а также ореол неравновесного урана в околотрубочном пространстве трубок Архангельская и Карпинского-1: 1 — контур трубок; 2 — ореол неравновесного урана; 3 — точки отбора проб горных пород и кимберлитов; 4 — точки опробования подземных вод; 5 — изолинии изменения величины у в подземных водах

Ореол неравновесного урана на трубке Архангельская приурочен к околотрубочному пространству и обнаруживается во вмещающих вендских породах и в отложениях кратерной фации находящихся в контакте с вендскими отложениями. Среднее отклонение от равновесия в них составляет 1,27у, достигая значений до 1,6у. В породах урзугской свиты каменноугольного возраста среднее изотопное отношение урана равно 1. Автолитовая брекчия и породы нижнего разреза кратерной фации, характеризуются равновесным изотопным составом урана. В образце четвертичных отложений также отмечается равновесная величина у, что говорит об отсутствии здесь условий для активного разделения изотопной пары урана.

В распределении концентрации урана отмечается ряд особенностей. Для автолитовой брекчии характерна низкая концентрация урана. Это также характерно для пород нижней части кратерной фации трубки. Образцы, представленные алевролитами и песчаниками урзугской свиты венда, характеризуются средним содержанием урана около 1,2 ррт. Содержание урана в образце четвертичных отложений составляет 1,4 ррт. Пространственная картина распределения урана отличается от картины ореола величины изотопного отношения $^{234}U/^{238}U$, однако при этом повышенная концентрация урана также приурочена к вендским отложениям и породам кратерной части на контакте с песчаниками и алевролитами венда. Среднее содержание урана в данных породах около 1,8 ррт.

Причиной резкого нарушения изотопного отношения урана в породах околотрубочного пространства является структурно-геологическая позиция кимберлитовой трубки Архангельская. Это подтверждается результатами исследований в карьере трубки Архангельская, в результате которых в околотрубочном пространстве были зафиксированы разрывные нарушения, сопровождающие экзоконтакты кимберлитов [10]. Тектонические нарушения сопровождают вмещающие и перекрывающие отложения и достоверно установлены в урзугской свите карбона и падунской свите венда. Позднее в красноцветных терригенных породах венда в карьере трубки Архангельская было исследовано прожилковое осветление [12]. В результате детального картирования околотрубочного пространства тр. Архангельская в масштабах 1:500 и 1:5000 было установлено эндогенное происхождение прожилкового осветления по морфологии, минеральному и химическому составам. Размеры ореола распространения секущего осветления достигают диаметра трубки и пространственно имеют схожую конфигурацию с ореолом неравновесного урана.

Прожилки осветления закартированы авторами работы [12] по всему периметру околотрубочного пространства. Эндогенное прожилковое осветление отмечено как непосредственно на тектонических контактах кратерной части трубки, так и на удалении до 300 м от трубки, осветление развивается вдоль трещин и имеет мощность до 20 см.

Распределение ореола неравновесного урана в околотрубочном пространстве, вероятнее всего, также связывается развитием тектонических нарушений на контактах трубки и на некотором удалении от нее. Закономерности распределения избытков изотопа ²³⁴U хорошо согласуются с данными по тектоническим и вещественным изменениям в породах околотрубочного пространства, и природа явления связана именно со структурно-геологическими особенностями трубки. Механизм нарушения изотопного равновесия урана в данном случае может быть объяснен процессами динамики и циркуляции подземных вод по установленным тектоническим трещинам, ограничивающим трубку Архангельская. Изменение режима циркуляции подземных вод в околотрубочном пространстве в результате смешения минерализованных вод вендского комплекса с пресными водами инфильтрационного происхождения создает условия для осаждения урана вокруг трубки. В ходе этих процессов происходит образование минеральных фаз урана, в результате чего происходит современное активное фракционирование изотопов ²³⁴U и ²³⁸U, которое устанавливается по избыткам урана-234 в породах околотрубочного пространства трубки Архангельская. Процессы фракционирования ²³⁴U и ²³⁸U в породах околотрубочного пространства должны приводить к активной миграции ²³⁴U в воду и формированию вокруг трубки ореола с высокими значениями $\gamma = {}^{234} \hat{\rm U}/{}^{238} \rm{U}$. Это в свою очередь определяет необходимость исследования изотопного состава урана в подземных водах, омывающих кимберлитовые трубки.

Приведенные выше факты свидетельствуют о широком развитии признаков околотрубочного пространства в карьере трубки Архангельская. Среди тектонических и вещественных признаков околотрубочного пространства также выделяется

увеличением во вмещающих породах изотопного отношения урана ²³⁴U/²³⁸U. Это позволяет рассматривать величину ²³⁴U/²³⁸U с избытками урана-234 в качестве поискового признака кимберлитовых тел. Аномальное неравновесие изотопной пары урана в сторону увеличения активности ²³⁴U было также обнаружено в керне разведочной скважины трубки Пионерская, приуроченной к околотрубочному пространству [27].

Впервые исследование изотопного состава урана подземных вод, омывающих кимберлитовые трубки, было выполнено на территории Якутской алмазоносной

провинции, в результате чего, были установлены аномальные избытки изотопа 234 U в подземных водах [8]. Высокие избытки величины $\gamma = ^{234}$ U/ 238 U в подземных водах были отнесены к поисковым признакам на кимберлиты. На территории Архангельской алмазоносной провинции аномалии изотопного состава урана подземных вод, циркулирующих в районе кимберлитовых тел, были впервые установлены Г.П. Киселевым (1999) [16]. Эти закономерности говорят о схожем характере формирования изотопного состава урана подземных вод в областях развития кимберлитового магматизма.

Уран-изотопный состав подземных и поверхностных вод Золотицкого кимберлитового поля

№ п/п	Место отбора проб	Концентрация урана, $n \cdot 10^{-6}$ г/дм ³	Изотопное отношение $\gamma = {}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U} \pm 0,02 \text{ Бк/Бк}$									
	Подземные воды 1 Скважина на сев. окраине тр. Кольцовская 0,31											
1	Скважина на сев. окраине тр. Кольцовская	4,54										
2	Скважина на юж. окраине тр. Кольцовская	4,10										
3	Скважина 130А, тр. им. Ломоносова	1,13	5,68									
4	Скважина 16 тр. им. Ломоносова	0,16	3,07									
5	Скважина на зап. границе тр. Пионерская	0,43	5,63									
6	Скважина на тр. Карпинского-1	0,39	4,77									
7	Скважина на сев. границе тр. Карпинского-2	0,29	3,57									
8	Скважина в карьере тр. Архангельская	0,32	4,54									
9	Скважина в карьере тр. Архангельская	0,19	4,05									
10	Скважина ВПС-4 тр. Архангельская	0,39	4,41									
11	Скважина ВПС-6 тр. Архангельская	0,27	5,26									
12	Скважина ВПС-10 тр. Архангельская	0,38	4,92									
13	Скважина ВПС-36 тр. Архангельская	0,36	4,71									
14	Скважина ВПС-24 тр. Архангельская	1,66	4,42									
15	Скважина ВПС-21 тр. Архангельская	2,04	4,44									
16	Скважина ЮАД-3 тр. Архангельская	2,71	7,41									
17	Скважина ЗАД-2 тр. Архангельская	0,79	3,42									
18	Скважина ВАД-2 тр. Архангельская	1,57	7,81									
19	Скважина ВАД-3 тр. Архангельская	2,01	5,40									
20	Скважина ВКД-3	1,56	5,8									
21	Скважина ВКД-2	3,16	3,92									
22	Скважина 2Э Водозабор ГОКа	1,62	7,20									
23	Скважина ЗП Водозабор ГОКа	0,53	5,70									
24	Скважина 1Т	0,77	2,81									
25	Скважина 14Г	0,31	1,99									
26	Родник у нового хвостохранилища	2,01	2,71									
	Поверхностные воды											
27	Р. Золотица	0,24	1,26									
28	Р. Белая	0,42	1,36									
29	Руч. Вахтовый	0,27	1,26									
30	Руч. Тучкин на тр. им. Ломоносова	0,53	2,21									
31	Болото южнее тр. Поморская	0,21	1,15									
32	Болото южнее тр. Поморская	0,49	1,35									

С целью установления закономерностей изменения величины $\gamma = ^{234} \text{U}/^{238} \text{U}$ в природных водах и приуроченности избытков $^{234} \text{U}$ к кимберлитовым телам, в пределах Золотицкого поля были выполнены исследования изотопного состава урана. Пробы природных вод на территории Золотицкого поля отбирались из эксплуатационных и самоизливающихся скважин, а также из рек, ручьев и заболоченных участков. Результаты определений изотопного состава и концентрации урана представлены в таблице.

Как видно из таблицы, значения отношения альфа-активностей четных изотопов урана ($\gamma = ^{234} \text{U}/^{238} \text{U}$) подземных вод в районе Золотицкого кимберлитового поля изменяются от 1,99 до 7,81 γ , а концентрация урана изменяется в диапазоне 0,16–3,16 ppm. Максимальная величина изотопного отношения (7,81) отмечается в скважине ВАД-2, расположенной на северо-восточной окраине трубки Архангельская.

Минимальные величины γ наблюдаются в подземных водах, удаленных от кимберлитовых трубок (скважины 14Γ , 1T и родник у нового хвостохранилища). Изотопное отношение урана в них колеблется от 1,99 до $2,81\gamma$. Изотопное отношение урана в поверхностных водах исследуемого района изменяется в незначительных пределах от 1,15 до $2,21\gamma$. Диапазон изменения концентрации урана в них также незначительный (0,21-0,53 ppm).

Полученные нами данные для большей части проб подземных вод Золотицкого кимберлитового поля демонстрируют аномальный избыток изотопа ²³⁴U по отношению к ²³⁸U, превышающий в среднем 400%. Поскольку основной источник питания подземных вод в данном районе инфильтрационного происхождения, то изотопный состав урана должен быть близок к значениям поверхностного стока с некоторым увеличением в результате перехода подвижных атомов ²³⁴U из водовмещающей толщи. Средний изотопный состав урана подземных вод платформенных областей составляет 1,40-1,80ү [15]. Однако в нашем случае в подземных водах мы наблюдаем резкое возрастание изотопного отношения урана, значительно превышающее величины $\gamma = {}^{234}{\rm U}/{}^{238}{\rm U}$ для подземных вод платформенных областей и поверхностных вод исследуемого района. Поскольку возрастание избытка изотопа ²³⁴U происходит с приближением к кимберлитовым трубкам, то отсюда следует, что подземные воды претерпевают изменения в результате

фильтрации через породы непосредственно в водоносных горизонтах околотрубочного пространства и приобретают аномальную изотопную метку. В ряде случаев высокие изотопные сдвиги урана могут наблюдаться и в поверхностных водах. Так, в пробе воды, отобранной из ручья Тучкин на трубке им. Ломоносова, наблюдается аномальное увеличение отношения активностей изотопов урана до 2,21у, практически в два раза превышающее среднее значение для поверхностных вод данного района. По всей видимости, это объясняется выклиниванием подземных вод вблизи трубки Ломоносовской, характеризующихся высокими изотопными сдвигами и смешением их с водами ручья Тучкин.

Более детально изменение величины отношения четных изотопов урана в подземных водах было исследовано в пределах южной группы трубок месторождения им. Ломоносова: трубки - Архангельская, Карпинского-1, Капринского-2. Пробы представляли собой подземные воды, циркулирующие в пределах вендского комплекса пород в районе куста трубок. Три точки отбора проб расположены в карьерах трубок Архангельская и Карпинского-1 и представляют собой смесь атмосферных осадков и вод из водоносных горизонтов, приуроченных к каменноугольным и вендским отложениям, выклинивающихся на бортах карьеров. Карта изолиний величины $\gamma = {}^{234}{\rm U}/{}^{238}{\rm U}$ показана на рис. 2. Как видно на рис. 2, изменение изотопного отношения урана в подземных водах подчиняется определенной закономерности. Увеличение избытков изотопа ²³⁴U происходит с приближением к границам кимберлитовых трубок. Ореол неравновесного урана формирует вокруг трубок аномалию избытков ²³⁴Ū концентрической формы. Плотная сеть наблюдений вокруг трубки Архангельская отражает приуроченность аномалий изотопного состава урана к околотрубочному пространству. Закономерности пространственного изменения величины $\gamma = {}^{234}U^{/238}U$ в подземных водах и породах околотрубочного пространства трубки Архангельская указывает на их генетическую связь и взаимообусловленность. Процессы активного фракционирования изотопов урана в породах, связанные с геологическим строением околотрубочного пространства, приводят к миграции урана-234 и обогащению подземных вод избытками изотопа ²³⁴U. Возможно, аналогичные изотопные эффекты могут наблюдаться и в пределах разломов

осадочного чехла, контролирующих кимберлиты, поскольку развитые в них зоны трещиноватости также будут приводить к изменению гидрохимических условий циркуляции подземных вод, осаждению урана и миграции изотопа 234 U. Установление возможности таких процессов требует специальных исследований. Однако выявленные закономерности свидетельствуют об очевидной связи аномальных избытков 234 U с кимберлитовыми телами и возможности использования величины $\gamma = ^{234}$ U/ 238 U в качестве поискового признака кимберлитовых трубок.

Заключение

Результаты исследования особенностей фракционирования радиоизотопов на территории Золотицкого кимберлитового поля сводятся к следующему.

В породах околотрубочного пространства установлены избытки изотопа ²³⁴U. Формирование высоких значений величины $\gamma = {}^{234}\text{U}/{}^{238}\text{U}$ обусловлено геологическим строением околотрубочного пространства. Закономерности распределения избытков изотопа ²³⁴U хорошо согласуются с данными по тектоническим и вещественным изменениям в породах околотрубочного пространства. Механизм нарушения изотопного равновесия урана объясняется процессами динамики и циркуляции подземных вод по тектоническим трещинам, ограничивающим трубки. Развитие трещиноватых зон в околотрубочном пространстве к осаждению урана и миграции изотопа ²³⁴U. Ореол неравновесного урана достигает двух диаметров трубки и может рассматриваться в качестве локального поискового признака на обнаружение кимберлитов.

Изотопный состав урана поверхностных вод в районе Золотицкого поля, а также подземных вод, не связанных с кимберлитовыми телами, характеризуется минимальным избытком ²³⁴U, изменяющимся в диапазоне от 1,15 до 2,81 Бк/Бк. Подземные воды, циркулирующие в околотрубочном пространстве кимберлитовых тел, сопровождаются аномальными активностями дочернего изотопа ²³⁴U по отношению к ²³⁸U. Средние значения избытка ²³⁴U превышают 400% по активности. Закономерности пространственного изменения величины $\gamma = {}^{234}\dot{U}/{}^{238}U$ в подземных водах и породах указывают на их генетическую связь, обусловленную геологическим строением околотрубочного пространства. Неравновесный уран с аномальным избытком изотопа ²³⁴U может рассматриваться в качестве идентификационного критерия вод кимберлитовых трубок и выступать поисковым признаком при выявлении новых кимберлитовых тел на территории Зимнебережного алмазоносного района.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 16-35-00153 «Механизмы формирования изотопного состава урана алмазоносных и вмещающих пород кимберлитовых трубок Золотицкого поля Архангельской алмазоносной провинции».

Список литературы

- 1. Андросов Е.А., Вержак В.В., Ларченко В.А. и др. О структурном контроле размещения кимберлитовых тел на примере Архангельской кимберлитовой провинции // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (алмазы-50). СПб.: ВСЕГЕИ, 2004. С. 9–18.
- 2. Бабаянц П.С., Блох Ю.И., Зубов Е.И. и др. Интерпретация аэрогеофизических данных при поисках месторождений твердых полезных ископаемых // Разведка и охрана недр. -2006. -№ 5. -C. 18-26.
- 3. Богатиков О.А., Гаранин В.К., Кононова В.А. и др. Архангельская алмазоносная провинция (Геология, петрография, геохимия и минералогия). М.: Изд-во МГУ, 1999. 524 с.
- 4. Бушков К.Ю. Структура Накынского кимберлитового поля и признаки скрытых сдвиговых кимберлитоконтролирующих структур: дис. ... канд. геол.-мин. наук. М., 2006.
- 5. Васильев И.Д. Геологические структуры в околотрубочном пространстве трубки Архангельская и их использование для поисков коренных месторождений алмазов в Зимнебережном районе: автореф. канд. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – М.: МГРИ-РГГРУ, 2010.
- 6. Вержак В.В., Минченко Г.В., Ларченко В.А. и др. Опыт поисков месторождений алмазов в Архангельской алмазоносной провинции и на сопредельных территориях севера Восточно-Европейской платформы // Проблемы прогнозирования и поисков месторождений алмазов на закрытых территориях: материалы конференции, посвященной 40-летию ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА». Якутск: Издво ЯНЦ СО РАН. 2008. С. 308–314.
- 7. Гладков А.С., Борняков С.А., Манаков А.В. и др. Тектонофизические исследования при алмазопоисковых работах: методическое пособие. М.: Научный мир, 2008. 175 с.
- 8. Ежова М.П., Поляков В.А. Способ поиска кимберлитов в районах проявления кимберлитового магматизма // № SU 970 986, Изобретения СССР, 1981.
- 9. Зарипов Н.Р. Первые данные по радиационным дефектам в осадочных породах Зимнебережного района Архангельской области // Науки о Земле. Современное состояние: материалы II Всероссийской молодежной научнопрактической школы-конференции. Новосибирск: НГУ, 2014.
- 10. Игнатов П.А., Болонин А.В., Васильев И.Д. и др. Складчатые и разрывные деформации во вмещающих и перекрывающих толщах в карьере кимберлитовой трубки Архангельская // Руды и металлы. 2012. № 1. С. 42–48.
- 11. Игнатов П.А., Болонин А.В., Калмыков Б.А. и др. Палеотектонические структуры Зимнебережного алмазоносного района Архангельской области // Бюлл. МОИП. Отд. геол. -2008. -№ 3. C. 13–20.

- 12. Игнатов П.А., Зарипов Н.Р., Ким. В. и др. Типы осветленных красноцветных кимберлитовмещающих пород венда-кембрия Зимнебережного района Архангельской области // Геология и разведка. Известия вузов. 2015. № 2. С. 15—21.
- 13. Игнатов П.А., Новиков К.В., Бушков К.Ю. и др. Реконструкция кинематики разломов на закрытых территориях по данным анализа микронарушений в керне // Геология и разведка. Известия вузов. 2011. N</code> 3. <math>C. 55–60.
- 14. Игнатов П.А., Штейн Я.И., Черный С.Д. и др. Новые приемы оценки локальных площадей на коренные месторождения алмазов // Руды и металлы. -2001. -№ 5. -C. 32–43.
- 15. Киселев Г.П. Прогноз месторождений полезных ископаемых и загрязнения геологической среды уран-изотопными методами: автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. Архангельск: ИЭПС УрО РАН, 2005. 50 с.
- 16. Киселев Г.П. Четные изотопы урана в геосфере. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. – 220 с.
- 17. Коротков Ю.В. К вопросу о выделении и отслеживании разрывных нарушений по характерным изменениям проводимости в толщах осадочных отложений // Геофизические исследования. -2011.-T. 12.-№ 4.-C. 81–92.
- 18. Ларченко В.А., Степанов В.П., Минченко Г.В. и др. Алмазоносность кимберлитов и родственных им пород Зимнего берега // Вестник Воронежского университета. Геология. -2004. -№ 2. C. 134–147.
- 19. Малов А.И., Киселев Г.П. Уран в подземных водах Мезенской синеклизы. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2008.-238 с.

- 20. Методика измерений объемной активности изотопов урана (238U, 234U, 235U) в пробах природных (пресных и минерализованных), технологических и сточных вод альфа-спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой. – М.: ФГУП «ВИМС», 2013. – 15 с.
- 21. Методика измерений удельной активности изотопов урана (238U, 234U, 235U) в пробах почв, грунтов, донных отложений, горных пород и строительных материалов на их основе альфа-спектрометрическим методом с радиохимической подготовкой. М.: ФГУП «ВИМС», 2013. 18 с.
- 22. Методическое руководство по уран-изотопному моделированию динамики подземных вод в условиях активного водообмена. – Бишкек: Илим, 1991. – 88 с.
- 23. Стогний В.В., Коротков Ю.В. Поиск кимберлитовых тел методом переходных процессов. Новосибирск: Изд-во «Малотиражная типография 2D», 2010. 121 с.
- 24. Чалов П.И. Изотопное фракционирование природного урана. Фрунзе: Илим, 1975. 236 с.
- 25. Чердынцев В.В., Чалов П.И. Естественное разделение 234U и 238U // Открытия в СССР. М.: УНИИПИ, 1977. С. 28–31.
- 26. Эринчек Ю.М., Рыхлова Т.И., Валуева Н.И. и др. Детальное литолого-стратиграфическое расчленение падунской свиты венда в Зимнебережном алмазоносном районе // Разведка и охрана недр. 1997. № 11. С. 3-8.
- 27. Яковлев Е.Ю., Киселев Г.П., Дружинин С.В. Неравновесный уран в кимберлитах и вмещающих породах трубки Пионерская месторождения им. М.В. Ломоносова // Вестник САФУ. Серия Естественные науки. 2016. № 1. С. 19–28.

УДК 665.61: 543.51

УГЛЕВОДОРОДНЫЙ СОСТАВ НЕФТЕЙ НЕКОТОРЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Лазарев Д.А., Муравская Ю.А., Гузняева М.Ю., Туров Ю.П.

БУ ВО «Сургутский государственный университет» Ханты-Мансийского автономного округа – Югры, Сургут, e-mail: yuri_tom@rambler.ru

Характеристики химического состава нефтей являются важной и необходимой информацией для решения задач классификации и идентификации нефтяных образцов. В работе приведены результаты исследования группового, гомологического и изомерного состава и их вариаций в образцах некоторых нефтей месторождений Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО). Геохимическая классификация нефтей предусматривает сопоставление содержаний различных классов углеводородов. По соотношению изомеров некоторых классов ароматических углеводородов (метилфенантренов) принято идентифицировать нефти по геохимическим типам. Полученные значения количественных соотношений метилфенантренов в исследованных образцах нефтей ХМАО позволяют отнести их к нефтям пермских отложений. Отмечено, что на состав извлекаемой нефти наряду с геохимическими факторами оказывают влияние техногенные – время эксплуатации отдельных скважин и месторождения в целом, технологии нефтеизвлечения и другие факторы. Изучение состава нефтей проводилось методами газо-жидкостной хроматографии, УФ и ИК спектроскопии, хроматомасс-спектрометрии. При исследовании и сопоставлении состава нефтяных фракций применяли приемы селективной ионной регистрации.

Ключевые слова: нефть, углеводородный состав, геохимические параметры и корреляции

HYDROCARBON COMPOSITION OF SOME OIL FIELDS OF KHANTY-MANSIYSK AUTONOMOUS OKRUG

Lazarev D.A., Muravskaya Yu.A., Guznyaeva M.Yu., Turov Yu.P.

Surgut State University of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug -Yugra, Surgut, e-mail: yuri_tom@rambler.ru

Characteristics of the oil chemical composition is important and necessary information to solve the problems of classification and identification of oil samples. In given work the results of the study group, the homologous and isomeric composition and their variations in the some oil samples of oil fields KhMAO are presented. Geochemical classification of oils provides a comparison of the content of various hydrocarbon classes. From the ratio of the isomers of certain classes of aromatic hydrocarbons (methylphenanthrenes) decided to identify oil geochemical types. The values obtained for quantitative methylphenanthrenes ratios in the oil samples of KhMAO allow them to carry oils of Permian sediments. It is noted that the composition of recoverable oil along with geochemical factors influence man-made – exploration time of individual wells and fields in general, oil recovery techniques and other factors. The study of the oil composition were carried out by gas-liquid chromatography, UV and IR spectroscopy, chromatography-mass spectrometry. Methods of selective ion recording were used under the study and comparison of the oil fractions composition.

Keywords: crude oil, hydrocarbon composition, geochemical parameters and correlation

Скопления нефти и газа обнаружены во всех типах пород и во всех стратиграфических горизонтах на суше и в акваториях. По существу, наша планета является единым нефтяным полигоном. Месторождения углеводородов могут быть открыты в самых неожиданных местах и условиях. Темпы и объемы добычи нефти и газа, а также цены зависят от различных природных, техногенных и рыночных флуктуаций, включая многие геополитические факторы. Открываются новые разнообразные источники углеводородов (традиционные и нетрадиционные), а также создаются инновационные методы и технологии их добычи и утилизации [1].

Нефтегазонасыщенный пласт представляет собой целостную взаимосвязанную систему: породы (минералы) + флюиды

(нефть, газ, вода). Залежь нефти – это «живая» флюидопородная система, поэтому ее поведение подчиняется законам спонтанной саморегуляции.

Существуют различные методы оценки и классификации нефтей, применяемые в геохимии. Гидропиролиз, термическое разложение в присутствии водорода под высоким давлением и катализаторов (Мо), приводит к расщеплению насыщенных и ароматических фрагментов асфальтенов, которые затем доступны для традиционного анализа биомаркеров с использованием газовой хроматографиимасс-спектрометрии и других методов. Эти продукты разложения включают соединения-биомаркеры, используемые для создания генетических корреляций среди образцов, датирования возраста, обеспечивая оценку термической зрелости и разделения нефти [5].

В настоящее время многие методы подвергаются проверке. Так, авторы работы [6] считают, что метод Rock-Eval/TOC может ввести в заблуждение при оценке нефтегазообразования.

Йелью работы являлось сопоставление вариаций группового, гомологического и изомерного состава углеводородов в образцах нефтей близко расположенных месторождений ХМАО и оценка достаточности полученной информации для решения задач классификации и идентификации образцов.

В качестве экспериментального материала были отобраны и обработаны следующие образцы нефтей Угутского (нефть I, PI), Киняминского (нефть II, PIII) и Быстринского (нефть IV, PIV) месторождений.

Предварительное разделение нефтяных образцов методом колоночной адсорбционной хроматографии, предшествующее подробному исследованию углеводородного состава (УВ), проведено по общепринятой в нефтяной геохимии схеме.

Для исследования полученных при адсорбционном фракционировании образцов использовали методы капиллярной газо-жидкостной хроматографии с пламенно-ионизационным детектором (ГЖХ, хроматограф Кристалл 2000 м), хроматомасс-спектрометрии (ГХ-МС, хроматомасс-спектрометр PerkinElmer Clarus 500MS) и спектроскопии ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов (УФ, ИК, спектрофотометры СФ-2000, Shimadzu UV-VIS 2600, PerkinElmer Spectrum 100).

Системное сопоставление состава проводили, начиная со сравнения выходов фракций адсорбционного разделения нефти на колонке с окисью алюминия – гексановой, в состав которой входят свободные углеводороды и неполярные гетероатомные соединения, бензольной («бензольные смолы») и спирто-бензольной (высокополярные «спирто-бензольные смолы»). Состав двух последних фракций, содержащих высокомолекулярные компоненты, охарактеризован методами УФ и ИК спектроскопии.

Основная информация о вариациях состава ароматических углеводородов в исследованных образцах получена методом хроматомасс-спектрометрии. Принадлежность веществ к определенному классу ароматических углеводородов определяли по их полным масс-спектрам путем сравнения экспериментальных и библиотечных спек-

тров или с использованием спектро-структурных корреляций [2].

Так как нефть представляет собой сложную смесь чрезвычайно большого числа углеводородов, идентификация каждого пика - процедура невозможная и практически ненужная. При исследовании и сопоставлении состава нефтяных фракций применяют более эффективные приемы так называемой селективной ионной регистрации. При исследовании ароматических соединений в качестве характеристических ионов целесообразно выбирать молекулярные ионы. В ароматических углеводородах их интенсивности довольно велики, а реконструированные масс-фрагментограммы позволяют сопоставить изомерный состав гомологов каждого класса веществ в разных образцах.

На рис. 1 представлены вариации относительного содержания *н*-алканов и изопреноидов-биомаркеров — пристана и фитана.

На рис. 2 представлены вариации относительного содержания изомеров алкилбензолов с молекулярными массами 106, 120 и 134. Нефти Киняминского и Быстринского месторождений имеют некоторые различия в изомерном составе, например образец PIV (Быстринское месторождение) характеризуется несколько повышенным содержанием изомеров с молекулярной массой 134 и значительно пониженным содержанием изомеров с молекулярной массой 106, по сравнению с остальными нефтями. В нефти Киняминского месторождения (РП) наблюдается повышенное содержание изомеров с молекулярной массой 106.

Содержание нафталинов во всех исследуемых образцах нефти существенно не различается, однако в образце PIV (Быстринское месторождение) количество изомера с молекулярной массой 142 (2-метилнафталин) почти в два раза выше, чем в остальных пробах (рис. 3).

На рис. 4 представлены вариации относительного содержания флуоренов в исследованных нефтях. Образец PIV (Быстринское месторождение) характеризуется повышенным содержанием флуоренов с молекулярными массами 166 и 180, но содержит значительно меньшее количество с массой 194. Образц РІ (Угутское месторождение) по содержанию флуоренов с молекулярными массами 166 и 180 значительно не отличается от образцов PII и РІІІ (Киняминское месторождение), но содержит несколько повышенное количество флуоренов с массой 194.

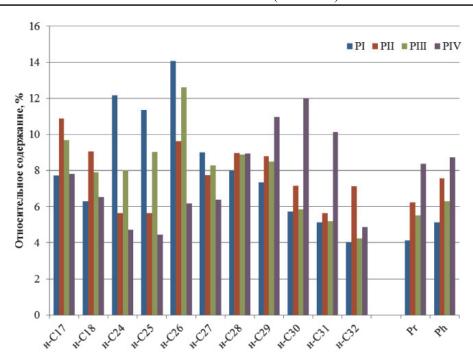


Рис. 1. Относительное содержание н-алканов (н-C17 – н-C32) и изопреноидов (пристан и фитан) в исследуемых нефтях

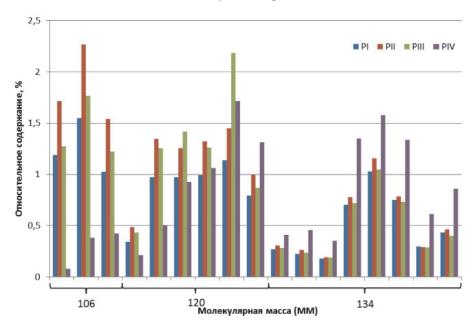


Рис. 2. Относительное содержание алкилбензолов в исследуемых нефтях

Образец PIV (Быстринское месторождение) также характеризуется повышенным содержанием дибензотиофенов и фенантренов относительно остальных образцов, которые между собой существенно не различаются. В литературных источниках имеются примеры решения очень важных геологических задач путем сравнения количественного содержания метилфенантренов. В работе

[4] отношения содержаний 1-метилфенантрена к 9-метилфенантрену (1-MP/9-MP), и 2-метилфенантрена к 1-метилфенантрену (2-MP/1-MP) были использованы для идентификации пермских и юрских нефтей и их смесей при эксплуатации многопластовых месторождений. В таблице приведены литературные и рассчитанные соотношения (1-MP/9-MP) и (2-MP/1-MP). Вариации

1-MP/9-MP в исследованных нефтях не существенны. Диапазон изменения 2-MP/1MP более значим, и это отношение можно использовать для идентификации

нефтей. Значения соотношений 1-MP/9-MP позволяют предположить, что исследованные нефти принадлежат к нефтям пермских отложений.

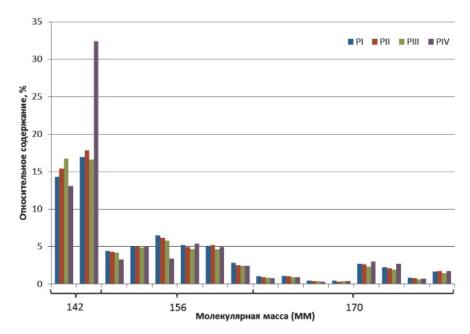


Рис. 3. Относительное содержание нафталинов в исследуемых нефтях

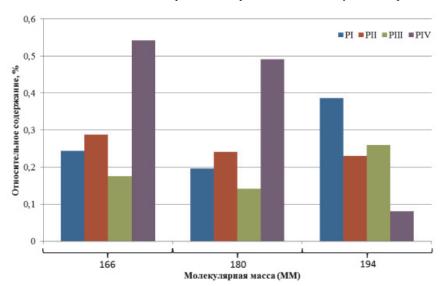


Рис. 4. Относительное содержание флуоренов в исследованных образцах

П-4	Соотношение	изомеров
Нефти	1-MP/9-MP	2-MP/1MP
РІ (Угутское м-р)	0,73	0,79
РІІ (Киняминское м-р)	0,80	0,71
РІІІ (Киняминское м-р)	0,76	0,85
PIV (Быстринское м-р)	0,76	0,73
Пермская нефть*	0,73	1,45
Юрская нефть*	7,66	0,11

Примечание. * – литературные данные (бассейн Эроманга, Австралия) [4].

При исследовании глубинной нефти месторождения Tazhong, бассейн Tarim (Китай), авторами работы [7] было высказано мнение о том, что большинство нефтей месторождения Tazhong являются смешанными, материальный состав и формируется притоком из двух различных горизонтов. Это заключение было основано на результатах анализа изомерного состава биомаркеров и вариациях изотопного состава углерода.

Исследования вариаций состава ароматических соединений позволяют провести идентификацию и классификацию как исходных, так и выветренных нефтей. В работе [3] приведен пример идентификации выветренных нефтей при разливе нефтяного танкера Exxon Valdez в проливе принца Уильяма, штат Аляска (США), путем сравнения изменений количественного состава метилфенантренов в разлитой нефти в течение времени. В ходе исследований было установлено, что остатки разлитой нефти принадлежат трем источникам. Первый источник – нефтяной танкер Exxon Valdez, второй источник – дизельное топливо, вероятно из резервуаров для хранения, поврежденных при землетрясении в 1964 году, третий источник – нефть, просачивающаяся естественным путем.

Таким образом, исследование вариаций состава ароматических углеводородов в нефтях позволяет решить множество очень важных геологических, экологических и экономических задач.

Список литературы

- 1. Запивалов Н.П. Нефтегазовая наука и практика XXI века: новые идеи и парадигмы // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. -2016.-T.327, № 1.-C.79-87.
- 2. Лебедев А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии. М.: Бином, Лаборатория знаний. 2003. 475 с.
- 3. Frances D. Hostettler, Robert J. Rosenbauer, Keith A. Kvenvolden. PAH refractory index as a source discriminant of hydrocarbon input from crude oil and coal in Prince William Sound, Alaska // Org. Geochem. 1999. Vol. 30. P. 873–879.
- 4. Khaled R. Arouri, McKirdy David M. The behaviour of aromatic hydrocarbons in artificial mixtures of Permian and Jurassic end-member oils: application to in-reservoir mixing in the Eromanga Basin, Australia // Org. Geochem. 2005. Vol. 36. P. 105–115.
- 5. Lloyd R. Snowdon. The organic geochemistry of asphaltenes and occluded biomarkers / Lloyd R. Snowdon, John K. Volkman, Zhirong Zhang, Guoliang Tao, Peng Liu // Org. Geochem. 2016. Vol. 91. P. 3–15.
- 6. Soumaya Abbassi. Petroleum potential and kinetic models for hydrocarbon generation from the Upper Cretaceous to Paleogene Latrobe Group coals and shales in the Gippsland Basin, Australia / Soumaya Abbassi, Dianne S. Edwards, Simon C. George, Herbert Volk, Nicolaj Mahlstedt, Rolando di Primio, Brian Horsfield // Org. Geochem. 2016. Vol. 91. P. 54–67.
- 7. Sumei Li. Origin and quantitative source assessment of deep oils in the Tazhong Uplift, Tarim Basin / Sumei Li, Alon Amrani, Xiongqi Pang, Haijun Yang, Ward Said-Ahmad, Baoshou Zhang, Qiuju Pang // Org. Geochem. 2015. Vol. 78. P. 1–22.

УДК 622

ТЕХНОЛОГИЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ НА ТЕРРИТОРИИ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Марахтанов В.П., Топчиев А.Г.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: ecolog_n@mail.ru

Предложена структура геотехнического мониторинга на трассах магистральных газопроводов, эксплуатируемых на территории севера Западной Сибири. Показано, что при организации геотехнического мониторинга на трассах магистральных газопроводов как объектов большой протяженности важное значение имеет учет ландшафтных особенностей окружающей природной среды. Обозначены стадии, объекты, основные задачи и методы, а также результирующие материалы исследований. Установлен комплекс показателей (контролируемых параметров) технического состояния магистральных газопроводов и окружающей природной среды, определяемых в процессе мониторинга. Выполнена классификация типов участков магистральног газопровода в зависимости от опасного природного процесса и способа прокладки газопровода. По каждому участку приведен перечень определяемых контролируемых параметров. Изложенный подход к организации геотехнического мониторинга на трассах магистральных газопроводов подходит, помимо севера Западной Сибири, также и для других регионов с аналогичными природными условиями.

Ключевые слова: магистральные газопроводы, мониторинг, Западная Сибирь, криолитозона

TECHNOLOGY FOR GEOTECHNICAL MONITORING OF MAIN GAS PIPELINES ON THE TERRITORY THE PERMAFROST ZONE OF WESTERN SIBERIA

Marakhtanov V.P., Topchiev A.G.

Moscow State University M.V. Lomonosov, Moscow, e-mail: ecolog_n@mail.ru

The article describes the structure of geotechnical of monitoring of trunk pipelines, which are operated on the territory of the cryolithozone of the North of Western Siberia. It is shown that the organization of geotechnical monitoring of pipelines must be performed taking into account landscape features of the adjacent territory. Here are the stages of the research, objects, tasks and methods. Installed a set of indicators (parameters) of the technical state of gas pipelines and the natural environment, which is determined in the monitoring process. This article gives classification of sections of main gas pipeline, depending on the hazardous nature of the process and Method of installation of the pipeline. In each of the plots is given a list of controlled parameters. An approach to the organization of geotechnical monitoring on the routes of main gas pipelines suitable, in addition to the North of Western Siberia, and also for other regions with similar natural conditions.

Keywords: gas-main pipelines, monitoring, Western Siberia, permafrost

Под геотехническим мониторингом (ГТМ) объектов ОАО «Газпром» понимается «система комплексного контроля, прогнозирования и управления состоянием геотехнических систем с целью обеспечения их надежности на всех стадиях жизненного цикла» [8, п. 3.3]. В данном определении геотехнической системой является инженерный объект совместно с окружающей его природной средой, могущей оказать негативное воздействие на техническое состояние сооружения.

Система ГТМ на любом инженерном объекте может быть достаточно эффективной только при условии правильного выбора контролируемых параметров состояния сооружения и окружающей природной среды и используемых технических средств мониторинга, а также при оптимальном размещении мониторингового оборудования. Последняя задача для площадных объектов (отдельно стоящих зданий и сооружений), имеющих

сравнительно небольшие размеры, решается достаточно просто. Этого нельзя сказать в отношении линейных инженерных сооружений (газопроводов, нефтепроводов, железных дорог и т.д.), которые имеют многокилометровую протяженность и поэтому, в силу технических и экономических причин, не могут быть полностью охвачены наблюдательной сетью. Это особенно актуально для линейных сооружений на севере Западной Сибири с особо сложными условиями строительства и эксплуатации инженерных сооружений.

Техническая сторона вопроса организации ГТМ на магистральных газопроводах (МГ) в настоящее время проработана довольно глубоко путем создания специализированных информационно-аналитических систем контроля [2 и др.] на базе оптико-волоконных датчиков [1, 3 и др.] и интеллектуальных контрольно-измерительных комплексов (ИКИП).

Для выявления участков ГТМ на линейной части МГ в настоящее время главным образом используются данные дистанционных съемок (космической и аэрофотосъемки) земной поверхности - аэрокосмический мониторинг [5, п. 9]. Несмотря на широкий круг задач, решаемых на основе дешифрирования космических снимков и аэрофотоснимков, существуют определенные ограничения, связанные, во-первых, с невозможностью отображения на снимках дефектов технического состояния некоторых элементов конструкции газопровода (нарушения изоляционного покрытия, коррозия металла трубопровода, просветы под трубой и др.) и, во-вторых, с постепенным развитием дефектов, которые в начальный момент эксплуатации МГ на снимках не проявляются. Последнее также относится и к опасным инженерно-геологическим процессам (термокарст, пучение и др.), развивающимся со временем в полосе трассы сооружений. Все это препятствует оперативному созданию сети ГТМ вдоль всей трассы вновь построенного МГ.

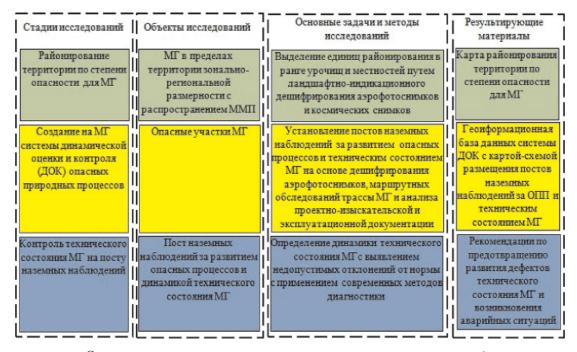
Проблему оптимизации размещения сети ГТМ вдоль трасс МГ и контроля состояния сооружения и прилегающей местности на территории севера Западной Сибири можно решить с использованием специализированной технологии, в основе которой лежит учет влияния опасных природных процессов (ОПП) на техническое состояние

MГ. Предлагаемая структура ГТМ на МГ представлена на рисунке.

Сначала создается карта районирования территории по степени опасности для МГ. Затем на этой карте выделяются участки трассы той или иной степени опасности, на которых создается система динамической оценки и контроля ОПП – система ДОК (рисунок). При создании системы ДОК учитывается степень опасности того или иного участка трассы МГ – безопасные участки не исследуются. Затем по геоинформационной базе данных системы ДОК (рисунок) определяются посты наземных наблюдений за развитием ОПП и техническим состоянием МГ, на которых размещается мониторинговое оборудование. При этом в первую очередь оборудование устанавливается на самых опасных участках трассы МГ. Такая технология позволяет оптимизировать организацию сети ГТМ на МГ в пространственно-временном аспекте.

Организация и функционирование сети ГТМ на МГ выполняются в несколько последовательных стадий (рисунок):

- районирование территории по степени опасности для МГ;
- создание на МГ системы динамической оценки и контроля опасных природных процессов (системы ДОК);
- контроль технического состояния МГ на постах наземных наблюдений за развитием ОПП и динамикой технического состояния газопровода.



Структура геотехнического мониторинга магистральных газопроводов на территории криолитозоны севера Западной Сибири

Каждая стадия характеризуется определенными объектами, основными задачами и методами и результирующими материалами исследований (рисунок). Объект исследования каждой последующей стадии устанавливается на основании анализа результирующих материалов предыдущей.

Подобный подход к организации ГТМ на МГ предлагается для территории криолитозоны Севера Западной Сибири в пределах Надым-Пур-Тазовского региона, где расположена основная часть газовых месторождений и связующая их сеть газотранспортных систем. Для этого региона разработана легенда карты районирования по степени опасности для МГ с использованием критериев оценки местности, учитывающих воздействие ландшафтных условий на техническое состояние линейных инженерных систем [4].

Мониторинг процессов на линейной части магистрального газопровода выполняется в рамках системы динамической оценки и контроля ОПП – системы ДОК, которая организуется на опасных участках трассы ГС как измерительно-информационная система регулярных наблюдений, оценки и прогноза динамики опасных процессов на линейной части магистральных газопроводов ОАО «Газпром» [6]. В основе функционирования системы ДОК лежит использование определенных показателей, которые можно условно назвать контролируемыми параметрами. При этом выделяются две группы контролируемых параметров:

- параметры оценки опасных процессов:
- параметры технического состояния газопровода.

Параметры оценки опасных процессов представляют собой качественные и количественные показатели, используемые для решения следующих задач:

- оценки распространенности отдельных форм проявления опасных процессов и масштабности их площадного развития;
- характеристики состояния грунтовой толщи, в которой развиваются процессы;
- оценки скорости (интенсивности) развития опасных процессов;
 - прогноза развития опасных процессов.

Для оценки распространенности отдельных форм проявления опасных процессов на трассе магистрального газопровода используется параметр N_i , равный количеству форм i-го процесса внутри технического коридора газопровода на оцениваемом участке трассы n_i , при-

ходящемуся на единицу площади данного участка трассы:

$$N_i \left[\frac{1}{\Gamma a} \right] = 10^{-4} \frac{\sum n_i}{L_m B_m},\tag{1},$$

где $L_{\scriptscriptstyle m}$ — протяженность оцениваемого участка трассы, м; $B_{\scriptscriptstyle m}$ — ширина технического коридора магистрального газопровода, м. В формуле (1) ширина технического коридора $B_{\scriptscriptstyle m}$ магистрального газопровода в однониточном исполнении, в соответствии с [9, табл. 7], принимается равной 32 м, а при количестве ниток более одной, в соответствии с [9, табл. 8], принимается равной сумме расстояний между соседними нитками 100 м плюс 32 м.

Для оценки масштабности площадного развития процессов на трассе магистрального газопровода можно использовать параметр S_i , равный доли суммарной площади форм i-го процесса внутри технического коридора газопровода на оцениваемом участке трассы s_i от площади данного участка трассы:

$$S_i = \frac{\sum S_i}{L_m B_m}. (2)$$

Для оценки масштабности проявления отдельных форм развития процесса i-го типа на местности контролируемыми параметрами являются: длина конкретной формы l_{ik} ; ширина (средняя, и максимальная) конкретной формы b_{ik} ; глубина (средняя, и максимальная) конкретной формы h_{ik} ; высота (средняя, и максимальная) конкретной формы для процесса криогенного пучения h_{ik} ; площадь конкретной формы процесса s_{ik} ; объем конкретной формы процесса v_{ik} .

Для оценки *опасности* процесса для магистрального газопровода контролируемым параметром является кратчайшее расстояние от края формы или края берега близко расположенного водоема или водотока до боковой образующей газопровода $L_{\rm d}$.

Для характеристики *состояния грунтовой толщи*, в которой развиваются опасные процессы, можно использовать параметры трех типов:

- определяющие мощность грунта, затронутого опасным процессом;
- определяющие свойства грунта, вовлеченного в процесс;
- определяющие температурный режим грунта, вовлеченного в процесс.
- В области распространения мерзлых пород(криолитозоне) мощность грунтовой

толщи, в которой развиваются опасные процессы лимитируют:

- глубина сезонного промерзания ξ_{np} и сезонного оттаивания ξ_{or} грунта;
- глубина многолетнего промерзания $\xi_{np}^{\mbox{\tiny MH}}$ и многолетнего оттаивания $\xi_{or}^{\mbox{\tiny MH}}$ грунта.

К параметрам, определяющим свойства грунта, вовлеченного в процесс, относятся параметры двух типов:

- показатели физико-механических свойств грунтов (литологический состав, влажность, плотность, просадочность, пучинистость);
- показатели теплофизических свойств грунтов (теплопроводность, теплоемкость, теплота фазовых переходов).

По результатам обследования трассы магистрального газопровода в пределах распространения опасных местностей устанавливается сеть наземных постов регулярных наблюдений, охватывающая все участки проявления опасных процессов. В табл. 1 представлена классификация опасных участков (постов наблюдений) трассы магистрального газопровода, учитывающая способ его прокладки и вид опасного процесса.

Влияние опасных инженерно-геологических процессов на техническое состояние магистральных газопроводов оценивается

через пространственно-временную динамику контролируемых параметров технического состояния газопроводов, связанных с воздействием этих процессов. Выбор этих параметров определяется спецификой воздействия того или иного опасного инженерно-геологического процесса на различные элементы конструкции магистрального газопровода (в соответствии с табл. 1).

К числу контролируемых параметров технического состояния газопровода на участках с подземной и наземной прокладкой относятся: протяженность участка проявления процесса вдоль трубопровода L_{z} ; плановое и высотное положение верхней образующей трубопровода h; протяженность участков с размытым обвалованием $L_{\rm o}$; высотное положение уровня воды в траншее $h_{\rm g}$; протяженность обводненного участка траншеи $L_{\scriptscriptstyle \rm R}$; ширина (максимальная) обводненного участка траншеи b_{ij} ; толщина слоя с сохранившимся обвалованием над верхней образующей трубопровода h_{00} ; протяженность участков газопровода с просветом под трубой $L_{\rm nn}$; при наличии постоянного водотока вдоль трубы - протяженность водотока $L_{\scriptscriptstyle{\mathrm{BOJ}}}$, дебит водотока Q, мутность водотока $M_{i}^{3/4}$ состояние изоляционного покрытия трубопровода; в местах с нарушенной изоляцией состояние металла

Таблица 1 Классификация участков контроля технического состояния газопроводов на постах наземных наблюдений

Опасные инженерно-геологические процессы, воздействующие на газопровод	Способ прокладки газопровода	Тип участка
ТЗ – термокарст, заболачивание, подтопление	п – подземный	ТЗп
	Π_{y} – подземный с утяжелителями	ТЗп _у
	наземный в насыпи	ТЗн
	о – на опорах	ТЗо
ПМ – криогенное пучение многолетнее	п – подземный	ПМп
	п, – подземный с утяжелителями	ПМпу
	о – на опорах	ПМо
ПС – криогенное пучение сезонное	о — на опорах	ПСо
ЭЛ – линейная эрозия	п — подземный	ПСп
	$\Pi_{_{y}}$ — подземный с утяжелителями	ЭЛп
ЭБ _в – боковая эрозия вдоль трубы на переходах через водные преграды	п – подземный	ЭБ _в п
ЭБ _п – боковая эрозия поперек трубы, проложенной вдоль берега	п – подземный	ЭБ"п
ЭД – донная эрозия на переходах через водные преграды на участках непроектного положения трубопровода	п _у – подземный с утяжелителями	ЭДп _у
НО – наледеобразование	п – подземный	НОп
	о – на опорах	НОо
КС – криогенный сплыв грунта	п – подземный	СКп
	о – на опорах	СКо

трубы; в местах с язвенной коррозией площадь (S_{κ}) и глубина (h_{κ}) коррозионных язв; в местах применения утяжелителей — число утяжелителей, потерявших устойчивость и опрокинутых n_{κ} ;

В местах балочных переходов газопровода определяются:

- плановое и высотное положение верхней образующей трубопровода h;
- высотное положение оголовков опор свайного основания газопровода $h_{_{\rm on}}$ (с последующим определением величины неравномерного высотного положения свай Δ и обусловленной им деформации ригеля на опорах), смещение оси трубопровода относительно центра ригеля $b_{_{\rm D}}$;
- периметр $D_{_{\mathrm{CB}}}$, толіщина стенки $\delta_{_{\mathrm{CB}}}$ и длина $L_{_{\mathrm{CB}}}$ труб, из которых изготовлены сваи, длина подземной части свай $L_{_{\mathrm{подз}}}$;
- длина части свай в талом $L_{_{\rm T}}$ и мерзлом $L_{_{\rm M}}$ грунте; длина подводной части (в местах переходов через водоемы) свай $L_{_{\rm подв}}$;
- глубина сезонного промерзания $\xi_{\rm M}$, сезонного оттаивания $\xi_{\rm T}$ и температура мерзлого грунта $t_{\rm TR}$ вокруг свай;
- литологический состав, влажность W, плотность талого $\rho_{_{\rm T}}$ и мерзлого $\rho_{_{\rm M}}$ грунта вокруг свай;
- толщина $h_{_{\mathrm{CH}}}$ и плотность $\rho_{_{\mathrm{CH}}}$ снежного покрова вокруг свай.

На крановых узлах с подземным расположением трубопроводов на участках проявления многолетнего пучения или термокарста определяется состояние сварных швов в месте врезки трубопроводов обвязки кранового узла в магистраль.

На участках *подводных переходов* газопроводов через водные преграды с проявлением боковой и донной эрозии выполняются:

- контроль активизации размыва и деформации русла и берегов водоемов и водотоков, оползневых процессов на них в соответствии с требованиями [7];
- определение профиля дна русла с применением реек, лотов или эхолотов;

На участках перехода газопровода в непроектном положении (незаглубленного под дно водоема или всплывшего) определяются:

- высотное и плановое положение верхней образующей газопровода h, в местах применения утяжелителей;
- число утяжелителей, потерявших устойчивость и опрокинутых n_{v} ;
- «висящие» (не опирающиеся на дно водоема) утяжелители;
- состояние изоляционного покрытия и металла газопровода;

 – ледовый режим (толщина ледового покрова, размеры льдин и скорость их подхода к трубопроводу, наличие сала, шуги, зажоров, заторов и навалов льда).

На участках балочных переходов газопроводов через водоемы с устройством свайного основания в пределах водоема определяются: профиль оси перехода; высотное положение оголовков опор свайного основания газопровода (с последующим определением величины неравномерного выпучивания свай Δ и обусловленной им деформации ригеля на опорах); смещение оси трубопровода относительно центра ригеля $s_{\!{}_{\mathrm{D}}}$; периметр $D_{{}_{\mathrm{CB}}}$, толщина стенки $\delta_{{}_{\mathrm{CB}}}$ и длина $L_{\rm cs}$ труб, из которых изготовлены сваи; длина подводной части $L_{\text{подв}}$ свай; длина части свай в талом $L_{_{\mathrm{T}}}$ и мерзлом $L_{_{\mathrm{M}}}$ грунте; температура мерзлого грунта t_{rp} , глубина сезонного промерзания $\xi_{_{\rm M}}$ и сезонного оттаивания $\xi_{_{\rm T}}$ грунта вокруг свай; литологический состав и влажность талого и мерзлого вокруг свай; толщина (максимальная) льда $H_{_{\!{\scriptscriptstyle \Pi}}}$ вокруг свай; площадь водоема $S_{\mathbb{R}}$.

Помимо перечисленных контролируемых параметров, *на всех участках* газопровода, подвергнутых воздействию опасных процессов, в соответствии с [10], определяются:

- толщина стенок и твердости металла трубопровода;
- механические напряжения в металле трубопровода;
- нарушения сплошности металла (прожог, расслоение, неметаллическое включение, раковина, усталостная и стресс-коррозионная трещины, язва, задир, канавка, царапина, плена, рванина, непровар), а также наличие вмятин, гофр, смещений кромок и пр.

Контролируемые параметры технического состояния газопровода и окружающей природной среды на различных типах опасных участков представлены в табл. 2.

Выводы

Организацию геотехнического мониторинга магистральных газопроводов на севере Западной Сибири необходимо осуществлять в несколько последовательных стадий. При этом эффективность мониторинга определяется степенью изученности влияния ландшафтных условий на техническое состояние этих сооружений уже на первой стадии исследований. Основным результирующим материалом на этом этапе является карта районирования территории по степени опасности для магистральных газопроводов, с помощью которой возможна

 Таблица 2

 Контролируемые параметры газопровода и окружающей природной среды на различных типах опасных участков

Тип участ-	0	пас ю-г пр	метј ного еоло оце	о и оги сса	нже чес вде	енеј ког эль	9-		те	Тар ехни сос	иче тоя	ско ния	ΓΟ Ι		l .	сос	гех тоя		еск	ого айн	ого		П	ара	мет	сва	гру йнс опр	ОПО	осн	вод юва	оем	ла я
ка	<i>L</i> п, м	h _в , м	$L_{_{ m B}}$, M	<i>b</i> _в , м	$L_{_{ m BOII}}$, M	<i>Q</i> , л/с	M, г/л	И, М	L ₀₆ , M	h_{00} , M	$n_{_{\mathrm{y}}}$	$L_{ m np}$, M	S_{κ} , cm ²	$h_{_{\mathrm{K}}}$, MM	Δ, см	$D_{_{\mathrm{CB}}}$, M	δ _{cв} , мм	$L_{\rm cB}$, M	$L_{{}_{{}_{{}_{{}_{{}_{{}_{{}_{{}_{{}_{{$	$L_{ m \scriptscriptstyle T}$ M	$L_{_{ m M}}$, M	$L_{\text{подв}}$, M	W	$\rho_{\rm r}$ $^{\rm r/cM^3}$	$\rho_{_{\rm M}}$, $\Gamma/{\rm cM}^3$	$h_{_{\mathrm{CH}}}$, M	$\rho_{_{\mathrm{CH}}}, \Gamma/\mathrm{CM}^3$	Š _м , M	ξ _r , M	t _{rp} , °C	$H_{_{\mathrm{II}}}$, M	$S_{\rm B}, { m M}^2$
ТЗп	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+																		
ТЗпу	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+																		
ТЗн	+	+	+	+				+	+	+	+	+	+	+																		
ТЗо															+	+	+	+	+				+						+	+		
ПМп	+							+	+	+	+													+	+							
ПМпу	+							+	+	+	+													+	+							
ПМо															+	+	+	+	+	+	+		+	+	+			+			+	+
ПСо															+	+	+	+	+	+	+					+	+	+		+		
ЭЛп	+				+	+	+	+	+	+		+																				Ш
ЭЛп	+				+	+	+	+	+	+	+	+																				
ЭБ _в п	+							+	+	+		+																				
ЭБ"п	+							+	+	+		+																				
ЭДп								+			+																					
НОп	+				+	+		+	+	+			+	+																П		П
НОо															+																	
СКп	+							+															+	+					+			
СКо															+	+	+	+	+	+	+											

предварительная оптимизация размещения мониторингового оборудования вдоль их трасс. Дальнейшая детализация полученных результатов дает возможность точного установления наземных постов наблюдений за техническим состоянием магистральных газопроводов и опасных для них инженерно-геологических процессов.

Список литературы

- 1. Великоднев В.Я., Голубин С.И., Николаев М.Л. Геотехнический мониторинг состояния трубопроводов с помощью волоконно-оптических кабельных систем // Международный журнал «Геотехника». 2011. N</code> 5. C. 23–29.
- 2. Дзюба С.А. Информационно- аналитическая система геотехнического мониторинга и управления магистрального газопровода «Ямал Торжок»: автореф. дис. ... канд. техн. наук. M., 2006. -22 с.
- 3. Егоров Ф.А., Неугодников А.П., Велиюлин И.И. и др. Исследование напряженно-деформированного состояния труб магистрального трубопровода с помощью волоконно-оптических датчиков деформации // Территория $\text{HE}\Phi\text{TE}$ - ΓA3 . − 2011. − № 10. − C. 26–29.

- 4. Марахтанов В.П., Великоцкий М.А. Оптимизация размещения проектируемых магистральных газопроводов на севере Западной Сибири с учетом ландшафтных особенностей территории // Трубопроводный транспорт (теория и практика). 2015. № 1. С. 12–15.
- 5. Положение по организации и проведению комплексного диагностирования линейной части магистральных газопроводов ЕСГ. М.: ИРЦ Газпром, 1998. 48 с.
- 6. Р Газпром 2-1.4-780-2014. Система динамической оценки и контроля опасных природных процессов. Методы измерения контролирующих параметров динамической оценки опасности различных типов природных процессов для магистральных газопроводов. -М.: ИРЦ Газпром, 2015. 72 с.
- 7. РД 51-3-96. Регламент по техническому обслуживанию подводных переходов магистральных газопроводов через водные преграды. М.: ИРЦ Газпром, 1996. 73 с.
- 8. СТО Газпром 2.3.1-071-2006. Регламент организации работ по геотехническому мониторингу объектов газового комплекса в криолитозоне. М.: ИРЦ Газпром, 2006. 26 с.
- 9. СТО Газпром 2-2.1-249-2008. Магистральные газопроводы. М.: ИРЦ Газпром, $2008.-70~\mathrm{c}.$
- 10. СТО Газпром 2-2.3-095-2007. Методические указания по диагностическому обследованию линейной части магистральных газопроводов. М.: ИРЦ Газпром, 2008. 51 с.

УДК 551.89:551.799 (571.642)

ПОЗДНИЙ СУБАТЛАНТИК ЮЖНОГО САХАЛИНА

Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г.

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: yurimikishin@fegi.ru

Изучение отложений торфяника на северо-западном побережье оз. Тунайча позволило уточнить характер и хронологию ландшафтно-климатических изменений в конце средней и поздней фазах субатлантического периода голоцена на юге Сахалина. Выделено 6 спорово-пыльцевых комплексов, отвечавших распространению елово-пихтовых лесов (среднесубатлантическое похолодание VI–VII веков), пихтово-еловых лесов с участием широколиственных пород (средневековой климатический оптимум VIII–X веков), лиственничных лесов (похолодание XII–XIV веков), пихтово-еловых лесов с участием широколиственных пород (потепление XIV–XV веков), лесотундры (малый ледниковый период XVI – первой половины XIX веков), елово-пихтовых лесов (начало современного потепления). Потепление XIV–XV веков превышало не толь-ю современный уровень, но и средневековой оптимум, что подтверждается большим участием в его растительности широколиственных пород. Малый ледниковый период был наиболее серьёзным ухудшением климатических условий на Сахалине за весь средний – поздний голоцен. Обнаружен вулканический пепел, выпавший около 600 л.н., принадлежащий, скорее всего, вулкану Раусу на о. Хоккайдо.

Ключевые слова: поздний голоцен, средневековой климатический оптимум, малый ледниковый период, торфяник, спорово-пыльцевой комплекс, палеоландшафт, палеоклимат, вулканический пепел

LATE SUBATLANTIC IN THE SOUTH OF SAKHALIN ISLAND

Mikishin Yu.A., Gvozdeva I.G.

Far East Geological Institute Far Eastern Branch RAS, Vladivostok, e-mail: yurimikishin@fegi.ru

The study of peat-bog in the north-west coast of the Tunaycha Lake allowed clarifying the nature and history of landscape and climate change at the end of the middle and late phases of the Subatlantic Period of the Holocene in the south of Sakhalin Island. There are 6 spore-pollen complexes corresponding to the spread of spruce/fir forests (middle Subatlantic cooling VI–VII centuries), fir/spruce forests with broad-leaved trees (Medieval Warm Period VIII–X centuries), larch forests (cooling XII–XIV centuries), fir/spruce forests with broad-leaved trees (warming XIV–XV centuries), forest-tundra (Little Ice Age XVI–XIX centuries), spruce/fir forests (the beginning of modern warming). Tephra about 600 year's age was discovered, which had fallen, most likely, after the Rausu volcano eruption on Hokkaido Island.

Keywords: late holocene, medieval warm period, little ice age, peat-bog, pollen assemblage, paleolandscape, paleoclimate, tephra

Палеогеография южной части о. Сахалин в позднем голоцене рассматривалась за последние десятилетия неоднократно [1, 3, 5, 7]. Исследования показали, что в течение последней тысячи лет, охватывающей, согласно схеме периодизации голоцена [11], конец среднего и поздний субатлантик, на юге острова происходили резкие смены растительности, вызванные изменениями климата. Их последовательность во многом повторяла климатические колебания, зафиксированные историческими наблюдениями в Европе, Китае и Японии [2, 6]. Они помогли определить время развития палеоклиматических фаз, обнаруженных в основном при изучении верхнего слоя донных осадков оз. Тунайча и не имевших радиоуглеродных определений возраста [5]. Новые результаты, полученные при изучении торфяника на побережье оз. Тунайча, позволили уточнить характер и хронологию ландшафтно-климатических изменений на юге Сахалина в конце средней и поздней фазах субатлантического периода голоцена.

Материалы и методы исследования

Спорово-пыльцевым и радиоуглеродным анализами изучены отложения низинного торфяника «Крестоножка» (46°49′36,0″ с.ш., 143°10′34,8″ в.д.), лежащего на северо-западном побережье оз. Тунайча, вблизи протоки Красноармейской (рис. 1). Образцы торфа для спорово-пыльцевого анализа отбирались с шагом 3 см. Обработка проб выполнялась по стандартным методикам [8]. В каждом образце насчитывалось 300-500 зёрен пыльцы и спор. В общем составе спорово-пыльцевых спектров участие групп пыльцы деревьев и кустарников, фригидных кустарников (кедровый стланик, ольховник и кустарниковые берёзы), трав и кустарничков, а также спор устанавливалось от всего количества обнаруженных микрофоссилий. Содержание компонентов спектра подсчитывалось отдельно в группах пыльцы древесных пород (в том числе и фригидных кустарников), пыльцы трав и кустарничков и спор. Реконструкция палеорастительности проводилась на основе изучения субфоссильных спорово-пыльцевых комплексов Сахалина [4]. Абсолютный возраст отложений определялся в лаборатории палеоклиматологии кайнозоя института геологии и минералогии СО РАН.

Побережье озера Тунайча в районе разреза образовано низкой аккумулятивной террасой высотой около 1 м и шириной не более 40 м, прилегающей к низкогорному массиву. Растительность террасы

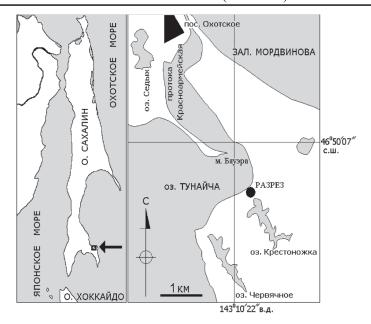


Рис. 1. Схема района исследования и местоположение разреза субатлантических отложений

представлена смешанным лесом из пихты, ели, берёз, рябины и клёна жёлтого, с подлеском из кедрового стланика. На песчаных террасах морского побережья, реже оз. Тунайча встречаются небольшие рощи из дуба и клёна красивого, совместно с зарослями кедрового стланика и тёмнохвойных пород. Окружающие низкогорные массивы покрыты пихтово-еловыми лесами. Климат района умеренный муссонный, с достаточно холодной зимой для столь южного положения территории и прохладным туманным летом. Средняя температура воздуха самого холодного месяца — января — равняется —11,4°, самого тёплого — августа — 17,0°, среднегодовая температура достигает 3,0°, годовая сумма осадков достигает 800 мм [10].

Результаты исследования и их обсуждение

На террасе, в 10 м от берега озера, вскрыты следующие отложения, в см:

- 0-1 лесная подстилка из листьев, хвои и веток деревьев;
- 1–3 торф древесно-кустарничковый плохо разложившийся, тёмно-коричневого цвета с включением крупного песка и мелкого гравия;
- 3-6 торф травяно-кустарничковый, плохо разложившийся, бурого цвета, с корой и ветками деревьев и небольшим содержанием крупного песка и мелкого гравия;
- 6–9 торф мохово-кустарничковый, средне разложившийся, бурого цвета;
- 9–14 торф сильно разложившийся, светло-коричневого цвета, с включением веток деревьев до 5–7 мм в диаметре;
- 14–24 торф тростниково-сфагновый, средне разложившийся, бурого цвета, с прослоем вулканического пепла светло-серого цвета толщиной от 1–2 до 6 мм на глубине 18 см;

- 24–39 торф сильно разложившийся, светло-коричневого цвета;
- 39–45 торф низинный тростниковый, плохо разложившийся, серовато-коричневого цвета;
- 45–48 торф сильно разложившийся, светло-коричневый;
- 48–51 гиттия из семян рдеста, камыша и стеблей водных растений, с мелкозернистым илистым песком синевато-серого цвета;
- 51–57 песок крупнозернистый, с мелким гравием и единичной мелкой галькой, с включением стеблей и корней тростника.

На спорово-пыльцевой диаграмме отложений выделяются следующие споровопыльцевые комплексы (СПК) (рис. 2).

СПК Kr-1 выявлен в песчано-гравийных отложениях прибрежного мелководья оз. Тунайча, в интервале 51-57 см. В общем составе комплекса преобладает пыльца деревьев и кустарников (49-65%), меньшее значение принадлежит пыльце трав и кустарничков (13-29%), а также фригидных кустарников (16-20%). Споры имеют незначительное участие – 2–5%. Пыльца деревьев и кустарников в основном относится к тёмнохвойным породам (46-52%) с преимуществом ели (36-43%) над пихтой. Пыльца фригидных кустарников (27–28%) почти полностью принадлежит ольховнику (Alnus maximowiczii Call.), растущему на юге Сахалина в небольшом количестве. Немного уступает ей пыльца мелколиственных деревьев, относящаяся, в основном к берёзам. Присутствие широколиственных пород (дуб, ильм) составляет 0,8-2,7%. Среди пыльцы травянистых растений много осоковых (17–61%), злаковых (19–38%) и разнотравья (14–20%). Состав СПК Кг-1 наиболее близок к субфоссильному комплексу елово-пихтовых лесов среднего Сахалина [4]. Условия формирования отложений были несколько холоднее и суше современных, учитывая климатические параметры территории

распространения этого комплекса (табл. 1). Возраст события лишь немного превышает время начала торфонакопления (табл. 2) и, скорее всего, составляет 1300—1400 лет (VI–VII века). Оно отвечает похолоданию, отмеченному в среднюю фазу субатлантика на юго-западе о. Сахалин [3, 7] и на северозападной окраине о. Хонсю [13].

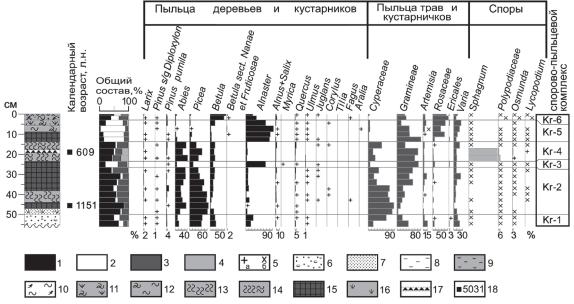


Рис. 2. Спорово-пыльцевая диаграмма отложений разреза «Крестоножка»: 1 — пыльца деревьев и кустарников; 2 — пыльца фригидных кустарников; 3 — пыльца трав и кустарничков; 4 — споры; 5 — содержание: а — < 1%, б — участие таксонов не подсчитано из-за малого числа обнаруженных зёрен пыльцы и спор. Литология: 6 — песок с гравием и мелкой галькой; 7 — песок мелкий; 8 — алеврит; 9 — лесная подстилка; 10 — торф древесно-кустарничковый; 11 — торф травяно-кустарничковый, с корой и ветками деревьев; 12 — торф мохово-кустарничковый; 13 — торф тростниковый; 14 — торф тростниково-сфагновый; 15 — торф сильно разложившийся; 16 — гиттия; 17 — вулканический пепел; 18 — радиоуглеродная дата

Таблица 1 Климатическая характеристика территорий распространения основных субфоссильных спорово-пыльцевых комплексов о. Сахалин [10]

	Средняя тем	пература во	эздуха(°С)	Сумма осадков, мм						
Субфоссильные комплексы Сахалина [4]	январь	август	год	холодный период, XI–III (средняя)	тёплый период, IV–XI (средняя)	Год, (средняя)				
Приморской лесотундры северного Сахалина	-21,120,3	11,512,2	-3,63,0	149–163 (160)	322–428 (370)	485–577 (530)				
Лиственничных лесов северного Сахалина	-22,916,8	13,915,6	-2,72,2	148–243 (180)	315–513 (400)	475–723 (580)				
Елово-пихтовых лесов среднего Сахалина	-24,213,3	12,017,0	-2,31,9	122–248 (190)	414–724 (530)	545–911 (720)				
Пихтово-еловых лесов с участием широколиственных пород южного Сахалина	-15,77,5	15,918,2	1,44,5	184–329 (250)	468–744 (590)	734–990 (840)				

СПК Kr-2 обнаружен на глубине 27– 51 см в осадках озёрной гиттии и перекрывающих её слоях торфа. От предыдущего он отличается небольшим увеличением доли пыльцы деревьев и кустарников (41-84%) в общем составе и большей ролью пыльцы травянистых растений (14-51%), выходящей на второе место. Участие пыльцы фригидных кустарников снижается в три раза, до 1–12%, спор – по-прежнему остаётся минимальным (1-3%). В группе пыльцы древесных пород значительно усиливается значение тёмнохвойных пород (65–96%), причём как ели, так и пихты, содержание которой по-прежнему в два-три раза ниже. Заметно, в среднем в два и более раза, уменьшается содержание пыльцы мелколиственных деревьев и фригидных кустарников. Содержание пыльцы широколиственных пород увеличивается до 4% только в верхней части слоя. Из них лишь пыльца дуба, ильма и ореха принадлежит местной растительности, а лещины (Corylus) и бука (Fagus) – занесена с о. Хоккайдо [4]. Пыльца трав образована семействами осоковых (19-86%) и злаковых (4-55%), реже разнотравьем. Состав СПК Kr-2 соответствует субфоссильному комплексу пихтово-еловых лесов с участием широколиственных пород южного Сахалина, отражающих более тёплые климатические условия, чем в предшествовавшее время (табл. 1). Начало потепления, судя по радиоуглеродному возрасту придонного горизонта торфяника (табл. 2), произошло в VIII–IX веках, соответствуя наступлению средневекового климатического оптимума [2, 5, 6, 9]. Климат был влажнее современного, что подтверждается более широким распространением в растительности тёмнохвойных лесов (столь высокое, свыше 60%, содержание её пыльцы фиксируется лишь в пятой части субфоссильных проб юга Сахалина), особенно в первую половину события. Во

вторую его половину, вероятно в X–XI веках (учитывая скорость торфонакопления), влажность климата несколько уменьшилась, т.к. роль тёмнохвойных лесов снизилась. Температурный режим был близок к современному уровню и, скорее всего, превышал его, как было установлено ранее [5]. Тёплый и влажный климат в VIII–XII веках отмечен и на северо-западном побережье о. Хонсю, в 500 км южнее Сахалина [13].

Спорово-пыльцевой спектр Kr-3 из горизонта хорошо разложившегося торфа в интервале 24-27 см, имеет общий состав с преобладанием пыльцы фригидных кустарников (43%) и резко упавшей ролью пыльцы деревьев (20%). В группе пыльцы древесных пород доминирует ольховник (67%), реже отмечаются тёмнохвойные (18%) и мелколиственные (13%) породы. Пыльцы широколиственных деревьев всего 1%. Пыльца трав и кустарничков представлена в основном злаками (71%). Состав спектра сближает его с характеристиками субфоссильного комплекса лиственничных лесов северного Сахалина [4]. Он отразил преобладание светлохвойных лиственничных лесов с подлеском из ольховника, сокращение участия тёмнохвойных пород и выпадение из растительного покрова широколиственных деревьев. Климатические условия стали значительно суровее и суше современных (табл. 1), отвечая похолоданию XII-IV веков, зафиксированному в разных районах Евразии, в том числе и на Сахалине [5, 6].

СПК Кг-4 обнаружен в слое тростниково-сфагнового торфа, в интервале 14–24 см. Характеризуется восстановлением в общем составе ведущей роли пыльцы деревьев и кустарников (44–54%), снижением участия фригидных кустарников (2–5%) и заметно возросшим значением спор (3–27%). В группе пыльцы древесных пород лидируют тёмнохвойные, с максимальным

 Таблица 2

 Радиоуглеродные датировки субатлантических отложений южного Сахалина

		Глубина		Возраст образца							
№ π/π	Разрез, лаб. №	отбора,	Материал	радио- углерод- ный, л.н.	кален- дарный, к.л.н.*	68% предел колебаний, к.л.н.*					
1	«Крестоножка», СОАН-3799	45–47	торф	1210 ± 40	1151 ± 63	1214–1087					
2	«Крестоножка», СОАН-3798	18-21	торф	625 ± 45	609 ± 40	649–569					
3	«Пески», ДВГУ-129 [5]	24–27	древесный уголь	511 ± 85	549 ± 73	622–476					
4	«Пески», ДВГУ-130 [5]	24–27	древесина	551 ± 89	578 ± 59	637–519					

Примечание. *калибровка дат выполнена в программе CalPal (http://www.calpal-online.de).

содержанием пихты (до 43%). Стоящая на втором месте пыльца мелколиственных деревьев представлена в основном берёзами (14–17%). Пыльца фригидных кустарников занимает не более 5 %. Содержание пыльцы широколиственных пород составляет 3-6%. Среди пыльцы трав по-прежнему много злаковых (27-68%), меньше разнотравья (10-50%) и осоковых (7-46%). Состав СПК Kr-4 соответствует субфоссильному комплексу пихтово-еловых лесов с участием широколиственных пород, развитому ныне на юге Сахалина. Он свидетельствует о значительном улучшении климатических условий осадконакопления, наступивших, как показывает радиоуглеродная дата из середины слоя, в XIV веке (табл. 2). Учитывая прежние результаты абсолютного датирования этого события на юго-востоке Сахалина [5], его хронологические рамки следует расширить до XIV-XV веков. Температурный режим потепления, скорее всего, превышал не только современный уровень, но и средневековой оптимум, что подтверждается большим участием в растительности широколиственных пород. Во время потепления XIV-XV веков на побережье оз. Тунайча произошло выпадение вулканического пепла, вызванное, скорее всего, извержением одного из вулканов о. Хоккайдо. Им мог быть вулкан Раусу, лежащий в 340 км юговосточнее места разреза, т.к. лишь он извергался 700–500 л.н. [12].

Интервал торфяника 3–14 см содержит СПК Kr-5. Он имеет в общем составе максимум пыльцы фригидных кустарников (57-83%), небольшую роль деревьев и кустарников (4–22%), почти сравнявшуюся с представительством трав и кустарничков (9-15%) и вновь сократившейся долей спор (1-6%). Среди пыльцы древесных пород господствуют фригидные кустарники (72–94%), с полным преобладанием ольховника, малым участием кедрового стланика (до 4%) и кустарниковой берёзы (до 1%). Содержание пыльцы тёмнохвойных и мелколиственных пород почти одинаково (7-8%), снижаясь до минимума в 1-3% на горизонте 6-9 см. Пыльца широколиственных деревьев представлена немногочисленными зёрнами. Среди пыльцы травянистых растений содержится много злаковых (14-78%), розоцветных (7-43%) и разнотравья (9-25%). Состав СПК Kr-5 близок к субфоссильному комплексу приморской лесотундры северного Сахалина [4]. Климатические условия стали намного холоднее и суше современных (табл. 1). Обнаруженное похолодание отметило наступление малого ледникового периода XVI – первой половины XIX веков, зафиксированного в разных районах северного полушария, в том числе и на Сахалине [2, 5, 6]. Похолодание было наиболее серьёзным ухудшением климатических условий на Сахалине в среднем-позднем голоцене. На побережье оз. Тунайча распространились заросли ольховника, роль тёмнохвойных лесов на окружающей территории намного снизилась, широколиственные породы не встречались.

Верхний горизонт торфяника и перекрывающая его лесная подстилка (0-3 см) содержат СПК Кг-6, в общем составе которого преимущество вновь у пыльцы деревьев и кустарников (39-50%). Более половины её количества принадлежит мелколиственным породам с преимуществом берёз (47-54%), малым участием ольхи и ивы (3-5%). Реже встречается пыльца тёмнохвойных пород (до 10%), с почти равным содержанием пихты и ели. Немного пыльцы широколиственных деревьев (2,1-2,3%), представленной дубом, ильмом, орехом и буком. Пыльца фригидных кустарников почти полностью образована ольховником (24–36%). Среди пыльцы трав и кустарничков много розоцветных (46-53 %) и злаков (28-30 %). Характеристика СПК Кг-6 сближает его с субфоссильным комплексом елово-пихтовых лесов среднего Сахалина, в ряде спектров которого имеется высокое содержание пыльцы берёз [4]. Он свидетельствует о более тёплом и влажном климате, чем в малую ледниковую эпоху, отметившим, по-видимому, начальную фазу современного потепления. Растительность побережья оз. Тунайча была представлена смешанным лесом с большим участием берёз и зарослями ольховника в подлеске, нежели тёмнохвойных пород, начавших активное распространение на окружающих горных массивах.

Выводы

Детальное палеогеографическое изучение отложений низинного торфяника на побережье оз. Тунайча позволило установить 6 спорово-пыльцевых комплексов, отразивших ландшафтно-климатические изменения последних 1300–1400 лет на южном Сахалине. СПК елово-пихтовых лесов формировался в условиях небольшого похолодания VI–VII веков, пихтово-еловых лесов с участием широколиственных пород – в средневековой климатический оптимум VIII–X веков, лиственничных лесов – при

значительном похолодании XII–XIV веков, пихтово-еловых лесов с участием широколиственных пород — во время потепления XIV–XV веков, лесотундры — в наиболее суровом похолодании XVI — первой половины XIX веков, елово-пихтовых лесов — в начале современного потепления.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Дальневосточного отделения Российской академии наук (15-I-2-063).

Список литературы

- 1. Александрова А.Н., Бровко П.Ф., Рыбаков В.Ф., Микишин Ю.А. Новые данные о растительности и климате субатлантики Южного Сахалина // Палинология в стратиграфии. М.: Изд-во Наука, 1994. С. 163–167.
- 2. Аракава X. Изменения климата. Л.: Гидромете
оиздат, 1975. 103 с.
- 3. Гвоздева И.Г., Микишин Ю.А. Стратиграфия и палеогеография голоцена юго-западного Сахалина // Естеств. и техн. науки. -2008. № 3. С. 177-183.
- 4. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Субфоссильные спорово-пыльцевые комплексы Сахалина и прилегающих территорий. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 2009. 162 с.
- 5. Микишин Ю.А., Гвоздева И.Г. Эволюция природы юго-восточной части острова Сахалин в голоцене. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1996. 130 с.

- 6. Монин А.С., Шишков Ю.А. История климата. Л.: Гидрометеоиздат, 1979. 407 с.
- 7. Морские террасы и четвертичная история шельфа Сахалина / А.М. Короткий, В.С. Пушкарь, Т.А. Гребенникова и др. / Тихоокеан. институт географии ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 1997. 195 с.
- 8. Палеопалинология. Методика палеопалинологических исследований и морфология некоторых ископаемых спор, пыльцы и других растительных микрофоссилий // Тр. ВСЕГЕИ, нов. серия. Вып. 141. Л.: Недра, 1966. 352 с.
- 9. Разжигаева Н.Г., Ганзей Л.А., Гребенникова Т.А., Белянина Н.И., Мохова Л.М. Проявления малого оптимума голоцена на юге Дальнего Востока // География и природные ресурсы. 2014. —
- 10. Справочник по климату СССР. Вып. 34. Сахалинская область. Ч. ІІ. Температура воздуха и почвы. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 198 с. Ч. ІV. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 172 с.
- 11. Хотинский Н.А. Радиоуглеродная хронология и корреляция природных и антропогенных рубежей голоцена // Новые данные по геохронологии четвертичного периода. К XII конгрессу ИНКВА (Канада, 1987 г.). М.: Наука, 1987. С. 39–45.
- 12. Nakamura Yu. Stratigraphy, distribution, and petrographic properties of Holocene tephras in Hokkaido, northern Japan // Quaternary International. 2016. Vol. 397. P. 75–85.
- 13. Yamada K., Kamite M., Saito-Kato M., Okuno M., Shinozuka Y., Yasuda Y. Late Holocene monsoonal-climate change inferred from Lakes Nin-no-Megata and San-no-Megata, northeastern Japan // Quaternary International. 2010. Vol. 220. P. 122–132.

УДК 556.3:550.348 (470.55/57)

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА НА ТОЧНОСТЬ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ДЕФОРМАЦИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Нестеренко М.Ю., Цвяк А.В., Владов Ю.Р.

ФГБУН «Оренбургский научный центр» Уральского отделения Российской академии наук, Оренбург, e-mail: geoecol-ONC@mail.ru

В данной статье рассмотрена проблема снижения точности определения координат с помощью GNSSсистем на разрабатываемых месторождениях углеводородов в условиях переотраженного сигнала. Подобная ситуация имеет место в случаях, когда месторождение расположено в лесистой местности, имеет сложный рельеф местности или съемки проводятся вблизи зданий и сооружений. Влияние переотраженного сигнала на точность определения координат оценивалось с помощью двух показателей: величины среднеквадратичного отклонения высотной отметки и величины DOP Анализ опытных данных позволил авторам дать рекомендацию о необходимости избегать ситуации многолучевого распространения радиоволн при измерении деформаций земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов. Компенсировать влияние многолучевого распространения спутникового сигнала увеличением продолжительности наблюдения не представляется возможным. Продолжительность наблюдения целесообразно ограничить двумя часами.

Ключевые слова: геодинамические процессы, GNSS-системы, точность

THE IMPACT REFLECTEDSIGNALS ON THE ACCURACY OF GLOBAL POSITIONING SYSTEMS TO MONITOR THE EARTH'S SURFACE DEFORMATIONS ON DEVELOPED HYDROCARBON DEPOSITS

Nesterenko M.Yu., Tsvyak A.V., Vladov Yu.R.

Orenburg Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, e-mail: geoecol-ONC@mail.ru

In this article the problem of reducing the accuracy of the coordinates using the GNSS-systems developed by the hydrocarbon deposits under reflectedsignal. A similar situation occurs in cases where the field is located in a wooded area, has a difficult terrain or shooting are carried out near the buildings. Reflectedsignal to the positioning accuracy was assessed using two indicators: the value of the standard deviation of elevation and the amount of DOP analysis of experimental data allowed the authors to make a recommendation on the need to avoid a situation of multipath propagation in the measurement of ground deformation in the emerging hydrocarbon deposits. To compensate the effect of multipath satellite signals increases the duration of observation is not possible. The duration of observation is advisable to limit to two hours.

Keywords: geodynamic processes, GNSS-systems, accuracy

Интенсивная добыча нефти и газа в крупных нефтегазоносных районах нарушает природную, в том числе геологическую, среду, значительно перестраивает гидрогазодинамические и геодинамические процессы в земной коре на глубине до десяти и более километров и на площадях до нескольких тысяч квадратных километров. Создаются условия для возникновения ряда экологических проблем, существенно влияющих на развитие природы и качество жизни населения в регионе. В Западном Оренбуржье, расположенном на юго-востоке Восточно-Европейской платформы, более пятидесяти лет интенсивно эксплуатируются более сотни месторождений нефти. Высокая плотность месторождений углеводородов (УВ) и интенсивная их разработка обусловили техногенные изменения в геологической среде, особенно в ее водной

составляющей, на площадях до 5000 км². В результате в крупных нефтегазоносных районах развиваются опасные техно-природные процессы в верхней части земной коры, повышается ее геодинамическая и сейсмическая активность [3, 4].

В связи с этим необходимо проведение мониторинга геодинамических процессов и сейсмической активности разрабатываемых месторождений нефти и газа и прилегающих территорий. Данные работы должны быть увязаны с маркшейдерскими работами по определению координат и высотного положения реперов.

Существует ряд методов контроля состояния движений земной поверхности при разработке месторождений полезных ископаемых. Традиционно используются маркшейдерско-геодезические наблюдения по реперам профильных линий по методике нивелирования I–II классов для определения оседаний поверхности и измерения длин линий между реперами для определения горизонтальных сдвижений и деформаций [5]. Однако в связи с большой площадью территории месторождений УВ, применение данных методов дорогостояще, занимает весьма продолжительное время и имеет свойство накапливания ошибки при увеличении числа ходов.

Недостаточные точность, надежность и достоверность повторных наблюдений исключают возможность решения поставленных маркшейдерских задач обеспечения промышленной безопасности и влекут напрасное вложение значительных средств в строительство и производство наблюдений.

Для определения горизонтальных и вертикальных сдвижений точек земной поверхности целесообразно использовать спутниковые наблюдения с применением глобальных навигационных спутниковых систем (GNSS).

Применение данного подхода накладывает определенные требования к точности измерений и условиям, в которых они выполняются. В соответствии с инструкцией по нивелированию допускается погрешность в измерениях II класса не более 2 мм, III класса – 5 мм и IV класса – 10 мм [2].

В соответствии с технической документацией производителей GNSS-приемников при измерениях достигается точность по вертикали 3.5 мм + 0.4 ppm, по горизон-Ty - 3 мм + 0.1 ppm [1]. При этом условия, в которых выполняются измерения, могут существенно изменить точность. Наиболее значимым является применение спутникового нивелирования для наблюдения за вертикальными деформациями на месторождениях нефти и газа в условиях переотраженного сигнала. Подобная ситуация имеет место в случаях, когда месторождение расположено в лесистой местности, имеет сложный рельеф местности или съемки проводятся вблизи зданий и сооружений.

С целью определения влияния многолучевого распространения радиоволн на точность определения координат с помощью GNSS-приемников нами проведены две серии опытов.

В первой – точка наблюдения располагалась в зоне переотраженного сигнала. Во второй серии точка наблюдения находилась в условиях «открытого неба». Для коррекции данных, полученных в точке наблюдения, использованы две базовые станции. Одна станция находилась в усло-

виях «открытого неба», вторая так же, как и точка наблюдения, в зоне переотраженного сигнала. Приемники базовых станций и приемник в точке наблюдения прикреплены с помощью резьбового соединения к фундаментальным реперам. Устройство фундаментальных реперов соответствует «Правилам закрепления центров на пунктах спутниковой геодезической сети» (Утверждены Роскартографией как дополнение к ГКИНП-07-016-91 от 07.05.2001 г.).

В качестве базовых станций использован собственный приемник Leica GS14 Viva GNSS и приемник Leica AR10 Viva GNSS, входящий в сеть референцных станций Смартнет. В качестве приемника, установленного в точке наблюдения, использован Leica GS08 + Viva GNSS в комплекте с контролером Leica CS10. Постобработка данных, полученных от приемников, проведена с помощью программного комплекса LEICA GeoOffice 8.3. Влияние переотраженного сигнала на точность определения координат GPS приемником оценивали двумя показателями: величиной среднеквадратичного отклонения высотной отметки и показателем DOP (снижение точности).

Используемое нами оборудование и программное обеспечение позволяет проводить оценку снижения точности по следующим показателям: полного снижения точности (GDOP), снижения точности в горизонтальной плоскости (HDOP), снижения точности в вертикальной плоскости (VDOP) и снижение точности по местоположению (PDOP).

Величина DOP зависит от взаимного расположения спутников и приемников спутникового сигнала и хотя «слабое» взаимное расположение спутников не является причиной погрешности в определении положения, однако большие значения DOP усиливают другие неточности. Соответственно, при высоких значениях DOP следует ожидать низкую точность определения координат, при низких значениях – высокую точность.

Наши наблюдения показали, что величину DOP можно назвать хорошей только в том случае, когда приемники на точке наблюдения и базовой станции находятся в условиях открытого неба и влияние многолучевого распространения радиоволн минимально (рис. 1, а). В этом случае величина GDOP большей частью наблюдений находится в пределах от двух до трех единиц. Такие значения свидетельствуют о достаточной точности для использования измерений при измерении деформаций

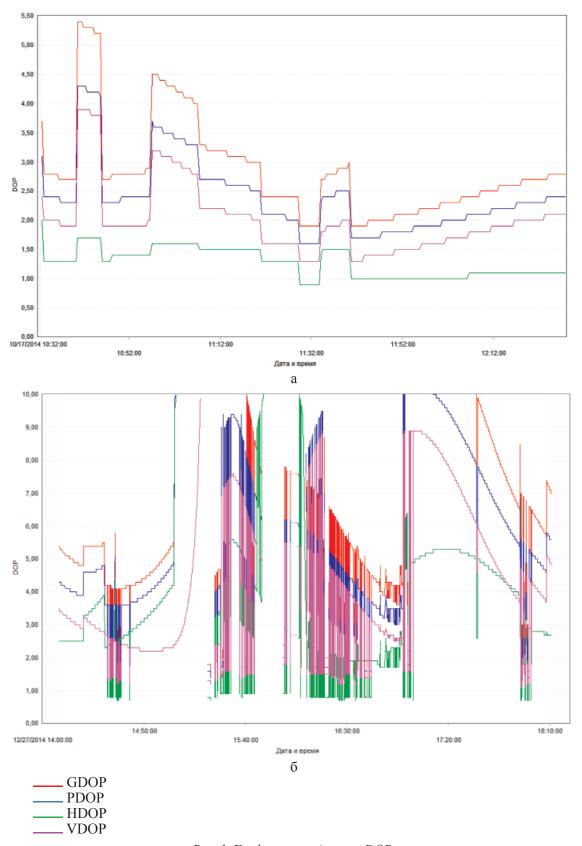


Рис. 1. График распределения DOP: а — базовый приемник и приемник в точке наблюдения находятся в условиях открытого сигнала; б — базовый приемник и приемник в точке наблюдения находятся в условиях переотраженного сигнала

земной поверхности на разрабатываемых месторождениях углеводородов [6]. В отдельные промежутки времени величина GDOP может кратковременно возрастать, однако не превышая значений шести единиц. При любых других вариантах использовать результаты измерений можно только для грубого определения местоположения. Следует также отметить, что в том случае, когда приемник в точке наблюдения находится в зоне переотраженного сигнала, существуют промежутки времени, в которых прием сигнала глобальных навигационных

спутниковых систем отсутствует (рис. 1, б), что является неприемлемой ситуацией.

Показатель DOP дает косвенное представление о точности. Для прямой количественной оценки влияния многолучевого распространения радиоволн на точность определения координат, мы провели исследование зависимости среднеквадратичного отклонения (СКО) высотной отметки от продолжительности наблюдения в условиях переотраженного сигнала и открытого неба. Результаты исследования представлены на графиках рис. 2.

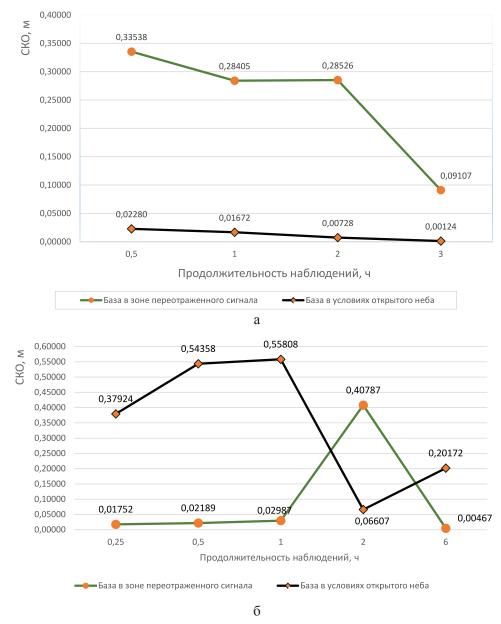


Рис. 2. График распределения среднеквадратического отклонения от продолжительности наблюдения: а — точка наблюдения в зоне открытого сигнала; б — точка наблюдения в зоне переотраженного сигнала

По результатам измерений можно сделать вывод, что для высокоточных измерений координат приемлем только вариант, при котором и базовая станция, и приемник, расположенный в точке наблюдения, находятся в условиях открытого неба. При этом, чем больше продолжительность наблюдения, тем выше точность определения координат. Для достижения значений СКО высотной отметки, равных одному сантиметру и менее, время наблюдения должно составлять от полутора часов и более.

Заключение

Переотраженный сигнал резко снижает точность измерения координат с помощью GNSS-систем. Спрогнозировать погрешность измерения координат в условиях переотраженного сигнала не представляется возможным. Увеличение продолжительности наблюдения не позволяет компенсировать влияние многолучевого распространения спутникового сигнала. Корреляция между продолжительностью наблюдения и СКО в условиях переотраженного сигнала отсутствует. В связи с этим можно дать следующие рекомендации: для наблюдения за вертикальными деформациями на месторождениях нефти и газа необходимо избегать ситуации многолучевого распространения радиоволн; измерения должны проводиться в условиях открытого неба. Выполнение данных условий позволяет достичь значений СКО высотной отметки менее одного сантиметра, что позволяет использовать технологии GNSS-наблюдений для мониторинга геодинамических процессов на месторождениях УВ. При этом продолжительность наблюдения целесообразно ограничить двумя часами.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-45-560579 р $\,$ а.

Список литературы

- 1. Документация к приемнику Leica Viva GNSS GS14 [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.leica-geosystems.com/en/Leica-Viva-GS14_102200. htm, свободный.
- 2. Инструкция по нивелированию I, И, III и IV классов ГКИНП (ГНТА)-03-010-03. М.: ЦНИИГАИК. 2004.
- 3. Нестеренко М.Ю. Геоэкология недр нефтегазоносных районов Южного Предуралья. Екатеринбург: УрО РАН. 2012. 135 с.
- 4. Нестеренко Ю.М., Нестеренко М.Ю., Днистрянский В.И., Глянцев А.В. Влияние разработки месторождений углеводородов на геодинамику и водные системы Южного Предуралья // Литосфера. 2010. № 4. С. 28–41.
- 5. Патент 2575469 RU / Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М., Владов Ю.Р., Владова А.Ю. Способ определения геодинамической активности недр разрабатываемого месторождения углеводородов. Опубл. 12.11.2014. Бюл. № 5.
- 6. Langley Richard B. Dilution of Precision // GPS World. May 1999. P. 52–59.

УДК 550.4:551.7(517.3):590.93

ГАББРО-НОРИТ-ДИОРИТОВАЯ АССОЦИАЦИЯ ХАМСАРИНСКОЙ ЗОНЫ (ТУВА): ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ВОЗРАСТЕ, ГЕОХИМИИ, ИСТОЧНИКАХ МАГМ И ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ПОЗИЦИИ

¹Ойдуп Ч.К., ²Леснов Ф.П., ¹Монгуш А.А., ¹Лебедев В.И.

¹Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл, e-mail: oydup_ch@mail.ru; ²Институт геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск

Хамсаринская зона представляет собой сегмент венд-раннекембрийской островодужной системы, существенно менее изученный по сравнению с другими аналогичными сегментами этой системы. По аналогии с Таннуольской зоной считается, что раннекаледонские структуры Хамсаринской зоны в период их тектонического сочленения с докембрийскими структурами Тувино-Монгольского массива, ~540-490 млн лет назад, развивались в аккреционно-субдукционной и коллизионной тектонической обстановке. Регион труднодоступный, в этой связи геологическая изученность Хамсаринской зоны в основном ограничивается данными государственных геологических съемок, проводившихся в 1950-1980-х гг. И на основе этих данных в Хамсаринской зоне среди габброидных ассоциаций были выделены раннепалеозойские сиенит-габбровая, ультрабазит-троктолит-лейкогаббровая, габбро-норит-диоритовая ассоциации, которые формировались «на рубеже геосинклинального и орогенного этапов перед внедрением крупных масс нижнепалеозойских гранитоидов». Вместе с тем почти полное отсутствие геохимических и прецизионных геохронологических данных об этих интрузивных ассоциациях (за исключением гранитоидов Аксуг-Арысканского рудного подя) не позволяет проводить отвечающие современным требованиям палеогеодинамические реконструкции для Хамсаринского сегмента каледонских структур площадью около 20 тыс. км². В статье приведены геохимические и геохронологические данные по габброидам, монцодиоритам и монцонитам Шивилигской группы массивов габбровой ассоциации Хамсаринской зоны каледонид Центрально-Азиатского складчатого пояса. Геохимические особенности этих магматических образований указывают на ведущую роль в источниках магм изученных пород субдукционной компоненты, тогда как абсолютный возраст габброидов (около 500 млн лет) свидетельствует о коллизионной тектонической обстановке становления интрузивных массивов габброидов. Предполагается, что образование габбровой ассоциации происходило на ранней стадии воздействия мантийного плюма на подлитосферную мантию.

Ключевые слова: габброидные интрузивы, геохимия, изотопный возраст, каледониды, Хамсаринская зона, Восточная Тува

GABBRO-NORITE-DIOITE ASSOCIATION OF THE KHAMSARA ZONE (TUVA): FIRST DATA ON AGE, GEOCHEMISTRY, SOURCES OF MAGMAS, AND GEODYNAMIC POSITION

¹Oydup Ch.K., ²Lesnov F.P., ¹Mongush A.A., ¹Lebedev V.I.

¹Tuvinian Institute for Exploration of Natural Resources SB RAS, Kyzyl, e-mail: oydup_ch@mail.ru; ²Institute of Geology and Mineralogy SB RAS, Novosibirsk

Khamsarinsk zone represents a segment of the vendian-early cambrian island-arc system which much less studied compared to other similar segments of the system. By analogy with Tannuol'sk zone it is believed that the early caledonian structures of Khamsarinsk zone during their tectonic linkage with the precambrian structures of the Tuva-Mongolia massif ~540-490 million years ago, evolved in accretion-subduction and collisional tectonic setting. This region is remote, in this regard, geological knowledge of the Khamsarinsk zone is mainly limited by state data of geological surveys that carried out in 1950-1980's. On the basis of these data in Khamsarinsk zone the early paleozoic's syenite-gabbroic, ultrabasite-troctolite-leucogabbro, gabbro-norite-diorite associations were identified among gabbroid associations that were formed «at the turn of the geosynclinal and orogenic stages before penetration of large masses of lower paleozoic granitoids». However, the almost complete absence of geochemical and precision geochronological data of these intrusive associations (with the exception of granitoids of Aksug-Aryskan ore field) does not allow carry out up-to-date paleogeodynamic reconstruction for Khamsarinsk segment of the Caledonian structures in the area of about 20 thousand square kilometers. The paper presents geochemical and geochronological data on gabbroids, monzodiorites, and monzonites of the Shivilig group massifs which belong to the syenite-gabbro association of the Khamsara zone of caledonides of the Central Asian fold belt. Geochemical features of these magmatic formations reveal the dominating role of the subduction constituent in the sources of magmas of the studied rocks while the absolute age of gabbroids from the syenite-gabbro association (about 500 Ma) indicates a collisional tectonic framework for forming intrusive massifs of the syenite-gabbro association. It is suggested that the syenite-gabbro association occurred in the early stage of mantle plume influence on sub-lithospheric mantle.

Keywords: gabbroid intrusives, geochemistry, isotopic dating, caledonides, Khamsara zone, Eastern Tuva

Хамсаринская зона представляет собой сегмент венд-раннекембрийской островодужной системы [1], существенно менее изученный по сравнению с другими аналогичными сегментами этой системы. По ана-

логии с Таннуольской зоной считается, что раннекаледонские структуры Хамсаринской зоны в период их тектонического сочленения с докембрийскими структурами Тувино-Монгольского массива, ~540–490 млн лет

назад, развивались в аккреционно-субдукционной и коллизионной тектонической обстановке [7]. Ввиду труднодоступности геологическая изученность Хамсаринской зоны в основном ограничивается данными государственных геологических съемок, проводившихся в 1950-1980-х гг. На основе этих данных в Хамсаринской зоне среди габброидных ассоциаций были выделены раннепалеозойские сиенит-габбровая, ультрабазит-троктолит-лейкогаббровая, габбро-норит-диоритовая ассоциации, которые формировались «на рубеже геосинклинального и орогенного этапов перед внедрением крупных масс нижнепалеозойских гранитоидов» [6]. Вместе с тем почти полное отсутствие геохимических и прецизионных геохронологических данных об этих интрузивных ассоциациях (за исключением гранитоидов Аксуг-Арысканского рудного поля) не позволяет проводить отвечающие современным требованиям палеогеодинамические реконструкции для Хамсаринского сегмента каледонских структур площадью около 20 тыс. км².

Материалы и методы исследований

Основной объем аналитических исследований пород, кроме изготовления шлифов и петрографического описания пород по ним, был выполнен в Аналитическом центре ИГМ СО РАН (г. Новосибирск). Силикатный анализ главных химических компонентов, а также некоторых элементов-примесей в породах выполнен рентгенофлюоресцентным (РФА) методом (аналитик Н.Г. Карманова). Геохимический состав проанализирован методом La ICP-MS, т.е. с применением лазерной абляции по тем стеклам, которые были изготовлены и использованы при анализах этих же проб на общий состав методом РФА. В качестве внутренних стандартов были использованы определения содержаний Са и Ті, предварительно выполненные РФА. Определение возраста габброидов проводилось по роговой обманке из меланократового габбро методом 40 Ar/39 Ar (ИГМ СО РАН, Новосибирск, аналитик А.В. Травин). Навески минеральных фракций заворачивались в алюминиевую фольгу, после откачки запаивались в кварцевую ампулу совместно с навесками биотитов МСА-11 и LP-6 в качестве мониторов. Затем фракции облучались в кадмированном канале научного реактора типа ВВР-К Научно-исследовательского института ядерной физики (г. Томск). Градиент нейтронного потока не превышал 0,5% на размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводились в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева. Холостой опыт по ⁴⁰Ar (10 мин при 1200°С) не превышал 5·10⁻¹⁰ нсм³. Очистка аргона производилась с помощью Ti- и ZrAl SAES - геттеров. Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре «noble gas 5400» фирмы Микромасс (Англия). Ошибки измерений, приведенные в тексте, в таблице и на рисунках, соответствуют интервалу $\pm 1\sigma$.

Геологическая позиция

В 2010 году нами были проведены полевые исследования в междуречье pp. Ий-Хем и Хамсыра,

которое, как и большая часть Хамсаринской зоны, характеризуется очень слабой обнаженностью из-за преобладающего котловинного характера рельефа, насыщенного озерами и таежной растительностью. Полевые работы проводились на участке, названном «Шивилиг», образцы для геохимических и геохронологических исследований отбирались из коренных обнажений в пределах редких сопок и на склонах небольших горок в северо-западной части озера Шурам-Холь, а также в цокольных террасах водотоков бассейна р. Шивилиг, впадающей в это озеро (рис. 1).

На участке Шивилиг условно выделены два массива существенно габбрового состава (Шивилиг-I и II) и один массив габбро-монцонитового состава (Шивилиг-III), которыми прорваны венднижнекембрийские осадочно-вулканогенные образования. Массивы оконтурены по естественным обнажениям. Условия обнаженности и отсутствие геофизических данных не позволяют судить о истинных размерах и форме этих массивов. Не исключено, что группа массивов принадлежат к единому крупному плутону. В массиве Шивилиг-I в районе точки с координатами с.ш. 52°43′62″ в.д. 96 49′65,9″ опробованы и изучены образцы диорита (Bi-Hbl) (обр. 233, 234, 234а).

Северо-западнее от этого массива, у небольшого озера Тучетиг-Холь в точке с координатами с.ш. 52 44'15,7", в.д. 96 48'30,5" были опробованы выходы роговообманкового (Hbl) габбро (обр. Shi-251, 251-1, 251-2) (массив Шивилиг-П).

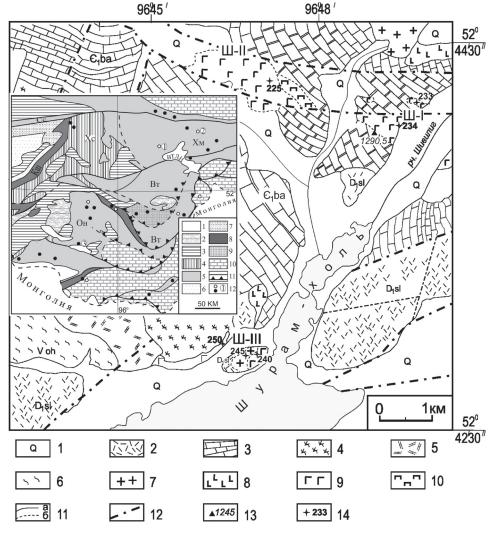
Массив Шивилиг-III выделен на небольшой обособленной сопочке на террасе (с.ш. 52 41'41" в.д. 96 46'64"). Сопочка имеет эллипсоидальную форму, большой остью ориентирована на северо-восток, труднопроходимый, весь заросший. Обнажаются роговообманковый габбро-диорит (обр. Shi-240), роговообманковое габбро (обр. Shi-241), сильно актинолитизированное, хлоритизированное лейкогаббро (обр. Shi-243), кварц-биотит-роговообманковый субщелочной диорит (обр. Shi-244), кварц-биотитовый монцонит (обр. Shi-245).

Петрографическое описание пород

Роговообманковое габбро — структура среднезернистая, гипидиоморфнозернистая, размер зерен 1,5-3,5 мм. Текстура массивная. Состав: плагиоклаз — 45% (серицит, клиноцоизит, цеолит); роговая обманка — 45% бурого цвета с зеленоватым оттенком; реликты клинопироксена — 5% в роговой обманке; апатит — 0,n%. Вторичные минералы: кварц — 1%; эпидот — 1-2%; кальцит — 15; актинолит — 1-2%

Диорит имеет средне-мелкозернистую, призматическизернистую, участками гипидиоморфнозернистую структуру, размер зерен от 0,3–1,0 до 1,5–5,0 мм. Состав: плагиоклаз – 60–80% (средней основности), роговая обманка – 15–25% бурая с зеленоватым оттенком, реликты клинопироксена – 2–35, биотит – (хлорит, лейкоксен) – 5–10%. Вторичные минералы: эпидот – 1%, хлорит – 1%, кальцит – 1%; акцессорные: рудный – 1%, представленный пиритом и ильменит-магнетитом; апатит – 1%; циркон – 0, п%.

Лейкогаббро сильно актинолитизированное, хлоритизированное, состав: плагиоклаз -85% основной облачного угосания, клинопироксен -5% реликты зерен замещенных зеленой роговой обманкой псевдоморфно и в виде агрегатных псевдоморфоз, амфибол -10% (зеленая роговая обманка и актинолит), биотит -1-2% (хлорит, лейкоксен) вторичные: хлорит -1-25, кварц -1%, эпидот -1-2% рудный -1%, апатит -0,п%.



Puc. 1

Роговообманковый габбро-диорит состоит из крупных и средних зерен плагиоклаза удлиненнопризматической формы, между ними и внутри них располагаются изометричные и неправильные зерна зеленой роговой обманки, которая замещается (иногда полностью) агрегатом эпидота и актинолита.

Есть псевдоморфозы хлорита + эпидота, возможно по биотиту (-5%).

Есть 1–2% кварца – неправильные зерна в межзерновых пространствах плагиоклаза и в виде мелких зерен внутри их. Из вторичных по плагиоклазу развивается мелкочешуйчатый серицит, эпидот, в трещиноватых зернах «веточки» цеолита.

Квари-биотитовый монцонит — структура: неравномернозернистая, гипидиоморфнозернистая. Размер зерен от 0,5 до 3 мм, участками структура монцонитовая. Состав: плагиоклаз — 35% (серицит, цеолит) средней основности, зональный; калишпатпертит — 40%; кварц — 15%; биотит — 5–7% (хлорит, эпидот) красно-бурый; рудный минерал — 1%; апатит — 0,п%; сфен и циркон — единичные зерна.

Кварц-биотит-роговообманковый монцодиорит, в составе плагиоклаз — средней основности 65%, кварц — 10%, калишпат — 7%, роговая обманка — 10%, биотит — 5% бурый, апатит — 0,п% удлинен, призмы

размером до $0,7-1,5\,$ мм и рудный минерал – $1-2\,$ %. Из вторичных: эпидот – $1\,$ %, хлорит – $1-2\,$ %, карбонат – $1\,$ %, актинолит – $1\,$ %

Порода, вероятно, имеет гибридное происхождение - калишпат и кварц могли образоваться позже, есть участки, где эти минералы выполняют межзерновые пространства и в то же время выполняют трещины внутри зерен плагиоклаза. Кроме того, в некоторых зернах плагиоклаза просматривается «ядро» большей основности. Вероятно, это реликты плагиоклаза первичной породы габбрового состава. Эти ядра, кроме того, рассечены сетью тонких прожилков хлорита, которые не всегда продолжаются в новообразованном плагиоклазе. Полученные данные могут свидетельствовать об определенном временном промежутке между кристаллизацией исходных мафитовых пород и воздействием на них более поздних субщелочных расплавов. Можно предположить, что породы из массивов Шивилиг-I, II и III (далее - Шивилигской группы массивов) являются частью габбро-норит-диоритовой ассоциации Хамсаринской зоны [Пятов, Семенов, 1984] и только условия обнаженности участка Шивилиг не позволили достаточно охарактеризовать крайние кремнеземистые и щелочные члены этой ассоциации - монцониты. Породы

монцонитового состава в Шивилигской группе массивов представляют собой, по всей видимости, вторую интрузивную фазу.

Результаты исследования и их обсуждение

Геохронологические исследования были проведены 40Ar/39Aг методом в ИГМ СО РАН (Новосибирск) А.В. Травиным по методике, подробно описанной в [8]. Выбор данного метода для датировки возраста определялся отсутствием необходимого количества циркона в породе для U-Pb метода. Для исследований была отобрана монофракция позднемагматической роговой обманки из Bi-Hbl габбро массива Шивилиг-I (обр. Shi-233). Небольшие куски породы (срезы от шлифов) дробились вручную мелкими порциями, промывались до черного шлиха. Затем пропускается через магнитный сеператор и после начинается отбор зерен роговой обманки под бинокуляром. Навески минеральных фракций заворачивались в алюминиевую фольгу, после откачки запаивались в кварцевую ампулу совместно с навесками биотитов MCA-11 и LP-6 в качестве мониторов. Затем, фракции облучались в кадмированном канале научного реактора типа ВВР-К Научно-исследовательского института ядерной физики (г. Томск). Градиент нейтронного потока не превышал 0,5 % на размере образца. Эксперименты по ступенчатому прогреву проводились в кварцевом реакторе с печью внешнего прогрева. Холостой опыт по ⁴⁰Ar (10 мин при 1200°С) не превышал $5 \cdot 10^{-10}$ нсм³. Очистка аргона производилась с помощью Ti- и ZrAl SAES – геттеров. Изотопный состав аргона измерялся на масс-спектрометре «noble gas 5400» фирмы Микромасс (Англия). Ошибки измерений, приведенные в тексте, в таблице и на рисунках, соответствуют интервалу $\pm 1\sigma$. Результаты геохронологических исследований приведены на рис. 2.

В полученом возрастном спектре наблюдается устойчивое плато, отвечающее 93% выделенного ³⁹Ar, которое соответствует $498,5 \pm 5,9$ млн лет (поздний интервалу кембрий). Это первая датировка габброидов Хамсаринской зоны, полученная прецизионным геохронологическим методом. Она может быть принята за возраст формирования Bi-Hbl габбро. Полученное нами значение, очевидно, соответствует аккреционно-коллизионному периоду эволюции Центральной Азии, в ходе которого край континента перекрыл Алтае-Саянскую горячую точку мантии, положив начало внутриплитной активности региона [7].

Содержания SiO, в исследованных породах из Шивилигской группы массивов варьируют в интервале 47,9-65,8 мас. %, $Na_{2}O - 2,7-3,8$ mac. %, $K_{2}O - 0,6-3,8$ mac. % (таблица), при этом содержания К₂О находятся в прямой зависимости от содержания калиевого полевого шпата. Большинство пород характеризуются повышенными содержаниями Al₂O₂ в интервале 14,0–20,7 мас. %. Характерны низкие содержания в породах: биотит-роговообманковом, роговообманковом габбро от 5,33 до 10,34 и габброидах монцонитового состава -1,45-6,43 мас. %, что, вероятно, обусловлено как высокой степенью фракционирования исходной магмы, так и особенностями состава последней. Породы Шивилигской группы, кроме низкой магнезиальности, по остальным петрогенным компонентам вполне сопоставимы с аналогичными породами из Остюренского массива, который является одним из типичных массивов габбровой ассоциации Хамсаринской зоны [8].

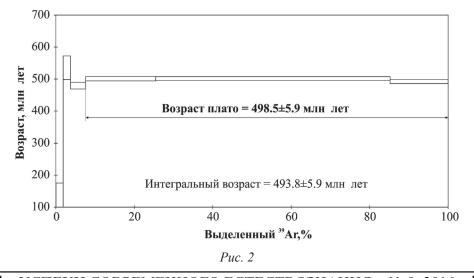
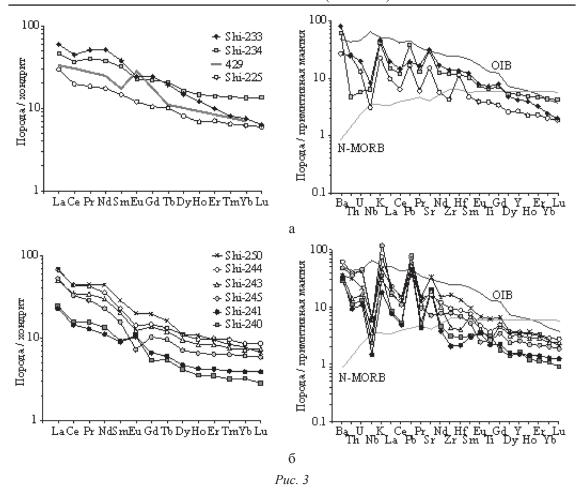


Таблица 1 Содержания петрогенных элементов (%) и несовместимых микроэлементов (г/т) для пород Шивилигской группы массивов Хамсаринской зоны

Массив	Ши	івІ	ШивП	ШивIII						
Номер образца	Shy-233	Shy-234	Shy-225	Shy-240	Shy-241	Shy-243	Shy-244	Shy-245	Shy-250	
Порода	б-р.г.	б-р.г.	р.г.	р.г-д.	р.г.	Л.Г.	к-б-р.д.	к-б.м.	б-р.г.	
SiO ₂	47,92	48,32	50,94	54,61	52,81	52,65	57,66	65,77	50,75	
TiO ₂	1,59	1,41	0,85	0,69	0,47	0,57	0,80	0,57	1,34	
Al ₂ O ₃	19,78	18,25	14,02	20,70	20,21	19,15	17,70	15,27	17,93	
Fe ₂ O ₃ (t)	11,13	11,41	8,03	6,49	6,84	7,64	6,98	6,40	8,62	
MnO	0,14	0,20	0,14	0,11	0,12	0,15	0,09	0,07	0,13	
MgO	5,33	6,76	10,34	3,81	5,04	5,62	3,20	1,45	6,43	
CaO	8,73	8,58	12,63	8,91	10,50	10,49	8,24	3,15	9,32	
Na ₂ O	3,75	3,63	2,31	3,52	3,40	2,67	2,99	3,31	3,83	
K ₂ O	1,27	1,15	0,63	0,99	0,49	0,83	2,07	3,76	1,27	
P ₂ O ₅	0,36	0,28	0,11	0,15	0,12	0,21	0,27	0,25	0,37	
ППП	0,65	1,37	1,67	1,64	1,10	1,45	1,57	2,18	1,29	
Сумма	100,41	100,42	99,66	99,73	100,31	99,45	100,46	100,41	100,38	
Ba	596	456	197	213	226	261	446	349	255	
Th	2,40	0,44	2,30	1,02	0,85	1,28	3,60	3,30	2,90	
U	0,44	0,13	0,29	0,29	0,24	0,36	0,94	1,00	0,48	
Nb	6,20	4,80	2,30	1,74	1,10	2,60	4,30	4,50	4,60	
Та	2,30	0,34	2,10	0,25	0,16	0,24	0,41	0,40	0,37	
La	14,40	11,10	7,20	6,10	5,60	12,30	16,70	13,00	16,80	
Ce	28,00	23,00	12,30	9,90	9,20	22,00	28,00	21,00	28,00	
Pb	1,36	2,70	1,19	3,60	3,40	3,70	5,10	5,60	2,50	
Pr	4,7	3,7	1,7	1,45	1,21	3,2	4	2,7	4,2	
Sr	707	659	336	437	419	413	358	157	736	
Nd	24,00	17,70	8,10	6,40	5,30	14,20	16,90	10,90	21,00	
Zr	163	139	50	36	24	50	109	91	190	
Hf	4,40	3,80	3,70	0,95	0,69	1,27	2,80	2,20	4,30	
Sm	5,70	4,80	2,20	1,42	1,37	3,10	3,50	2,40	4,40	
Eu	1,39	1,28	0,68	0,61	0,60	0,71	0,82	0,42	1,16	
Gd	4,90	4,40	2,10	1,10	1,36	2,80	3,00	2,10	4,00	
Tb	0,63	0,68	0,33	0,18	0,20	0,40	0,44	0,32	0,54	
Dy	3,70	4,10	2,00	1,06	1,20	2,40	2,80	1,81	2,80	
Y	20,00	25,00	12,70	7,60	7,10	15,10	17,20	12,00	16,20	
Но	0,67	0,81	0,38	0,20	0,24	0,47	0,54	0,37	0,61	
Er	1,62	2,30	1,15	0,58	0,70	1,39	1,64	1,06	1,58	
Tm	0,20	0,34	0,16	0,08	0,10	0,19	0,24	0,16	0,21	
Yb	1,23	2,20	1,02	0,54	0,65	1,21	1,43	1,02	1,30	
Lu	0,16	0,34	0,15	0,07	0,10	0,19	0,22	0,15	0,17	
$Th_{N}Yb_{N}$	10,6	1,1	12,3	10,3	7,1	5,7	13,7	17,6	12,1	
La _N /Yb _N	8,0	3,5	4,8	7,7	5,9	7,0	8,0	8,7	8,9	

Примечание. Породы: б-р.г. – биотит-роговообманковое габбро, к-б.м. – кварц-биотитовый монцонит, к-б-р.д – кварц-биотит-роговообманковый диорит, л.г. – лейкогаббро, р.г. – роговообманковое габбро, р.г. – роговообманковый габбро-диорит. Содержания петрогенных компонентов (пересчитаны на 100% сухого остатка) и элементов-примесей определены методами РФА (аналитик Н.Г. Карманова) и LA ICP-MS (аналитик С.В. Палесский) в Институте геологии и минералогии СО РАН по одним и тем же препаратам (стеклам).



Анализ редкоземельных и редких элементов в породах проводился методом массспектроскопии с индуктивно связанной плазмой и с лазерной абляцией (LA ICP-MS) на масс-спектрометре ELEMENT с лазерной приставкой (UV Laser Probe, лазер Nd: $YAG \lambda = 266 \text{ нм})$, при точности единичных измерений 15-20% (аналитик С.В. Палесский). По содержаниям и характеру распределения несовместимых элементов породы Шивилигской группы массивов не имеют между собой значимых различий (рис. 3). Спектр распределения редкоземельных элементов роговообманкового габбро (Shi-240) и роговообманкового габбро-диорита (Shi-241) отличаются европиевым максимумом, что, вероятно, обусловлено фракционированием плагиоклаза. Аналогичные спектры имеют габбронориты Остюренского массива [6] (рис. 3, а). Положительные аномалии Ва, К, Рb и Sr, с одной стороны, и отрицательная аномалия Nb в исследованных породах, с другой стороны, свидетельствуют о ведущей роли субдукционной компонен-

ты в исходных магмах пород Шивилигской группы массивов.

В целом содержания и характер распределения несовместимых элементов в изученных породах является типичным для островодужных геодинамических обстановок. В процессе формирования офиолитов на разных участках каледонид Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП) параллельно возникали условия изоляции магматических камер с дифференциацией расплавов [10], за счет чего образовывались надсубдукционные островные дуги. Внедренные в более поздней стадии магматические образования, как правило, унаследуют их геохимическую особенность. Согласно возрастным рубежам тектонической эволюции данного сегмента Центрально-Азиатского складчатого пояса (ЦАСП), породы Шивилигской группы массивов формировались в коллизионной тектонической обстановке, которая соответствует возрасту раннекаледонской аккреции в герцинидах Центральной Азии [10] и формированию

меланжированных базитовых комплексов вдоль сутурных границ. Примеры подобных интрузивных массивов широко представлены в ЦАСП в т.ч. на Юго-Западной Туве, где отмечается проявление двух фаз базитового магматизма. Более ранняя фаза представлена породами переходного состава в виде крупных аллохтонных блоков среди более поздних габброидов и имеет возраст 494 млн лет (поздний кембрий). В большинстве случаев их образование связывают с воздействием мантийного плюма на подлитосферную мантию, метасоматизированную на предыдущем субдукционном этапе [7]. В качестве более поздних пикритоидных проявлений плюмового магматизма (внутриплитного) в Хамсаринской зоне предполагаются массивы ультрабазит-троктолит-лейкогаббровой ассоциаций. Кроме того, в Туве известны проявления пикритоидного магматизма с возрастом около 480 млн лет, установленные в Мажалыкском дунит-троктолит-габбровом массиве [7], и который расположен в 240 км к югозападу от Шивилигской группы массивов.

Авторы выражают благодарность С.В. Палесскому, И.В. Николаевой, А.В. Травину (ИГМ СО РАН) за помощь в выполнении аналитических исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 11-05-98015, 11-05-10018-к) и проекта ОНЗ 2.1.

Список литературы

- 1. Берзин Н.А., Кунгурцев Л.В. Геодинамическая интерпретация геологических комплексов Алтае-Саянской области // Геология и геофизика. 1996. Т.37. № 1. С. 63–81
- 2. Изох А.Э., Вишневский А.В., Поляков Г.В., Калугин В.М., Оюунчимэг Т., Шелепаев Р.А., Егорова В.В. Урэгнурская платиноносная вулканоплутоническая пикрит-базальтовая ассоциация Монгольского Алтая индикатор

- кембро-ордовикской крупной изверженной провинции // Геология и геофизика. -2010. T. 51. № 5. C. 665–681.
- 3. Леснов Ф.П. Редкоземельные элементы в ультрамафитовых и мафитовых породах и их минералах // Главные типы пород. Породообразующие минералы. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2007. 403 с.
- 4. Лисицын В.И., Пятов О.И., Александровский Ю.С. Дифференцированные габброиды восточной части Хамсаринской зоны (Северо-Восточная Тува) // Базитовые и ультрабазитовые комплексы Сибири // Труды ин-та ГиГ АН СССР. Новосибирск: Наука, 1979. С. 96–117.
- 5. Монгуш А.А., Лебедев В.И., Ковач В.П., Сальникова Е.Б., Дружкова Е.К., Яковлева С.З., Плоткина Ю.В., Загорная Н.Ю., Травин А.В., Серов П.А. Тектономагматическая эволюция структурно-вещественных комплексов Таннуольской зоны Тувы в позднем венде-раннем кембрии (на основе геохимических, Nd изотопных и геохронологических данных) // Геология и геофизика. 2011. Т. 52. № 5. С. 649—665.
- 6. Пятов О.И., Семенов М.И. Раннепалеозойские габброиды Северо-Восточной Тувы и их рудоносность // Плутонические формации Тувы и их рудоносность: Труды ин-та ГиГ АН СССР. – Новосибирск: Наука, 1984. – С. 57–84.
- 7. Сальникова Е.Б., Ковач В.П., Козаков И.К., Ойдуп Ч.К., Монгуш А.А., Яковлева С.З., Федосеенко А.М. Возраст и геодинамическая позиция перидотит-пироксенитанортозит-габбрового мажалыкского комплекса, Восточная Тува // Петрология. 2004. Т. 12. № 6. С. 656–662.
- 8. Травин А.В., Юдин Д.С., Владимиров А.Г., Хромых С.В., Волкова Н.И., Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б. Термохронология Чернорудской гранулитовой зоны (Ольхонский регион, Западное Прибайкалье) // Геохимия. 2009. Т. 11. С. 1181—1199.
- 9. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П., Козаков И.К.,Котов А.Б. Геодинамика формирования каледонид Центрально-Азиатского складчатого пояса // Докл. РАН. 2003.-T.389.-№ 3.-C.354–359.
- 10. Ярмолюк В.В., Коваленко В.И., Ковач В.П., Козаков И.К., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. Ранние стадии формирования Палео-Азиатского океана: результаты геохронологических, изотопных и геохимических исследований позднерифейских и венд-кембрийских комплексов Центрально-Азиатского складчатого пояса // Докл. РАН. 2006. Т. 410. № 5. С. 657—662.
- 11. Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Magmatism in the ocean basins / A.D. Saunders, M.J. Norry (eds). Geol. Soc. London. Spac. Publ. 1989. Vol. 42. P. 313–346.

УДК 551.583

АНАЛИЗ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЕЙ ВОДЫ В СИСТЕМЕ ВЕЛИКИХ СЕВЕРОАМЕРИКАНСКИХ ОЗЕР

¹Ослин С.Г., ^{1,2}Смагин А.И.

¹Южно-Уральский институт биофизики, Озерск, e-mail: oslin@inbox.ru; ²Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), Челябинск, e-mail: Smagin54@mail.ru

Методом преобразования Фурье проведен анализ помесячных изменений уровней воды в Великих североамериканских озерах (Верхнее, Мичиган (Гурон), Сент-Клэр, Эри и Онтарио) за временной интервал наблюдений продолжительностью более ста лет. Анализ динамики изменения относительных объемов воды за месяц $\Delta V/V$ позволил выявить внутригодовые циклы с периодом 3, 4, 6 и 12 месяцев. Было установлено, что время наполнения для всех Великих озер приблизительно одинаково и составляет около 6 месяцев, а для водоемов с зарегулированным стоком параметр «продолжительность наполнения» в пределах годового интервала имеет большее значение. Амплитуды годовых гармоник уровней воды в Великих озерах тем больше, чем меньше объем воды или средняя глубина водоема.

Ключевые слова: Великие американские озёра, уровни вод, Фурье анализ, период и амплитуда гармонической составляющей

ANALYSIS OF WATER LEVEL FLUCTUATIONS IN THE GREAT NORTH AMERICAN LAKES

¹Oslin S.G., ^{1,2}Smagin A.I.

¹Southern Ural Biophysics Institute, Ozersk, e-mail: oslin@inbox.ru; ²Southern Urals State University (national research university), Chelyabinsk, e-mail: Smagin54@mail.ru

The analysis of long-term water level change data in the North American Great lakes (Upper, Michigan, Huron, St. Clair, Erie and Ontario) was performed by the Fourier transform method for the observation over hundred years time interval. It was found that there are intra-annual cycles with periods of 3, 4, 6 and 12 months in the dynamics of relative changes of the lake water volumes for the month $\Delta V/V$. The smaller water volume or average depth of the lakes are , the greater amplitude of the annual water levels harmonic of the Great lakes is.

Keywords: the Great North American lakes, water level, Fourier analysis, the amplitude and period of harmonic component

Изучение климата нашей планеты является одной из фундаментальных задач, поскольку влияет на самые разные аспекты жизни и деятельности человека [2]. Изменения климата могут служить причиной катастроф различного характера. Так, аномально высокие температуры засушливым летом и отсутствие осадков приводят - возникновению пожаров, а аномально высокое увлажнение - к переполнению водохранилищ, разрушению плотин, затоплению селитебных территорий и зон промышленных предприятий. Динамика увлажнения территории определяет показатели стока, уровни воды в реках, водохранилищах и озерах. Так, изменение уровня воды в Теченском каскаде водоемов - хранилищ радиоактивных отходов (ТКВ) на Южном Урале может привести к экологической катастрофе. Стихийное превышение регламентного уровня водоемов ТКВ вызовет аварийный сброс загрязненных радионуклидами вод в открытую гидрографическую сеть, а пересыхание обнажение мелководий, высыханию высокоактивных илов и их ветровой разнос [4, 5, 6].

Впервые исследования по выявлению причин зависимости увлажнения территории от климатических изменений были начаты в конце 19 начале 20 в. А.И. Воейковым [1]. В наше время исследования механизмов увлажнения, формирующегося под действием различных климатических процессов, приобрели особую важность и актуальность не только с научной точки зрения, но и с практической, социальной и политической [2, 7]. В последние годы проводились многочисленные исследования, направленные на выявление закономерностей динамики атмосферных осадков и воздействия различных факторов на процессы увлажнения и обусловленную этими процессами динамику уровня воды водоемов [3].

Целью настоящего исследования является выявление особенностей в изменениях уровня воды водоемов методом преобразования Фурье с использованием рядов наблюдений уникальной длины.

Основная задача — анализ результатов штатных наблюдений, размещенных в открытом доступе в Интернете [11],

за изменениями уровней в системе Великих североамериканских озер Верхнее, Гурон, Мичиган, Эри и Онтарио, с использованием преобразования Фурье [10].

Материалы и методы исследования

Система Великих североамериканских озер расположена в восточной части североамериканского континента. Великие озера заполняют котловины, оставленные ледником, что обусловило морфометрические особенности этих водоемов. Северные берега озер большей частью скалистые, обрывистые, а южные — более низкие, глинистые и песчаные. Береговая линия местами изрезанная, на акватории водоемов много островов. Великие озера — самая крупная пресноводная система водоемов северного полушария, в которую входят оз. Верхнее, Гурон, Мичиган, Сент-Клэр, Эри и Онтарио [8] (рис. 1).

Вода из оз. Верхнее поступает по порожистой реке Святого Мариса в оз. Гурон. Перепад высот между озерами составляет около 6 метров. Оз. Гурон связано с оз. Мичиган широкой протокой, и поэтому в дальнейшем оба озера мы будем анализировать как единую систему.

Вытекает из оз. Гурон река Сент-Клэр, впадающая в оз. Сент-Клэр — самое маленькое в системе Великих озер. Озеро Сент-Клэр имеет среднюю глубину 3,4 метра, а максимальную 8 метров, площадь зеркала составляет 1100 км². Из оз. Сент-

Клэр вытекает река Детройт, впадающая в оз. Эри. Перепад высот между оз. Гурон и оз. Эри составляет более 2,5 метров.

Река Ниагара соединяет оз. Эри и Онтарио. На реке расположен Ниагарский водопад, высота которого составляет 99 метров. Между озерами Эри и Онтарио проложен канал Велланд, обеспечивающий обход судов вокруг Ниагарского водопада. Из оз. Онтарио вода поступает в реку Сент Лоренс, которая впадает в р. Оттава, несущую воду в Атлантический океан. Основные гидрологические параметры озер приведены в табл. 1.

Для расчетов мы использовали данные о динамике гидрологических показателей Великих озер размещенные в открытом доступе на интернет сайте [11]. За гидрологическими параметрами проводились длительные систематические наблюдения продолжительностью более 100 лет, что позволяет выявить ряд скрытых закономерностей, которые невозможно определить, используя короткие ряды наблюдений. Периодическое изменение уровня воды в озерах, имеющее характер флуктуаций, можно представить рядом Фурье - суммой гармонических сигналов различной амплитуды и частоты (или периода). Частота или период этих сигналов использовалась нами для выявления закономерностей изменений уровня водоема или иных гидрологических параметров. Анализ данных проводили, используя алгоритм Фурье анализа, имеющийся в пакете «Анализ данных» приложения Excel набора MicrosoftOffice и реализующий быстрое преобразование Фурье [9].

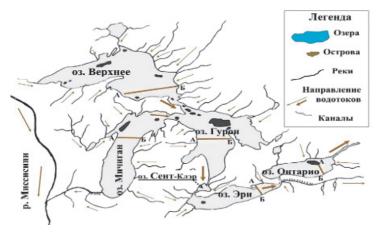


Рис. 1. Система Великих Североамериканских озер

Таблица 1

Основные гидрологические параметры Великих озер

Озеро	Площадь зеркала <i>S</i> , км ²	Высота над уровнем моря, м	Максимальная глубина <i>H</i> , м	Средняя глубина <i>h</i> , м	Направление стока	Объем V , км ³
Верхнее	82400	186	393	147	в оз. Мичиган и Гурон	12000
Гурон и Мичиган*	58000	176	Мичиган – 281 Гурон – 208	85	в оз. Сент-Клэр	4900
Онтарио	19500	75	236	86	р. Сент-Лоренс	1640
Эри	25700	174	64	10	в оз. Онтарио	480
Сент-Клэр	1114	175	8	3,4	в оз. Эри	3,4

Примечание. *Озера Гурон и Мичиган в дальнейшем анализируются как один водоем.

При анализе данных многолетних измерений уровней воды в озерах вычисляли параметр $\Delta V/V$ — отношение разности уровней последующего и предыдущего месяцев к отношению объема воды в озере к площади поверхности его зеркала по следующей формуле

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{h_n - h_{n-1}}{V/S},$$

где $\Delta V/V$ — анализируемый параметр; $h_{_n}$ — уровень воды в последующем месяце; $h_{_{n-1}}$ — уровень воды в предыдущем месяце; V — объём воды в озере; S — площадь зеркала воды озера.

Фактически параметр $\Delta V/V$ есть не что иное, как относительное изменение объема воды в озере за месяц.

Полученный сигнал $\Delta V/V$ исследовали с помощью преобразования Фурье [9]. В результате анализа для каждого из озер за время наблюдения строилась периодограмма, на которой по оси X откладывались периоды гармонических составляющих (гармоник), а по оси Y – их вещественные амплитуды. Особенностью алгоритма быстрого преобразования Фурье, применяемого в Excel, является то, что длина анализируемого набора данных должна быть кратна 2^n , то есть равняться, например, 512, 1024 или 2048.

Результаты исследования и их обсуждение

Для иллюстрации на рис. 2 приводятся периодограммы озер Верхнее и Мичиган (Гурон), полученные в результате преобразования Фурье. Аналогичные периодограммы были получены для всех Великих озер.

Из анализа рядов наблюдений следует, что за исследованный интервал во всех Великих озерах наблюдаются сезонные периоды 4, 6 и 12 месяцев. Наиболее интенсивная по амплитуде гармоническая составляющая имеет период около 12 месяцев. Озера Сент-Клэр, Эри и Онтарио кроме указанных периодов имеют дополнительные периоды приблизительно 3 и 8 месяцев.

Для исключения влияния погрешности, которая могла возникать при измерениях уровня воды на протяжении сотни лет на результаты анализа, проводилась проверка (рис. 3).

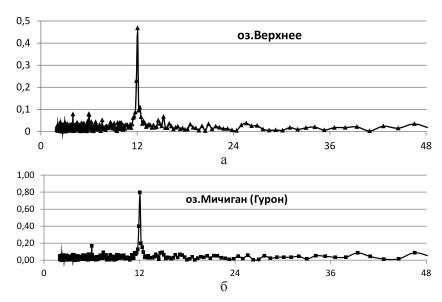


Рис. 2. Периодограммы ежемесячного относительного изменения объема воды $\Delta V/V$ в оз. Верхнее (а) и Мичиган и Гурон (б). По оси X – период гармоник в месяцах; по оси Y – амплитуда в относительных единицах

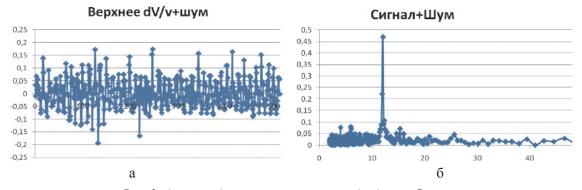


Рис. 3. Анализ рядов измерений уровня воды для оз. Верхнее

Значения $\Delta V/V$ суммировались с шумом, имеющим нормальное распределение и среднеквадратичное отклонение 0,001. Шум создавался с помощью генератора случайных чисел в Excel, и его амплитуда была сопоставима с амплитудой $\Delta V/V$. На рис. 3, а показан сигнал, представляющий сумму относительного изменения объема воды за месяц ($\Delta V/V$) для оз. Верхнее и случайного шума со среднеквадратичным отклонением $1 \cdot 10^{-3}$, и периодограмма, полученная с помощью анализа Фурье при обработке сигнала, представленного на рис. 3, б. В результате было установлено, что периоды гармоник не зависят от амплитуды шума в пределах, даже когда амплитуда шума сопоставима с амплитудой изменения $\Delta V/V$ для оз. Верхнее. Это свидетельствует о том, что на периоды гармоник не влияет погрешность измерения величины уровня воды, которая могла возникнуть в течение длительных наблюдений в результате смещения реперов.

Если периоды сезонных гармоник изменения уровня воды для всех Великих озер при анализе с начала наблюдения по настоящее время одинаковы, то соответствующие амплитуды оказываются различными (рис. 4).

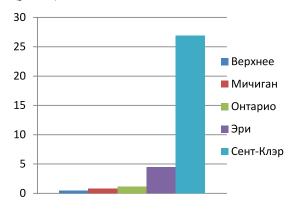


Рис. 4. Относительные амплитуды годовых гармоник $\Delta V/V$

Наименьшая величина амплитуды основной гармоники изменения уровня воды наблюдается у оз. Верхнее и оз. Мичиган, которые не имеют крупных притоков и являются наибольшими по объему воды, а наибольшая величина амплитуды наблюдается у озера Сент-Клэр, которое имеет наименьший из всех Великих озер объем воды и наименьшую среднюю глубину (рис. 2). Очевидно, что водоем с большей массой воды проявляет себя более инертно в процессах нагрева (испарения) и охлаж-

дения, установления ледового покрова и его таяния.

Динамику наполнения и разгрузки Великих озер за длительный период наблюдений исследовали, используя показатель ежемесячного отклонения уровня от среднего за год к средней глубине — V/S. Положительное значение параметра свидетельствует об увеличении уровня — наполнении водоема (табл. 2).

 Таблица 2

 Результаты анализа продолжительности наполнения Великих озер

Водоем	Продолжительность заполнения, мес.				
Верхнее	C середины мая по декабрь $T = 6.5$				
Мичиган, Гурон	С середины апреля по октябрь $T = 5,5$				
Сент-Клэр	С апреля по октябрь $T = 6$				
Эри	С середины марта по середину сентября $T = 6$				
Онтарио	С середины марта по сентябрь $T = 5,5$				

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что продолжительность наполнения для всех Великих озер приблизительно одинакова и составляет около 6 месяцев. У водоемов, имеющих зарегулированный сток, параметр «продолжительность наполнения» и размещение его в пределах годового интервала имеет большое значение. Например, дополнительный сброс воды в течение этого интервала может привести к неоправданному снижению уровня воды в водоеме. Вероятно, что параметр «продолжительность наполнения» является характеристикой каждого водоема.

Природа существования гармоник с периодами 4 и 6 месяцев для рассмотренных нами гидрологических параметров, повидимому, определяется климатическими особенностями района водосбора системы Великих озер. Возможно, что в течение года с выявленной периодичностью происходят природные или техногенные процессы, обуславливающие эти закономерности.

Длительный характер наблюдений, на протяжении более 150 лет для уровней воды, во многом определяет надежность полученных результатов. Закономерности, выявленные в результате проведенных исследований, согласуются с результатами исследований процессов динамики уровней Великих североамериканских озер, выполненных рядом авторов [8].

Колебания уровней, по-видимому, отражают глобальные климатические процессы в Северном полушарии, и поэтому полученные результаты являются актуальными не только для североамериканского континента, но и для Евразии, включая территорию России.

Заключение

Исследования рядов наблюдений за уровнями воды озер Верхнее, Мичиган (Гурон), Сент-Клэр, Эри и Онтарио с помощью анализа Фурье за временной интервал с начала наблюдений по 2012 г. позволили установить, что для гармонических составляющих относительного помесячного изменения объема воды существуют периоды 3, 4, 6 и 12 месяцев.

Время наполнения для всех Великих озер приблизительно одинаково и составляет около 6 месяцев. Следует отметить, что для водоемов, которые имеют зарегулированный сток, параметр «продолжительность наполнения» и размещение его в пределах годового интервала имеет большее значение.

Амплитуды годовых гармоник колебаний уровней воды в Великих озерах тем больше, чем меньше объем воды или средняя глубина водоема.

Авторы выражают искреннюю благодарность и признательность кандидату физико-математических наук П.А. Жарову, докт. хим. наук. А.А. Пичугину, канд. биол. наук Т.Г. Ослиной за оказанную помощь и ценные рекомендации при подготовке настоящей статьи.

Список литературы

- 1. Воейков А.И. Колебания климата и уровня озер Туркестана и Западной Сибири // Метеорологический вестник. -1901. -№ 3. C. 16–27.
- 2. Кривенко В.Г. Концепция природной циклики и некоторые задачи хозяйственной стратегии России // BioDat. 2002. URL: http://www.biodat.ru.
- 3. Рогачева И. К. О проблеме прогноза изменений климата земли // Климат и природа. -2012. -№ 1. С. 3–9.
- 4. Садовников В.И. Современное состояние и пути решения проблем Теченского каскада водоемов / В.П. Садовников, Ю.В. Глаголенко, Е.Г. Дрожко и др. // Вопросы радиационной безопасности. -2002. -№ 1. -C. 3–14.
- 5. Смагин А.И. Экология промышленных водоемов предприятия ядерного топливного цикла на Южном Урале. — Озерск: Редакционно-издательский центр ВРБ, 2007. — 190 с.
- 6. Смагин А.И. Экология водоемов в зоне техногенной радионуклидной геохимической аномалии на Южном Урале. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. 205 с.
- 7. Шнитников А.В. Внутривековая изменчивость компонентов общей увлажненности. Л.: Наука, 1969. С. 244.
- 8. Fortin V., Gronewold A.D. Water Balance of the Laurentian Great Lakes. Eds. Lars Bengtsson, Reginald W. Herschy and Rhodes W. Fairbridge // Encyclopedia of Lakes and Reservoirs. Encyclopedia of Earth Sciences Series 10.1007/978-1-4020-4410-6_268. Springer Science+Business Media B.V. 2012. P. 864–869.
- $9. \ Great \ lakes environmental \ research \ laboratory \ [Electronic \ resource]. URL: \ http://www.glerl.noaa.gov/data.$
- $10.\ Microsoft\ Office\ Excel\ version\ 2007\ [Electronic resource]. -2007. -URL: https://www.microsoft.com.$

УДК 914/919:304.3

СРАВНЕНИЕ СИБИРИ С ДРУГИМИ МАКРОРЕГИОНАМИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ ПО УРОВНЮ РАЗВИТИЯ И СОЦИАЛЬНОГО БЛАГОПОЛУЧИЯ

Попов П.Л., Сараев В.Г.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail: plp@irigs.irk.ru

Сравниваются 13 макрорегионов России по 18-ти явлениям, определяющим уровень развития и социального благополучия и по 4-м явлениям мировоззренческой сферы. Отмечается значительное различие между Западной и Восточной Сибирью по совокупности явлений, определяющих уровень развития и социального благополучия. Первая близка к макрорегионам, лидирующим в данном отношении, вторая – относится к макрорегионам-аутсайдерам. Выявляются, на совокупности субъектов РФ, корреляции между рассматриваемыми социальными явлениями. Комплекс особенностей (отклонений от среднего по макрорегионам России уровня) Восточной Сибири рассматривается с учетом этих корреляций. Выявляются черты системности в сочетании особенностей Восточной Сибири и высказываются предположения о характере причинных связей, его сформировавших.

Ключевые слова: макрорегионы России, развитие и социальное благополучие, корреляции социальных явлений, сочетание особенностей Восточной Сибири

COMPARISON OF SIBERIA WITH OTHER MACROREGIONS OF THE RUSSIAN FEDERATION ON THE LEVEL OF DEVELOPMENT AND SOCIAL WELLBEING

Popov P.L., Saraev V.G.

Sochava Institute of Geography SD RAN, Irkutsk, e-mail: plp@irigs.irk.ru

13 macroregions of Russia on 18 phenomena determining a level of development and social wellbeing and by 4 phenomena of the world outlook sphere are compared. The significant difference between the Western and Eastern Siberia in the aspect of the phenomena defining a level of development and social wellbeing is noted. Western Siberia is close to the macroregions leading in this relation, Eastern Siberia – treats macroregions outsiders. Come to light, on set of territorial subjects of the Russian Federation, correlation between the considered social phenomena. The complex of features of Eastern Siberia is considered taking into account these correlations. Lines of systemacity in a combination of features of Eastern Siberia come to light. Assumptions about character of the causal relationships which have created this combination are suggested.

Keywords: macroregions of Russia, development and social wellbeing, correlations of social phenomena, combination of features of Eastern Siberia

Изучение уровня социально-экономического развития, качества жизни, здоровья общества, социального благополучия (это разные, но родственные понятия) для Сибири особенно актуально по нескольким основаниям. Складывающиеся внешнеполитические и геоэкономические реалии (ухудшение отношений с Западом, усиление стран Восточной Азии) дают импульс новой активизации усилий нашей страны по развитию Сибири и Дальнего Востока и актуализируют изучение Сибири вообще. Вместе с тем Сибирь – макрорегион России, сочетающий черты сравнительной развитости, продвинутости в некоторых отношениях с чертами сравнительной проблемности и отсталости в других отношениях (как правило, связанных именно с вопросами социального благополучия). Такое несоответствие обостряет восприятие проблем Сибири и является объективной предпосылкой их решения. Сравнение Сибири с другими макорегионами России по явлениям, определяющим уровень развития и благополучия социума способствует осознанию ее наиболее важных проблем и преимуществ. Материалы и методы исследования

Макрорегионы России взяты в территориальных объемах традиционных экономических районов (но мы используем термин «макрорегион», потому что речь идет не только об экономических явлениях). Список макрорегионов таков. Центральное Черноземье, ЦЧ (Белгородская, Брянская, Курская, Тамбовская, Орловская, Рязанская, Калужская, Воронежская области). Центральное Нечерноземье, ЦНЧ (Владимирская, Московская, Костромская, Тверская, Смоленская, Ивановская, Ярославская области). Северо-Запад, СЗ (Калининградская, Ленинградская, Псковская, Новгородская области, Республика Карелия). Северо-Восток Европейской части, СВЕЧ (Архангельская, Вологодская, Мурманская области, Республика Коми), Северный Кавказ, республики, СК (Республика Дагестан, Республика Адыгея, Республика Северная Осетия - Алания, Чеченская

Республика, Республика Ингушетия, Кабардино-Балкарская Республика, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Калмыкия). Юго-Запад, ЮЗ (Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский края), Поволжье, П (Нижегородская, Кировская, Пензенская, Ульяновская, Самарская, Саратовская, Волгоградская, Астраханская области, Республики Татарстан, Мордовия, Чувашская Республика). Урал, У (Свердловская, Пермская, Челябинская, Курганская области, Республика Башкортостан, Удмуртская Республика). Западная Сибирь, ЗС (Тюменская, Омская, Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край, Республика Алтай, Ямало-Ненецкий и Ханты-Мансийский автономные округа). Восточная Сибирь, ВС (Красноярский край, Иркутская область, Республика Хакасия, Республика Тыва, Республика Бурятия, Республика Саха (Якутия), Забайкальский край). Дальний Восток, ДВ (Магаданская. Сахалинская, Амурская области, Камчатский, Приморский и Хабаровский края, Еврейская автономная область, Чукотский автономный округ). К макрорегионам приравниваются же Москва, М и Санкт-Петербург, СПб. Задача - выявить особенности Сибири (Западной и Восточной) в сравнении с другими макрорегионами России по 18 социальным явлениям и рассмотреть вопрос о взаимосвязи этих особенностей, их системном характере. Источник информации по большинству социально-экономических явлений – статистический сборник «Регионы России» 2014 года [9].

Выбор круга рассматриваемых явлений определялся следующими обстоятельствами. Продолжительность жизни, различные явления экономической (уровень доходов в первую очередь) и образовательной сфер обычно рассматриваются как аспекты качества жизни, развития человеческого потенциала и родственных характеристик социума. Мы, в общем, следуем этому подходу. Но на некоторых особенностях нашего анализа и учитываемых нами явлениях следует сейчас остановиться подробнее. Мы включаем в рассмотрение непосредственно явления-характеристики населения (образование, доход, наука, питание, преступность) и явления-характеристики производительных сил социума (валовой региональный продукт, уровень урбанизации, производство электроэнергии, развитие обрабатывающих производств).

Мы включаем в рассмотрение такие явления образовательной сферы, как резуль-

таты Единого государственного экзамена в Российской Федерации по математике и русскому языку. Как известно, введение ЕГЭ вызвало неоднозначную, чаще отрицательную реакцию образовательного сообщества. Нежелательной стороной ЕГЭ являются тестовая форма и чрезмерный учет результатов при поступлении в вузы. Но единовременная и однотипная проверка знаний, охватывающая все школы страны, несомненно, полезна, и дает картину, имеющую ценность, в том числе, с географической точки зрения. Источник информации по результатам ЕГЭ – сайт Минобразования [2].

Кроме того, для получения одного из показателей, характеризующих качество школьного образования, нами использованы данные московского центра непрерывного математического образования и Минобразования РФ, представленные в виде 9 рейтингов (в каждом рейтинге 100 лучших для определенной области знаний средних школ РФ) [3]. Мы вычислили для каждого субъекта РФ количество баллов по принципу: одно присутствие в рейтинге – 1 балл (например, если в определенном субъекте РФ имеется 1 школа, попавшая в топ-100 по математике, и 2 школы, попавшие в топ-100 по химии, то регион получает за эти дисциплины в 3 балла). Необходимо и в данном случае учесть различия субъектов РФ по численности населения. Каждый субъект мы характеризуем относительным баллом, получающимся в результате деления доли данного субъекта в общем количестве (сумме) баллов всех субъектов РФ на долю субъекта в населении РФ.

Как известно, в современной России имеет место сильная дифференциация средних школ по качеству обучения. Ясно, что кузницами будущей российской элиты в большой мере являются лучшие школы. Географический аспект в этой проблематике имеется, о чем мы будем говорить далее.

Мы также учитываем как отрицательный фактор, влияющий на социальное благополучие, распространенность двух видов преступлений — убийства и кражи. Разные виды преступлений против личности тесно связаны корреляциями между собой, а преступления против собственности — между собой. Поэтому по количеству убийств и краж можно судить и о количестве других видов преступлений.

Все перечисленные группы явлений, несмотря на взаимную разнородность, могут, на наш взгляд, рассматриваться как аспекты единой характеристики, называемой «уровень социально-экономического развития и благополучия региона» (синоним —

«уровень успешности региона») потому, что между ними существуют многочисленные и разнообразные связи (в том числе потенциальные). О потенциальной связи можно говорить, если достоверная корреляция между некоторыми явлениями на определенной совокупности отсутствует, но отмечается на других совокупностях, и (или) органичность данной связи следует из содержательного анализа соответствующих явлений. Например, на совокупности субъектов РФ в целом не фиксируется достоверной корреляции между продолжительностью жизни и процентной долей городского населения. Но на совокупности стран мира положительная корреляция между этими явлениями хорошо выражена. И в России самые крупные города – Москва и Санкт-Петербург – резко выделяются по данному показателю в лучшую сторону. Возможности оказания медицинских услуг в городах неизбежно выше, чем вне городов. Из всех этих фактов следует, что положительная связь между уровнем урбанизации и продолжительностью жизни может реализоваться при определенных обстоятельствах и на уровне совокупности субъектов РФ. Вместе с тем мы учитываем и элемент разнородности в совокупности рассматриваемых явлений. Уровень развития и уровень социального благополучия это хотя и взаимосвязанные, но не тождественные понятия. И в понятии «уровень развития» есть свои подразделения.

В группе явлений, определяющих уровень развития, выделим экономические (душевой ВРП, душевой доход, производство электроэнергии, развитие обрабатывающих производств) и научно-образовательные (количество студентов вузов, патентов на изобретения, результаты ЕГЭ, успешность средних школ на олимпиадах разных уровней). Как мы покажем далее, образовательная и экономическая составляющая уровня развития варьируют по макрорегионам относительно независимо. К явлениям, определяющим уровень социального благополучия, мы относим продолжительность жизни и распространенность различных видов преступлений.

Мы рассмотрим, в аспекте изменчивости по макрорегионам РФ также ряд мировоззренческих явлений; они не входят в содержание понятия «уровень социально-экономического развития и благополучия», но тесно коррелируют во многих случаях с явлениями, в данное содержание входящими. Знания о пространственной дифференциации этих явлений в известной мере дополняют знания о явлениях, входящих в содержание

данного понятия. Источник информации по мировоззренческим явлениям — сайт фонда «Общественное мнение» (российская неправительственная организация), содержащий данные репрезентативного опроса в субъектах РФ, проведенного в 2012 году [1].

Вообще при выборе учитываемых явлений (всех) принимались во внимание результаты наших исследований о корреляционных взаимосвязях социально-экономических явлений в Российской Федерации [5, 6, 7]. Мы стремились включать в рассмотрение в особенности те явления, которые образуют многочисленные корреляционные связи.

Далее, после названия каждого явления следует перечень макрорегионов (названия сокращены) с количественными значениям данного явления, в порядке их убывания. В случае преступлений (убийство, кража), наоборот, регионы ранжированы в порядке возрастания распространенности явления. Это связано с тем, что в данном случае имеет место ситуация, обратная всем остальным рассматриваемым ситуациям — чем сильнее в макрорегионе выражено явление, тем хуже позиция макрорегиона оценивается.

Ранжирование макрорегионов по отдельным компонентам развития и социального благополучия и по их совокупности в целом

Валовой региональный продукт (рублей на душу населения)

- 1. M (965843).
- 2. 3C (805362).
- 3. ДВ (552730).
- 4. СПб (491450).
- 5. CBEY (417477).
- 6. BC (308873).
- 7. У (296965).
- 8. C3 (283739).
- 9. ЦЧ (251884).
- 10. ЦНЧ (240019). 11. П (236543).
- 11. 11 (230343).
- 12. ЮЗ (230010).
- 13. CK (133226).

Душевой доход (рублей на душу населения)

- 1. M (54504).
- 2. ДВ (36702).
- 3. СПб (34742).
- 4. CBEY (29307).
- 5. 3C (29529).
- 6. ЮЗ (24578).
- 7. У (24339).
- 8. ЦЧ (23374).

```
9. ЦНЧ (23073).
                                                4. ЦЧ (346,7).
10. BC (22078).
                                                5. ЮЗ (339,3).
11. C3 (22014).
                                                6. 3C (319,8).
12. \Pi (21509).
                                                7. У (316).
13. CK (18066).
                                                8. CK (298,8).
                                                9. BC (279,9).
  Доля городского населения (%)
                                                10. ДВ (275,1).
1. СПб (100).
                                                11. ЦНЧ (274).
2. M (98,8).
                                                12. CBEY (251).
3. CBE4 (79,8).
                                                13. C3 (228).
4. ЦНЧ (77,3).
                                             Кандидаты наук (на 100 тысяч жителей)
5. ДВ (77,1).
6. C3 (72,6).
                                                1. M (266,9).
7. 3C (72,1).
                                                2. СПб (161,6).
8. \Pi (71,6).
                                                3. ДВ (48,9).
9. У (70,1).
                                                4. 3C (40,3).
10. ЦЧ (68,3).
                                                5. ЦНЧ (34,2).
11. BC (67,1).
                                                6. BC (31,6).
12. ЮЗ (60,0).
                                                7. CBEY (28,8).
13. CK (46,5).
                                                8. C3 (27,7).
                                                9. HO3 (26,9).
  Производство электроэнергии
                                                10. У (20,6).
   (кВт.-ч.на душу населения)
                                                11. ЦЧ (20,3).
                                                12. Π (19,3).
1. BC (15613).
2. 3C (13903)
                                                13. CK (18,1).
3. ЦНЧ (13132).
                                                     Патенты на изобретения
4. CBEY (11897).
                                                     (на 100 тысяч жителей)
5. ДВ (9009).
6. C3 (7930).
                                                1. M (71,3).
7. y (7263).
                                                СПб (25.6).
8. ЦЧ (5345).
                                                3. ЦНЧ (13,8).
9. ЮЗ (5156).
                                                4. \Pi (10,7).
10. \Pi (4584).
                                                5. ЦЧ (10,2).
11. M (3862).
                                                6. ЮЗ (8,9).
                                                7. У (8,8).
12. СПб (3536).
                                                8. 3C (8,6).
13. CK (633).
                                                9. ДВ (6,1).
 Обрабатывающие производства
                                                10. BC (6,0).
    (рублей на душу населения)
                                                11. C3 (5,0).
1. СПб (402486).
                                                12. CK (4,8).
2. M (378803).
                                                13. CBEY (3,6).
3. C3 (244889).
                                                 Результаты ЕГЭ по математике
4. У (233098).
                                                  (средний балл по субъектам РФ,
5. ЦЧ (215253).
                                              находящимся в данном макрорегионе)
6. CBE4 (202873).
7. 3C (189453).
                                                1. M (55,3).
8. ЦНЧ (170270).
                                                2. CK (55,0).
9. Π (169116).
                                                3. ЦЧ (51.0).
                                                4. П (50,3).
10. HO3 (103604).
11. BC (97967).
                                                5. C3 (49,8).
12. ДВ (66843).
                                                6. ЦНЧ (49,0).
13. CK (26816).
                                                7. HO3 (48,0).
                                                8. СПб (47,4).
          Студенты вузов
                                                9. 3C (46,5).
 (на 100 тыс. жителей региона)
                                                10. Y (45,0).
1. M (660).
                                                11. BC (44,9).
2. СПб (611).
                                                12. CBEY (44,2).
3. \Pi (352,5).
                                                13. ДВ (39,7).
```

```
Результаты ЕГЭ по русскому языку
                                                   5. \Pi (76,7).
    (средний балл по субъектам РФ,
                                                   6. ЦЧ (76,6).
 находящимся в данном макрорегионе)
                                                   7. 3C (75,9).
                                                   8. ЦНЧ (75,8).
   1. M (69.3).
                                                   9. CBE4 (75,77).
  2. ЦНЧ (64,8).
                                                   10. У (75,55).
  3. ЦЧ (64,7).
                                                   11. C3 (75,15).
  4. HO3 (64,6).
                                                   12. BC (73,4).
  5. СПб (64,3).
                                                   13. ДВ (72,6).
  6. \Pi (63,7).
  7. Y (63,7).
                                                          Потребление овошей
  8. C3 (63,4).
                                                         (кг на душу населения)
  9. CBE4 (62,8).
   10. 3C (62,4).
                                                   1. HO3 (147,7).
   11. BC (59,7).
                                                   2. CK (133,8).
  12. CK (59,0).
                                                   3. \Pi (116,7).
   13. ДВ (58,6).
                                                   4. ЦНЧ (113,6).
                                                   5. У (106,8).
    Балл успешности средних школ,
                                                   6. ЦЧ (103,6).
 вычисленный на основании частоты
                                                   7. C3 (102,8).
 попадания в рейтинги РФ топ-100 по
                                                   8. 3C (101,4).
9 учебным дисциплинам, по отношению
                                                   9. ДВ (101,3).
к численности населения макрорегиона
                                                   10. CBEY (94).
   1. M (3,2).
                                                   11. M (86).
  2. СПб (1,37).
                                                   12. BC (84,4).
  3. \Pi (1,26).
                                                   13. СПб (82).
  4. ЦЧ (1,18)
  5. CBEY (1,18).
                                                            Потребление мяса
  6. Y (1,02).
                                                         (кг на душу населения)
  7. C3 (0,96).
                                                   1. M (81).
  8. ЦНЧ (0,9).
                                                   2. C3 (80,8).
  9. 3C (0,86).
                                                   3. ЮЗ (76).
  10. ДВ (0,76).
                                                   4. ЦЧ (76).
   11. BC (0,51).
                                                   5. CBEY (74,3).
  12. ЮЗ (0,21).
                                                   6. 3C (74,3).
  13. CK (0,19).
                                                   7. \Pi (73,8).
                                                   8. BC (72,1).
          Продолжительность
  предстоящей жизни мужчин (лет)
                                                   9. У (72).
                                                   10. ДВ (71,5).
  1. M (72,77).
                                                   11. СПб (70).
  2. CK (69,99).
                                                   12. ЦНЧ (69,5).
  3. СПб (69,8).
                                                   13. CK (67,3).
  4. \Pi (64,76).
  5. HO3 (67, 06).
                                                          Потребление молока
  6. 3C (64,6).
                                                       (литров на душу населения)
  7. ЦЧ (64,3).
                                                   1. СПб (312).
  8. CBEY (63,7).
  9. ЦНЧ (63,7).
                                                   2. У (272,8).
   10. C3 (63,4).
                                                   3. C3 (270,6).
   11. Y (63,2).
                                                   4. 3C (266).
   12. BC (61,8).
                                                   5. \Pi (255,1).
   13. ДВ (61,5).
                                                   6. CK (246,7).
                                                   7. ЮЗ (238).
      Продолжительность жизни
                                                   8. BC (239).
             женщин (лет)
                                                   9. CBEY (235,5).
   1. M (80,38).
                                                   10. ЦЧ (223,5).
```

11. M (221).

12. ЦНЧ (213,8).

13. ДВ (179,1).

2. СПб (78,68).

3. CK (78,3).

4. IO3 (77,0).

Умышленное убийство и покушение на убийство (на 100 тысяч жителей)

- 1. M (3,1).
- 2. CΠ̄σ (4,9).
- 3. ЮЗ (5,8).
- 4. CK (6,1).
- 5. ЦЧ (6,3).
- 6. Π (6,4).
- 7. ЦНЧ (7,6).
- 8. C3 (9,9).
- 9. CBEY (10,2).
- 10. Y (10,5).
- 11. 3C (10,8).
- 12. ДВ (15,6).
- 13. BC (21,6).

Кража (на 100 тысяч жителей)

- 1. CK (169,8).
- 2. Π (446,1)
- 3. СПб (452,2).
- 4. ЦЧ (500,9).
- 5. ЮЗ (520).
- 6. ЦНЧ (564,6).
- 7. У (661,5).
- 8. 3C (686,6).
- 9. C3 (740,8).
- 10. CBEY (749,9).
- 11. M (767,9).
- 12. ДВ (815,8).
- 13. BC (944,1).

Отметим некоторые закономерности территориального распределения рассматриваемых явлений на макрорегиональном уровне.

Особое положение занимают приравниваемые к макрорегионам федеральные столицы, имеющие высокие показатели как уровня развития, так и уровня социального благополучия. В остальной части страны показатели развития и социального благополучия нередко оказываются территориально разделенными на уровне макрорегионов. Именно к остальной части страны (за вычетом федеральных столиц) относятся приводимые ниже характеристики.

Для макрорегионов, имеющих относительно северное и восточное положение (Центральное Нечерноземье, Северо-Запад, Северо-Восток европейской части, Урал, Западная Сибирь, Восточная Сибирь, Дальний Восток) характерны более благоприятные позиции в рейтингах явлений, рассматриваемых как компоненты экономического развития, чем в рейтингах явлений, рассматриваемых как компоненты социального благополучия. Для макрорегионов, имеющих относительно южное и западное положение (Центральное Чер-

ноземье, Поволжье, Юго-Запад), наоборот, характерны более благоприятные позиции в рейтингах явлений — компонентов социального благополучия, чем в рейтингах явлений — компонентов экономического развития. К этой группе макрорегионов примыкает и Северный Кавказ с его вызывающей сомнения (или требующей особой интерпретации) статистикой.

Высокие значения научно-образовательных компонентов уровня развития в целом более характерны (кроме федеральных столиц) для юго-западных макрорегионов РФ и западной части ареала северо-восточной группы макрорегионов. Соответственно, явления, определяющие уровень научно-образовательного развития, положительно связаны, в аспекте макрорегионального распределения, больше с социальным благополучием, чем с экономическим развитием. Исключения имеются, но правило именно такое.

Попытаемся получить оценку интегрального уровня развития и социального благополучия каждого макрорегиона, основанную на приведенных данных. Здесь возможны разные подходы, и любой имеет некоторую степень условности. Можно воспользоваться таким критерием: получить для каждого макрорегиона среднее значение от 18 цифр, отражающих его место в приведенных перечнях. Так, Западная Сибирь по валовому региональному продукту на душу населения занимает 2-е место, по душевому доходу – 5-е, по душевому производству электроэнергии 2-е, по процентной доле городского населения – 7-е, среднее арифметическое от этих и остальных цифр соответствующего ряда равно 6,6. Естественно, чем ниже значение этого показателя, тем уровень развития и социального благополучия выше.

Тогда макрорегионы ранжируются следующим образом

- 1. M (3,3).
- 2. СПб (4,3).
- 3. ЦЧ (6,2).
- 4. Π (6,3).
- 5. 3C (6,6).
- 6. 103(6,7).
- 7. ЦНЧ (7,1).
- 8. y (7,4).
- 9. C3 (7,6).
- 10. CBEY (7,8).
- 11. CK (8,7).
- 12. ДВ (9,3).
- 13. BC (9,7).

То обстоятельство, что рейтинг построен на основе ранговых показателей, имеет положительную сторону: при опоре непосредственно на статистические данные отрыв Москвы и Санкт-Петербурга был бы еще более преувеличенным. Фактически этот отрыв отражает не только уровень развития и социального благополучия Москвы и Санкт-Петербурга (несомненно, высокий), но и характер распределения ресурсов внутри страны.

Возможно, в случае Северного Кавказа у нас имеется некоторое занижение оценки: не исключено, что оказывают влияние какие-то искажения статистической информации, или, в силу региональных особенностей, правильная интерпретация данных требует учета дополнительных факторов. Но в некоторых важных отношениях это отставание бесспорно.

В нашем ранжировании макрорегионов имеется некоторая степень условности: расширение круга учитываемых явлений могло бы его несколько изменить. Но группа учитываемых нами явлений довольно объемна и, главное, включает очень важные явления, коррелирующие с рядом явлений, непосредственно нами не учитываемых. Поэтому мы полагаем, что картина распределения уровней успешности по макрорегионам РФ, в общем, соответствует действительности. Вполне ясным представляется факт резкого различия в уровне успешности между Западной и Восточной Сибирью.

Особенности Восточной Сибири на фоне корреляционных связей, установленных для совокупности субъектов РФ в целом

Итак, перечислим особенности Восточной Сибири по отношению к среднему уровню по макрорегионам РФ (в показателях, вычисленных по отношению к численности населения, за исключением случаев, в которых этот поход неприменим).

- 1. Сниженная продолжительность жизни (как мужчин, так и женщин).
 - 2. Сниженный уровень дохода.
- 3. Сниженный уровень развития обрабатывающих производств.
 - 4. Сниженный уровень урбанизации.
- 5. Сниженное количество патентов на изобретения.
- 6. Сниженные результаты Единого государственного экзамена по математике и русскому языку.
- 9. Сниженные показатели успешности лучших средних школ.
 - 10. Сниженное потребление овощей.

- 11. Повышенное производство электро-энергии.
- 12. Повышенное количество убийств и краж.

Соответствующие особенности Западной Сибири:

- 1. Повышенный уровень валового регионального продукта.
- 2. Повышенный уровень производства электроэнергии.
- 3. Повышенное количество кандидатов наук.
- 4. Повышенное потребление молока и молочных продуктов.
- 5. Повышенное количество убийств и краж. Возникает вопрос о факторах, обусловивших такого рода разделение российских макрорегионов; положение Сибири следует рассмотреть и в этом контексте. К этой проблематике примыкает другой вопрос, который можно поставить и в отношении Восточной, и в отношении Западной Сибири - о том, какие из рассматриваемых особенностей взаимообусловлены. (Например, существует ли причинная связь между сниженной продолжительностью жизни и сниженным уровнем дохода в Восточной Сибири?) В таких случаях некоторые явления из комплекса, составляющего особенности Восточной Сибири, рассматриваются как факторы, влияющие на другие явления этого же комплекса. Продвинуться в решении этих вопросов может способствовать выявление парных корреляций внутри группы рассматриваемых явлений. Хотя коэффициент корреляции и не дает знания о направленности причинной связи, во всяком случае указывает, в случае его статистической достоверности, на ее наличие.

Приведем некоторые общероссийские (выявленные на совокупности субъектов РФ в целом) корреляционные связи, характер которых соответствует характеру представленности этих явлений в Восточной Сибири. Такого рода соответствие можно констатировать в двух типах случаев. Первый тип имеет место, когда по некоторым двум явлениям Восточная Сибирь отклоняется от общероссийского среднего уровня в разные стороны (по одному явлению в меньшую, по другому - в большую); вместе с тем на совокупности субъектов Российской Федерации между этими явлениями обнаруживается достоверная отрицательная корреляция. Второй тип имеет место, когда по некоторым двум явлениям Восточная Сибирь отклоняется от общероссийского среднего уровня в одну и ту

же сторону (безразлично, меньшую или большую), вместе с тем на совокупности субъектов Российской Федерации между этими явлениями обнаруживается достоверная положительная корреляция. Например на совокупности субъектов РФ в целом существует отрицательная корреляция между уровнем развития обрабатывающей промышленности и количеством умышленных убийств. Коэффициент парной корреляции равен в данном случае -0,31, что означает слабую, но достоверную связь (статистическая достоверность на уровне р = 0,05 при такой величине выборки достигается при абсолютной величине коэффициента корреляции не ниже 0,22). Восточная Сибирь вписывается в эту корреляцию в том смысле, что в этом макрорегионе количество умышленных убийств повышено, а уровень развития обрабатывающих производств снижен по сравнению со средним уровнем по макрорегионам РФ.

Свои соображения о направленности некоторых причинных связей, находящихся в основе этих корреляций, связей, во многих аспектах обусловливающих состояние Восточной Сибири, мы выскажем ниже.

Таким образом, далее приводятся коэффициенты корреляции только между явлениями, по которым Восточная Сибирь отклоняется от среднероссийского уровня, и только достигающие уровня статистической достоверности на уровне не ниже p=0.05.

Далее, после названия явлений, в скобках — значение коэффициента парной корреляции; после названия каждого явления знак, показывающий, в какую сторону, меньшую (–) или большую (+), отклоняется Восточная Сибирь от общероссийского среднего уровня.

- 1. Доходы (-), городское население (-) (0,55).
- 2. Доходы (–), обрабатывающая промышленность (–) (0,27).
- 3. Доходы (–), патенты на изобретения (–) (0,27).
- 4. Городское население (-), обрабатывающая промышленность (-) (0,53).
- 5. Городское население (–), патенты на изобретения (–) (0,37).
- 6. Городское население (–), ЕГЭ русский язык (–) (0,35).
- 7. Городское население (–), успешность лучших школ (–) (0,22).
- 8. Обрабатывающая промышленность (-), патенты на изобретения (+) (0,29).
- 9. Обрабатывающая промышленность (–), ЕГЭ русский язык (–) (0,49).

- 10. Обрабатывающая промышленность (-), убийство (+) (-0.31).
- 11. Обрабатывающая промышленность (-), продолжительность жизни женщин (-) (0,23).
- 12. Патенты на изобретения (–), ЕГЭ русский язык (–) (0,42).
- 13. Патенты на изобретения (-), успешность лучших школ (-) (0,26).
- 14. Патенты на изобретения (-), продолжительность жизни мужчин (-) (0,27).
- 15. Патенты на изобретения (–), продолжительность жизни женщин (–) (0,39).
- 16. Патенты на изобретения (–), убийство (+) (–0,28).
- 17. ЕГЭ математика (–), ЕГЭ русский язык (–) (0,31).
- 18. ЕГЭ математика (-), продолжительность жизни мужчин (-) (0,56).
- 19. ЕГЭ математика (–), продолжительность жизни женщин (0,60).
- 20. ЕГЭ математика (-), убийство (+) (-0,44).
 - 21. ЕГЭ математика (–) кража (+) (–0,56).
- 22. ЕГЭ математика (–), городское население (–) (-0,25).
- 23. ЕГЭ русский язык (–), успешность лучших школ (–) (0,3).
- 24. ЕГЭ русский язык (-), продолжительность жизни женщин (-) (0,38).
- 25. ЕГЭ русский язык (–), убийство (+) (–0,40).
- 26. Продолжительность жизни мужчин (–), продолжительность жизни женщин (–) (0.86).
- 27. Продолжительность жизни мужчин (–), потребление овощей (–) (0,37).
- 28. Продолжительность жизни мужчин (-), убийство (+) (-0,64).
- 29. Продолжительность жизни мужчин (–), кража (+) (-0.61).
- 30. Продолжительность жизни женщин (–), потребление овощей (–) (0,39).
- 31. Продолжительность жизни женщин (–), убийство (+) (–0,78).
- 32. Продолжительность жизни женщин (-), кража (+) (-0,50).
- 33. Потребление овощей (–), убийство (+) (–0,44).
 - 34. Убийство (+), кража (+) (0,56).

Таким образом, в аспекте распределения по субъектам РФ отмечаются достоверные положительные связи показателей продолжительности жизни с показателями научно-образовательного развития. Научнообразовательная группа положительно связана также с уровнем развития обрабатывающих производств, уровнем урбанизации,

и менее отчетливо — с уровнем доходов. Большинству перечисленных явлений, включая и уровень развития обрабатывающих производств, свойственны отрицательные связи с распространенностью различных видов преступлений. Соответственно, сочетание большинства показателей, свойственных Восточной Сибири, является системным, в его основе находится определенный комплекс причинных связей.

Прежде чем перейти к анализу этого комплекса связей, затронем следующую тему. Существуют явления, не рассматриваемые как компоненты уровня развития и социального благополучия, но оказывающие влияние на явления, в качестве таких компонентов признаваемые. Мы рассмотрим с такой точки зрения ряд мировоззренческих явлений — в аспекте их распространенности по макрорегионам РФ и в аспекте связей между собой и с явлениями — компонентами уровня развития и социального благополучия региона.

О явлениях мировоззренческого круга, влияющих на уровень социально-экономического развития и благополучия макрорегионов

Мы рассмотрим четыре таких явления: уровень влияния Русской православной церкви; распространенность атеизма; отношение к России; отношение к закону. Во всех случаях учитывались результаты опроса, о котором мы говорили выше [1].

Исповедую православие, принадлежу к РПЦ (процент участников опроса)

- 1. ЦЧ (60,6).
- 2. M (53,0).
- 3. СПб (50,0).
- 4. IO3 (50,0).
- 5. Π (50,0).
- 6. C3 (42,0).
- 7. ЦНЧ (40,0).
- 8. y (33,3).
- 9. CBEY (32,8).
- 10. 3C (32,0).
- 11. ДВ (26,3).
- 12. BC (25,8).
- 13. CK (22,3).

Не верю в Бога (процент участников опроса)

- 1. ДВ (21,9).
- 2. BC (16,5).
- 3. 3C (15,7).
- 4. CBEY (15,5).
- 5. C3 (15,4).

- 6. СПб (15,0).
- 7. ЮЗ (13,7).
- 8. У (13,4).
- 9. ЦНЧ (12,3).
- 10. M (12,0).
- 11. Π (9,8).
- 12. ЦЧ (8,3).
- 13. CK (4,7).

Я люблю Россию (процент участников опроса)

- 1. ЦЧ (60,2).
- 2. СПб (58,0).
- 3. ЮЗ (58,0).
- 4. M (57,0).
- 5. C3 (54,8).
- 6. CBEY (54,5).
- 7. y (53,4).
- 8. 3C (52,1)
- 9. ЦНЧ (50,8).
- 10. Π (49,4).
- 11. ДВ (43,4).
- 12. BC (41,7).
- 13. CK (36,3).

Я уважаю закон и всегда соблюдаю его (процент участников опроса)

- 1. ЦЧ (51,6).
- 2. M (51,0).
- 3. C3 (47,0).
- 4. HO3 (46,0).
- 5. CBEY (45,7).
- 6. СПб (45,0). 7. У (44,3).
- 8. CK (43,5).
- 9. 3C (42,6).
- 10. Π (41,3).
- 11. ДВ (39,6).
- 12. BC (38,7).
- 13. ЦНЧ (38,6).

Таким образом, и Западной и Восточной Сибири свойственны сниженный уровень влияния РПЦ, повышенный процент атеистов; Восточной Сибири свойствен также сниженный процент респондентов, уважающих закон и любящих Россию.

Корреляции (представленные аналогично предыдущим) этих явлений между собой и с явлениями – компонентами уровня развития и социального благополучия выглядят следующим образом.

- 1. РПЦ (-), продолжительность жизни женщин (-) (0,37).
 - 2. РПЦ (-), убийство (+) (-0,57).
 - 3. РПЦ (-), кража (+) (-0,33).
- 4. РПЦ (–), обрабатывающие производства (–) (0,32).

- 5. РПЦ (-), патенты на изобретения (-) (0,23).
 - 6. РПЦ (-), атеизм (+) (-0,35).
 - 7. РПЦ (–), ЕГЭ русский язык (–) (0,48).
 - 8. РПЦ (-), ЕГЭ математика (-) (0,24).
- 9. РПЦ (-), успешность лучших школ (-) (0,22).
 - 10. РПЦ (-), Россия (-) (0,50).
 - 11. РПЦ (-), закон (-) (0,42).
- 12. Атеизм (+), продолжительность жизни мужчин (-) (-0,38).
- 13. Атеизм (–), продолжительность жизни женщин (–) (–0,44).
 - 14. Атеизм (+), убийство (+) (0,31).
 - 15. Атеизм (+), кража (+) (0,60).
 - 16. Атеизм (+), ЕГЭ математика (-) (-0,59).
- 17. Атеизм (+), ЕГЭ русский язык (-) (-0,31).
 - 18. Россия (-), убийство (+) (-0,26).
- 19. Россия (–), обрабатывающие производства (–) (0,36).
 - 20. Россия (-), ЕГЭ русский язык (-) (0,39).
- 21. Россия (-), успешность лучших школ (-) (0,24).
 - 22. Закон (-), убийство (+) (-0,26).
 - 23. Закон (-), РПЦ (-) (0,42).
- 24. Закон (–), успешность лучших школ (–) (0,24).
 - 25. Закон (-), Россия (-) 0,69.

Таким образом, в аспекте распределения по субъектам РФ, судя по результатам данного опроса, три мировоззренческих явления: принадлежность к РПЦ, любовь к России и уважение к закону – связаны достоверными положительными корреляциями. Для этой группы явлений характерны достоверные положительные связи с явлениями научно-образовательной группы, с уровнем развития обрабатывающих производств, а также с продолжительностью жизни мужчин и (или) женщин (напомним, что этим явлениям свойственно и взаимное тяготение); и отрицательные связи с количеством убийств и краж (тоже взаимно тяготеющих). Атеизм, в аспекте распространения по субъектам РФ, отрицательно связан с влиянием РПЦ, с продолжительностью жизни мужчин и женщин, некоторыми явлениями научно-образовательной группы и положительно связан с количеством убийств и краж.

Из всего сказанного следует, что основные особенности Восточной Сибири в мировоззренческой сфере вместе с ее особенностями в сферах науки и образования, экономики, продолжительности жизни и правонарушений вписываются в систему связей между явлениями, свойственную

Российской Федерации в целом (согласуются с этой системой, являются ее частью). Соответственно, в основе комплекса особенностей Восточной Сибири, взятого в целом (включая составляющую развития и социального благополучия и мировоззренческую составляющую), находятся причинные связи, действующие и в других макрорегионах Российской Федерации.

О причинно-следственных связях внутри комплекса особенностей Восточной Сибири

Попытаемся продвинуться в понимании механизмов некоторых из этих связей.

Низкая продолжительность предстоящей жизни является одной из самых характерных, отрицательно значимых черт Восточной Сибири. Как следует из наших материалов, эту особенность Восточной Сибири не следует связывать преимущественно с экономическими факторами, такими как уровень душевого дохода и душевой ВРП: Восточная Сибирь не является отстающим макрорегионом по ВРП, а достоверных связей продолжительности жизни с душевым доходом (впрочем, и с душевым ВРП) в нашем исследовании не обнаруживается. Имеется отрицательная корреляция продолжительности жизни с уровнем потребления овощей; в Восточной Сибири этот уровень снижен. Эта корреляция может быть истолкована как результат влияния фактора питания на продолжительность жизни. Но эта связь слаба.

Более выраженный и более системный, регулярный характер имеют связи продолжительности жизни с криминальными и мировоззренческими явлениями.

В связи с вопросом о механизмах связи продолжительности жизни и преступности вполне можно согласиться с авторами доклада «Насилие и его влияние на здоровье» Всемирной организации здравоохранения (2003 г.) в том, что «Во всех частях света случаи смерти представляют собой лишь «верхушку айсберга» в том, что касается последствий насилия» [4].

Другая отрицательно значимая особенность Восточной Сибири — низкий уровень знаний школьников, отражаемый результатами ЕГЭ. Здесь тоже имеется связь с криминальными и мировоззренческими явлениями.

Вполне очевидно, что влияние криминальной субкультуры отрицательно сказывается на дисциплине учащихся, на их отношениях с учителями и родителями, а значит, и на качестве обучения. Атмосфера жесткого соперничества, вообще свойственная подростковой среде, но усиливаемая и определенным образом трансформируемая криминальными влияниями, способна вызвать и иные, но также отрицательно сказывающиеся на качестве обучения следствия. Такие ценности, как сила воли, смелость, физическая развитость, в соответствующей обстановке выходят на первый план и оттесняют образовательные, интеллектуальные ценности. Сниженный уровень знаний школьников оказывает, видимо, влияние и на результаты лучших школ, и на общий интеллектуальный уровень населения региона, проявляющийся и в количестве изобретений, сделанных в нем.

Влияние традиционных религий способствует прилежанию, дисциплине учащихся, снижает уровень агрессии в их среде, улучшает отношения с родителями и учителями. Этим, возможно, объясняется положительная связь показателей религиозности и уровня знаний школьников, отражаемых результатами ЕГЭ. Подробнее о связях результатов ЕГЭ с социально-экономическими и мировоззренческими явлениями [8]. Традиционная религиозность отрицательно коррелирует с распространенностью различных видов преступлений, положительно - с продолжительностью жизни, есть основания рассматривать эти корреляции как отражение влияния религиозности на образ жизни и на продолжительность жизни. Подробнее [5].

Одно экономическое явление – уровень развития обрабатывающих производств имеет многочисленные, хотя и слабые, положительные связи именно с группой научно-образовательного развития; с преступностью, напротив, слабые отрицательные. Уровень развития обрабатывающих производств, соответственно, включается в систему корреляций закономерным образом. Механизмы такого рода связей вполне очевидны. Более технологичные производства формируют более квалифицированное, более интеллектуальное, менее подверженное криминализации население. Сниженный уровень развития обрабатывающих производств в Восточной Сибири, оказывает, несомненно, отрицательное влияние в данном отношении. Наши результаты, впрочем, не подтверждают известную мысль о том, что техническая потребность сильнее продвигает науку вперед, чем десяток университетов. (Технические изобретения и научные открытия - вещи разные,

но родственные). Корреляция количества изобретений с уровнем развития обрабатывающих производств равна 0,29, а с количеством (относительным) студентов высших учебных заведений в населении региона 0,61, с количеством кандидатов наук 0,67. Восточная Сибирь не отстает по количеству студентов и кандидатов наук, но отстает по количеству изобретений. Определенное отрицательное влияние (судя по приводимым выше общероссийским корреляциям) на явления научно-образовательного круга оказывает и сниженный в Восточной Сибири уровень урбанизации. Механизмы связи здесь тоже вполне ясны.

Выводы

- 1. Макрорегионы Российской Федерации, занимающие сравнительно западное и южное положение (Центральное Черноземье, Юго-Запад, Поволжье), характеризуются относительно благоприятными показателями продолжительности жизни, научно-образовательного развития (уровень знаний школьников, отражаемый результатами ЕГЭ, количество патентов на изобретения), и относительно низким уровнем преступности.
- 2. Макрорегионы Российской Федерации, занимающие сравнительно северное и (или) восточное положение (Северо-Запад, Северо-Восток Европейской части, Урал, Западная Сибирь, Восточная Сибирь, Дальний Восток) имеют сниженные показатели продолжительности жизни, повышенный или высокий уровень преступности. Нередко эти макрорегионы находятся на среднем, а чаще низком уроне по некоторым показателям научно-образовательного развития, Вместе с тем эти макрорегионы нередко занимают лидирующие позиции по базовым экономическим показателям (душевому ВВП, душевому доходу, производству электроэнергии).
- 3. Западная Сибирь по сочетанию компонентов уровня развития и социального благополучия является одним из успешных макрорегионов (отстает только от Москвы, Санкт-Петербурга, Центрального Черноземья и Поволжья).
- 4. Восточная Сибирь вместе с Дальним Востоком занимает наименее благоприятные позиции среди макрорегионов по сочетанию компонентов развития и социального благополучия. Сходство Восточной Сибири и Дальнего Востока обнаруживается также в наборе явлений, по которым оба макрорегиона отклоняются от среднего российского

уровня и в направленности соответствующих отклонений.

5. Сочетание особенностей Восточной Сибири образуют: низкая продолжительность жизни, высокая преступность, сниженный уровень развития обрабатывающей промышленности, сниженный уровень знаний школьников, отражаемый результатами ЕГЭ, сниженное количество патентов на изобретения, сниженный уровень влияния РПЦ, сниженный уровень устанавливаемого опросом уважения к закону, любви к России. Анализ парных корреляций между соответствующими явлениями позволяет утверждать, что это сочетание имеет системный характер.

Список литературы

- 1. АРЕНА: Атлас религий и национальностей России [Электронный ресурс] Исследовательская служба Среда. URL: http://sreda.org/arena (дата обращения 20.05.2016).
- 2. Итоги ЕГЭ. Общероссийские итоги 2013 года [Электронный ресурс] // Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки. ФГБУ «Федеральный центр тестирования» URL: http://rustest.ru/ege/statistics/results/ (дата обращения 15.08.2016).

- 3. Лучшие школы России-2014 [Электронный ресурс] РИА Новости. URL: http://ria.ru/sn_edu/20140922/1024593723.html#ixzz3FLq7OYLk (дата обращения 15.05.2016).
- 4. Насилие и его влияние на здоровье. Доклад о ситуации в мире: пер. с англ. / под ред. Этьенна Г. Круга и др. М.: Изд-во «Весь Мир», 2003. 376 с.
- 5. Попов П.Л. Религиозность и социально-экономические явления: территориальные связи в современной России // Известия Иркутского государственного университета. Иркутск, $2013. N \ge 1(7). C. 71-77.$
- 6. Попов П.Л. Комплекс социально-экономических явлений, связанных с уровнем урбанизации субъекта РФ // Проблемы территориальной организации природы и общества: Материалы конференции. Иркутск, 2012. С. 40–42.
- 7. Попов П.Л. Продолжительность жизни и преступность территориальные и причинные связи // Экологический риск и экологическая безопасность: материалы конференции, т. 2. Иркутск, 2012. С. 141–143.
- 8. Попов П.Л., Сараев В.Г. Результаты ЕГЭ в субъектах Российской Федерации: связи с социально-экономическими и мировоззренческими явлениями // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2; URL: www.science-education.ru/129-22211(дата обращения 15.05.2016).
- 9. Регионы России. Социально-экономические показатели 2014 г. [Электронный ресурс] Федеральная служба государственной статистики: официальный сайт. URL: http://www.gks.ru/bgd/regl/B14_14p/Main.htm (дата обращения 15.05.2016).

УДК 551.312.48 (504.455)

ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ МАЛОГО ОЗЕРА (ВОДОСБОР ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА, АРХАНГЕЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

¹Стародымова Д.П., ¹Шевченко В.П., ²Кокрятская Н.М., ³Алиев Р.А., ⁴Бычков А.Ю., ²Забелина С.А., ²Чупаков А.В.

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: d.smokie@gmail.com; ²Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики Российской академии наук, Архангельск, e-mail: nkokr@yandex.ru;

³Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва, e-mail: ramiz.aliev@gmail.com;

⁴Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, e-mail: andrew.bychkov@rambler.ru

В статье представлены результаты геохимических исследований донных осадков озера Пежихерье - малого бореального озера, расположенного в водосборном бассейне Онежского озера в юго-западной части Архангельской области. Были отобраны две колонки донных осадков, определены скорости осадконакопления и элементный состав. Точки пробоотбора характеризуются разными условиями осадконакопления, что выражено в разном содержании органического вещества. Более глубинная часть озера характеризуется более высоким содержанием C_{out} . Содержание многих микроэлементов определяется вкладами литогенного и биогенного источников. Выделяются два тренда в вертикальном распределении элементов. Первая группа элементов характеризуется возрастанием с глубиной. Эти элементы демонстрируют значимую корреляцию со скандием, который считается индикатором литогенного вещества. Другая группа элементов характеризуется снижением содержания вниз по колонке. Часть из этих элементов (Mo, Cd, Zn) значимо коррелирует с содержанием $C_{\rm opt}$, что говорит о неантропогенном происхождении этих металлов, несмотря на увеличение содержания в верхней части колонки. Свинец и сурьма не коррелируют с $C_{\text{ово}}$, что может быть связано с возрастанием поступления этих элементов за последние 100-150лет. Содержание тяжелых металлов в верхнем слое осадков сопоставимо со значениями, опубликованными для других фоновых регионов. Коэффициенты обогащения для многих элементов низкие, что говорит о преобладании литогенного источника вещества. Элементы с высокими коэффициентами обогащения (Zn, Cd, Sb, Pb) или имеют высокую способность к биоаккумуляции (Zn, Cd), или поступают из дополнительного источника (Sb, Pb). Sb и Pb поступают за счет дальнего переноса и осаждаются на поверхность озера из атмосферы.

Ключевые слова: Архангельская область, малые озёра, донные осадки, природный архив, скорости осадконакопления, элементный состав, органический углерод, дальний атмосферный перенос

GEOCHEMISTRY OF THE SMALL LAKE BOTTOM SEDIMENTS (ONEGA LAKE CATCHMENT AREA, ARKHANGELSK REGION)

¹Starodymova D.P., ¹Shevchenko V.P., ²Kokryatskaya N.M., ³Aliev R.A., ⁴Bychkov A.Yu., ²Zabelina S.A., ²Chupakov A.V.

¹P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, e-mail: d.smokie@gmail.com; ²Federal Research Centre for Integrated Study of the Arctic, Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: nkokr@yandex.ru;

³National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, e-mail: ramiz.aliev@gmail.com; ⁴M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, e-mail: andrew.bychkov@rambler.ru

Results of geochemical studies of lake Pezhikher'e sediments are presented in the paper. The lake is situated in Onega Lake catchment in SW part of Arkhangelsk Reagion. Two cores of lake sediments were sampled. Sedimentation rates and elemental composition were determined. Sample sites feature by different sedimentation conditions resulted in different organic matter content. Deeper part of the lake features by higher $C_{\rm org}$ content. Content of the many of trace elements in sediments of Lake Pezhkher'ye depends on contribution of lithogenic and biogenic sources. There are two patterns of element distribution in depth. The first group of elements features by increasing with depth. These elements show high correlation with Sc considered to be an indicator of lithogenic source. Another group of elements decreases with depth. Part of these elements (Mo, Cd, Zn) shows high correlation with OC suggesting unpolluted conditions for these metals despite of vertical gradient of them. Two elements (Pb and Sb) decrease with depth and don't correlate with OC. That means growing input of these elements in the last 100-150 years. Heavy metals content in the upper layer of sediments is comparable to those reported for other background regions. Enrichment factors of many elements are low indicating prevailing of lithogenic source. Elements with enhanced EF values (Zn, Cd, Sb, Pb) either have high ability to bioaccumulation (Zn, Cd) or have an additional source of input (Sb, Pb). They are carried to the lake by longrange atmospheric transport and are precipitated from atmosphere.

Keywords: Arkhangelsk Region, small lakes, bottom sediments, natural archive, sedimentation rates, elemental composition, organic carbon, long-range atmospheric transport

Донные осадки озер имеют свойство накапливать все виды загрязнений, поэтому они являются природными архивами и могут быть использованы для реконструкции экологической обстановки прошлого [6, 9, 14]. Отличительной особенностью озерных

осадков является сравнительно высокая скорость осадконакопления. Малые озера отображают поступление загрязняющих веществ из атмосферы. Атмосферный перенос - это важный путь поступления рассеянного осадочного вещества в океаны, моря, озера [2, 13]. Озерные осадки некоторых промышленно развитых районов хорошо изучены в отношении накопления тяжелых металлов (Cu, Ni, Zn, Pb и др.) Особое внимание уделяется озерам, находящимся поблизости от металлургических комбинатов: на Кольском полуострове [1], на Южном Урале [3]. Исследования геохимии микроэлементов в озерных осадках фоновых (незагрязненных) районов проводились в Республике Коми [15], в Западной Сибири [5] и ряде других регионов России.

Данная работа посвящена изучению распределения микроэлементов и органического углерода в осадках меромиктического лесного озера Пежихерье (СЗ участок озера Масельгское), расположенного на ЮЗ Архангельской области в Кенозерском национальном парке (рис. 1). Озеро Масельгское

хорошо изучено в отношении геохимии воды [10]. Настоящая работа посвящена геохимии донных осадков этого озера, которое не подвержено воздействию локальных источников загрязнения воды, а значит, содержание микроэлементов в донных осадках определяется в основном размывом берегов и грунта, слагающего водосбор, биогенной седиментацией и атмосферными поступлениями.

Материалы и методы исследования

Образцы донных осадков были отобраны летом 2008 г. с помощью пробоотборника гравитационного типа с вакуумным клапаном. Пробоотбор проводился на двух станциях: на глубине 20 м (станция реперная) и 6 м (ст. 20) (рис. 1). На таких глубинах обстановка осадконакопления стабильна и не происходит перемешивания слоев осадка. Длина отобранных колонок равнялась 56 см (ст. реперная) и 70 см (ст. 20). После отбора обе колонки были нарезаны по 5 см и уложены в пластиковые пакеты. В дальнейшем осадки были высушены в сушильном шкафу при температуре 60–65°С и растерты в тонкую пудру. Содержание органического углерода определялось на CNH-анализаторе 185 (Hewlett-PackardTM).



Рис. 1. Расположение точек отбора проб донных осадков оз. Пежихерье (Архангельская обл.)

Для определения элементного состава навески растертых проб были разложены смесью концентрированных кислот HF, HNO $_3$, HClO $_4$, выпарены до растворимых солей и растворены в 3% азотной кислоте. В полученном растворе было определено методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) содержание 43 элементов на приборе Finnigan $^{\rm TM}$ ELEMENT2. Для обеспечения точности измерений были использованы следующие стандарты: LKSD-1 (озерные осадки), GSD-5, GSD-7 (речные осадки), BHVO-2 (базальт). Стандартные образцы подвергались тем же процедурам, что и пробы.

Для определения скорости осадконакопления в июле 2014 г. тем же способом была отобрана дополнительная колонка на станции реперная. Верхние 16 см колонки были нарезаны на слои (верхние 10 см по 1 см, далее по 2 см), высушены и растерты в пудру. В полученных пробах была измерена активность 210 Рb, которая определялась гамма-спектрометрически по линии 46,5 кэВ с помощью спектрометра с планарным полупроводниковым детектором из сверхчистого германия GLP-36360/13P4 Ortec. Калибровка проводилась по стандартному образцу IAEA-448. Активность ¹³⁷Сs (радиоцезия) определяли гамма-спектрометрически по линии 661,6 кэВ с помощью спектрометра с коаксиальным полупроводниковым детектором из сверхчистого германия GEM30P4-76 Ortec. Калибровку проводили по интеркалибровочному препарату MAPEP 97 S 4 [7].

Для выявления вклада литогенного и иных (антропогенный, биогенный) источников осадочного вещества был вычислен коэффициент обогащения (КО) по формуле

KO = (Элемент/Sc)пробы/(Элемент/Sc)з.к.,

где «Элемент» и Sc – это содержание элемента и скандия в пробе и земной коре (з.к.) соответственно [12].

Результаты исследования и их обсуждение

В глубокой части озера (станция реперная) в верхних 15 см донные осадки представлены желеобразной темной гитией, богатой органическим веществом (содержание органического углерода ($C_{\rm opr}$) составляет от 19,2 до 28,9%, в среднем 23,4%). Слой 15–56 см состоит из гомогенной жидкой темной гитии с меньшим содержанием органики, чем в верхнем слое ($C_{\rm opr}$ варьирует от 12,3 до 17,0%, в среднем 14,8%).

На станции 20 верхние 20 см осадка сложены гомогенным жидким темным илом, богатым органикой ($C_{\rm opr}$ меняется от 7,7 до 10,2%, в среднем 8,7%). Слой 20–30 см представлен илистым песком ($C_{\rm opr}$ 6,15–9,17%, в среднем 7,66%). Слой 30–70 см состоит из голубовато-серой глины, уплотняющейся книзу и обедненной органикой ($C_{\rm opr}$ 0,35–4,33%, в среднем 2,27%). По-видимому, нижний слой формировался в флювио-гляциальных условиях.

Содержание $C_{\text{орг}}$ варьирует от 12,3 до 28,9% на станции реперная и от 0,35 до

 $10,23\,\%$ на станции 20. Такой большой разброс значений объясняется выбором места пробоотбора. Станция реперная находилась в гораздо более глубокой части озера, чем станция 20. Значит, станция реперная характеризуется более интенсивной седиментацией и накоплением органического вещества. Обе колонки характеризуются значительным снижением содержания $C_{\text{орг}}$ с глубиной, что может быть объяснено деятельностью бактерий, разлагающих органическое вещество, в толще осадка, и изменением биопродуктивности озера со временем.

Оценка скорости осадконакопления по неравновесному ²¹⁰Pb дает (рис. 2) для реперной станции на участке 0–9,5 см скорость 4,1 мм/год, а на участке 9,5–16 см – 0,9 мм/год. Значит, верхние 9,5 см были отложены за 23 года, а слой 9,5–16 см отлагался 23–95 лет назад. Малые скорости седиментации после 9 см и отбор по 2 см глубже 10 см не позволяют выделить максимумы ¹³⁷Cs, соответствующие Чернобылю (по свинцовой датировке около 10 см) и атмосферным ядерным взрывам (по свинцовой датировке 12 см).

Содержание большинства химических элементов возрастает с глубиной. На станции 20 этот рост составляет 2-2,5 раза, на реперной станции возрастание содержания элементов с глубиной не столь резкое. Этот рост объясняется разбавлением терригенного материала органическим веществом в верхней части колонки. Таким распределением по глубине характеризуются следующие элементы: Sc, Ti, V, Y, редкоземельные элементы (РЗЭ), Zr, Nb, Th, U, Cr, Ni, Cu, Ga, Sr, K. Напротив, распределение по вертикали Sb, Pb, Bi, W, Cd отличается увеличением содержания этих элементов в верхних частях колонки (рис. 3), что соответствует росту промышленности в Европе с конца XIX века. Данная особенность распределения тяжелых металлов отмечена для многих озер [5, 8, 9, 11, 14]. Вертикальное распределение Cs, Ba, Mo, Zn не характеризуется каким-либо трендом.

Увеличение концентрации халькофильных элементов (Cd, Zn, Cu, Ni) может быть вызвано отложением в присутствии сероводорода, однако в осадках озера Пежихерье это маловероятно, во-первых, из-за того, что разные халькофильные элементы демонстрируют противоположные тренды (концентрации меди и никеля с глубиной увеличиваются, а концентрация кадмия уменьшается); во-вторых, распределение

элементов с переменной валентностью (V, Cr, U, Mo) говорит об однородных окислительно-восстановительных условиях в толщине колонки. Значит, возрастание концентраций таких халькофильных элементов, как свинец и кадмий, вызвано не осаждением этих элементов на геохимическом барьере, а увеличением поступления этих элементов со временем.

Для выявления связей между элементами были рассчитаны коэффициенты корреляции Пирсона. Выявлена высокая значимая корреляция между содержанием $C_{\rm opr}$ и содержанием молибдена, кадмия и цинка, в то время как значимых корреляций между содержанием $C_{\rm opr}$ и свинцом и сурьмой не выявлено. Значит, возрастание содержания свинца и сурьмы в верхних частях колонки не может быть связа-

но с увеличением концентрации $C_{\rm opr}$. В то время как увеличение содержания кадмия хотя бы частично объясняется его связью с органическим веществом.

Было проведено сравнение содержания тяжелых металлов в осадках озера Пежихерье с опубликованными данными по другим озерам (таблица). Содержание Ni, Zn, Sb, Pb, Bi находится на том же уровне, что и содержание этих металлов в осадках озер Южного Урала, расположенных на значительном удалении от Карабашского медеплавильного комбината [3]. Содержание меди в 2,5–3,5 раза выше в осадках озер Южного Урала, что говорит о влиянии комбината. В осадках озера Пежихерье содержание кадмия в два раза выше, чем в осадках озер Южного Урала, что может быть связано с региональным геохимическим фоном.

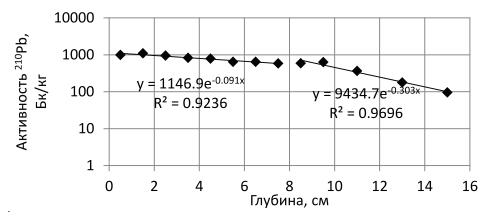


Рис. 2. Расчет скоростей седиментации по неравновесному свинцу-210

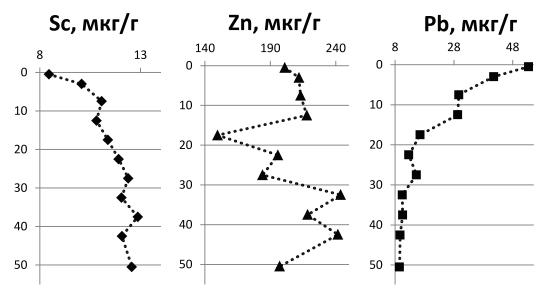


Рис. 3. Распределение микроэлементов по глубине

Озеро	Ni	Cu	Zn	Cd	Sb	Pb	Bi	Источник	
Оз. Талкас	44	85	171	0,99	1,12	50	0,29	[3]	
Оз. Култубан	26	142	212	0,96	0,91	21	0,27	[3]	
Оз. Уфимское	42	2341	1256	12,5	21	1039	8,5	[3]	
Южная Швеция		16	90	0,6		30		[9]	
Северная Швеция		16	100	0,3		< 10		[9]	
Пежихерье реперная	34	35	201	2,3	1,4	53	0,41	Данная работа	
Пежихерье 20	32	30	231	1,5	0,98	41	0,26	Данная работа	

Содержание (мкг/г) микроэлементов в озерах различных регионов

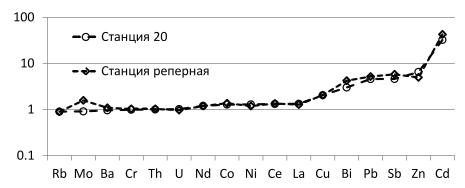


Рис. 4. Коэффициенты обогащения относительно среднего состава земной коры

Содержание свинца в верхнем слое осадков озера Пежихерье сравнимо с содержанием свинца в осадках озер Норвегии [11] и несколько выше, чем в осадках озер Швеции [9]. А содержание меди и цинка в два раза выше в осадках изучаемого озера, чем в озерах Швеции [9]. Принимая во внимание отсутствие вертикального градиента в распределении меди и цинка, их сравнительно высокое содержание объясняется региональным геохимическим фоном в Кенозерском национальном парке.

Значения КО для большинства элементов близки к 1 (рис. 4). Значит, литогенный источник является основным для этих элементов. КО такими элементами, как Zn, Pb, Sb, Bi, Cd, превышают 3. В первую очередь обогащение озерных осадков этими элементами объясняется их высокой способностью к биоаккумуляции [4] и к абсорбции на частицах пелита. Также на их содержание оказывают влияние эоловые поставки путем дальнего атмосферного переноса из промышленных источников [2, 8, 9, 13]. Значения КО для сурьмы, свинца и кад-

мия в верхнем слое осадка значительно выше, чем в слое 25–30 см, который отлагался предположительно в конце XVIII – начале XIX вв.

Заключение

Колонки донных осадков озера Пежихерье, отобранные на разной глубине, характеризуются разным содержанием органического вещества и отличаются по литологическому составу, что говорит о разных условиях осадконакопления в местах отбора колонок донных осадков. Оценка скоростей осадконакопления по ²¹⁰Pb показала, что слой 16 см был отложен приблизительно за 100 лет. Было выявлено, что основной источник поступления многих элементов является близким по составу к земной коре. Содержание этих элементов уменьшается вверх по колонке за счет разбавления органическим веществом. Содержание некоторых элементов значительно увеличивается в верхних частях колонок (свинец, кадмий, сурьма). Высокие значения КО для этих элементов говорят о дополнительном источнике этих элементов, отличном от литогенного. Сравнение содержания тяжелых металлов в поверхностном слое донных осадков озера Пежихерье с опубликованными данными по другим озерам говорит о том, что район озера Пежихерье не подвержен в значительной степени антропогенному влиянию.

Авторы благодарят администрацию Кенозерского национального парка за поддержку, С.И. Климова за участие в отборе проб донных осадков, В.Д. Володичеву за помощь в обработке материалов, академика А.П. Лисицына за ценные советы. Исследования были финансово поддержаны Отделением наук о Земле РАН (проект IV.8.5 «Микро- и наночастицы в природных средах ...»).

Список литературы

- 1. Даувальтер В.А., Даувальтер М.В., Кашулин Н.А., Сандимиров С.С. Химический состав донных отложений озёр в зоне влияния атмосферных выбросов комбината «Североникель» // Геохимия. 2010. № 11. С. 1224–1229.
- 2. Лисицын А.П. Процессы в водосборе Белого моря: подготовка, транспортировка, и отложение осадочного материала, потоки вещества, концепция «живого водосбора» // Система Белого моря. Т. І. Природная среда водосбора Белого моря. Лисицын А.П., Немировская И.А., Шевченко В.П. ред. М.: Научный мир, 2010. С. 353–445.
- 3. Масленникова А.В., Удачин В.Н., Дерягин В.В. Палеоэкология и геохимия озерной седиментации голоцена Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2014. 136 с.
- 4. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
- 5. Страховенко В.Д., Кабанник В.Г., Маликова И.Н. Геохимические особенности экосистемы озера Колыванское (Алтайский край) и влияние на неё техногенного воздействия // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 3. С 220–234
- 6. Субетто Д.А., Шевченко В.П., Лудикова А.В., Кузнецов Д.Д., Сапелко Т.В., Лисицын А.П., Евзеров В.Я., ван

- Беек П. (van Beek P.), Суо М. (Souhaut М.), Субетто Г.Д. Хронология изоляции озер Соловецкого архипелага и скорости современного озерного осадконакопления // Доклады Академии наук. -2012. Т. 446. № 2. С. 183-190.
- 7. Aliev R.A., Bobrov V.A., Kalmykov S.N., Melgunov M.S., Vlasova I.E., Shevchenko V.P., Novigatsky A.N., Lisitzin A.P. Natural and artificial radionuclides as a tool for sedimentation studies in the Arctic region // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2007. Vol. 274. N_2 2. P. 315–321.
- 8. Bindler R., Rydberg J., Renberg I. Establishing natural sediment reference conditions for metals and the legacy of long-range and local pollution on lakes in Europe // Journal of Paleolimnology. 2011. Vol. 45. P. 519–531.
- 9. Johansson K., Andersson A., Andersson T. Regional accumulation pattern of heavy metals in lake sediments and forest soils in Sweden // The Science of the Total Environment. 1995. Vol. 160/161. P. 373–380.
- 10. Pokrovsky O.S., Shirokova L.S., Zabelina S.A., Vorobjeva T.Ya., Moreva O.Yu. Klimov S.I., Chupakov A.V., Shorina N.V., Kokryatskaya N.M., Audry S., Viers J., Zoutien C., Freidier R. Size fractionation of trace elements in a seasonally stratified boreal lake: control of organic matter and iron colloids // Aquatic Geochemistry. 2012. Vol. 18. P. 115–139.
- 11. Rognerud S., Fjeld E. Regional survey of heavy metals in lake sediments in Norway // Ambio. -1993. Vol. 22. No.4. P. 206–212
- 12. Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust // Treatise on Geochemistry. Vol. 3: The crust. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 1–64.
- 13. Shevchenko V. The influence of aerosols on the oceanic sedimentation and environmental conditions in the Arctic. Berichte zur Polar- und Meeresforschung. -2003. Vol. 464. 149 p.
- 14. Smol J.P. Pollution of Lakes and Rivers: A Paleoenvironmental Perspective. London: Arnold, 2002. 208 p.
- 15. Walker T.R., Crittenden P.D., Dauvalter V.A., Jones V., Kuhry P., Loskutova O., Mikkola K., Nikula A., Patova E., Ponomarev V.I., Pystina T., Ratti O., Solovieva N., Stenina A., Virtanen T., Young S.D. Multiple indicators of human impacts on the environment in the Pechora Basin, north-eastern European Russia // Ecological Indicators. 2009. Vol. 9. P. 765–779.

УДК 502.3:91

АНАЛИЗ РЕСУРСНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ РАЗВИТИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ПРИРОДНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Степанько Н.Г.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: sngreg25@mail.ru

Приморский край, как и все дальневосточные регионы, является перспективным как для собственного развития, так и России в целом. Он обладает многочисленными и разнообразными уникальными природными ресурсами, эксплуатация которых часто несовместима друг с другом; выгодным экономико-географическим положением; сочетанием различных территориальных природно-экономических систем, в частности – прибрежных и приграничных. В работе дана характеристика и проведен анализ составляющих этих систем, рассчитан индекс загрязнения вод и атмосферного воздуха как основных причин экологического неблагополучия на этих территориях. Несмотря на то, что исследуемые районы в рамках рассматриваемой территориальной привязки различаются по хозяйственной структуре, населению, производственно-природным отношениям, практически все имеют экологические проблемы, ограничивающие дальнейшее освоение и развитие. В работе предложены варианты дальнейшего развития рассматриваемых территорий Приморского края

Ключевые слова: Приморский край, территориальные природно-экономические системы, прибрежные территории, приграничные территории, экологическое состояние, загрязнение

ANALYSIS OF RESOURCE CAPABILITIES AND ENVIRONMENTAL LIMITATIONS OF THE DEVELOPMENT OF THE DIFFERENT TERRITORIAL NATURAL AND ECONOMIC SYSTEMS

Stepanko N.G.

Pacific Institute of Geography Far Easten Branch Russian Academy of Science, Vladivostok, e-mail: sngreg25@mail.ru

Primorsky Krai, as well as all Far East regions, is promising for their own development, and Russia as a whole. It has numerous and diverse, unique natural resources, whose exploitation is often incompatible with each other; favorable economic and geographical position; a combination of different territorial natural and economic systems, in particular – coastal and border. The work given the characteristics and the analysis of the components of these systems, designed an index of water pollution and air pollution as the main causes of ecological trouble in these areas. Despite the fact that the studied areas in the framework of this territorial binding vary in economic structure, population, production and natural relations, almost all have environmental problems, limiting further development and growth. In the proposed options for further consideration of the Primorsky Territory.

Keywords: Primorsky Krai, territorial natural and economic systems, coastal areas, border areas, the ecological state, pollution

Основной задачей формирования функционирования территориальных природно-экономических систем (ТПЭС) является сбалансированность требований подсистем, входящих в их состав, которые зачастую бывают противоречивы. Несмотря на существующие экологические проблемы цели экономического характера остаются ведущими, а задачи рационального природопользования - подчиненными. Об этом свидетельствует и недостаточное финансирование деятельности в области охраны окружающей среды и рационального природопользования, и малое количество инвестиционных проектов в этой области [8]. Поэтому важным и актуальным является изучение различных территориальных природно-экономических систем

в рамках одного региона: их освоения, природно-ресурсного потенциала, современных производственно-природных отношений, экологической ситуации. Примером таких территорий являются прибрежные и приграничные, а характерным регионом, имеющим эти территории, — Приморский край. Тем более, что в настоящий момент дальневосточным регионам уделяется значительное внимание со стороны государства как в плане развития собственной экономики, так и активизации взаимоотношений со странами Азиатско-Тихоокеанского региона.

Материалы и методы исследования

Прибрежные и приграничные территории являются достаточно сложными и имеют свои особенности.

Приграничные территории концентрируют в себе результаты взаимодействия и взаимовлияния в различных сферах. Приграничные территории могут выделяться и рассматриваться на трех уровнях - национальном, региональном и локальном, отдельно можно выделить морские приграничные пространства. На региональном уровне приграничными территориями являются отдельные административные подразделения, часть границ которых совпадает с государственной [1]. В результате развития контактной функции приграничных территорий возникла необходимость изменения транспортных путей, инженерных сооружений, переориентации экономики и, как следствие, - произошли изменения в режиме, формах и направлениях природопользования, характере производственно-природных отношений, т.к. приграничные районы испытывают воздействие хозяйственных структур с двух сторон - собственной и сопредельной территории.

Прибрежные территории достаточно сложные с точки зрения взаимосвязанности, взаимозависимости и взаимообусловленности; во-вторых – являются привлекательными для развития различных (иногда – взаимоисключающих) видов хозяйственной деятельности, связанных с добычей или использованием как морских, так и прибрежных ресурсов; и в-третьих – именно сэксплуатацией этих территорий многие ученые связывают возможные опасные глобальные изменения климата [3, 4, 6].

К приграничным территориям в Приморском крае относятся районы: Пожарский, Дальнереченский (небольшая протяженность), Лесозаводский, Кировский (небольшая протяженность), Спасский (небольшая протяженность), Ханкайский, Пограничный, Октябрьский, Уссурийский, Хасанский (граничит с КНР и КНДР), а также Уссурийский и Лесозаводский городские округа. В связи с тем, что территории некоторых указанных районов стали зонами возрастающей активности, особенно по приграничной торговле с Китаем, сформировались таможенные и пограничные пропускные пункты в Лесозаводском, Ханкайском, Пограничном, Октябрьском и Хасанском районах (наиболее активные в Пограничном, Октябрьском и Хасанском районах), что также влияет на характер производственно-природных отношений.

В зону прибрежных территорий Приморского края вошли восемь административных районов и пять городов, включающих территории городских округов: Хасанский, Надеждинский, Шкотовский, Партизанский, Лазовский, Ольгинский, Кавалеровский, Тернейский муниципальные районы; Владивостокский, Артемовский, Находкинский, Дальнегорский, Большекаменский городские округа и ЗАТО Фокино.

Освоение и прибрежных и приграничных территорий Приморского края шло примерно в одно и то же время — 1860—1900 годы и определяющими были в основном природные условия и природные ресурсы (из 10 приграничных районов — 3 как военные посты, из 14 прибрежных — 3 как военные посты). Эти районы и сейчас обладают богатством природных ресурсов, но дальнейшее их развитие сопряжено с экологическими проблемами. Эти проблемы формируют в основном загрязнение воздуха и воды [7].

В работе используется разработанная ранее (в том числе и автором) ресурсная концепция оценки производственно-природных отношений, которая особенно актуальна для регионов ресурсной ориентации и в которой за основу берутся показатели изменения ресурсного потенциала как за счет непосредственного изъятия, так и за счет выведения отходов, т.е. оценивается воздействие промышленного производства на окружающую природную среду, которое и формирует экологическую ситуацию в регионе. Поскольку основным источником воздействия на окружающую среду является промышленное производство, а точнее - атмосферные выбросы и сброс сточных вод производств, нами были рассчитаны: степень загрязнения воды $(K_{_{\rm B}} = V_{_{_{{\rm 3arps3h.croчн.вод}}}}/V_{_{{\rm croчн.вод}}})$, степень загрязнения воздуха ($K_{\text{возд}} = V_{\text{загрязн.атмосф.выбросов}}/V_{\text{атм.выбросов}}$). За основу брались данные статистической отчетности за 2015 год [2, 5].

Результаты исследования и их обсуждение

В разрезе обозначенных территорий была собрана и проанализирована следующая информация: природные ресурсы, производственная специализация, имеющиеся на территории ООПТ, природные памятники и т.п., возможные неблагоприятные природные ситуации. Кроме этого были рассчитаны индексы загрязнения воздуха и воды (таблица). Анализ показал, что на прибрежных территориях наиболее остро стоит проблема загрязнения водных ресурсов рек и прибрежных вод. Атмосферное загрязнение менее значимо. Это объясняется, во-первых, отсутствием в некоторых районах крупных предприятий, имеющих значительные атмосферные выбросы; во-вторых, климатическими условиями и, в-третьих, наличием необходимых видов очистки. Что касается сточных вод, то имеющиеся очистные сооружения (как на предприятиях, так и централизованные) технически устарели, а в некоторых районах очистка вообще не производится (например, Надеждинский, Партизанский, Лазовский, Кавалеровский муниципальные районы). Но есть ряд территорий, где и загрязнение воздуха, и загрязнение воды имеют критические значения (Шкотовский, Партизанский, Лазовский, Кавалеровский районы).

В приграничных районах определяющим в загрязнениях является наличие предприятий, имеющих те или иные выбросы, причем чем значительней производство, тем лучше показатель. Самые низкие показатели по загрязнению воздуха наблюдаются в Пожарском

и Спасском районах, специализация которых: угледобыча, добыча полиметаллов, производство и распределение электроэнергии; добыча и производство строительных материалов, цементное производство соответственно. Здесь также имеются районы, где индексы состояния водных ресурсов и атмосферного воздуха имеют высокие показатели.

Особое внимание, на наш взгляд, необходимо обратить на ситуацию в Кировском и Хасанском районах, так как Кировский район имеет бальнеологическую специализацию и здоровая экология — это основа для существующего и перспективного развития района; в Хасанском районе находится государственный морской заповедник, это уникальный район по сочетанию эндемиков южных и северных широт, а также имеет большие перспективы по развитию марикультур, а индекс загрязнения воды недопустимо высокий.

Анализ показал, что все рассмотренные территории обладают значительными природными ресурсами, природными и археологическими памятниками, рекреационными и агроклиматическими ресурсами, ООПТ. Также эти территории имеют перспективы для успешного развития (таблица). Но все это требует решения экологических проблем.

Ранее проведенные исследования [7] показали, что некоторые из рассматриваемых районов имеют ограничения хозяйственной деятельности предприятий специализирующих отраслей до проведения необходимых мероприятий. Объясняется это спецификой территориально-отраслевого перестроения в районах, проводимой природоохранной политикой, а также несбалансированной структурой вложений на охрану окружающей среды и рациональное природопользование.

Выводы. Таким образом в природопользовании на прибрежных территориях как основе хозяйственной деятельности преобладают добывающие (в основном рыбодобыча и лесодобыча) и перерабатывающие виды хозяйственной деятельности, негативно воздействующие на окружающую природную среду (загрязнение вод, атмосферы, снижение запасов природных ресурсов). Соотношение нарушений и загрязнений не соответствует необходимому восстановлению ресурсов и очистке. В связи с этим необходимо: структурное перестроение ства в восточных прибрежных районах: развитие первичной переработки добываемых ресурсов, а также переработки производственных отходов, развитие индустрии туризма (в первую очередь экологического); усиление восстановительных работ (лесовосстановление, рыборазведение и т.д.), жесткий контроль за выловом рыбы и морепродуктов (исключение нелегального лова, контроль за объемами лова и научно обоснованным видовым составом рыбодобычи); в южных и юго-восточных прибрежных районах Приморского края – сокращение добывающих производств (кроме рыбодобычи), развитие марикультуры, экологического и познавательного туризма; для всех прибрежных районов - модернизация очистных сооружений, технологии производства, очистки и утилизации отходов хозяйственной деятельности, необходимое финансирование и сбалансированная структура инвестиций на рациональное природопользование и охрану окружающей среды.

Приграничные территории испытывают большую нагрузку, чем прибрежные, за исключением районов, которые являются и прибрежными, и приграничными. Проведенные оценки ограничения хозяйственной деятельности по показателю суммарного загрязнения на одного человека [7] сгруппировали десять приграничных районов в три группы: три из них вошли в группу «без ограничения»; шесть - «частичного ограничения» (эти ограничения касаются либо водоемких производств, либо имеющих значительные выбросы в атмосферу); один район (Пожарский) вошел в группу «полного ограничения». Необходимо отметить, что, хотя Пожарский район полностью отнесен к категории «О» (по всем рассматриваемым параметрам), таковой следует рассматривать только западную часть данного района, прилегающую к пгт. Лучегорск, где сосредоточены угольная отрасль и энергетика.

Также необходимо обратить внимание на сбалансированность экономико-социально-экологических интересов в Октябрьском районе, так как здесь достаточно разнообразна производственная структура, находится активный трансграничный пропускной таможенный пункт в с. Полтавка, осуществляющий значительные пассажирские и грузоперевозки.

Ресурсно-экологическая характеристика различных территориальных природноэкономических систем Приморского края

			Экологическо	ое состояние			
Муници- пальные районы, городские округа	Природные ресурсы	дополнительная информация	ООПТ	наличие экстремальных и неблагоприятных ситуаций	индекс загрязнения воздуха $(K_1)^*$	индекс загрязнения воды $(K_2)^*$	Перспектив- ное развитие
1	2	3	4	5	6	7	8
Хасанский	строительное сырье: фарфоровый, строительный, облицовочный камень, карбонатные породы, строительный песок, перлиты и цеолиты, глина, торф, каменный уголь; морские иловые грязи, лечебные грязи; биоресурсы моря и рек; рекреационно-туристические ресурсы	богатое видовое разнообразие рыб; все реки района являются нерестовыми	государственный Морской заповедник; заповедник «Кедровая падь», заказники «Барсовый», «Борисовское плато», природный парк «Хасанский»	тайфуны, циклоны	0,47	0,85	развитие марикультуры, туризм, рыбодобыча; приграничный пас-сажирский и грузообороты
Надеждин- ский	агроклиматические ресурсы, бурый уголь, строительное сырье: песчаники, глины, строительный камень, андезитоба- зальты; минеральные и термальные воды; обнаружена нефть (не эксплуат.)	высокая за- грязненность территории твер- дыми бытовыми отходами			0,32	1,0	с/х, много- отраслевая ТОР
Шкотов- ский	строительное сырье: диоритовые и анде- зитовые порфиры, диабазы, базальты, андезито-базальты, глина, песок, песча- но-гравийные смеси; минеральная вода; газ, нефть, торф (не эксплуат.)	памятники природы, водопады, пещеры	Уссурийский государ- ственный заповедник им. В.Л. Комарова	сели, осыпи, возможны землетрясе- ния	1,0	0,98	рыбодобыча, марикуль- тура, судо- строение, судоремонт
Партизан- ский	агроклиматические ресурсы, строитель- ное сырье: известь, щебень, гранит, мра- мор; лесные ресурсы, рекреационные ресурсы	памятники природы, археологические памятники	государственный комплексный морской заказник «Залив Восток»		1,0	1,0	многоот- раслевое с/х, туризм, рекреация, лесодобыча
Лазовский	лечебные минеральные ресурсы: лечебные грязи, минеральные воды; рекреационнобальнеологические ресурсы	ситуация в районе благоприятная: слабое развитие производства позволило сохранить морскую и сухопутную экосистемы в относительной чистоте и целостности; уникальное сочетание элементов южной и северной флоры и фауны, памятники природы, археологические памятники	Лазовский го- сударственный заповедник им. Капланова, естественный ботанический сад с заповед- ным режимом (о. Петрова), национальный парк «Зов тигра»		1,0	1,0	туризм, санаторно- курортное лечение, рыбодобыча и перера- ботка
Ольгинский	лесные ресурсы; минеральная вода, рекреационно-тури- стические ресурсы	разнообразие растительного, животного мира, рыб; памятники природы, пещеры, водопады	Васильков- ский госу- дарственный зоологический (охотничий) заказник	частые ливневые дожди, наво- днения	0,45	0,71	туризм, рыбодобыча и перера- ботка

Продолжение таблицы

							,
1	2	3	4	5	6	7	8
Кавалеров- ский	лесные ресурсы, олово (не доб.)		о. Зеркальное		0,92	1,0	лесозаго- товка, пчело- водство, оловодобыча и перера- ботка
Тернейский	лесные ресурсы; минеральные воды; разнообразие био- ресурсов моря, рек, леса; туристические ресурсы; золото, серебро, уголь, полу- драгоценные камни (не доб.)	ситуация в районе благоприятная; водопады, высокогорные озёра, бухты, памятники природы, каньоны, проживают малочисленные народы	Сихотэ- Алиньский государствен- ный заповед- ник		0,96	0,91	лесозаготов- ка и пере- работка, туризм, бальнеоле- чение
Владиво- стокский ГО	строительное сырье: порфириты, стро- ительный камень, щебень; биоресурсы моря; санаторно-ре- креационные ресурсы	значительное загрязнение воз- духа, акватории и рек; 20 островов залива Петра Ве- ликого, значитель- ная санаторно-ку- рортная зона		ливневые дожди, тай- фуны	0,20	0,83	административный, промышленный, промышленный, транспортный, политический, экономический, культурный, научный, образовательный центр; лечебно-оздоровительное
Артемов- ский ГО	агроклиматические ресурсы; строительное сырье; бурый уголь (не доб.)				0,06	0,90	с/х, пищевая отрасль, машино- и приборо- строение
Находкин- ский ГО	биоресурсы моря; рекреационные ресурсы	значительное загрязнение атмос- феры и морской акватории; 40 баз отдыха, 1 санато- рий, 12 детских лагерей, 8 пала- точных лагерей, 24 пляжные зоны, памятники природы	государственный комплексный морской заказник «Залив Восток»	повышенная сейсми- ческая опасность, циклоны с кислотны- ми осадками	0,63	0,29	судоремонт, рыбодобыча и перера- ботка, порто- во-транс- портная логистика; туризм, рекреация
Б. Камен- ский ГО	строительное сырье: андезитовые порфи- риты, строительный камень; кварцево-по- левошпатовый песок (не доб.)	загрязнение морской акватории			н/д	0,13	судостро- ение и су- доремонт, рыбодобыча и перера- ботка
ЗАТО Фокино					н/д	0,18	судоремонт
Дальнегорский ГО	свинец, цинк, висмут, боросиликаты; лесные и недревесные ресурсы леса; биоресурсы рек и моря, туристические ресурсы; золото, серебро, кадмий, сурьма, индий, таллий, германий и др. (не извлек.);	загрязнение атмосферы и р. Рудная; живописные пещеры, красивые и массивные скальные выходы, урочища, горные озера, уфологический объект – гора Высота 611; уникальная вертикальная поясность	государственный биосферный Сихотэ-Алиньский заповедник		0,13	0,66	добыча и переработ- ка цветных металлов и химиче- ского сырья; лесодобыча, рыбодобыча и переработ- ка; туризм
	T .	Пр	играничные				
Пожарский	бурый уголь, по- лиметаллические руды (вольфрам, медь, серебро, золото, висмут, и др.), лесные ресурсы, минераль- ная вода				0,04	0,92	угледобыча, добыча по- лиметаллов, производ- ство и рас- пределение 3/3
Дальнере- ченский	агроклиматические ресурсы, лесные ресурсы			частые тайфуны и большое количество осадков	0,90	0,17	лесодобыча и переработ- ка, с/х

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8
Кировский	минеральные воды, рекреационно- бальнеологические ресурсы, агроклима- тические ресурсы	3	4 международ- ный заповед- ник «Ханкай- ский»	3	0,90	1,0	санаторно- курортное, с/х и пере- работка
Спасский	агроклиматические ресурсы, минеральные ресурсы (известняки, цементные, кирпичные, легкоплавкие керамические глины, песчаногравийная смесь, торф, гранодиориты и др.); полиметаллы (не доб.)	многочисленные и разнообразные памятники природы	международ- ный заповед- ник «Ханкай- ский»		0,06	1,0	добыча и производ- ство стро- ительных материалов, с/х и пере- работка, туризм
Ханкайский	биоресурсы о. Ханка, агроклиматические ресурсы	уникальное о. Ханка; отсутствие промышленных предприятий позволяет выращивать экологически чистые с/х продукты	международ- ный заповед- ник «Хан- кайский», региональный заказник «Ханкайский»	повышение уровня воды в о. Ханка	1,0	0,01	с/х и переработка; озерное рыболовство, туризм; приграничный пассажирский и грузообороты
Погранич- ный	агроклиматические ресурсы; желез- ная руда, золото, бу- рые и каменные угли (не доб.)			обильные ливне- вые дожди, суховеи	1,0	1,0	с/х и перера- ботка, при- граничный пассажир- ский и гру- зообороты
Октябрь- ский	агроклиматические ресурсы; уголь, стро- ительное сырье			подвержен наводнениям	0,98	0,95	с/х и перера- ботка, при- граничный пассажир- ский оборот
Хасанский	строительное сырье: фарфоровый, строительный, облицовочный камень, карбонатные породы, строительный песок, перлиты и цеолиты, глина; торф, каменный уголь; морские иловые грязи, лечебные грязи; биоресурсы моря и рек, рекреационно-туристические ресурсы	малая загрязнен- ность рек по- зволила сохранить богатое видовое разнообразие рыб. Все реки района являются нересто- выми	государственный морской заповедник, заповедник «Кедровая падь», заказники «Барсовый», «Борисовское плато», природный парк «Хасанский»	тайфуны, циклоны	0,47	0,85	развитие марикультуры, туризм, рыбодобыча, приграничный пассажирский и грузообороты
Уссурий- ский ГО	агроклиматические ресурсы	загрязненность вод и воздуха		суховеи, засуха, силь- ные ветра	0,81	0,99	с/х, пищевая промышлен- ность, маши- ностроение и металлоо- бработка
Лесозаводский ГО	агроклиматические ресурсы, рекреа- ционные ресурсы, строительное сырье: строительный песок, песчано-гравийные смеси, гранодиориты, кирпичные глины; железная руда (не доб.)	живописные озёра, где растёт лотос			0,96	1,0	с/х и переработка, деревообработка

Примечание. *Показатель имеет значения от 0 до 1, и чем он выше, тем загрязнение сильней.

Приморский край является уникальным по своему экономико-географическому положению, наличию богатого и разнообразного природно-ресурсного потенциала

и сочетанию различных территориальных природно-экономических систем. Не смотря на то, что исследуемые районы в рамках рассматриваемой территориальной

привязки различаются по хозяйственной структуре, населению, производственноприродным отношениям и, естественно, по экологическому состоянию, все они имеют богатый природно-ресурсный потенциал и экологические проблемы, ограничивающие дальнейшее освоение и развитие. При решении различных задач управления природопользованием в регионах, где имеются сочетания самых разнообразных ресурсов (эксплуатация которых часто несовместима друг с другом), необходимо учитывать основные свойства любой функциональной системы: иерархическую структуру, эмерджентные свойства, механизм поведения каждой составляющей этой системы на локальном уровне. Это помогает правильно обосновать выбор решения с учетом сбалансированности экономических, экологических и социальных интересов различных территориальных природноэкономических систем.

Работа выполнена при поддержке грантов в рамках Программы Президиума РАН «Дальний Восток», № 15-I-6-060, № 15-I-6-039.

Список литературы

- 1. Ганзей С.С. Трансграничные геосистемы юга Дальнего Востока России и Северо-Востока Китая. Владивосток: Дальнаука, 2004. С. 7–9.
- 2. Итоги деятельности городских округов и муниципальных районов Приморского края за 2015 г. ФСГС ТО ФСГС по Приморскому краю. Владивосток, 2016. 66 с.
- 3. Кевин Уоткинс. Доклад о развитии человека $2007/2008\,\mathrm{rr}$. Борьба с изменениями климата. Человеческая солидарность в разделенном мире. М.: Весь мир, $2007.-31\,\mathrm{c}$.
- 4. Логинов В.Ф. Глобальные и региональные изменения климата. Причины и следствия. Минск: Тетра Системс, 2008. 495 с.
- 5. Материалы АБВУ по Приморскому краю. Владивосток: 2016. 4 с.
- 6. Пабат А.А. Глобальные изменения климата: антропогенная и космогенная концепции // Энергия: экономика, техника, экология. 2006. N2 7. C. 42–47.
- 7. Степанько Н.Г. Природно-ресурсные и экологические факторы в развитии территориальных хозяйственных структур / Н.Г. Степанько, А.В. Мошков // Геосистемы Дальнего Востока России на рубеже XX—XXI веков: в 3-х т. Т. 3. Территориальные социально-экономические структуры. Владивосток: Дальнаука, 2012. С. 99—111.
- 8. Степанько Н.Г. Инвестиционное6 увеличение техногенной нагрузки в регионах Российского Дальнего Востока // Фундаментальные исследования. 2015. № 2-19. С. 4220-4224.

УДК 54:631.47

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ¹³⁷CS В РАСТЕНИЯХ И ПОЧВАХ ФОНОВЫХ ЗАПАДНО-СИБИРСКИХ ЛАНДШАФТОВ ТУНДРЫ И ТАЙГИ

Усачева А.А., Семенков И.Н., Мирошников А.Ю.

ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии» Российской академии наук, Москва, e-mail: usacheva@list.ru

В работе рассмотрено распределение ¹³⁷Cs в моховой (*Sphagnum, Politrichum, Pleurosium, Dicranum*), лишайниковой (*Cladonia, Cetraria*) травянистой (осоки, разнотравье) и кустарничковой (ерник) растительности четырех ключевых участков, расположенных в фоновых тундровых и таежных ландшафтах центра Западной Сибири. На мохово-травянисто-кустарничковый ярус приходится около 30% запасов цезия-137 от его суммарного количества в изученных ландшафтах. Средняя удельная активность и запасы в моховотравянисто-кустарничковом покрове уменьшаются от северной тайги к южной из-за увеличения ежегодного прироста биомассы и от более сухих к увлажненным местообитаниям. Средние запасы и удельная активность ¹³⁷Cs уменьшаются в ряду сообществ: долгомошные, зеленомошные > беломошные, сфагновые, кустарничковые > осоковые. В растениях наибольшие запасы ¹³⁷Cs обнаружены в нижних частях мхов. В мохово-травянисто-кустарничковом ярусе лесных биогеоценозов (сосняки) удельная активность и запасы ¹³⁷Cs в 2–3 раза меньше, чем в ландшафтах открытых заболоченных пространств. В торфяных почвах он проникает на большую глубину, чем в минеральных постлитогенных (глееземах, криоземах), подбурах, подзолах и светлоземах).

Ключевые слова: цезий-137, Западная Сибирь, сфагнум, политрихум, осоки, тундра, тайга

DISTRIBUTION OF ¹³⁷CS IN VEGETATION AND SOILS OF BACKGROUND TUNDRA AND TAIGA LANDSCAPES IN WESTERN SIBERIA

Usacheva A.A., Semenkov I.N., Miroshnikov A.Yu.

Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, e-mail: usacheva@list.ru

This article are focused on distribution of ¹³⁷Cs in moss, herb and shrub layers in four key areas located in background landscapes of tundra and taiga in the central part of Western Siberia. In tundra and taiga landscapes 30 % of ¹³⁷Cs total storage occurs in the moss-herb-shrub layer. Average activity of cesium-137 and it pollution density decrease from northern taiga to southern taiga in the moss-herb-shrub layer due to increasing annual growth of biomass and from dry to wet biotope. Average ¹³⁷Cs activity and pollution density decrease in a range of communities: Politrichum, green mosses (Pleurosium and Dicranum) > Cladonia, Cetraria, Sphagnum, shrubs > sedges. The most part ¹³⁷Cs activity is found in a lower part of mosses. Average activity of cesium-137 and it pollution density of moss-herb-shrub layer are 2–3 times higher in open areas of wetlands and woodsides then in pine forests. ¹³⁷Cs enters deeper into the peat soils than in mineral soils.

Keywords: cesium-137, Western Siberia, Sphagnum, Politrichum, sedge, tundra, taiga

Испытания ядерного оружия в атмосфере обусловили глобальное загрязнение Земли продуктами радиоактивного распада, в том числе ¹³⁷Cs – искусственным радионуклидом с периодом полураспада 30,2 лет, который в фоновых ландшафтах является одним из главных дозообразующих техногенных радионуклидов. Обширная литература по его поведению в экосистемах основана на работах, выполненных на территориях, загрязненных в результате аварий на ПО «Маяк» и атомных электростанциях (прежде всего Чернобыльской и Фукусима-1). Из-за различий во фракционном составе ¹³⁷Cs, поступающего в ландшафты с глобальными, региональными или локальными выпадениями, особенности его миграции и аккумуляции в фоновых ландшафтах могут отличаться от закономерностей, выявленных на примере загрязненных территорий [4]. Кроме того, его радиальное и латеральное распределение в фоновых ландшафтах сформировалось за более длительный период, чем тот, который характерен для территорий, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС.

Миграция и аккумуляция цезия-137 в фоновых тундровых и таежных ландшафтах, охватывающих более 2/3 площади России, изучены слабо [2, 5, 6, 8]. Актуальность изучения его поведения в ландшафтах, не подвергшихся загрязнению вследствие аварий, определяется расширением географии расположения ядерно-радиационно-опасных объектов и повышенным вниманием общественности к вопросам радиационной безопасности.

Целью проведенных исследований был анализ распределения цезия-137 в моховой,

травянистой и кустарничковой растительности фоновых тундровых и таежных ландшафтов Западной Сибири.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования стали почвенно-геохимические катены четырех участков в Западной Сибири, в которые цезий-137 поступал исключительно в виде глобальных выпадений (рисунок). Ландшафты трещинно-полигональной типичной тундры изучены в западной части Гыданского полуострова на слабо расчлененном междуречье рек Яраяха и Седеяха (участок Тазовский). Болотно-лесные ландшафты исследованы в северной тайге (средняя часть бассейна р. Пур, 2 км к северу от г. Губкинский – участок Пурпе), на границе северной и средней тайги (Сибирские увалы, 4 км к северо-востоку от г. Ноябрьск) и в средней тайге (юго-запад Среднеобской низменности,

3 км к югу от пос. Салым). Более подробное описание участков, а также условий миграции радионуклидов в почвах представлено в работе [8]. На 50 точках заложен 51 разрез, отобрано 373 почвенных и 27 растительных образцов.

Пробы почв отбирали послойно из фиксированной площади с шагом 3–10 см до глубины 15–30 см в зависимости от мощности органогенной или органоминеральной толщи для последующего определения плотности загрязнения. Из нижележащей толщи опробование выполнено погоризонтно для уточнения классификационного положения почв. Укос общей надземной фитомассы проводили на фиксированной площади.

Удельная активность 137 Cs измерена в 281 пробе прямым γ -спектрометрическим методом с использованием полупроводникового Ge(Li)-детектора GEM-4519 (GLP-25300/13), оснащенного NaI(Tl)-детекторами 160×160 мм с колодцами 55×110 мм (аналитик P.B. Соломенников, ИГЕМ РАН).



Расположение участков: 1 – Тазовский; 2 – Пурпе; 3 – Ноябрьск; 4 – Салым

Результаты исследования и их обсуждение

В лесной подстилке и неразложившемся опаде удельная активность ¹³⁷Cs варьирует от 0 до 94 Бк/кг при среднем 58 Бк/кг, запасы – от 0 до 425 Бк/м 2 при среднем 173 Бк/м 2 , что составляет 6-40% от запасов в ландшафте при среднем 23 % (число проб, n = 5). Максимум запасов обнаружен в опаде хвои сосны северотаежных ландшафтов, минимум - в подстилке из неразложившейся листвы и хвои среднетаежных ландшафтов. В среднем на растительность приходится 27% от суммарных запасов ¹³⁷Cs в ландшафтах при очень высокой вариабельности (коэффициент вариации, Cv = 107%). В более гидроморфных условиях доля запасов ¹³⁷Cs, приходящихся на кустарничково-травянисто-моховой ярус, повышена (табл. 1).

В постлитогенных почвах традиционно отмечается поверхностно-аккумулятивное распределение цезия-137 как очень слабо-подвижного радионуклида, основное загрязнение которым произошло в середине XX века. В изученных почвах тундровых и таежных ландшафтов Западной Сибири (глееземах, криоземах, светлоземах, подбурах и подзолах) с частотой 85% встречается

поверхностно-аккумулятивное распределение удельной активности и запасов ¹³⁷Cs. В органогенных почвах из-за активного прироста нового материала чаще наблюдается его распределение, отличное от экспоненциального.

В изученных почвах его удельная активность более 100 Бк/кг, как правило, встречается только в приповерхностных органогенных горизонтах до глубины 12 см с зольностью более 30%. Ранее на примере почв верховых болот междуречья рек Обь и Томь отмечена прямая корреляция между активностью ¹³⁷Cs и зольностью торфов [3]. В постлитогенных полугидроморфных почвах, которые чаще всего представлены торфяными типами в отделах глеевых, криотурбированных и альфегумусовых почв, ¹³⁷Cs, как правило, проникает глубже, чем в автоморфных, на 5 см (табл. 2). В среднем в постлитогенных почвах глубина его проникновения составляет 12.7 ± 9.9 см (n = 23), в торфяных— $16,6 \pm 13,2$ см (n = 23).

В торфяных почвах из-за большой мощности органогенной толщи и сильнокислой реакции среды цезий-137 может проникать до глубины 40 и даже 50 см. При сходных кислотно-щелочных условиях и геоботаническом составе глубина проникновения

Таблица 1 Запасы цезия-137 в растениях и почвах фоновых тундровых и таежных ландшафтов центра Западной Сибири

Полициофти				Запасы в ландшафте, %		
	Ландшафты		Растения	Почвы		
Тундровые	автоморфные	EТ	37,7	62,3		
	гидроморфные	CA	39,9	61,1		
Северотаежные	автоморфные	A	13,0	87,0		
	полугидроморфные	ТЭ-ТСА	97,7	0,3		
	гидроморфные	TCA	23,1	76,9		
		ICA	52,1	47,9		
Граница северной и сред-	автоморфные	A	21,5	78,5		
ней тайги		ЕT	16,0	84,0		
	полугидроморфные	ТЭ-ТСА	15,6	84,4		
	гидроморфные	TCA	100	0		
		ICA	22,6	77,4		
		ТЭ-ТСА	26,2	73,8		
Среднетаежные	автоморфные		1,2	98,8		
		EТ	0,9	99,1		
			6,3	93,7		
	полугидроморфные	ЕT	0,1	99,9		
	гидроморфные		7,7	92,3		
		TCA	6,5	93,5		

 Π р и м е ч а н и е . Элементарные ландшафты: A – автономные, T – трансэлювиальные, T супераквальные, C – супераквальные.

¹³⁷Cs в торфяных почвах увеличивается от тундровых к таежным ландшафтам, что, повидимому, связано с глубиной сезонного промерзания и протаивания, с одной стороны, и с количеством годовых осадков, с другой.

Таблица 2 Глубина проникновения цезия-137 в основных типах почв

По	ЭЧВЫ	Среднее и стандартное отклонение	Число разре- зов
Торфяные	олиготроф- ные	$13,3 \pm 8,4$	16
	эутрофные	$23,6 \pm 17,1$	8
Криоземы	типичные	$1,5 \pm 1,5$	2
	торфяные	15	1
Глееземы	типичные	$13,5 \pm 8,5$	2
	торфяные	$9,7 \pm 2,0$	3
Подзолы	типичные	$5,5 \pm 0,5$	2
	торфяные	$25,5 \pm 12,8$	4
Подбуры	типичные	5 ± 0	2
	торфяные	$12,0 \pm 2,0$	2
Светлозе-	типичные	$16,2 \pm 6,4$	4

Глубже 20 см в торфяных почвах частота обнаружения значимых активностей цезия-137 больше, чем в постлитогенных: 22 и 16% соответственно. То есть в очень кислых торфяных почвах (значения рН составляют 3,3–4,0) цезий-137 активнее мигрирует, чем в кислых (4,0–5,0) подзолах, подбурах, светлоземах и криоземах.

От средней тайги к северной увеличивается доля запасов ¹³⁷Cs в растительном ярусе и частота обнаружения высокоактивных проб растительности (табл. 3), что связано с меньшими величинами годового прироста фитомассы, которые определяют «разбавление» пиковых глобальных радиоактивных выпадений 60-х гг. XX века. В распределении абсолютных величин запасов явной закономерности не выявлено.

Таблица 3 Цезий-137 в мохово-травянисто-кустарничковом ярусе таежных ландшафтов центра Западной Сибири

Ландшафты	Удельная активность, Бк/кг	Запасы, Бк/м²
Северотаежные (9)	$\frac{117 \pm 41}{52 - 170}$	$\frac{208 \pm 142}{30 - 410}$
Граница северной и средней тайги (7)	$\frac{86 \pm 31}{52 - 150}$	$\frac{308 \pm 192}{116 - 736}$
Среднетаежные (8)	$\frac{36 \pm 37}{2,3-110}$	$\frac{26 \pm 27}{1-83}$

Примечание. Здесь и далее числитель – среднее значение и стандартное отклонение, знаменатель – минимум и максимум, в скобках – число проб.

Запасы ¹³⁷Сѕ уменьшаются от моховых сообществ (представители родов *Dicranum*, *Politrichum* и *Sphagnum*) к лишайниковым (*Cladonia* и *Cetraria*), кустарниковым (*Bétula nána*, *Lédum*, *Vaccínium*, *Rubus chamaemorus*, *Salix polaris*, *Filipéndula*) и осоковым (табл. 4), что связано с филогенетическими особенностями и ранее отмечалось в накоплении металлов растениями тайги и тундры Восточно-Европейской равнины [1, 9].

Таблица 4 Цезий-137 в мохово-травянисто-кустарничковом ярусе тундровых и таежных ландшафтов Западной Сибири

Растительность	Доминант	Удельная активность, Бк/кг	Запасы, Бк/м²
Зеленомошная и кустарничковозеленомошная (3)	Dicranum sp.	$\frac{120 \pm 23}{94 - 150}$	$\frac{293 \pm 33,5}{256 - 337}$
Долгомошная и кустарничководолгомошная (5)	Politrihum sp.	$\frac{116 \pm 35}{82 - 165}$	$\frac{302 \pm 99}{96 - 410}$
Беломошная (5)	Cladonia sp., Cetraria sp.	$\frac{87 \pm 44}{52 - 170}$	$\frac{173 \pm 50}{116 - 237}$
Кустарничковая (8)	Отсутствует	$\frac{71 \pm 36}{6 - 110}$	$\frac{120 \pm 128}{4 - 410}$
Осоковая, в т.ч. кустарничково-осоковая и осоково-сфагновая (4)	Отсутствует	$\frac{68 \pm 58}{6 - 150}$	$\frac{30 \pm 25}{4-70}$
Сфагновая и разнотравно-кустарничково-сфагновая (12)	Sphagnum sp.	$\frac{66 \pm 47}{6 - 165}$	$\frac{162 \pm 219}{1 - 736}$

Ряд изученных растительных сообществ тундр и тайги Западной Сибири по уменьшению средних величин удельной активности ¹³⁷Сs аналогичен ряду по плотности загрязнения: зеленомошные и долгомошные > лишайниковые, кустарничковые, сфагновые > осоковые [7]. Во мхах по сравнению с кустарничками и осоками даже при близкой удельной активности запасы ¹³⁷Сs больше из-за повышенной в 10 раз фитомассы.

В сфагновых сообществах с наименьшими средними величинами удельной активности и запасов ¹³⁷Сs (66 Бк/кг и 162 Бк/м²) вариабельность показателей максимальна среди моховых сообществ (Сv составляет 81 и 148% соответственно), по-видимому, изза высокой вариабельности фитомассы. Во всех родах мхов максимальные значения, как правило, приурочены к их нижним бурым частям, что согласуется с литературными данными [10]. Наименьшая вариабельность удельной активности и запасов обнаружена в зеленомошных растительных ассоциациях (Сv равен 19 и 11% соответственно).

Удельная активность и запасы ¹³⁷Сѕ максимальны в мохово-травянисто-кустарничковом ярусе открытых пространств (табл. 5) и превышают аналогичные показатели в лесных биогеоценозах в 2 и 3 раза соответственно.

Таблица 5 Цезий-137 в мохово-травянисто-кустарничковом ярусе открытых сообществ и лесов

Сообщества	Удельная ак- тивность, Бк/кг	Запасы, Бк/м²
Леса из сосны, березы (8)	<u>53/98</u> 2,3–150	78/138 1–337
Болота (13)	94/50 25–170	<u>227/93</u> 13–736
Разреженный лес или его опушка (5)	<u>89/42</u> 52–160	<u>203/52</u> 55–351

 Π р и м е ч а н и е . Числитель — среднее значение и коэффициент вариации Cv (%), знаменатель — минимум и максимум, в скобках — число проб.

Непропорционально повышенные запасы цезия-137 на открытых пространствах объясняются повышенными значениями фитомассы наземной растительности, которая несколько угнетается в затененных местообитаниях сосновых и смешанных (мелколиственно-хвойных) лесов. Кроме того, в лесных биогеоценозах при выпадении осадков существенная часть цезия-137 задерживается кронами деревьев.

Выводы

1. На мохово-травянисто-кустарничковый ярус приходится около 30% запасов цезия-137

- от суммарного его количества в тундровых и таежных ландшафтах Западной Сибири. Средняя удельная активность и запасы в мохово-травянисто-кустарничковом ярусе уменьшаются от северной тайги к южной из-за увеличения ежегодного прироста биомассы и от более сухих к более влажным местообитаниям.
- 2. Средние запасы и удельная активность ¹³⁷Сѕ уменьшаются в ряду сообществ: долгомошные, зеленомошные > беломошные, сфагновые, кустарничковые > осоковые. В растениях наибольшие запасы цезия-137 характерны для нижних частей мхов.
- 3. В мохово-травянисто-кустарничковом ярусе лесных биогеоценозов удельная активность и запасы ¹³⁷Cs в 2–3 раза меньше по сравнению с ландшафтами открытых пространств.
- 4. В почвах поверхностно-аккумулятивное распределение удельной активности и запасов ¹³⁷Сs отмечается с частотой 85%; глубина его проникновения больше в торфяных почвах, чем в минеральных постлитогенных почвах.

Исследование выполнено в рамках базовой темы «Закономерности миграции и распределения радиоактивных и стабильных загрязнителей в ландшафтно-геохимических системах Арктики».

Список литературы

- 1. Авессаломова И.А. Биогеохимия среднетаежных ландшафтов юга Архангельской области // Вестник Московского университета. Серия 5: География. -2006. -№ 1. -C. 50–56.
- 2. Балыкин Д.Н., Пузанов А.В., Балыкин С.Н. Эколого-геохимическая оценка долины реки Васюган (Томская область) // География и природные ресурсы. $-2013.- N\!\!_{2} 2.- C.$ 96–102.
- 3. Ефремова Т.Т., Сухоруков Ф.В., Ефремов С.П., Будашкина В.В. Аккумуляция 137 Сѕ в болотах междуречья Оби и Томи // Почвоведение. 2002. N 1. C. 100—107.
- 4. Кузнецов В.А., Кольненков В.П., Генералова В.А. Распределение стронция-90 и цезия-137 по формам нахождения и оценка их селективных свойств // Геохимические пути миграции искусственных радионуклидов в биосфере. Тезисы докладов V конференции. Пущино, 1991. С. 65.
- 5. Парамонова Т.А. Аккумуляция техногенного Cs-137 в почвах фоновых ландшафтов южной тайги европейской территории России // Радиоэкология: итоги, современное состояние и перспективы. Обнинск: ВНИИРАЭ, 2008. С. 229–239.
- 6. Пузанов А.В., Балыкин С.Н., Балыкин Д.Н. Радиоактивные элементы в почвах бассейна р. Нижняя Тунгуска // Мир науки, культуры, образования. 2008. № 5. С. 26–29.
- 7. Семенков И.Н., Усачева А.А. Цезий-137 как маркер современных почвенных турбаций // Фундаментальные исследования. 2013. № 10-7. C. 1478-1481.
- 8. Семенков И.Н., Усачева А.А., Мирошников А.Ю. Распределение цезия-137 глобальных атмосферных выпадений в таежных и тундровых катенах реки Обь // Геология рудных месторождений. 2015. Т. 57. № 2. С. 154–173.
- 9. Тентюков М.П. Геохимия ландшафтов равнинных тундр (на примере Ямала и Большеземельской тундры). Сыктывкар, 2010. 260 с.
- 10. Щербов Б.Л., Страховенко В.Д., Маликова И.Н., Осипова Л.П., Сухоруков Ф.В., и др. Сравнительная характеристика современного радиоактивного загрязнения территорий Западной Сибири, прилегающих к Семипалатинскому и Новоземельскому полигонам (на примере Алтая и Пур-Тазовского междуречья) // Сибирский экологический журнал. 2000. № 1. С. 51–60.

УДК 622:55:621:96

ИЗУЧЕНИЕ ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ «МАЯТ» НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Федорова Л.Л., Соколов К.О., Саввин Д.В.

Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, Якутск, e-mail: lar-fed-90@rambler.ru

Повышение эффективности разработки россыпных месторождений полезных ископаемых может быть осуществлено за счет более детального изучения геологических условий таким дистанционным и оперативным геофизическим методом, как георадиолокация. В настоящее время аппаратное и методическое обеспечение георадиолокации развивается, и для увеличения полноты извлечения полезной информации и оперативности обработки данных в настоящей работе предлагается использовать современные методы анализа данных. Представлен опыт применения методов статистического и частотно-временного анализа при обработке и интерпретации данных георадиолокационных исследований геологического разреза россыпных алмазоносных месторождений Якутии. Построены структурно-георадиолокационные модели и по результатам моделирования показано, что повышение значений дисперсии амплитуд георадиолокационных сигналов по разрезу позволяет выделять границы реликтовых водотоков, участки валунных включений, зоны повышенной трещиноватости коренных пород. Применен метод вейвлет-анализа для обработки данных площадных георадиолокационных зондирований с целью картирования разрывных нарушений. В качестве критерия их выявления использовано соотношение (К) высоких и низких частот вейвлет-спектра георадиолокационных сигналов. Высокие значения соотношения (К) характерны для слоистых сред, а низкие для горных пород с высоким затуханием электромагнитной энергии. По результатам проведенных расчетов построены карта аномалий участка «405» месторождения «Маят» и 3D представление расчета соотношения (К). Использование разработанных методик обработки данных георадиолокационных исследований в комплексе с геологическим опробованием позволит оптимизировать объемы разведочной сети и технологию отработки месторождений посредством селективной выемки продуктивных песков.

Ключевые слова: георадиолокация, россыпное месторождение, криолитозона, неоднородность, дисперсия, вейвлет-анализ, интерпретация, методика обработки

THE STUDY OF THE GEOLOGICAL CONDITIONS OF THE DEPOSIT «MAYAT» ON THE BASIS OF MODERN METHODS OF GPR DATA

Fedorova L.L., Sokolov K.O., Savvin D.V.

Mining Institute of the North SB RAS, Yakutsk, e-mail: lar-fed-90@rambler.ru

Improving the efficiency of development of placer deposits of minerals it can be accomplished through a more detailed study of the geological conditions in such a remote and operational geophysical method as georadar. Currently, hardware and methodological support GPR developed and to increase the completeness of extraction of useful information and speed data in this paper, we propose the use of modern methods of data analysis. Experience in the application of statistical methods and time-frequency analysis in the processing and interpretation of GPR data studies of the geological section of diamond placer deposits in Yakutia. Built-GPR structural models and simulation results show that the increase in the section amplitude variance values GPR signals allows you to select relic border watercourses, sections of boulder inclusions, zones of increased fracturing of bedrock. Applying wavelet analysis method to data Areal GPR soundings to map faults. As a criterion used to identify their ratio (K) of high and low frequency wavelet spectrum GPR signals. The high values of the ratio (K) characteristic for layered media, and lower for rocks with high attenuation of electromagnetic energy. The results of the calculations are built card «405» area anomalies field «Mayat» and 3D representation of the calculation of the ratio (K). Using the developed GPR survey data processing techniques in conjunction with the testing of geological exploration will allow to optimize the volume of network technology and mining of deposits through selective mining productive sands.

Keywords: GPR, placer deposit, permafrost, heterogeneity, variance, wavelet analysis, interpretation, methods of processing

Успешная разработка россыпных месторождений полезных ископаемых в первую очередь зависит от точности локализации мест, где возможно скопление добываемых минералов. Для поиска этих зон применяют электроразведку, а также магнитную съемку и сейсморазведку [1, 9, 10]. Эти геофизические методы трудоемки и не всегда способны предоставить данные с требуемой детальностью. Более перспективным для подобных исследований геофизиче-

ским методом является георадиолокация, которая позволит выявить и картировать зоны возможной концентрации полезных ископаемых, благодаря небольшой мощности рыхлых отложений на россыпях криолитозоны и невысокому значению затухания электромагнитной энергии в них [3, 5]. Вместе с тем масштабы применения георадиолокации существенно ограничиваются сложностью обработки больших объемов данных для детального изучения строения

массива мерзлых горных пород. Известные программные средства обработки георадиолокационных данных не позволяют в полной мере и в автоматическом режиме использовать амплитудно-временные характеристики сигнала, несущие полезную информацию как о строении, так и о состоянии геологической среды. Для повышения полноты извлечения полезной информации и оперативности обработки данных в настоящей работе предлагается использовать современные методы анализа данных, которые позволят значительно расширить область применения георадиолокации.

Исследование структурных неоднородностей массива горных пород на основе дисперсии амплитуд георадиолокационных сигналов

Обзор исследований россыпных месторождений Якутии показал, что в генетическом плане выделяются в основном аллювиальные месторождения. Глубина залегания плотика таких месторождений в среднем находится в пределах 6-12 м. Одним из главных факторов образования этих россыпей является эрозионно-аккумулятивная деятельность речных потоков, которые размывают коренные породы, переносят обломочный материал и отлагают его в речных долинах. Исходя из условий формирования россыпи, в качестве зон, перспективных для разработки, отмечают такие особенности строения, как палеорусла, западения плотика, валунистость и т.д., в которых преимущественно происходит концентрация полезных минералов.

При прохождении сверхширокополосного георадиолокационного импульса в среде на его характеристики влияют различные параметры (влажность и плотность горных пород, форма, размеры, взаимное расположение и ориентация минеральных зёрен или частиц и т.п.), которые отражаются на таких электрофизических свойствах пород, как диэлектрическая проницаемость и электропроводимость. При формировании георадиолокационной трассы от них зависят значения амплитуд сигналов, время задержки и частотный состав регистрируемых сигналов.

На основе разработанного в лаборатории георадиолокации ИГДС СО РАН программно-методического обеспечения построены структурно-георадиолокационные модели включающие неоднородности горного массива: палеорусло (рис. 1, а) и зона валунистости (рис. 1, б). Для упрощения

моделирования принято, расчетов электропроводимости невелико влияние $(10^{-2}-10^{-7} \text{ Cm})$ [4]. Этот случай соответствует использованию низкочастотных георадаров (50–100 МГц) при изучении мерзлых горных пород, что позволяет не учитывать в теоретических расчетах затухание электромагнитной энергии. Расчеты проведены для различных вариантов диэлектрической проницаемости горных пород, определенных по литературным источникам. На рис. 1, а представлена модель с чередованием слоев мощностью от 0,7 до 1,8 м $(\varepsilon_{1;3;5;7} = 6; \ \varepsilon_{2;4;6;8} = 5)$, при этом слой 6 в расчетах замещается на характерные по параметрам (размер, состав, количество границ) слой глины ($\epsilon_{_{\Pi}}=12$) и слой разнозернистых песков ($\epsilon_{_{\Pi}}=9$), указывающих на специфические условия осадконакопления в части реликтовых водотоков. На рис. 1, б показана модель с замещением слоя 4 на глыбовые и валунные отложения ($\varepsilon_{\text{\tiny LTR}} = 8-12$) в западении плотика.

При зондировании нарушенных и неоднородных структур в трассах регистрируются сигналы, являющиеся результатом переотражений, связанных с увеличением количества отражающих границ. В результате расчетов обосновано, что локальные изменения свойств пород проявляются на георадиолокационном разрезе зонами с хаотичным распределением осей синфазности, которые используются в качестве информационных сигналов (рис. 1, в, г). Наличие подобных сигналов приводит к увеличению такой статистической характеристики, как дисперсия, которая показывает отклонение энергии сигналов от среднего ожидаемого значения. При этом появление новых границ в разрезе влияет на крутизну изменения дисперсии, величина которой зависит от количества хаотично распределенных сигналов в выбранном временном окне для ее расчета. Анализ особенностей характера изменения значения дисперсии амплитуд сигналов по разрезу позволяет определять тип геологической неоднородности. Относительно сглаженное изменение дисперсии соответствует слоистой структуре, а хаотично-распределенное изменение дисперсии – нарушенной структуре с локальными неоднородностями.

На рис. 2, а показан георадиолокационный глубинный разрез участка «405» месторождения «Маят». По данным бурения коренные породы участка исследований представлены доломитами, в верхней части сильнотрещиноватыми. Перекрывающие породы сложены илами, песчаными

и суглинистыми отложениями (рис. 2, а – скв. 4 и 5.5). После предварительной обработки по разрезу выделяется интервал глубин с характерными амплитудно-временными изменениями георадиолокационных сигналов. Во временном окне, определенном по параметрам отраженных сигналов, соответствующий глубинам 15–20 м, произведен расчет дисперсии сигналов.

По результатам оценки единичного профиля построен график значений дисперсии

(рис. 2, б). Установлено, что максимальные значения дисперсии выделяются в пределах $\Delta L1 = 280$ —460 м по разрезу профиля. Увеличение значений дисперсии на графике связано с повышением количества хаотично отраженных сигналов, что свидетельствует о нарушенности слоистой структуры участка исследований. Данные разведочного бурения позволили заверить выявленные аномалии (рис. 4, а) и подтвердили результаты их интерпретации, как нарушенные коренные породы.

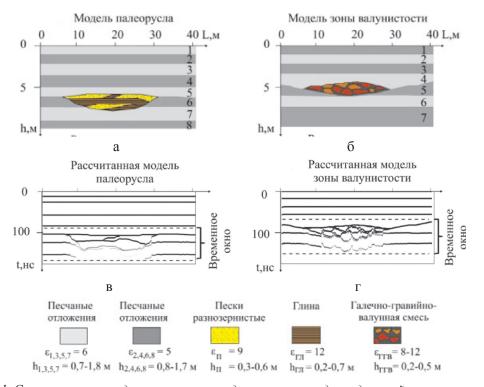


Рис. 1. Структурно-георадиолокационное моделирование неоднородностей горного массива: а, б – модели условных разрезов, имитирующих палеорусло, зону валунистости; в, г – графическая численная модель зон слоистой и хаотичной структуры

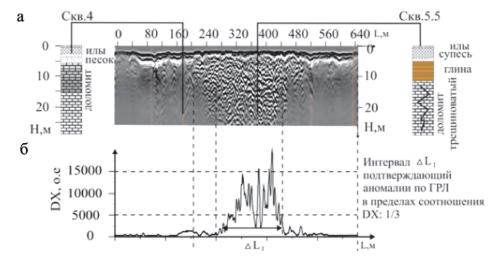


Рис. 2. Пример георадиолокационного разреза (а) и результата расчета дисперсии георадиолокационных сигналов (б)

Применение вейвлет-анализа для выявления фрагментов разломов по данным георадиолокации

Объектами георадиолокационного изучения на россыпных месторождениях криолитозоны являются также зоны нарушенных пород (эрозионно-тектонического типа), карстовые явления с осложненной поверхностью плотика, с разрушенной кровлей коренных пород и т.д. Из них наиболее интересны карстовые полости, которые могут содержать породы с очень высокой концентрацией полезного компонента, однако, распределение его крайне неравномерное, а форма образуемой россыпи весьма сложна. В зонах разрывных нарушений подобные карстовые формы могут создавать уникальные россыпные месторождения, как по запасам, так и по содержанию [2]. Карстовые явления успешно изучаются методом георадиолокации, но для россыпных месторождений, приуроченных к разрывным нарушениям, необходимо знать местоположение и направление простирания разломов, чтобы эффективно проводить поиски и разведку полезных ископаемых. Для выявления и картирования сложнопостроенных промежуточных коллекторов в зонах разломов и в различных палеопотоках по данным георадиолокации необходимо определить признаки наличия разрывных нарушений на георадиолокационном разрезе и разработать способы их картирования в трехмерном приближении по данным площадной съемки.

Как следует из данных, представленных в [6–8], георадиолокационные трассы, полученные при зондировании пород внутри разлома, имеют более низкочастотный

спектр и меньшие амплитуды сигналов, что объясняется отсутствием четких отражающих границ и наличием большого количества глинистых частиц, в которых интенсивно поглощаются высокие частоты, смещая спектр в область низких частот.

Анализ георадиолокационных данных зондирований участка «405» месторождения «Маят» на основе непрерывного вейвлет-преобразования показал, что основная часть энергии сигналов, полученных вне зоны разлома, находится в области частот около 40 МГц, а в сигналах из зоны разлома энергия распределена в диапазоне от 20 до 45 МГц. Можно условно разделить вейвлетспектр на две части, высокочастотную от 30 до 50 МГц, куда попадают сигналы, имеющие строение, типичное для слоистых сред, и на низкочастотную от 10 до 30 МГц, характерную для сигналов из зоны разлома. Так как вследствие разнообразного наложения сигналов, помех и шумов во всех трассах могут присутствовать частоты из обоих указанных интервалов, то предлагается оценивать каждую трассу отношением энергии всего спектра к энергии низкочастотной части спектра. Таким образом, чем больше это соотношение, тем больше в трассе сигналов, характерных для слоистой структуры. Его уменьшение показывает преобладание в спектре низких частот, указывающих на повышение электропроводности изучаемых пород и увеличение поглощения электромагнитной энергии в них.

На рис. 3, а представлен фрагмент георадиолокационного разреза, во временном интервале 200–400 нс (глубина 10–20 м при ε = 9), на котором присутствуют сигналы, отраженные от слоистых структур

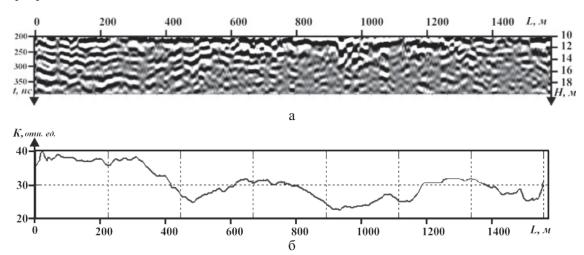


Рис. 3. Фрагмент георадиолокационного разреза (a) и его оценка на основе результатов расчета непрерывного вейвлет-преобразования (б)

 $(0{\text -}300\ \text{м}\ \text{по}\ \text{профилю})$ и область зоны разлома $(300{\text -}1600\ \text{м})$. Расчет соотношения (К) энергий высоких и низких частот (рис. 3, б) показал, что в области ненарушенных пород значения оценки находятся в интервале 37 ± 3 отн. ед., в остальной части разреза значения составляют 28 ± 4 отн. ед., что позволяет уверенно определять зоны со слоистой структурой. Расчет производился в Matlab R2010a, с использованием вейвлета 'gaus2' и сглаживания результатов по алгоритму скользящего среднего для устранения мелких осцилляций.

Результаты обработки данных георадиолокационных зондирований месторождения «Маят» на примере участка «405»

По результатам ранее проведенных прогнозно-поисковых работ территория, в пределах которой расположен участок «405», была отнесена к перспективным на обнаружение промышленных объектов россыпного генезиса. По данным магниторазведки была выявлена область, содержащая объекты эрозионно-карстового и эрозионно-тектонического типов. Природа выявленной области связана с Догой-Куойкским (ДК) региональным разломом и с его ближайшей зоной динамического влияния, которая в свою очередь расположена в зоне Эбелях-Уджинского (ЭУ) регионального разлома субмеридионального направления. Внутриразломные зоны являются промежуточными коллекторами, аккумулируя россыпи.

Георадиолокационная съемка площади 2×2 км, через 100 м, на участке «405» была проведена георадаром ОКО-2М с АБ-150 и АБДЛ «Тритон». В результате обработки

данных площадных измерений выделены четыре (I–IV) аномальные зоны с повышенными значениями дисперсии амплитуд георадиолокационных сигналов (рис. 4, а), которые соответствуют объектам эрозионно-карстового типа. По результатам расчета соотношения энергий (К) были картированы фрагменты ДК и ЭУ разломов (рис. 4, б).

Заключение

По результатам экспериментальных исследований больших объемов данных георадиолокации, подтвержденных бурением, обоснована возможность повышения точности и информативности оценки строения горного массива россыпных месторождений криолитозоны (на примере месторождения «Маят») методом георадиолокации. На основе данных моделирования распространения, георадиолокационных сигналов и результатов экспериментальной георадиолокации, подтвержденных данными опробования определены признаки выявления зон структурных неоднородностей (зон повышенной трещиноватости, валунных включений, границ реликтовых водотоков и т.д.) на основе анализа дисперсии амплитудно-временных характеристик георадиолокационных сигналов. Анализ результатов вейвлет-преобразования георадиолокационных данных позволил оценить строение геологического разреза (слоистое или нарушенное) и электропроводность слагающих его пород, на основе соотношения энергий низких и высоких частот (К). Эта информация позволяет создать алгоритм автоматического картирования участков пород, в которых отсутствует слоистая структура и наблюдается повышенное затухание электромагнитной энергии, что характерно для

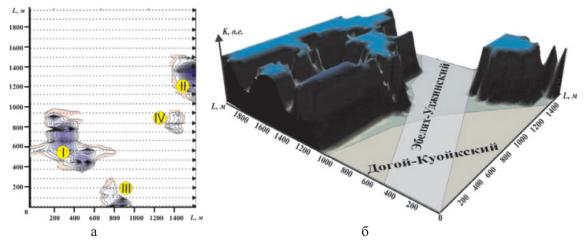


Рис. 4. Результаты георадиолокационных исследований участка «405»: а – карта аномалий; б – 3D представление расчета соотношения К

пород, слагающих внутриразломное пространство.

В результате реализации георадиолокационных исследований в комплексе с геологическим опробованием появляется возможность оптимизировать объемы разведочной сети и технологию отработки месторождений посредством селективной выемки продуктивных песков.

Работа выполнена частично в рамках проекта РФФИ № 15-45-05119.

Список литературы

- 1. Владов М.Л., Старовойтов А.В. Обзор геофизических методов исследований при решении инженерногеологических и инженерных задач.— М.: GDS Production, 1998.—81 с.
- 2. Лунев Б.С., Наумова О.Б. Атлас геологии россыпей. Том первый. Факторы россыпеобразования. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2005. 344 с.
- 3. Ним Ю.А. Электромагнитная импульсная модель технологии поисков и картирования россыпных месторождений криолитозоны // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: материалы докл. Все-

- рос. конф. (Якутск, 6–8 апреля 2016 г.). Якутск, 2016. C. 587–598 с.
- 4. Омельяненко А.В., Федорова Л.Л. Георадиолокационные исследования многолетнемерзлых пород. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2006. 136 с.
- 5. Финкельштейн М.И. Подповерхностная радиолокация / М.И. Финкельштейн, В.И. Карпухин, В.А. Кутев. М.: Радио и связь, 1994.-216 с.
- 6. Avila-Olivera J.A., Garduño-Monroy V.H. GPR study of subsidence-creep-fault processes in Morelia, Michoacán, Mexico // Engineering Geology. 2008. Vol. 100, N_2 6. P. 69–81.
- 7. Ercoli M., Pauselli C., Frigeri A., Forte E. «Geophysical paleoseismology» through high resolution GPR data: A case of shallow faulting imaging in Central Italy // Journal of Applied Geophysics. 2013. Vol. 90, № 3. P. 27–40.
- 8. Shokouhi, P, Gucunski, N, Maher, A. Application of Wavelets in Detection of Cavities Under Pavements by Surface Waves // Journal of the Transportation Research Board. 2003. Vol. 1860. № 1. P. 57–65.
- 9. Smith R. Electromagnetic Induction Methods in Mining Geophysics from 2008 to 2012 // Surveys in Geophysics. 2014. Vol. 35, N_2 3. P. 123–156.
- 10. Robert F. Models and Exploration Methods for Major Gold Deposit Types, Ore Deposits and Exploration Technology // Proceedings of Exploration 07: Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration (Toronto, Sept 9 to 12, 2007). Toronto, 2007. P. 691–711.

УДК 622:539.16.04:615.835

ПОЛЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

Черный К.А.

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, e-mail: chernyy k@mail.ru

Применение материалов на основе природных калийных солей является известным способом создания качественной, вплоть до лечебной, воздушной среды помещений, которая модифицируется ввиду влияния естественной радиоактивности сильвинита и карналлита. Облицовка или декорирование ограждающих поверхностей стен, пола или потолка специальных наземных комплексов – спелеоклиматических камер – насыщают воздух помещения легкими аэроионами. На примере горных пород Верхнекамского калийного месторождения рассмотрены основные закономерности проявления β и γ-излучения радиоактивного изотопа ⁴⁰К как основного химического элемента, входящего в состав калийных солей. Исследованы мощность экспозиционной дозы γ-излучения и плотность потока с поверхности β-излучения естественных (природных) блоков калийных солей Верхнекамского месторождения. Полученные зависимости и характерные оценки позволяют обосновать рациональное и безопасное с точки зрения радиационного фактора применение строительных и отделочных материалов на основе калийных солей, обоснованно определить требования и оптимальные параметры пространственного проектирования спелеоклиматических камер.

Ключевые слова: калийная соль, сильвин, сильвинит, спелеоклиматическая камера, калий-40, бета-излучение, гамма-излучение, ионизация воздуха

FIELDS OF IONIZING RADIATION EMANATED FROM MATERIALS BASING ON POTASH SALT

Chernyy K.A.

Perm National Research Polytechnic University, Perm, e-mail: chernyy k@mail.ru

Use of materials based on natural potassium salts is a known way to create high-quality, in some cases curative, indoor air, which is modified due to the impact of natural radioactivity of sylvinite and carnallite. Lining or decorating surfaces of walls, floor or ceiling of special purpose rooms – speleoclimatic cameras – leads to small air ion saturation of indoor air. Main regularities of beta- and gamma- radiation of ⁴⁰K radioactive isotope which is a basic chemical element of the potassium salt are studied using rocks of Verkhnekamskoye potash deposit. We investigated the exposure dose of gamma-radiation and surface flux density of beta-emission both from natural rock blocks of Verkhnekamskoye potash deposits. The results and typical estimations allows to justify the rational and safe usage of potash salt building materials in terms of radiation and to reasonably determine the requirements of optimal spatial design of speleoclimatic cameras.

Keywords: potassium salt, sylvite, sylvinite, speleoclimatic camera, potassium-40, beta radiation, gamma radiation, air ionisation

Известно, что одним из основных биологически активных факторов горных пород и определенных, естественных или искусственно пройденных, подземных полостей (в частности горных соляных выработок [6]) являются низкие дозы радиоактивных излучений [7]. Для создания уникального микроклимата замкнутых помещений все шире используются специальные комплексы – спелеоклиматические камеры [1], в которых в облицовочных материалах и/или материалах несущих конструкций применяется сильвинитовая или галитовая руда. В силу влияния природных солей воздушная среда в таких комплексах обладает уникальными свойствами [4].

В настоящее время накоплен определенный экспериментальный материал о том, что в качестве одного из параметров качества воздушной среды выступает высокая объемная концентрация легких аэро-

ионов [10]. Вместе с тем пока отсутствуют работы, обобщающие с единых физических позиций разрозненные теоретические и экспериментальные результаты, позволяющие выявить закономерности повышенного ионосодержания воздушной среды в горных соляных выработках. Исследования ограничиваются, как правило, либо выполненными измерениями излучений [9], либо измерениями параметров ионосодержания [8] без рассмотрения пространственных характеристик факторов, обуславливающих формирование аэроионного состава.

Целью настоящей работы является проведение исследований полей радиоактивных излучений, характерных для калийных солей и материалов на их основе, их сопоставление с известными теоретико-эмпирическими закономерностями распространения излучений и на основе проведенного анализа выявление закономерностей

реализации механизмов ионообразования, обусловленных естественной природной ионизацией.

Теоретико-эмпирические закономерности распространения излучений калийных солей

Основной вклад в аэроионообразование в горных выработках калийной соли, равно как и в спелеоклиматических камерах, следует ожидать от ионизирующего излучения калия, который входит в химический состав калийно-магниевых солей.

В природе калий состоит из двух стабильных изотопов 39 K (93,08%), 41 K (6,91%) и одного радиоактивного – 40 K (0,0117%), причем изотоп 40 K распадается двумя разными путями.

В результате β -распада (89,28%) 40 К превращается в стабильный изотоп 40 Са:

$$^{40}\text{K}_{19} \rightarrow ^{40}\text{Ca}_{20} + e^{-}$$
.

Эманированные β-частицы (средняя энергия излучения 0,541 МэВ, граничная (максимальная) энергия – 1,322 МэВ) присоединяются к внешним оболочкам атомов и молекул воздуха и образуют отрицательно заряженные аэроионы.

Второй тип распада атомы изотопа ⁴⁰К претерпевают путем К-захвата (10,72%) и трансформируются в ⁴⁰Аг, ядро которого, переходя в стабильное состояние, образует у-квант с энергией 1,505 МэВ:

$$^{40}\text{K}_{19} + e^- \rightarrow ^{40}\text{Ar}_{18} + hv.$$

Как известно β-частицы, проходящие через вещество, испытывают упругие и неупругие взаимодействия с ядрами и электронами окружающей среды. Взаимодействие β-частицы с атомными электронами приводит к передаче им некоторой энергии, следствием чего является либо ионизация, либо возбуждение атома. Оба вида передачи энергии, имеющие общее название «ионизационные потери», реализуются примерно равновероятно.

Связь между плотностью потока ϕ (частиц·см⁻²·с⁻¹) β -частиц, прошедших через слой поглотителя, и плотностью потока β -частиц ϕ_0 , эманируемых из калийной руды, удовлетворительно описывается формулой

$$\varphi = \varphi_0 \exp(-\mu_{\rm g} h),\tag{1}$$

где μ_{β} – коэффициент поглощения β -частиц; h – толщина слоя поглотителя, в качестве которого в рассматриваемом случае может выступать либо сама калийная порода, либо

воздух. Отметим, что в качестве μ_{β} можно использовать массовый коэффициент ослабления, выраженный в см²/г, при этом толщину слоя воздуха h следует выражать в г/см².

Для граничной (максимальной) энергии E_{β} β-частицы в диапазоне $0.5 \le E_{\beta} \le 6.0$ МэВ справедливы приближенные выражения для массового коэффициента ослабления:

$$\mu_{\beta} \approx \frac{15,5}{E_{\beta}^{1,41}} \approx \frac{17}{E_{\beta}^{1,43}} \approx \frac{22}{E_{\beta}^{1,33}}, \text{cm}^2/\Gamma.$$
(2)

Линейные коэффициенты поглощения β -частиц с характерной для изотопа ⁴⁰К граничной энергией E_{β} = 1,322 МэВ для воздуха $\mu_{\beta воз n}$, вычисленные по различным эмпирическим формулам (2), соответственно будут равны

$$\mu_{\beta_{\text{BO3J}}} = \mu_{\beta} \cdot \rho_{\text{BO3J}} = (12, 2 \pm 2, 3) \cdot 1, 204 \cdot 10^{-3} =$$

$$= 0,015 \pm 0,003 \text{ cm}^{-1},$$
(3)

где $\rho_{\text{возд}} = 1,204 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3 - \text{плотность воз-}$ духа при температуре $+20\,^{\circ}\text{C}$.

Максимальный пробег $h_{\rm max}$, см, β -частицы с граничной энергией E_{β} , МэВ, при которой все β -частицы поглощаются в среде плотностью ρ , г/см³, для диапазона граничных энергий $E_{\beta}=0.8-3.0$ МэВ вычисляется как

$$\rho \cdot h_{\text{max}} = 0.542 E_{\text{B}} - 0.133 \text{ г/см}^2.$$
 (4)

Согласно [2] с погрешностью не более $\pm 5\,\%$ максимальный пробег β -частицы с граничной энергией $E_{\beta} = 0,5-3$ МэВ рассчитывается по формуле

$$\rho \cdot h_{\text{max}} = 0.52 E_{\beta} - 0.09, \, \Gamma/\text{cm}^2.$$
 (5)

Наибольшее применение для оценки $h_{\rm max}$ при 0,3 МэВ < $E_{\rm \beta}$ < 3 МэВ нашло эмпирическое соотношение Фламерсфельда:

$$\rho \cdot h_{\text{max}} \approx 0.11 \left[\sqrt{1 + 22.4E_{\beta}^2} - 1 \right], \Gamma/\text{cm}^2.$$
 (6)

Максимальные пробеги β -частиц с характерной для изотопа 40 К граничной энергией $E_{\beta}=1,322$ МэВ в воздухе $h_{\text{мах возд}}$, вычисленные по эмпирическим формулам (4)–(6), дают $h_{\text{мах возд}} \approx 490 \pm 6$ см. Отметим, что полученные значения характеризуют именно максимальные значения и представляются завышенными при оценке линейных размеров присутствия продуктов действия радиоактивных излучений. Действительно, полученные выше различными теоретико-эмпирическими подходами значения длины свободного пробега β -частиц в воздухе

 $h_{\rm max~Bo3Д}$ превышают известные данные [5], согласно которым при $\overline{E}_{\beta}\approx 0,5$ МэВ длина пробега β -излучения в воздухе порядка 120 см.

Наиболее полезным на практике представляется использование выражения (1) с учетом (3), которые показывают, что с вероятностью 0,99 поглощение β -излучения в воздухе происходит на расстояниях 300–440 см.

Во всех трех процессах взаимодействия (фотоэффект, Комптон-эффект, эффект образования электрон-позитронных пар) первичного гамма-кванта с воздухом часть энергии преобразуется в кинетические энергии электронов и позитронов, а часть — в энергию вторичного фотонного излучения.

Формирование дозы у-излучения происходит в два этапа. На первом этапе ү-кванты, взаимодействуя со средой, создают заряженные частицы и вторичное косвенно ионизирующее излучение [3]. На втором этапе заряженные частицы передают энергию веществу. Существенное различие между этими двумя этапами заключается в том, что передача энергии ү-квантами заряженным частицам и передача энергии от заряженных частиц веществу происходит в разных точках среды. Действительно, доза на поверхности раздела «сильвинитовый блок – воздух» определяется заряженными частицами, приходящими только из заднего полупространства. С увеличением глубины к ним добавляются частицы, приходящие из слоя воздуха между поверхностью сильвинитового блока и рассматриваемой точкой; это приводит к возрастанию дозы. Одновременно в этом же слое воздуха идут процессы поглощения и рассеяния у-квантов, что уменьшает дозу. Таким образом, формирование дозы ү-излучения обусловлено двумя противоположно действующими факторами. До некоторой глубины R_0 преобладает первый фактор (приход электронов), после глубины R_0 преобладает второй фактор (ослабление первичного излучения). На глубине поглотителя (воздушной среды помещения) R_0 доза принимает максимальное значение.

Экспериментальное исследование полей радиоактивных излучений

Поскольку 40 К является источником и β -излучения, и γ -излучения, были исследованы пространственные изменения мощности экспозиционной дозы γ -излучения, мкР/ч и плотности потока β -излучения, см $^{-2}$ с $^{-1}$, в помещении размерами $10,0\times6,0\times3,0$ м, стены которого облицованы естественными (природными) блоками калийных солей Верхнекамского месторождения, на полу рассыпаны куски калийной соли.

Измерения уровней ионизирующих излучений проводились комбинированным прибором РКСБ-104, позволяющим регистрировать β - и γ -излучение.

Исследования проведены в пространственной сетке с шагом 0,5 м. Статистически обработанные результаты исследований полей ионизирующих излучений, состоящие из серий 10 измерений в каждой точке, представлены в табл. 1 и на рисунке.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные результаты пространственного распределения плотности потока β -частиц (табл. 1) с доверительной вероятностью порядка 0,99 согласуются с теоретическим выражением (1), а результаты аппроксимации представленных экспериментальных данных (табл. 2) показывают, что величина линейного коэффициента поглощения β -частиц $\mu_{\beta возд} = 0,013 \pm 0,002$ см $^{-1}$, что согласуется с эмпирическими оценками (3).

Поле бета-излучения

Таблица 1

Расстояние	D.					
от пола, см			- гасстояние	от стены, см	1	
	0	50	100	150	200	250
250	$0,37 \pm 0,04$	0.18 ± 0.07	0.09 ± 0.006	0.04 ± 0.003	0.02 ± 0.001	$0,008 \pm 0,001$
200	$0,37 \pm 0,03$	$0,19 \pm 0,08$	$0,10 \pm 0,007$	0.05 ± 0.002	0.03 ± 0.002	$0,010 \pm 0,001$
150	0.38 ± 0.02	$0,21 \pm 0,06$	0.12 ± 0.005	0.06 ± 0.003	0.03 ± 0.001	$0,010 \pm 0,001$
100	$0,39 \pm 0,03$	$0,22 \pm 0,07$	0.14 ± 0.006	0.09 ± 0.004	0.04 ± 0.002	0.025 ± 0.001
50	$0,44 \pm 0,04$	$0,23 \pm 0,08$	0.15 ± 0.007	0.08 ± 0.005	0.05 ± 0.003	0.030 ± 0.002
0	$0,48 \pm 0,05$	$0,26 \pm 0,09$	0.16 ± 0.009	0.09 ± 0.003	0.05 ± 0.003	0.035 ± 0.002

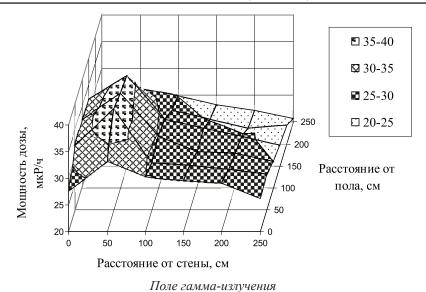


 Таблица 2

 Результаты аппроксимации плотности потока бета-излучений

Расстояние от пола, см	Аппроксимация по уравнению (1)
250	$\varphi = 0.3875 \exp(-0.0152h)$
200	$\varphi = 0.3929 \exp(-0.0142h)$
150	$\varphi = 0.4322 \exp(-0.0141h)$
100	$\varphi = 0.3986 \exp(-0.0107h)$
50	$\varphi = 0.4197 \exp(-0.0109h)$
0	$\varphi = 0.4725 \exp(-0.0111h)$

Как известно, при прохождении β-частиц через вещество происходит их упругое (на ядрах атомах и свободных электронах) и неупругое рассеяние (на связанных электронах атомов), при этом кинетическая энергия в-частиц уменьшается. По мере уменьшения энергии β-частиц и уширения углового распределения относительно первоначального направления вероятность упругих столкновений и, как следствие, ионизации атомов плавно возрастает (пик Брэгга), а вероятность возбуждения атомов плавно убывает. Исходя из вышеизложенного, максимальную линейную плотность ионизации следует ожидать на расстояниях от источника порядка средней длины свободного пробега излучения. Таким образом, оцененные ранее величины длины свободного пробега β -частиц излучения $^{40}{
m K}$ в воздухе $\hat{h}_{
m max\ возд}$ характеризуют оптимальные линейные размеры спелеоклиматических камер с точки зрения обеспечения в воздушной среде максимально возможной концентрации легких аэроионов.

При исследовании пространственного распределения дозы γ -излучения (рисунок) на расстояниях $R_0 \sim 0,5-1,0$ м наблюдается выраженный максимум дозы, обусловленный ее накоплением по мере продвижения γ -излучения в воздушной среде, вызванным действием вторичных излучений.

Заключение

Результаты исследований наглядно демонстрируют возможность применения сильвинитовых блоков и панелей для формирования в современных помещениях не только качественной, но и даже оздоровительной ионизированной воздушной среды.

Безусловно важным является не только количество ионов, образованных в воздушной среде в силу влияния излучений, но и то, как распределены эти ионы по длине

пути излучений, т.е. как осуществлена линейная плотность ионизации.

Полученные зависимости и характерные оценки позволяют обоснованно определить требования и оптимальные параметры пространственного проектирования сильвинитовых спелеоклиматических камер. Для получения максимального (с точки зрения аэроионизации) эффекта следует линейные размеры спелеокамер выбирать исходя из длины свободного пробега β-частиц (порядка трех-четырех метров), а места размещения посетителей или пациентов во время сеансов спелеотерапии располагать на расстояниях порядка метра от стен, облицованных блоками калийных солей.

Автор выражает глубокую признательность и благодарность профессору Г.З. Файнбургу (Пермский национальный исследовательский политехнический университет) за ценные замечания и советы, нашедшие отражение в настоящей работе.

Список литературы

1. Барях А.А., Асанов В.А., Файнбург Г.З., Красноштейн А.Е., Папулов Л.М., Поликша А.М., Ковалев О.А., Селин Ю.В. Способ изготовления строительных изделий специального назначения из соляных материалов // Патент Рос. Федерации 2097359. — № 95101758/03; заявл. 06.02.95; опубл. 27.11.97.

- 2. Вопросы дозиметрии и радиационная безопасность на атомных электрических станциях: учебное пособие / под ред. А.В. Носовского. Славутич: Укратомиздат, 1998. 372 с
- 3. Иванов В.И. Курс дозиметрии. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Атомиздат, 1978. С. 53–54.
- 4. Косяченко Г.Е. Гигиенические основы комплексной оценки добычи калийных руд Беларуси и рационального использования спелеосреды месторождения: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Минск, 2004. 40 с.
- 5. Прикладная дозиметрия / К.К. Аглинцев, В.М. Кодюков, А.Ф. Лызов, Ю.В. Сивинцев. М.: Госатомиздат, 1962.-248~c.
- 6. Enache L., Bunescu Iu. Microclimate and physical environment elements in some salt mines in Romania for speleotherapeutical use // The XIVth International Symposium of Speleoterapy: Abstracts: Turda, Romania, 2012, October 4–6. Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, 2012. P. 17–18.
- 7. Horowitz S. Salt cave therapy: rediscovering the benefits of an old preservative // Alternative and Complementary Therapies. 2010. Vol. 16. P. 158–162.
- 8. Ionic composition of air in the underground department of Ukrainian allergic hospital / Y. Chonka, M. Sichka, B. Buleza, Y. Sharkan, I. Sakalosh, I. Popovich, I. Lemko // The XIVth International Symposium of Speleoterapy: Abstracts: Turda, Romania, 2012, October 4-6. Cluj-Napoca: Casa Cărții de Știință, 2012. P. 14–15.
- 9. Tahir S.N.A., Alaamer A.S. Determination of natural radioactivity in rock salt and radiation doses due to its ingestion // Journal of Radiological Protection. 2008. Vol. 28. Issue 2. P. 233–236.
- 10. Tan R. The Truth About Air Electricity & Health: A guide on the use of air ionization and other natural approaches for 21st century health issues. Trafford Publishing, Singapure, 2014.-168~p.