УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 6 2021

ISSN 1681-7494

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,823

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,300 **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 электронному каталогу «Почта России» – П7816

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

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

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,823.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,300.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

Учредитель, издательство и редакция:
ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47
Адрес редакции и издателя: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

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

Подписано в печать – 29.06.2021
Дата выхода номера – 29.07.2021

Формат 60x90 1/8
Типография
ООО «Научно-издательский центр
Академия Естествознания»,
410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка
Байгузова Л.М.
Корректор
Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.
Распространение по свободной цене.
Усл. п.л. 19.25
Тираж – 1000 экз.
Заказ. УСЕ/6-2021
Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

СТАТЬИ

ОЦЕНКА БИОГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ РАСТЕНИЙ ПЛОДОВО-ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР В ГЕНОФОНДЕ. СОЗДАНИЕ НОВЫХ СОРТОВ

Гаджиева А.Ф., Ахундова Н.И., Гасанов Н.А. 7

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВИДЫ И ФОРМЫ ХВОЙНЫХ ЭКЗОТОВ ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Гнаткович П.С., Рунова Е.М. 13

ОСОБЕННОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МОДАЛЬНЫХ ПИХТАЧЕЙ В УСЛОВИЯХ КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ И ПРЕДГОРНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО САЯНА

Калачев В.А., Вайс А.А., Ануев Е.А. 22

РОЛЬ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБАКТЕРИЙ В ПОВЫШЕНИИ СОХРАНЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ К ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХЕ

Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. 29

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА НАСАЖДЕНИЙ В ЛЕСОПАРКАХ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Суслов А.В., Нагимов З.Я., Корелина А.А. 35

Науки о Земле (25.00.00)

СТАТЬИ

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ КАТИОНИТОМ КУ-2-8 И ЕГО ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

Авфукова Л.С., Белова Т.П. 42

МАШИНОСТРОЕНИЕ КАК ВЕДУЩАЯ ОТРАСЛЬ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю. 49

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДЫ РЕКИ НАРЫН

Асанов Б.Д., Оторова С.Т., Тотубаева Н.Э., Кожобаев К.А. 56

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАЗНЫХ ТИПАХ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Васин Д.В. 62

К ВОПРОСУ О ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «САЛАИР» В АЛТАЙСКОМ КРАЕ В ЦЕЛЯХ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

Гребенников О.Р., Важов В.М., Важов С.В., Штехман А.И. 68

ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДОЕМОВ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕФТЕХРАНИЛИЩ И КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НИЖЕГОРОДСКОГО РЕГИОНА

Козлов А.В., Клочков Е.А., Береснев А.А., Захарова А.А., Козлова Е.С. 75

ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГОРОДА ХАНТЫ-МАНСИЙСКА

Кузнецова Э.А., Соколов С.Н., Кушанова А.У., Прасина Ю.А. 82

КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧНОСТИ ЗА 50 ЛЕТ ДОЛИ КАТЕГОРИЙ ЗЕМЕЛЬ

Мазуркин П.М., Ефимова Е.А. 88

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ РЕКИ ЛУГА

Манвелова А.Б. 95

ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА НА МУНИЦИПАЛЬНОМ И ПОСЕЛКОВОМ УРОВНЯХ

Мошков А.В., Ушаков Е.А., Чурзина А.А. 104

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОД ПРИТОКОВ РЕКИ ТОБОЛ

Несговорова Н.П., Савельев В.Г., Иванцова Г.В., Фирулина И.И. 114

ЭКСПРЕССНЫЙ ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ АНАЛИЗ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ

Песков А.В., Алекина Е.В., Тарасова Е.Ю. 122

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КАТИОНИТА СФ-5 В ПРАКТИКЕ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Пимнева Л.А., Загорская А.А., Решетова А.А. 127

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНУЮ ЭКОСИСТЕМУ И ЕЕ ЭМЕРДЖЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ИНДЕКСОВ

Седова С.А., Дмитриев В.В., Третьяков В.Ю., Глушко А.А., Пленкина А.К. 132

АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕПРОВОДА НА ГРУНТЫ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Томарева И.А., Омаров Т.О., Голубитченко К.В. 143

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ГЕОМАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА MAGSAT, С ГИПОЦЕНТРАМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Харитонов А.Л. 148

CONTENTS

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

ARTICLES

ASSESSMENT OF BIOGENETIC DIVERSITY OF PLANTS OF FRUIT AND BERRY CROPS IN THE GENE POOL. CREATION OF NEW VARIETIES

Gadzhieva A.F., Akhundova N.I., Gasanov N.A. 7

PROSPECTIVE SPECIES AND FORMS OF CONIFEROUS EXOTOES FOR LANDSCAPING IN POPULATIONS IN THE NORTHERN TERRITORIES OF THE IRKUTSK REGION

Gnatkovich P.S., Runova E.M. 13

FEATURES OF THE HORIZONTAL STRUCTURE OF MODAL FIR TREES IN THE CONDITIONS OF THE KANSK FOREST-STEPPE AND THE FOOTHILL PART OF THE EASTERN SAYAN

Kalachev V.A., Vays A.A., Anuev E.A. 22

THE IMPACT OF PLANT-ASSOCIATED RHIZOBACTERIA IN INCREASING THE PRODUCTIVITY OF WHITE MUSTARD IN CONDITIONS OF SOIL DROUGHT

Lebedev V.N., Vorobeykov G.A., Uraev G.A. 29

ORGANIZATION OF MONITORING OF PLANTINGS IN FOREST PARKS OF THE CITY OF YEKATERINBURG WITH THE USE OF MATHEMATICAL AND STATISTICAL METHODS

Suslov A.V., Nagimov Z.Ya., Korelina A.A. 35

Earth sciences (25.00.00)

ARTICLES

SORPTION OF NON-FERROUS METALS IONS RECOVERY FROM MULTICOMPONENT SOLUTIONS BY KU-2-8 CATION EXCHANGER AND ITS FOREIGN ANALOGUES

Avfukova L.S., Belova T.P. 42

MECHANICAL ENGINEERING AS THE LEADING BRANCH OF SPECIALIZATION OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION

Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu. 49

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC FACILITIES ON PHYSICAL INDICATORS OF WATER IN THE NARYN RIVER

Asanov B.D., Otorova S.T., Totubaeva N.E., Kozhobaev K.A. 56

FEATURES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN DIFFERENT TYPES OF SOILS (ON THE EXAMPLE OF THE ULYANOVSK REGION)

Vasin D.V. 62

TO THE QUESTION ABOUT THE GEOGRAPHICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORY OF THE NATIONAL PARK «SALAIR» IN THE ALTAI KRAI FOR THE PURPOSE OF DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL TOURISM

Grebennikov O.R., Vazhov V.M., Vazhov S.V., Shtekhman A.I. 68

ENVIRONMENTAL AND HYDROCHEMICAL ASSESSMENT OF WATER BODIES IN CONDITIONS OF OPERATION OF OIL STORAGE FACILITIES AND COMPLEX TECHNOGENIC FACILITIES OF NIZHNY NOVGOROD REGION

Kozlov A.V., Klochkov E.A., Beresnev A.A., Zakharova A.A., Kozlova E.S. 75

DYNAMIC FEATURES OF THE WEATHER AND CLIMATE REGIME IN THE CITY OF KHANTY-MANSIYSK

Kuznetsova E.A., Sokolov S.N., Kushanova A.U., Prasina Yu.A. 82

DYNAMIC COEFFICIENT FOR 50 YEARS OF THE SHARE OF LAND CATEGORIES

Mazurkin P.M., Efimova E.A. 88

DYNAMICS OF WATER POLLUTION INDICATORS OF THE LUGA RIVER

Manvelova A.B. 95

ASSESSMENT OF THE SOCIO-ECONOMIC SITUATION ARCTIC TERRITORIES OF THE FAR EAST AT THE MUNICIPAL AND SETTLEMENTS

Moshkov A.V., Ushakov E.A., Churzina A.A. 104

MONITORING OF WATER QUALITY TRIBUTARY OF THE TOBOL

Nesgovorova N.P., Savelyev V.G., Ivantsova G.V., Firulina I.I. 114

EXPRESS SEMI-QUANTITATIVE X-RAY ANALYSIS OF CLAY MINERALS

Peskov A.V., Alekina E.V., Tarasova E.Yu. 122

THE USE OF INDUSTRIAL CATIONITESF-5 IN THE PRACTICE OF PURIFICATION OF NATURAL WATERS IN THE SOUTH OF THE TYUMEN REGION

Pimneva L.A., Zagorskaya A.A., Reshetova A.A. 127

EVALUATION OF EFFECTS ON THE AQUATIC ECOSYSTEM AND ITS EMERGENT PROPERTIES BASED ON THE RESULTS OF SIMULATION MODELING AND CONSTRUCTION OF COMPOSITE INDEXES

Sedova S.A., Dmitriev V.V., Tretyakov V.Yu., Glushko A.A., Plenkina A.K. 132

THERMAL IMPACT ANALYSIS OF THE PIPELINE ON ARCTIC SHELF SOILS

Tomareva I.A., Omarov T.O., Golubitchenko K.V. 143

RESULTS OF STUDYING THE RELATIONSHIP OF GEOMAGNETIC ANOMALIES OBTAINED FROM THE MAGSAT SATELLITE DATA WITH EARTHQUAKE HYPOCENTERS

Kharitonov A.L. 148

УДК 630*165

ОЦЕНКА БИОГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ РАСТЕНИЙ ПЛОДОВО-ЯГОДНЫХ КУЛЬТУР В ГЕНОФОНДЕ. СОЗДАНИЕ НОВЫХ СОРТОВ

Гаджиева А.Ф., Ахундова Н.И., Гасанов Н.А.

Институт генетических ресурсов Национальной академии наук Азербайджана, Баку, e-mail: gadjieva-aynura@rambler.ru

Получены результаты по выявлению фенотипического и геноцитологического разнообразия двух растительных плодово-ягодных культур (земляника и унаби). Образцы генофондных плантаций различаются по фенотипу, генотипу, морфологическим данным (роста, развития), биохимическим показателям. Цель исследования – обнаружение особенности величины, массы плодов, развития (органогенез) цитологических межсортовых различий. Исследование различия и активности синтеза ДНК, структуры ДНК хроматина использовалось для получения и изучения новых местных селекционных образцов. При получении новых гибридных плодов ускорялся селекционный процесс. Велась работа по получению новых гибридов между мелкоплодными местными сортами и крупноплодными интродуцентами. Отбирались новые образцы, сочетающие положительные признаки родительских форм (крупноплодность, отсутствие болезней). Величина и масса плодов при гибридизации колебалась и состояла из трех групп по величине: промежуточная при $h = 0$, мелкие при $h > 0$ и крупноплодные при $h < 0$. Установлено, что часто большая часть гибридов относилась к промежуточной и составляла 50% гибридов, мелкоплодные гибриды составили 32–37% и крупноплодные 15–17%. Установлены межсортовые различия в активности синтеза ДНК, структуре хроматина и его упаковке. Показан факт меньшего содержания ДНК и лабильной фракции у стародавних сортов унаби по сравнению с новыми сортами. При промежуточном характере содержания ДНК и лабильной фракции ДНК хроматина занимает промежуточное положение. Можно говорить о разном фенотипе и генотипе. Выявлена связь между повышенным содержанием ДНК и лабильной фракции ДНК у засухо- и солеустойчивых сортов земляники. Можно говорить о разных генотипах у контрольных и стресоустойчивых сортов. Установлен полиморфизм по числу хромосом у обеих культур. Встречаются сорта диплоидные, триплоидные, тетраплоидные и гексаплоидные. Используя все эти данные, созданы и отобраны 4 новых сорта унаби и 14 стресоустойчивых сорта земляники.

Ключевые слова: генофонд, земляника, унаби, фенотип, генотип, хромосомный комплекс, новые сорта

ASSESSMENT OF BIOGENETIC DIVERSITY OF PLANTS OF FRUIT AND BERRY CROPS IN THE GENE POOL. CREATION OF NEW VARIETIES

Gadzhieva A.F., Akhundova N.I., Gasanov N.A.

Genetic Resources Institute of ANAS, Baku, e-mail: gadjieva-aynura@rambler.ru

Results onthe identification of the phenotypic and geno-cytological diversity of two plant fruit and berry crops (strawberry and Ziziphus)were obtained.Samples of gene pool plantations differ in phenotype, genotype, morphological data (growth of development), and biochemical indicators.The purpose of the study was to reveal the peculiarities of the size, weight of fruits, development (organogenesis) of cytological intervarietal differences.The study of the difference and activity of DNA synthesis, the structure of DNA of chromatin was usedin order to obtain and study new local breeding samples. When new hybrid fruits were obtained, the selection process was accelerated. Work was carried outto obtain new hybrids between small-fruited local varieties and large-fruited introduced species. New samples were selected, combining positive signs of parental forms (large-fruited, absence of diseases). The size and weight of fruits during hybridization can fluctuate and consist of 3 groups in size: intermediate at $h = 0$, small at $h > 0$ and large-fruited at $h < 0$. It was found that often most of the hybrids belonged to the intermediate group and accounted for 50% of the hybrids, small-fruited hybrids accounted for 32-37% and large-fruited 15-17%. Intervarietal differences in the activity of DNA synthesis, the structure of chromatin, and its packing were established. The fact of a lower content of DNA and labile fraction in old varieties of Ziziphus in comparison with new varieties was shown. Under an intermediate character, the content of DNA and the labile fraction of DNA of chromatin occupythe intermediate position.We can talk about a different phenotype and genotype. Relationship between the increased DNA content and the labile DNA fraction in drought and salt tolerant strawberry varieties was revealed. We can talk about different genotypes in control and stress-resistant varieties. Polymorphism in the number of chromosomes in both cultures was established. There are diploid, triploid, tetraploid and hexaploid varieties. Using all these data, 4 new unabi varieties and 14 stress-resistant strawberry varieties were created and selected.

Keyword: gen fund, strawberry, Ziziphus, phenotype, genetype, chromosome complex, selection

В настоящей статье ставилась задача не ограничиваться феноизучением, темпами роста и развития образцов в генофонде, но изучить образцы с применением молекулярно-генетических методов. Это позволит дать цитогенетическую характеристику, выявить генотип, что особенно важно при создании новых сортов [1, 2]. Образцы земляники (*Fragaria ananassa* Duch*)* и унаби (*Ziziphus jujube* Mill.) в собранном генофонде Института генетических ресурсов НАН Азербайджана отличаются рядом свойств, величиной и качествами ягод и плодов, тем-

пами роста и развития, биохимическими показателями [3–6].

Учитывая особенности климата республики с засушливым летом и наличием засоленных почв, отбор соле- и засухоустойчивых сортов земляники имеет большое значение [7–9]. Но только по фенопоказателям сортов невозможно выделить стрессоустойчивые формы. Использование цитогенетического анализа, содержания ДНК, структуры ДНК хроматина, показателя хромосомного комплекса выявило проявление генотипа. Анализы генотипов и фенотипов различных образцов земляники помогут выявить разницу между стрессоустойчивыми и стрессонеустойчивыми сортами [9, 10]. Эти показатели можно рассматривать как генетические маркеры по выявлению стрессустойчивых сортов земляники в определенных экологических зонах.

Унаби растет в республике издавна, но местные сорта и формы в основном суховатые, невысокого вкуса. Последнее время с использованием ряда старых методик в сочетании с генетико-цитологическими исследованиями получены новые, крупноплодные сорта и гибриды [11].

Изучение фено- и генетикоцитологического разнообразия образцов культур: земляники и унаби, отбор новых форм. Применение в селекционных работах наряду с традиционными методами цитогенетических анализов, которые в последнее время приобретают большое значение в ряде областей биологии, своевременно.

Материалы и методы исследования

Работа проводилась на Апшеронской опытной базе Института генетических ресурсов НАН Азербайджана. Работа заключалась в изучении фенотипа и генотипа образцов земляники и унаби в генофонде, в проведении цитогенетических исследований, особенностей хромосомного комплекса.

Контроль генетической устойчивости к солевому стрессу (0,2 М NaCl) и осмотическому стрессу (ПЕГ-0,5 атм) заключался в изучении восстановительных особенностей земляники, после использования стресс-агентов. Исследования включали данные по биосинтезу ДНК и структуры ДНК хроматина у различных сортов. Эти данные показатели можно рассматривать как генетические маркеры по выявлению стрессоустойчивых сортов земляники [8, 9]. Параллельно с растениями земляники наряду с фенои-зучением сортов и форм велись с унаби также исследования по содержанию ДНК, структуры ДНК хроматина, его упаковки, жаровыносливости.

Содержание ДНК определяли спектрофотометрически при длине волны 270 и 290 мм.

Метод фракционирования ДНК проводился по принципу ступенчатого воздействия на хроматин разной ионной силы, что позволяет разделить клеточную ДНК на лабильную, стабильную и остаточную фракции. Определение содержания отдельных фракций ДНК проводилось на свежем листовом материале земляники и унаби методом центрифугирования (500–2000 об.) и дальнейшим спектрофотометрированием. Образцы просматривались на спектрофотометре.

Характер наследования признаков гибридами определялись по соотношению среднего показателя гибрида к среднему показателю родителей по формуле

$$h = \frac{F1 - MF}{HF - MF},$$

где h – степень наследования; $F1$ – среднее значение признаков гибридного поколения; HF – значение признаков лучшего родителя; MF – среднее значение признаков обоих родителей.

Цитологические анализы земляники и унаби проводились по общепринятой для плодовых культур методике [12].

Результаты исследования и их обсуждение

У неустойчивых к стрессам сортам земляники Дильбер и Гибрид 237 отмечено ослабление синтеза ДНК на 45 %. У стрессоустойчивых сортов Берюлевская, Лермонтовская, Кавальер, Реддекоут по содержанию ДНК, отмечено увеличение этого показателя почти на 50 %. У высоко- и среднеустойчивых сортов отмечено увеличение остаточной прочной связанной фракции ДНК и почти трехкратное уменьшение этого показателя у стрессонеустойчивых сортов (табл. 1). А остаточная фракция редко дает такие явные результаты. Проявление генотипа у некоторых сортов земляники позволяет выявить варьирования локусов изменчивости признаков.

Образцы генофондной коллекции унаби также различаются фенотипами величиной плодов, темпами роста и развития, генотипом.

Таблица 1

Содержание и структурно-функциональное состояние ДНК хроматина в зависимости от стрессоустойчивости у сортов и форм крупноплодной земляники

№	Сорта и формы	ДНК / фракции мг/100 г					Устойчивость сортов к стрессам
		лабильная	стабильная	остаточная	общее	% к контролю	
1	Лермонтовская	0,64	0,72	1,59	2,95	–	Высокоустойчивый
	NaCE	1,46	1,42	3,02	5,90	+75,9	
	PEQ	0,76	1,18	2,45	4,40	+49,1	
2	Кавальер	2,88	2,19	1,62	6,69	–	Высокоустойчивый
	NaCE	3,43	3,52	2,65	9,60	+43,4	
	PEQ	3,85	4,73	2,76	11,34	+69,5	
3	Берюлевская	1,66	0,79	5,58	8,03	–	Среднеустойчивый
	NaCE	1,97	1,64	6,09	9,70	+22	
	PEQ	2,39	1,09	6,87	10,35	+29	
4	Реддекоут	2,46	2,93	1,01	6,39	–	Среднеустойчивый
	NaCE	2,53	3,77	1,33	7,63	+19,4	
	PEQ	1,28	1,06	0,58	7,63	-55	Засухонеустойч.
5	Дильбер	9,09	2,14	1,79	13,02	–	неустойчивый
	NaCE	8,51	2,87	1,19	12,57	-4	
	PEQ	8,15	2,05	1,16	11,36	-12,7	
6	Гибрид 237	6,40	2,07	1,06	9,53	–	неустойчивый
	NaCE	4,18	2,20	0,66	7,04	-26,5	
	PEQ	3,59	1,33	0,33	5,25	-45,0	

Исследованиями установлено, что местные сорта и формы унаби представляют интерес при создании гибридов в качестве источника устойчивости к болезням и вредителям, засухоустойчивости, интродуценты являются донорами крупноплодности, высоких диетических качеств [13]. Результат анализов 200 гибридных саженцев унаби, полученных гибридизацией между растениями местными мелкоплодными♀ и крупноплодными интродуцентами♂, свидетельствуют о сложном характере наследования величины плодов. Данные результаты объясняются гетерозиготностью родительских компонентов и полигенным характером изучаемых признаков (табл. 2). Примерно у 50% полученных гибридных образцов отмечен промежуточный характер наследования величины плодов между местными мелкоплодными и крупноплодными интродуцентами, степень доминирования h = 0, эти показатели колеблются 0,11–0,18. У 33–37% гибридов отмечено частичное или полное доминирование мелкоплодной материнской формы, где h колебалось от -0,1 до -0,54 и 15–17% новых гибридных сеянцев имело h (доминирование отцовских крупноплодных сортов в интервале от + 0.55 до + 0.18). В одних и тех же комбинациях скрещивания отмечено расщепление гибридов по величине, массе плодов на промежуточное наследование, наследование отцовского или материнского показателя, т.е. 3 степени (h = 0, h > 0, h < 0).

Исследование у унаби метаболизма ДНК по образцам в генофонде велось в двух направлениях:

1) исследование содержания ДНК у гибридов унаби, структуры ДНК хроматина, его упаковки;

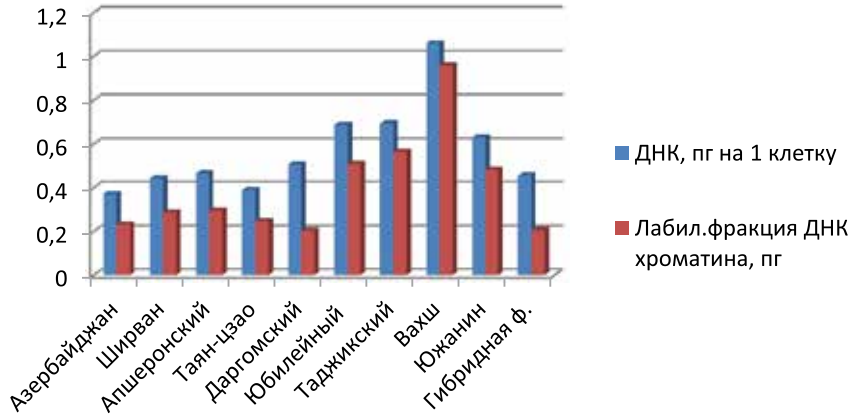
2) изучение генома унаби у стародавних и новых селекционных сортов в коллекции.

По первому направлению работы получены свидетельства усиления механизма редупликации ДНК и образования копий генов у гибридных растений при частичном или полном доминировании величины плодов одной из родительских форм [1].

Таблица 2

Характеристика наследования массы плодов у гибридов унаби

N	Гибриды	Комбинация скрещивания (сорта)	M ± м (г)			h степень домини рования	Характер наследования
			Мелко плодный ♀	Гибрид F	Крупно плодный ♂		
1	1/4	♀мелкоплодХ ♂Таян-цзао	3,5 ± 0,12	8,6 ± 0,27	19,0 ± 0,46	-0,37	Част. домин. Мелкоплод. ро-ля
2	6/18	♀мелкоплодХ ♂Таян-цзао	3,5 ± 0,12	12 ± 0,47	19,0 ± 0,46	0,18	Промежуточное
3	9/1	♀мелкоплодХ ♂Таян-цзао	3,5 ± 0,12	10,3 ± 0,36	19,0 ± 0,46	-0,12	Промежуточное
4	9/2	♀мелкоплодХ ♂Таян-цзао	3,5 ± 0,12	7,0 ± 0,27	19,0 ± 0,46	-0,54	Домин. мелкоп. р-ля
5	13/1	♀мелкоплодХ ♂Таян-цзао	3,5 ± 0,12	8,5 ± 0,46	19,0 ± 0,46	-0,35	Домин. мелкоп. р-ля
6	3/2	♀мелкоплодХ ♂Юбилейный	3,5 ± 0,12	7,0 ± 0,69	8,0 ± 0,31	+0,55	Домин. круп. р-ля
7	4/8	♀мелкоплодХ ♂Юбилейный	3,5 ± 0,12	6,3 ± 0,31	8,0 ± 0,51	0,24	Промежуточное
8	3/2	♀мелкоплодХ ♂Юбилейный	3,5 ± 0,12	8,0 ± 0,21	8,0 ± 0,51	+1,40	Домин. круп. р-ля
9	2/1	♀мелкоплодХ ♂Даргомский	3,5 ± 0,12	8,9 ± 0,21	17,5 ± 0,51	-0,22	Част. домин. Мелкоплод. ро-ля
10	15/1	♀мелкоплодХ ♂Даргомский	3,5 ± 0,12	11,3 ± 0,16	17,5 ± 0,51	0,11	Промежуточное



Синтез ДНК и лабильной фракции ДНК в клетках стародавних и новых сортов растений зизифуса

При промежуточном наследовании величины плодов у гибридов часто содержание ДНК, лабильной фракции ДНК хроматина занимало промежуточное положение. При доминировании величины плодов одной из родительских форм процесс метаболизма нуклеиновых кислот идет в основном как за счет увеличения лабильной фракции ДНК, так и более высокого его долевого содержания.

По второму направлению получены данные, свидетельствующие, что у местных стародавних сортов и стародавнего сорта Таян-цзао содержание ДНК в 1,5–2 раза ниже, чем у новых средних крупноплодных сортов, часто гибридного происхождения. Предполагается наличие механизмов регуляции ДНК за счет сброса повторов в геноме. У новых часто гибридных сортов содержание ДНК в клетке приводит к образованию копий генов или повторностей. У старых сортов показатель изменчивости имеет малый разброс 1,6–2,1%, у новых изменчивость геномов имеет высокую амплитуду колебания от 0,7% у нового сорта Даргомский, до 12,6% еще более молодого сорта Вахш.

Как видно из рисунка, местные сорта характеризуются и меньшим количеством ДНК на клетку. Эти данные говорят о нестабильности генома новых сортов, их общей пластичности, изменчивости по сравнению со старыми. По содержанию ДНК в клетках стародавние сорта уступают новым сортам. Аналогичный процесс наблюдается по структурно-функциональному состоянию ДНК хроматина. Содержание лабильной фракции ДНК хроматина колеблется у стародавних сортов (-0,062 пг) в клетке, у новых сортов этот показатель характеризуется высокой амплитудой колебания с разницей (+0,277 пг) у новых сортов.

Показатель активности генетического аппарата новых сортов характеризуется высоким разбросом в сравнении со стародавними сортами.

Исследования хромосомного комплекса различных образцов, как земляники, так и унаби свидетельствуют о полиморфизме этого показателя. Коллекции и земляники, и унаби включали основное число диплоидных сортов (2n = 24) унаби, триплоидные (2n = 36), у нового сорта Даргомский наряду с 24 хромосомами отмечено появление 2n = 12, 28, 30, 36 (1 клетка) и 2 клетки 2n = 48. Аналогичная картина полиморфизма этого показателя 2n отмечена у земляники основное число 2n = 42 (гексаплоид), обнаружены образцы с клетками 2n = 14, 28, 56 этих культур.

Исследованиями выявлено фено- и цитогенетическое разнообразие (полиморфизм) образцов генофондов земляники и унаби.

Модификация структуры хроматина происходит за счет распределения фракций хроматина, их содержания, доли, особенно лабильной фракции, являющейся маркером сортов, у гибридов земляники при ее регуляции засухо- и солеустойчивости [7, 11, 14].

Были изучены различные сорта и формы земляники и унаби, что свидетельствовало о существенных различиях, обусловленных генетическими особенностями образцов. Выявлена связь активизации ДНК со стрессустойчивостью, увеличение лабильной фракции, эухроматизации хроматина у стрессоустойчивых сортов земляники. Это положение актуально для республики с ее высокими летними температурами, засухами, наличием засоленных земель. Отмечены модификации ДНК хроматина у стрессоустойчивых и неустойчивых сортов земляники: резкое повышение содержания лабильной фракции у первых и снижение этого показателя у вторых.

Используя данные биоцитогенетических анализов, авторы создали новые, перспективные сорта, адаптированные к местным условиям, изучены стрессоустойчивые сорта земляники, которые могут заменить стрессонеустойчивые сорта. Используя различные методы биологии, соавторы пополнили генофонд новыми сортами, которые заменили старые, стрессонеустойчивые. Также авторами статьи выведены два новых, крупноплодных сорта унаби, переданные в Госсорткомиссию.

Заключение

1. Генофонд земляники и унаби состоит из многочисленных образцов, имеющих разный фенотип, генотип, различные темпы роста и развития.

2. Коллекция земляники и унаби полиморфна по содержанию ДНК, лабильной фракции ДНК хроматина, по комплексу хромосом. У одного сорта встречаются ди-, три-, тетра-, гексаплоидные экземпляры. Чаще всего встречаются основные числа у земляники 2n = 42 (гексаплоид), у унаби основное число 2n = 24 (диплоид).

3. Степень доминирования величины плодов (масса, длина, диаметр) в коллекции очень разнообразна. При гибридизации крупноплодных и мелкоплодных плодов гибриды характеризуются в основном промежуточным доминированием (h = 0), но отмечено частичное появление гибридов, схожих с мелкоплодным материнским (h < 0) и реже с крупноплодным отцовским (h > 0) типом. В одной комбинации скрещивания часто возникают три группы гибридов.

4. Установлено изменение нуклеинового метаболизма (содержание ДНК, структуры ДНК хроматина, упаковки хроматина) у стрессоустойчивых образцов земляники и гибридных форм унаби с различным генотипом стародавних и новых сортов. Очевидно, существуют механизмы регуляции, выражающиеся в сбросе повторов.

5. Выделены и отобраны различными путями (отбор, гибридизация, по итогам изучения структурно-функционального состояния ДНК, упаковки хроматина у обеих культур), новые формы с рядом положительных признаков, адаптированные к местным условиям.

Список литературы / References

1. Разин С.В., Быстрицкий А.А. Хроматин; упакованный геном. БИНОМ Лаб. знаний. 2013. 172 с.

Razin S.V., Bystritskiy A.A. Chromatin; packed genome. BINOM Lab. znaniy. 2013. 172 p. (in Russian).

2. Шабанова Е.А. Цитогенетический анализ как метод оценки стабильности генетического материала местных древесных растений в культуре тканей // Состояние лесов и актуальные проблемы лесоуправления. 2013. С. 234–237.

Shabanova E.A. Cytogenetic analysis as a method for assessing the stability of the genetic material of local woody plants in tissue culture // Sostoyaniye lesov i aktual'nyye problemy lesoupravleniya. 2013. P. 234–237 (in Russian).

3. Дубровский М.Л., Лыжин А.С., Ван-Ункан Н.Ю. Получение и отбор генотипов плодово-ягодных культур с измененным уровнем плоидности. Методика Мичуринск. ВНИИ ГиСпР, 2013. 52 с.

Dubrovsky M.L., Lyzhin A.S. Van-Unkan N.Yu. Obtaining and selection of genotypes of fruit and berry crops with an altered level of ploidy. Methodology Michurinsk. VNII GiSpR, 2013. 52 p. (in Russian).

4. Межнина О.А., Урбанович О.Ю. Изучение генетического разнообразия земляники садовой (*Fragariya ananassa* L.) выращиваемой в Белоруссии. Молекулярная и прикладная генетика. Минск, 2015. сб. т. 19. С. 53–58.

Meznina O.A., Urbanovich O.Yu. Study of the genetic diversity of garden strawberries (*Fragariya ananassa* L.) grown in Belarus. Molekulyarnaya i prikladnaya genetika. Minsk, 2015. v. 19. P. 53–58 (in Russian).

5. Сандалова М.В. Перспективы селекции ремонтантных и нейтральнодневных сортов земляники садовой // Аграрная наука – сельскому хозяйству. 2013. С. 203–205.

Sandalova M.V. Prospects for breeding remontant and neutral day varieties of garden strawberries // Agrarnaya nauka – sel'skomu khozyaystvu. 2013. P. 203–205 (in Russian).

6. Zhu J.K. Salt and drought stress signal transdriction in plant. Anny Rev. plant. 2002. V. 52. P. 347–373.

7. Alone C.O. Variation and heritability of sexsteen eharactor in west Afrikan okra. Abelmschus carllef stern plant Breed un seed scu. 2012. V. 66. P. 51–62.

8. Barsa A.S. Gene expression in relation to salt tolerance in stress induced gene expression in plant. Harvard Academic Publishers, Swerland. 1994. P. 61–87.

9. Luhua S., Hegie A., Suzuku N., Shilov L. Luo etall Luking gens jf unknown function with abiotik stress responses by high-through rout phenotype screening. Phisiol. Plant. 2013. V. 148. № 322–333.

10. Prasch C.M., Sonnewald U. Simultaneous application of heat, drought, and virus to Arabidopsis plants reveals significant shifts in signaling networks. Plant phisiralrab. 2013. V. 162 № 4. P. 1849–1866. DOI: 10.1104/pp.113.221044.

11. Scaldaferro M.A., GraeleMeuro, Moskone. Heterochromatin type amount and distribion in wild species of chili pepper gen. Recourse and Crp Eve. 2013. V. 60. № 2. P. 693–709.

12. Рыбин В.А. Цитологический метод в селекции плодовых. М.: Колос, 1967. 216 с.

Rybin V.A. Cytological method in fruit breeding. Ed. M.: Kolos, 1967. 216 p. (in Russian).

13. Ziu M.J., Zhao Z.M. Germplasmresburces and production of jujube in China. ActaHort 840. 2009. P. 25–31.

14. Шаптуренко М.Н., Тарутина Л.А., Мишин Л.А., Кильчевский А.В., Хотылева Л.В. Девергенция ДНК как критерий отбора исходного материала перца сладкого при селекции на гетерозис // Генетика. 2014. Т. 50. № 2. С. 138–146.

Shanturenko M.N., Tarutin L.A., Mishin L.A., Kilchevsky A.V., Khotyleva L.V. DNA deviation as a criterion for the selection of the starting material of sweet pepper in breeding for heterosis // Genetika. 2014. V. 50. № 2. P. 138–146 (in Russian).

УДК 630*182.21(571.53)

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ВИДЫ И ФОРМЫ ХВОЙНЫХ ЭКЗОТОВ ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ СЕВЕРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

[1]Гнаткович П.С., [2]Рунова Е.М.

[1]Филиал ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет», Усть-Илимск, e-mail: uigea@irtel.ru;

[2]ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», Братск, e-mail: rector@brstu.ru

В статье рассмотрены вопросы расширения видового ассортимента зеленых насаждений населенных пунктов северных территорий Иркутской области за счет внедрения новых видов, форм и культиваров хвойных интродуцентов (на примере северной столицы региона – города Братска). Проанализированы имеющиеся проблемы введения в культуру интродуцированных деревьев и кустарников. В статье приводятся результаты многолетних интродукционных испытаний хвойных инорайонных видов, произрастающих в городе Братске (исследования проводятся с 2008 г. по настоящее время). Даны оценки морозоустойчивости, засухоустойчивости, дымо- и газоустойчивости хвойных растений. Приводятся сведения по ежегодному приросту растений, морфометрические показатели экзотов и степень адаптации в природно-климатических условиях Братска и его окрестностей. Для определения перспективности использования хвойных интродуцентов в озеленении населенных пунктов проведена комплексная оценка успешности интродукции по методике Главного ботанического сада, используя следующие критерии: степень вызревания побегов, зимостойкость, сохранение габитуса, побегообразование, регулярность прироста побегов, способность к генеративному развитию и способы размножения, характеризующие состояние и перспективы выращивания растений в городских условиях. Даны рекомендации по использованию хвойных деревьев и кустарников в городском озеленении для повышения устойчивости, долговечности зеленых насаждений, а также улучшению эстетических свойств городских посадок и обогащения визуальной среды. Всего в статье описано 27 видов, подвидов и декоративных форм хвойных экзотов, которые успешно адаптировались в природно-климатических условиях северных районов Иркутской области. Данные виды и культивары можно рекомендовать к использованию в разных формах городского озеленения и частном садоводстве на дачных и приусадебных участках.

Ключевые слова: хвойные растения, экзоты, интродукция, акклиматизация, ассортимент растений, зимостойкость, озеленение, Братск

PROSPECTIVE SPECIES AND FORMS OF CONIFEROUS EXOTOES FOR LANDSCAPING IN POPULATIONS IN THE NORTHERN TERRITORIES OF THE IRKUTSK REGION

[1]Gnatkovich P.S., [2]Runova E.M.

[1]Baykal State University, branch, Ust-Ilimsk, e-mail: uigea@irtel.ru;

[2]Bratsk State University, Bratsk, e-mail: rector@brstu.ru

The article discusses the issues of expanding the species range of green spaces in settlements in the northern territories of the Irkutsk region through the introduction of new species, forms and cultivars of coniferous introduced species (for example, the northern capital of the region – the city of Bratsk). The existing problems of introducing introduced trees and shrubs into the culture are analyzed. The article presents the results of long-term introduction tests of coniferous foreign species growing in the city of Bratsk (studies have been carried out since 2008 to the present). Estimates of frost resistance, drought resistance, smoke and gas resistance of conifers are given. Information on the annual growth of plants, morphometric indicators of exotic species and the degree of adaptation in the natural and climatic conditions of Bratsk and its environs are given. To determine the prospects for the use of coniferous introduced species in the landscaping of settlements, a comprehensive assessment of the success of the introduction was carried out according to the methodology of the Main Botanical Garden, using the following criteria: the degree of ripeness of the shoots, winter hardiness, preservation of habitus, shoot formation, the regularity of shoot growth, the ability for generative development and the methods of reproduction that characterize the state and the prospects for growing plants in an urban setting. Recommendations are given on the use of coniferous trees and shrubs in urban landscaping to increase the sustainability, durability of green spaces, as well as improve the aesthetic properties of urban plantings and enrich the visual environment. In total, the article describes 27 species, subspecies and decorative forms of coniferous exotic plants, which have successfully adapted to the natural and climatic conditions of the northern regions of the Irkutsk region. These species and cultivars can be recommended for use in various forms of urban landscaping and private gardening in summer cottages and household plots.

Keywords: conifers, exotic plants, introduction, acclimatization, assortment of plants, winter hardiness, landscaping, Bratsk

Интродукция древесных пород играет большую роль в обогащении видового ассортимента городских насаждений и увеличении биоразнообразия в районах с бедным флористическом составом, к которым, безусловно, относится Иркутская область и другие регионы Восточной Сибири. В этих регионах наблюдаются достаточно суровые природно-климатические условия, в которых полноценно функционировать

может ограниченное количество древесных растений. Аборигенная дендрофлора северных районов Иркутской области насчитывает 44 вида древесно-кустарниковых растений, из которых хвойных всего 6 видов: ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb.), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.), пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), сосна сибирская кедровая (*P. sibirica* DuTour) [1, 2].

Тем временем хвойные открывают широкие возможности для улучшения архитектурно-художественного облика сибирских городов, обладая высокой декоративностью в течение всего года. При этом перечень хвойных пород, который предлагают местные питомники, очень беден. Декоративные формы и культивары вообще не используются. Поэтому возникает острая необходимость интродукционных испытаний новых видов и декоративных форм, с последующей рекомендацией их к использованию в зеленом строительстве и частном садоводстве.

Главными факторами выживания древесных растений в открытом грунте и акклиматизации в целом на территориях с резко континентальным климатом является температура воздуха и почвы в зимне-весенний период и продолжительность сильных морозов [3]. При этом на выживание растений оказывает влияние и ряд микроклиматических факторов: высота местности над уровнем моря, экспозиция склонов, наличие строений, влияния водоемов, интенсивность и направление ветров, влияние городских условий и т.д. [4].

Таким образом, для интродукционных испытаний необходимо использовать виды и культивары, происходящие из схожих природно-климатических районов, а при изучении адаптации к новым условиям произрастания обязательно учитывать микроклиматические различия. Широкие возможности для интродукционных испытаний в северных районах Иркутской области открывают североамериканские, дальневосточные виды, а также некоторые выходцы из северных районов Европы и Центральной Азии [5–7].

Актуальность исследования подтверждается тем, что для городов и поселков северных территорий Иркутской области интродукционные испытания практически не проводились. Обобщающих работ и специальных флористических исследований по изучению интродуцентов крайне мало.

Цель исследования – оценить перспективность новых видов, форм и культиваров хвойных интродуцентов для зеленого строительства и частного садоводства северных районов Иркутской области.

Материалы и методы исследования

Как правило, испытания акклиматизации и адаптации древесных экзотов проводятся в местных интродукционных центрах – арборетумах, дендрариях, ботанических садах и т.д., где проводятся многолетние наблюдения за растениями и дается оценка их перспективности. Но в северных районах Иркутской области таких центров нет, и город Братск не исключение. Поэтому нами был найден альтернативный подход к изучению перспективности древесных экзотов. В условиях, где нет специализированных учреждений, занимающихся интродукционными испытаниями, частные сады жителей городов и поселков могут служить научной площадкой по испытанию инорайонных видов, обладающих исключительными эстетическими качествами [8]. Местные садоводы охотно поддерживают любительскую селекцию, акклиматизацию, интродукцию древесных растений. Некоторые исследователи недооценивают роль частных садов и питомников в интродукционных испытаниях. Но наши наблюдения доказывают обратное – частные коллекции могут способствовать обогащению дендрофлоры региона.

Таким образом, объектами исследования являются декоративные виды, разновидности и культивары хвойных растений, произрастающих в природно-климатических условиях г. Братска и его окрестностей.

Оценка морозоустойчивости и перспективности хвойных растений оценивалась по методике Главного ботанического сада [9], несколько модифицированной А.В. Гусевым с соавт. [10]. Оценка морфометрических показателей производилась с помощью общепринятой методики: измерялись высота растения, толщина ствола, ширина кроны, высота ствола до кроны. Исследования хвойных экзотов проводились в течение длительного времени (начиная с 2008 г.), чтобы в этот период попали годы с разной метеорологической ситуацией, а полученные результаты были полными и объективными. Все данные заносились в специальные дневники наблюдений, и в последующем систематизировались, обобщались и анализировались. В общем, за время многолетних исследований было изучено более 1500 экземпляров хвойных

экзотов, относящихся к разным семействам, родам, видам, сортам и декоративным формам.

Результаты исследования и их обсуждение

Ель сизая, или канадская (*Picea glauca* (Moench) Voss.) – дерево родом из северных районов Северной Америки. В Условиях Братска успешно произрастают три селекционные формы, обладающие высочайшими декоративными качествами: «Коника», «Дейзис Уайт» и «Перфекта». Ель сизая «Коника» (*P. glauca «Conica»*) – морозостойкий, но медленнорастущий сорт. Отлично зимует в условиях Братского района, но в год наращивает не более 1–2 см прироста, в возрасте 10 лет высота составляет всего около 50 см. Нуждается в защите от яркого весеннего солнца, так как может обгорать. Рекомендуется использовать при одиночных посадках, в группах, альпинариях. Ель сизая «Дейзис Уайт» (*P. glauca «Daisy's White»*) – в год в условиях Братска наращивает так же, как и «Коника», около 1–2 см прироста, в 10-летнем возрасте достигает не более 40 см высоты. Отлично зимует, но может выгорать от весеннего солнца, поэтому так же, как и другие канадские ели, нуждается в весеннем притенении. Рекомендуется сажать в качестве солитера на газоны, в роли декоративного элемента на альпийских горках. Ель сизая «Перфекта» (*P. glauca «Perfecta»*) отлично зимует, к 10 годам в Братске вырастает до 1,0 м. Годовой прирост в среднем 2–3 см. Страдает от весенних ожогов, на открытом солнце хвоя обгорает – необходимо притенение. Рекомендуется использовать как солитер или в группе.

Рис. 1. Picea glauca «Conica» в озеленении частного сада (возраст 8 лет) (фото автора)

Ель колючая, или голубая (*P. pungens* Engelm.) – дерево родом из Северной Америки. В Братске встречаются три декоративные формы: «Глаука», «Глаука Глобоза» и «Белобок». Ель колючая «Глаука» (*P. pungens «Glauca»*) – дерево с приростом в условиях Братска – не более 5 см в год. В возрасте 12 лет достигает в высоту 1,7 м. Рекомендуется для выращивания в одиночных посадках, в парках, групповых композициях у парадных зданий. Ель колючая «Глаука Глобоза» (*P. pungens «Glauca Globosa»*) – карликовый культивар. Морозоустойчива, засухоустойчива и газоустойчива. В Братске ежегодный прирост 3–4 см в год. В 8-летнем возрасте – 38 см высотой. Рекомендуется для одиночных и групповых посадок на газоне и на альпинариях. Ель колючая «Белобок» (*P. pungens «Bialobok»*) – в Братске достигает 1,5 м в высоту и 0,8 м в диаметре в 15 лет. Отлично зимует. Рекомендуется для одиночных посадок и групп, озеленения террас.

Ель обыкновенная, или европейская (*P. abies* L.) – дерево родом из Европы. На территории Братска и окрестностей встречаются два популярных сорта ели обыкновенной: «Акрокона» и «Нидиформис». Ель обыкновенная «Акрокона» (*P. abies «Acrocona»*) – в Братске к 15 годам достигает высоты 2 м и диаметра кроны 1,2 м. Годовой прирост в высоту 4–5 см. Рекомендуется использовать для одиночных посадок и в качестве акцента в малых садах, в группах, для создания рокариев. Ель обыкновенная «Нидиформис» (*P. abies «Nidiformis»*) – в природно-климатических условиях Братска прирост в год до 5 см в ширину и до 3 см в высоту. К 10 годам достигает высоты около 0,8 м и в диаметре до 1 м. Зимует отлично. Рекомендуется для размещения в групповых посадках, одиночных посадках, каменистых садах.

Ель Сербская (*P. omorica* (Panc.) Purk) – эндемик Западной Сербии и Восточной Боснии и Герцеговины. Годовой прирост в высоту в условиях Братска – 10–12 см, в 15-летнем возрасте достигает 2,4 м. Рекомендуется для посадок на аллеях, одиночных посадках, живой изгороди.

Пихта одноцветная (*Abies concolor* (Gordon) Lindl. ex Hildebr.) – дерево семейства сосновых, родом из горных высот Северной Америки. В Братске встречаются два сорта этого вида: «Виолацеа» и «Винтер Голд». Пихта одноцветная «Виолацеа» (*A. concolor «Violacea»*) в природно-климатических условиях Братска в 12-летнем

возрасте достигает 1,1 м. Рекомендуется использовать в групповых композициях и одиночных посадках. Пихта одноцветная «Винтер Голд» (*A. concolor «Winter Gold»*) в Братске высота достигает 1 м в 10-летнем возрасте. Рекомендуется в качестве солитеров и для создания аллей.

Сосна горная, или стланиковая европейская (*Pinus mugo* Turra) – хвойный кустарник (реже дерево) из семейства сосновых, родом из Центральной и Южной Европы. В Братске выращивают две природные разновидности сосны горной – Мугус (*P. mughus)* и Пумилио *(P. pumilio)*. Сосна горная Мугус (*P. mugo var.mughus* (Scop.) Zenari) – зимостойка, дымо- и газоустойчива. Отлично зимует. В условиях Братска 1 м в высоту достигает к 13-летнему возрасту. Рекомендуется для альпинариев, озеленения склонов, оврагов. Сосна горная Пумилио (*P. mugo var. Pumilio* (Haenke) Zenari) прекрасно зимует в Братске. Дымо- и газоустойчива. В условиях Братска 1 м в высоту достигает к 15-летнему возрасту. Рекомендуется для посадки группами или одиночно на газоне. Хорошо переносит стрижку.

Рис. 2. Pinus mugo var. Pumilio в городском озеленении (возраст 10 лет)

Можжевельник горизонтальный (*Juniperus horizontalis* Moench) – кустарник семейства кипарисовых родом из Северной Америки. Данный вид хорошо переносит весеннее солнце и не нуждается в укрытии весной в отличие от других представителей рода. В Братске чаще всего используют два сорта – «Блю Чип» и «Принц Уэльский». Можжевельник горизонтальный «Блю Чип» (*J. horizontalis «Blue Chip»*) очень хорошо зимует в Братске, в возрасте 14 лет достигает 30 см высоты и до 1,6 м диаметра кроны. Рекомендуется использовать в одиночных и групповых посадках на каменистых горках, на склонах и откосах. Можжевельник горизонтальный «Принц Уэльский» (*J. horizontalis «Prince of Wales»*) отлично зимует в условиях Братска, к 10-летнему возрасту достигает 15 см в высоту и более 2 м в диаметре. Рекомендуется применять на каменистых горках или как почвопокровное растение.

Можжевельник казацкий (*J. sabina* L.) – стелющийся кустарник с обширным ареалом обитания на всем северном полушарии. В Братске успешно произрастают две декоративные формы – «Глаука» и «Тамарисцифолия». Можжевельник казацкий «Глаука» (*J. sabina «Glauca»*) в Братске к 12 годам высота 0,8 м и диаметр кроны 3,8 м. Засухоустойчив, мало поражается болезнями и вредителями. Отлично зимует, пыле-, дымо- и газоустойчив, не подвержен ранневесенним ожогам, что делает его идеальным хвойным кустарником для городских насаждений. Рекомендуется для городских условий, для больших пейзажных садов и в качестве почвопокровного растения. Можжевельник казацкий «Тамарисцифолия» (*J. sabina «Tamariscifolia»*) – невысокая медленнорастущая форма можжевельника казацкого, отлично зимует в Братске. Так же как и сорт «Глаука», нетребователен в уходе, мало повреждается болезнями и устойчив к весеннему солнцу. В условиях Братска годовой прирост до 5 см. В 12-летнем возрасте достигает 30 см высоты и около 1,4 м диаметра. Рекомендуется применять в разных формах городского зеленого строительства.

Рис. 3. Juniperus sabina «Glauca» в озеленении частного сада (возраст 10 лет)

Рис. 4. Juniperus chinensis «Blue Alps» в озеленении частного сада (возраст 7 лет)

Рис. 5. Thuja occidentalis «Danica» в озеленении частного сада (возраст 8 лет)

Можжевельник чешуйчатый (*J. squamata* Lamb.) – стелющийся кустарник, родом из Центральной Азии. В Братске чаще всего встречаются два сорта этого растения: «Блю Карпет» и «Блю Швед». Можжевельник чешуйчатый «Блю Карпет» *(J. squamata «Blue Carpet»)* прекрасно зимует, но страдает от ранневесенних ожогов. В условиях Братска достигает в 12-летнем возрасте 30 см высоты и более 1 м диаметра кроны. Рекомендуется для использования в одиночных и групповых посадках, в рокариях и альпинариях, в качестве почвопокровного растения. Можжевельник чешуйчатый «Блю Швед» (*J. squamata «Blue Swede»*) в 13-летнем возрасте в условиях г. Братска достигает высоты 0,8 м и диаметра кроны более 1,3 м. Морозостоек. Отлично зимует в Братске. Хорошо переносит городские условия. Рекомендуется для каменистых и альпийских композиций.

Можжевельник виргинский «Блю Клоуд» (*J. virginiana «Blue Cloud»*) – кустарник, родом из Северной Америки. В условиях Братска наблюдается умеренный рост, в 12-летнем возрасте достигает в высоту 0,4 м, в ширину разрастается до 1 м. Прекрасно зимует в Братске. Рекомендуется высаживать на каменистых горках, рокариях, террасах.

Можжевельник обыкновенный «Грин Карпет» (*J. communis «Green Carpet»*) в г. Братске в возрасте 10 лет достигает всего 10 см высоты при диаметре 1,5 м. Отлично зимует. Рекомендуется применять для создания каменистых садов, альпийских горок и как почвопокровное растение.

Можжевельник средний «Пфитцериана» (*J. media «Pfitzeriana»*) отлично зимует в Братске, к 10 годам достигает 0,7 м высоты и около 1,5 м в диаметре. Может незначительно подгорать на весеннем солнце. Устойчив к городским условиям. Рекомендуется для посадки в композициях, рокариях и других типах насаждений.

Можжевельник китайский «Блю Альпс» (*J. chinensis «Blue Alps»*) хорошо зимует в Братске, но сильно обгорает весной. Хорошо отзывается на обрезку. В 12-летнем возрасте достигает до 0,9 м высоты. Рекомендуется для каменистых, вересковых садов, одиночных и групповых посадок.

Туя западная (*Thuja occidentalis* L.) – дерево бореальных хвойных лесов северо-западной части Северной Америки семейства Кипарисовых. В Братске на протяжении многих лет выращивают разные сорта туи западной. Наиболее распространённые из них: «Брабант», «Смарагд», «Холмструп», «Даника». Туя западная «Брабант» (*T. occidentalis «Brabant»*) – в условиях Братска ежегодный прирост в высоту 12 см, в ширину – 7 см. В возрасте 11 лет достигает 1,7 м. Рекомендуется для широкого использования на приусадебных участках, территориях у крупных коммерческих объектов и зон отдыха. Туя западная «Смарагд» (*T. occidentalis «Smaragd»*) – в условиях Братска прирост в год не более 5 см в высоту, 10-летние экземпляры едва достигают 1,5 м. Рекомендуется для создания аллей, одиночных посадок и декоративных композиций. Туя западная «Холмструп» (*T. occidentalis «Holmstrup»*) – годовой прирост в условиях Братска не более 4 см в высоту. В возрасте 10 лет достигает 0,8 м в высоту. Рекомендуется в качестве оди-

ночных посадок, для декоративных групп, живых изгородей, аллей. Туя западная «Даника» (*T. occidentalis «Danica»*) растет медленно, в Братске в год по 2–3 см в высоту и ширину. Высота 10-летнего растения около 40 см и столько же в диаметре. Отлично зимует в Братске, практически не повреждается весенним солнцем. Рекомендуется использовать в одиночных и групповых посадках для создания низких бордюров.

Обобщенные результаты интродукционных испытаний хвойных экзотов в условиях г. Братска приведены в таблице.

Оценка перспективности хвойных экзотов в условиях г. Братска

№ п/п	Вид, форма, сорт	Биоэкологические показатели				Биометрические показатели в условиях Братска			Перспективность	
		Морозоустойчивость	Засухоустойчивость	Газоустойчивость	Устойч. к весенним ожогам	Жизненная форма	Высота (*H*), диаметр кроны (*D*) (м)	Годовой прирост (см)	Класс перспективности	Применение в озеленении
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	*Abies concolor «Violacea»*	1	1	1	1	Д	В 12 лет: *H* – 1,1	3–4	СП	общего пользования
2	*A. concolor «Winter Gold»*	1	2	2	1	Д	В 10 лет: *H* – 1	5–6	П	ограниченного пользования
3	*Juniperus communis «Green Carpet»*	1	1	1	1	КС	В 10 лет: *H* – 0,1 *D* – 1,5	2–4	СП	общего пользования
4	*J. horizontalis «Blue Chip»*	1	1	1	1	КС	В 14 лет: *H* – 0,3 *D* – 1,6	2–3	СП	общего пользования
5	*J. horizontalis «Prince of Wales»*	1	1	2	1	КС	В 10 лет: *H* – 0,15 *D* – 2	2–3	П	ограниченного пользования
6	*J. media «Pfitzeriana»*	1	1	1	2	КР	В 10 лет: *H* – 0,7 *D* – 1,5	6–8	П	ограниченного пользования
7	*J. sabina «Giauca»*	1	1	1	1	КР	В 12 лет: *H* – 0,8 *D* – 3,8	7–8	СП	общего пользования
8	*J. sabina «Tamariscifolia»*	1	1	1	1	КР	В 12 лет: *H* – 0,3 *D* – 1,4	4–5	СП	общего пользования
9	*J. squamata «Blue Carpet»*	1	1	1	2	КС	В 12 лет: *H* – 0,3 *D* – 1	2–3	П	ограниченного пользования
10	*J. squamata «Blue Swede»*	1	1	1	2	КР	В 13 лет: *H* – 0,8 *D* – 1,3	4–5	П	ограниченного пользования
11	*J. virginiana «Blue Cloud»*	1	1	1	2	КР	В 12 лет: *H* – 0,4 *D* – 1	3–5	П	ограниченного пользования
12	*J. chinensis «Blue Alps»*	1	2	2	3	КП	В 12 лет: *H* – 0,9 *D* – 0,7	8 –10	МНП	частные сады
13	*Picea abies «Acrocona»*	2	1	3	1	Д	В 15 лет: *H* – 2 *D* – 1,2	4–5	МНП	частные сады
14	*P. abies «Nidiformis»*	1	2	1	1	ДК	В 10 лет: *H* – 0,8 *D* – 1	3	П	ограниченного пользования

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
15	*P. glauca «Conica»*	1	1	2	2	ДК	В 10 лет: *H* – 0,5 *D* – 0,4	1–2	П	ограниченного пользования
16	*P. glauca «Daisy's White»*	1	2	2	2	ДК	В 10 лет: *H* – 0,4 *D* – 0,3	1–2	П	ограниченного пользования
17	*P. glauca «Perfecta»*	1	3	2	3	Д	В 10 лет: *H* – 1 *D* – 0,6	2–3	МНП	частные сады
18	*P. pungens «Bialobok»*	1	2	2	1	Д	В 15 лет: *H* – 1,5 *D* – 0,8	2–3	П	ограниченного пользования
19	*P. pungens «Glauca»*	1	1	1	1	Д	В 12лет: *H* – 1,7 *D* – 0,9	4–5	СП	общего пользования
20	*P. pungens «Glauca Globosa»*	1	1	1	1	ДК	В 12лет: *H* – 0,4 *D* – 0,4	3–4	СП	общего пользования
21	*P. omorica (Panc.) Purk*	1	2	2	1	Д	В 15лет: *H* – 2,4	10–12	П	ограниченного пользования
22	*Pinus mugo var. Pumilio (Haenke) Zenari*	1	1	1	1	КС	В 15лет: *H* – 1 *D* – 1,3	6–7	СП	общего пользования
23	*P. mugo var.mughus (Scop.) Zenari)*	1	1	1	1	КС	В 13лет: *H* – 1 *D* – 1,1	7–8	СП	общего пользования
24	*Thuja occidentalis «Brabant»*	2	2	2	2	Д	В 13лет: *H* – 1,7 *D* – 1	12	МНП	частные сады
25	*T. occidentalis «Danica»*	1	1	1	1	КШ	В 10 лет: *H* – 0,4 *D* – 0,4	2–3	СП	общего пользования
26	*T. occidentalis «Holmstrup»*	1	2	2	2	КП	В 10 лет: *H* – 0,8 *D* – 0,3	4	МНП	частные сады
27	*T. occidentalis «Smaragd»*	1	1	1	2	Д	В 10 лет: *H* – 1,5 *D* – 0,7	5	П	ограниченного пользования

Примечания к таблице:

Морозоустойчивость: 1 – высокая или абсолютная, 2 – достаточно высокая, 3 – недостаточная, 4 – отсутствует.

Засухоустойчивость: 1 – высокая, 2 – менее высокая, 3 – средняя, 4 – низкая.

Газоустойчивость: 1 – высокая, 2 – средняя, 3 – низкая.

Устойчивость к солнечным ожогам: 1 – высокая, 2 – средняя, 3 – низкая.

Жизненная форма: Д – дерево, ДК – дерево карликовое, КР – кустарник раскидистый, КС – кустарник стелющийся, КП – кустарник прямостоячий, КШ – кустарник шаровидный.

Класс перспективности: СП – самые перспективные, П – перспективные, МНП – менее перспективные.

Данные авторов.

Заключение

Анализируя результаты исследований, нужно отметить, что далеко не все изученные виды и культивары хвойных экзотов можно рекомендовать для массового озеленения городских пространств. К широкому и повсеместному применению во всех районах города, в том числе с повышенной антропогенной нагрузкой (объекты озеленения общего пользования), рекомендуются только те виды, которые легко переносят городские условия, устойчивы к промышленным поллютантам и не подвержены ранневесенним солнечным ожогам. К таким видам и формам по результатам наших

исследований относятся: *Abies concolor «Violacea», Juniperus communis «Green Carpet», J. horizontalis «Blue Chip», J. sabina «Giauca», J. sabina «Tamariscifolia», Picea pungens «Glauca», P. pungens «Glauca Globosa», Pinus mugo var. Pumilio (Haenke) Zenari, P. mugo var.mughus (Scop.) Zenari), Thuja occidentalis «Danica»*. Данные таксоны получили наивысшую интегральную оценку перспективности и были отнесены к классу «самые перспективные». Эти виды и культивары способны обогатить ассортимент городских зеленых насаждений и значительно усилить архитектурно-художественную привлекательность городов.

Такие виды и формы, как *Abies concolor «Winter Gold», Juniperus horizontalis «Prince of Wales», J. media «Pfitzeriana», J. squamata «Blue Carpet», J. squamata «Blue Swede», J. virginiana «Blue Cloud», Picea abies «Nidiformis», P. glauca «Conica», P. glauca «Daisy's White», P. pungens «Bialobok», P. omorica (Panc.) Purk, Thuja occidentalis «Smaragd»,* получили во время исследования меньшее количество баллов интегральной оценки перспективности и отнесены к классу «перспективные». Данные виды и селекционные формы можно рекомендовать для более благоприятных мест: лесопарковых зон, объектов озеленения ограниченного пользования (территорий различных учреждений, санаториев, малых садов, садов на крышах, декоративных групп у входов в офисы и торговые центры и т.д.). Такие растения нуждаются в укрытии от весеннего солнца и более тщательном уходе.

Виды и сорта с наименьшей устойчивостью к засухе, солнечным ожогам и чувствительные к городскому воздуху *(Juniperus chinensis «Blue Alps», Picea abies «Acrocona», P. glauca «Perfecta», Thuja occidentalis «Brabant»)* получили во время исследования низкие интегральные оценки перспективности и отнесены к классу «менее перспективные». Данные виды и формы рекомендуется выращивать в частных садах на дачных и коттеджных участках. При этом необходимо отметить, что эти растения являются достаточно зимостойкими и прекрасно зимуют в условиях Братска, практически не повреждаясь морозами, но плохо переносят городской воздух, засуху и сильно повреждаются весенним солнцем, поэтому требуют особых условий и тщательного ухода.

Разработка районированного ассортимента хвойных пород для зеленого строительства городов с суровым климатом требует длительных и тщательных наблюдений и специальных исследований. Опыт частных питомников и коллекций древесных растений очень важен для разработки районированного ассортимента. Материалы нашего исследования показывают, что перспективы расширения и улучшения ассортимента древесных растений в Братске и других городов северных районов Иркутской области большие и перед работниками зеленого строительства открывается огромный фронт работы. Это же подтверждает и сравнение ассортимента зеленых насаждений городов северных территорий Иркутской области – Братска, Усть-Илимска, Усть-Кута, Бодайбо с такими городами, как Красноярск, Новосибирск, Томск, где сходные природно-климатические условия, но намного больший ассортимент городских насаждений.

Список литературы / References

1. Рунова Е.М., Гнаткович П.С., Золотухина Г.И. Оценка видового разнообразия древесных интродуцентов г. Братска // Системы. Методы. Технологии. 2015. № 3 (27). С. 149–156.

Runova E.M., Gnatkovich P.S., Zolotukhina G.I. Assessment of the species diversity of tree introduced species in the city of Bratsk // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2015. No. 3 (27). P. 149–156 (in Russian).

2. Рунова Е.М., Гнаткович П.С. Видовой состав зеленых насаждений общего пользования г. Братска // Системы. Методы. Технологии. 2013. № 2 (18). С. 156–159.

Runova E.M., Gnatkovich P.S. Species composition of green spaces for general use in the city of Bratsk // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2013. No. 2 (18). P. 156–159 (in Russian).

3. Бунькова Н.П., Залесов С.В., Платонов Е.П., Соловьева М.В. Перспективность использования можжевельника скального в озеленении города Екатеринбурга // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 7–12.

Bunkova N.P., Zalesov S.V., Platonov E.P., Solovyova M.V. Prospects for the use of rocky juniper in landscaping the city of Yekaterinburg // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2020. No. 7. P. 7–12 (in Russian).

4. Крекова Я.А. Оценка перспективности хвойных интродуцентов для озеленения и лесоразведения на территории Казахского мелкосопочника: автореф. дис. … канд. сельхоз. наук. Екатеринбург, 2018. 24 с.

Krekova Ya.A. Assessment of the prospects of coniferous introduced species for landscaping and afforestation on the territory of the Kazakh Upland: avtoref. dis. … kand. s.-kh. nauk. Yekaterinburg, 2018. 24 p. (in Russian).

5. Рунова Е.М., Гнаткович П.С. Перспективы внедрения интродуцентов частных садов в ассортимент зеленых насаждений города Братска // Лесотехнический журнал. 2014. Т. 4. № 2 (14). С. 68–78.

Runova E.M., Gnatkovich P.S. Prospects for the introduction of introduced private gardens into the assortment of green spaces in the city of Bratsk // Lesotekhnicheskiy zhurnal. 2014. Vol. 4. No. 2 (14). P. 68–78 (in Russian).

6. Шестак К.В. Оценка адаптационной способности интродуцентов европейской и дальневосточной флор в дендрарии СибГТУ // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: материалы VII Международной научной конференции. Красноярск: СибГТУ, 2004. С. 204–208.

Shestak K.V. Assessment of the adaptive ability of introduced species of the European and Far Eastern flora in the arboretum of the Siberian State Technical University // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy:

materialy VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Krasnoyarsk: SibSTU, 2004. P. 204–208 (in Russian).

7. Буторова О.Ф., Братилова Н.П., Глушкова Е.В. Интродукция растений североамериканской флоры в ботаническом саду им. Вс.М. Крутовского // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук: материалы XXXIII международной научно-практической конференции. В 2 ч. 2017. С. 39–44.

Butorova O.F., Bratilova N.P., Glushkova E.V. The introduction of plants of the North American flora in the Botanical Garden. Sun M. Krutovsky // Sovremennyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk: materialy XXXIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. V 2 ch. 2017. P. 39–44 (in Russian).

8. Кожевников А.П., Залесов С.В. Опыт создания коллекций плодовых и декоративных культур. Екатеринбург, 2018. 206 с.

Kozhevnikov A.P., Zalesov S.V. Experience in creating collections of fruit and decorative crops. Yekaterinburg, 2018. 206 p. (in Russian).

9. Лапин П.И., Сиднева С.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. М.: Наука, 1973. С. 67–75.

Lapin P.I., Sidneva S.V. Assessment of the prospects for the introduction of woody plants according to visual observations // Opyt introduktsii drevesnykh rasteniy. M.: Nauka, 1973. P. 67–75 (in Russian).

10. Гусев А.В., Залесов С.В., Сарсекова Д.Н. Методика определения перспективности интродукции древесных растений // Социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса в рамках концепции 2020: материалы VII Междунар. научно-техн. конф. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. С. 272–275.

Gusev A.V., Zalesov S.V., Sarsekova D.N. Methods for determining the prospects for the introduction of woody plants // Sotsial'no-ekonomicheskiye i ekologicheskiye problemy lesnogo kompleksa v ramkakh kontseptsii 2020: materialy VII Mezhdunar. nauch.tekhn. konf. Yekaterinburg: Ural. gos. lesotekhn. un-t, 2009. P. 272–275 (in Russian).

УДК 630*182.5:630*5

ОСОБЕННОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ МОДАЛЬНЫХ ПИХТАЧЕЙ В УСЛОВИЯХ КАНСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ И ПРЕДГОРНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНОГО САЯНА

Калачев В.А., Вайс А.А., Ануев Е.А.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологии имени академика М.Ф. Решетнева», Красноярск, e-mail: kalacheff.vladis@yandex.ru

В научном исследовании приведены результаты определения горизонтальной структуры пихтовых насаждений различных типологических групп в условиях Канской лесостепи и предгорной части Восточного Саяна. Объектом исследования явились модальные, смешанные пихтовые насаждения Канского и Мининского (Бирюсинское участковое лесничество) лесничеств. Канская группа пихтачей представлена разнотравным и зеленомошниковым типом леса, а пихтовые древостои в условиях Бирюсинского участкового лесничества – разнотравными и папоротниково-мшистыми. В рамках проведённой работы установлена густота пихтовых насаждений, вычислено среднее расстояние между древесными особями, определена горизонтальная структура с установлением типа пространственного размещения по классам возраста, для исследуемых типов леса и лесного района. С помощью программы CurveExpert 1.3 выполнен статистический анализ связи $M = f(L_{cp})$, так с высоким коэффициентом достоверности для пихтачей Канского лесничества применялась прогнозирующая функция Rational Function, а для пихтовых насаждений Мининского лесничества (Бирюсинского участкового лесничества) Reciprocal Quadratic. В результате полученных данных установлено, что в процессе роста вне зависимости от района исследования и типологической принадлежности тип пространственного размещения изменялся со случайного к групповому виду. Стадия распада древостоев начинается для разнотравного типа в период со 100 лет, а для зеленомошниковых и папоротниково-мшистых – с 80 лет. Интенсивный прирост запаса наблюдается при среднем расстоянии между деревьями 2,5–4,5 м. Максимальный запас установлен при среднем расстоянии между деревьями 5,0 м для пихтачей Мининского лесничества и 5,4 м для Канского лесничества. Также на основании полученных результатов предложены возрасты проведения различных видов выборочных рубок для пихтовых древостоев по районам исследования.

Ключевые слова: пихта сибирская, горизонтальная структура, запас, выборочные рубки, лесничество

FEATURES OF THE HORIZONTAL STRUCTURE OF MODAL FIR TREES IN THE CONDITIONS OF THE KANSK FOREST-STEPPE AND THE FOOTHILL PART OF THE EASTERN SAYAN

Kalachev V.A., Vays A.A., Anuev E.A.

Siberian State University of Science and Technologies of M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, e-mail: kalacheff.vladis@yandex.ru

The scientific study presents the results of determining the horizontal structure of fir stands of various typological groups in the conditions of the Kansk forest-steppe and the foothill part of the Eastern Sayan. The object of the study was modal, mixed fir plantations of Kansky and Mininsky (Biryusinsky district forestry) forest districts. The Kansk group of fir trees is represented by a mixed-grass and green-mossy forest type, and fir stands in the conditions of the Biryusinsky district forestry are mixed-grass and fern-mossy. Within the framework of the work carried out, the density of fir stands was established, the average distance between tree individuals was calculated, the horizontal structure was determined with the establishment of the type of spatial placement by age classes, for the studied types of forest and forest area. Using the CurveExpert 1.3 program, a statistical analysis of the M = f(Lsr) relationship was performed, so the predictive function Rational Function was used with a high confidence coefficient for fir trees of the Kansk forest district, and the Reciprocal Quadratic function was used for fir stands of the Mininsky forest district (Biryusinsky district forest district). As a result of the obtained data, it was found that in the process of growth, regardless of the study area and typological affiliation, the type of spatial placement changed from a random to a group type. The stage of decay of stands begins for the mixed-grass type in the period from 100 years, and for green-mossy and fern-mossy from 80 years. Intensive growth of the stock is observed at an average distance between trees of 2.5-4.5 meters. The maximum margin is set at an average distance between trees of 5.0 meters for fir trees of the Mininsky forest area and 5.4 meters for the Kansky forest area. Also, on the basis of the obtained results, the dates of various types of selective logging for fir stands in the study areas are proposed.

Keywords: *Abies sibirica* L., horizontal structure, stock, selective logging, forestry

В настоящее время в области изучения и оценки пространственной структуры древесных насаждений проведено множество исследований.

Изучением вопроса занимались такие ученые, как А.В. Манов [1], В.Я. Грибанов [2], В.В. Прокопцев [3], Грейг-Смит [4], В.Ф. Ковязин [5], О.П. Секретенко [6], П.Я. Грабарник [6], А.Н. Колобов [7], А.А. Вайс [8], Ю.И. Каганюк [9], А.С. Ермолова [10].

В.Я. Грибанов и В.В. Прокопцев пришли к выводу, что горизонтальная структура в молодых и средневозрастных древостоях соответствует групповому размещению,

а в спелых и приспевающих насаждениях отмечается равномерное расположение растений.

А.А. Вайс [11] отмечал, что наиболее перспективным методом определения типа размещения древесных растений является метод нулевых площадок. Установлено, что в пихтовых насаждениях южной части Средней тайги и в горных кедровых древостоях Западных Саян горизонтальная структура представлена регулярной структурой с групповым типом размещения деревьев и подроста.

Изучение горизонтальной агрегации лесных сообществ способствует определению и своевременному назначению лесохозяйственных мероприятий. Данная проблема актуальна в части ведения выборочного хозяйства в соответствии с действующими «Правилами заготовки древесины» [12].

На основании вышеизложенного изучение пространственной структуры темнохвойных лесов в условиях Среднесибирского подтаежно-лесостепного и Алтае-Саянского горнотаежного района необходимо с точки зрения восполнения недостающих знаний и организации непрерывного лесопользования.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись пихтовые насаждения двух типов леса (разнотравные и зеленомошные), расположенные на территории КГБУ «Канского лесничества» и двух типологических группах (разнотравные и папоротниково-мшистые) в Бирюсинском участковом лесничестве КГБУ «Мининское лесничество». Оценка горизонтальной структуры пихтачей проводилась на основании материалов Канского и Мининского лесничеств (Бирюсинского участкового лесничества), полученных в результате проведенных лесоустроительных работ в 2001 г. С учетом определения возрастной картины роста и развития пихтовых фитоценозов для каждого класса возраста, соответствующей типологической представленности и района исследования (лесничества), в случайном порядке подбиралось не менее трех выделов. Критерием отбора и объединения являлись следующие особенности: пихтачи Канского района представлены 4 классом бонитета, полнотой насаждений 0,6, древостоями смешанными с долей участия породы пихта в составе от 4 до 8 единиц; пихтовыми насаждениями Бирюсинского участкового лесничества преимущественно класса бонитета – 3, полнота насаждений 0,6–0,7, доля участия сопутствующих пород в составе от 2 до 5 единиц. Общее число выбранных лесных участков по Канскому лесничеству составляет 127 шт., а по Мининскому лесничеству (Бирюсинскому участковому лесничеству) 75 участков.

Определение пространственного размещения производилось в следующем порядке:

$$G = M/(H_{ср} + 3)*f\text{эм}, \quad (1)$$

G – сумма площадей сечений, м^2/га;
M – запас, м^3/га;
$H_{ср}$ – средняя высота, м;
fэм – эмпирическое видовое число (применительно для пихты – 0,40).

$$g_{ср} = п *d^2/40000, \quad (2)$$

$g_{ср}$ – средняя площадь сечения, м^2;
d – средний диаметр дерева в данном возрасте, см;
$п$ – 3,14.

$$N = G/g_{ср.} \quad (3)$$

N – количество деревьев, шт/га.

$$Lср = 107{,}2/\sqrt{N} \quad (4)$$

$Lср$ – среднее расстояние между деревьями, м.

Результаты исследования и их обсуждение

Разнотравная группа пихтачей Канского лесничества представлена насаждениями с 1 по 10 класс возраста. Сопутствующие породы в составе – береза и осина. Участие хвойных пород следующее: кедр и ель с коэффициентами от 1 до 3 единиц имели запас в выборке от 15 до 230 м^3/га. Площадь выделов менялась от 3 до 198 га.

Пихтачи зеленомошные вышеуказанного лесничества представлены насаждениями с 2 по 8 класс возраста. Участие березового элемента от 1 до 4 единиц в составе в основном в молодом и средневозрастном поколении. Осина встречается очень редко, запас варьировал от 30 до 230 м^3/га. Площадь выделов от 2 до 89 га.

Пихтовые древостои разнотравного типа леса Бирюсинского участкового лесничества Мининского лесничества имели класс возраста с 2 по 7. Мягколиственные породы встречаются в составе от 1 до 5 %, сопутствующий хвойный элемент в составе представлен елью, лиственницей, реже кедром с участием от 1 до 3 единиц. Запас насаждений для отобранных классов возраста изменялся от 80 до 290 м^3/га.

Таблица 1

Размещение пихтовых насаждений Канского и Мининского лесничеств по классам возраста

Класс возраста	Канское лесничество				Бирюсинское участковое лесничество КГБУ «Мининское лесничество»			
	Пихтач разнотравный		Пихтач зеленомошный		Пихтач разнотравный		Пихтач папоротниково-мшистый	
	Среднее расстояние между деревьями, м	Процент выделов различного типа размещения деревьев, %	Среднее расстояние между деревьями, м	Процент выделов различного типа размещения деревьев, %	Среднее расстояние между деревьями, м	Процент выделов различного типа размещения деревьев, %	Среднее расстояние между деревьями, м	Процент выделов различного типа размещения деревьев, %
I	0,6–1,5	Случайное – 100,0	–	–	–	–	–	–
II	0,6–2,8	Случайное – 100,0	1,2–2,1	Случайное – 100,0	1,5–2,9	Случайное – 100,0	1,8–2,9	Случайное – 100,0
III	2,6–3,4	Случайное – 100,0	2,9–3,2	Случайное – 100,0	3,3–3,6	Случайное – 100,0	2,7–4,0	Случайное – 100,0
IV	3,2	Случайное – 100,0	2,8–4,0	Случайное – 100,0	3,6–3,8	Случайное – 100,0	3,6–4,2	Случайное – 100,0
V	3,5–3,6	Случайное – 100,0	3,5–4,6	Случайное – 81,8	3,6–4,4	Случайное – 100,0	3,6–5,0	Случайное – 76,7
				Групповое – 18,2				Групповое – 33,3
VI	3,9–4,6	Случайное – 76,7	3,8–4,9	Случайное – 43,5	3,9–5,3	Случайное – 40,0	4,4–4,9	Случайное – 76,7
		Групповое – 33,3		Групповое – 56,5		Групповое – 60,0		Групповое – 33,3
VII	4,1–5,4	Случайное – 20,0	4,1–5,4	Случайное – 46,7	5,0	Групповое – 100,0	4,7–5,2	Групповое – 100,0
		Групповое – 80,0		Групповое – 53,3				
VIII	4,6–5,9	Групповое – 100,0	4,6	Групповое – 100,0	–	–	5,0	Групповое – 100,0
IX	5,1–5,9	Групповое – 100,0	–	–	–	–		
X	5,3–5,4	Групповое – 100,0	–	–	–	–		

Папоротниково-мшистые пихтачи на территории Мининского лесничества представлены насаждениями со 2 по 8 класс возраста. Сопутствующие породы ель, лиственница, кедр участвуют в составе от 2–4 единиц, доля участия пород березы и осины варьирует в составе от 5 до 20%. Изменчивость запаса от 50 до 310 м^3/га.

Густота пихтовых насаждений Канского лесничества для разнотравной группы варьировала от 326 до 28435 шт/га, а в зеленомошниковых пихтачах от 393 до 2488 шт/га. В пихтачах Бирюсинского участкового лесничества количество деревьев от 415 до 5444 шт/га для разнотравной группы и 422–4915 шт/га для папоротниково-мшистых типов леса.

Горизонтальная структура агрегации деревьев по площади может быть представлена тремя типами размещения: случайным, равномерным и групповым. В рамках проведенного исследования А.А. Вайс [13] установил, что при среднем расстоянии между деревьями < 4,5 м наблюдается случайное размещение, а в случае расстояния ≥ 4,5 м с высокой долей вероятности можно прогнозировать наличие группового размещения. Результаты определения среднего расстояния между деревьями и установления типа размещения пихтовых насаждений Канского лесничества представлены в табл. 1.

Для пихтовых насаждений разнотравного типа леса Канского и Мининского лесничеств с I по V класс возраста характерно случайное размещение деревьев, VI и VII класс возраста пихтачей Канского лесничества и VI класс возраста пихтачей Мининского лесничества является переходным от случайного к групповому размещению с учетом повышения участков с групповым размещением. Начиная с VIII по X в Канском и с VII класса возраста Мининском (Бирюсинского участкового лесничества) лесничествах, пихтовые насаждения имеют групповое расположение деревьев (табл. 1).

В пихтачах зеленомошных Среднесибирского подтаежно-лесостепного (Канское лесничество) и Алтае-Саянского горнотаежного районов (Бирюсинское участковое лесничество) процесс перехода размещения деревьев от случайного к групповому типу с возрастом имеет следующие тенденции: случайное (I–IV класс возраста, для обоих лесничеств), случайное и групповое (V–VII класс Канское и V–VI Мининское лесничество), групповое (VIII класс Канское и VII–VIII Мининское лесничество) (табл. 1).

С целью определения аппроксимирующей кривой запасов пихтовых насаждений на 1 га с учетом среднего расстояния между деревьями по районам исследования в программе CurveExpert 1.3 для соответствующих типологических групп установлена оптимальная регрессионная модель. Аппроксимация связи $M = f(L_{ср})$ выполнена с помощью функции Rational Function для пихтачей Канского лесничества и Reciprocal Quadratic для пихтовых древостоев Мининского лесничества.

Прогнозирующие уравнения имеют следующий вид

$$M = (a + (b*L_{ср})) / (1 + (c*L_{ср}) + (d*L_{ср}\text{^}2)) \quad (5)$$

$$M = 1/((a + (b*L_{ср})) + (c*(L_{ср}\text{^}2))) \quad (6)$$

M – запас, м^3/га;
$L_{ср}$ – среднее расстояние между деревьями, м;
a, b, c, d – коэффициенты уравнения.

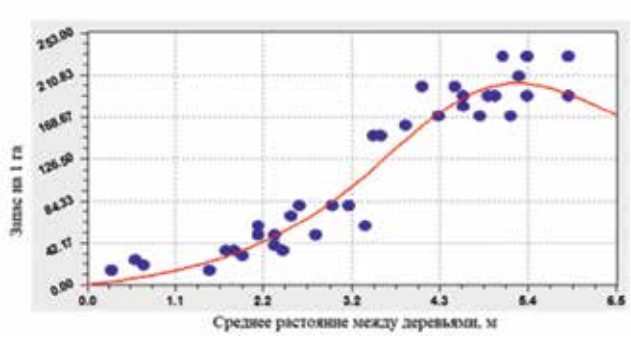
Коэффициент детерминации (R^2) прогнозирующей функции по Канскому району исследования для разнотравных пихтачей составил 0,96 и для зеленомошниковых древостоев 0,84. Для территории Мининского лесничества (Бирюсинское участковое лесничество) достоверность функции для разнотравья составила 0,86, а для папоротниково-мшистых 0,78. При этом стандартная ошибка имела значения 20,4 и 26,0 м^3/га по Канскому лесничеству и 23,9 и 46,9 м^3/га – по Мининскому.

Флуктуация точек и прогнозирующие кривые представлены на рисунке.

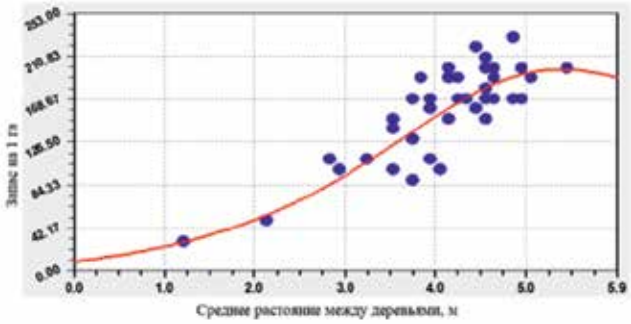
Таблица 2

Коэффициенты уравнения

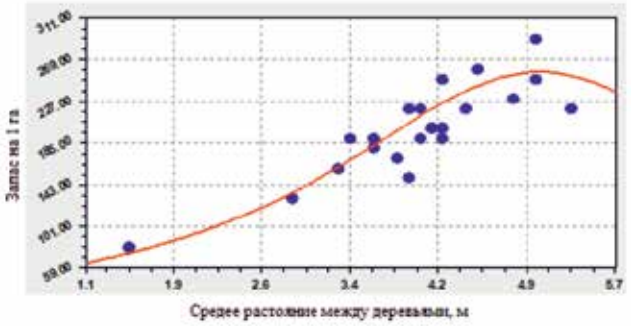
Лесничество	Тип леса	Коэффициенты уравнения			
		a	b	c	d
Канское лесничество	Пихтач разнотравный	0,6253	8,6407	-0,3363	0,0360
	Пихтач зеленомошный	9,6029	8,0802	-0,3161	0,0335
Бирюсинское участковое лесничество Мининского лесничества	Пихтач разнотравный	0,0233	-0,0077	0,0008	–
	Пихтач папоротниково-мшистый	0,0248	-0,0080	0,0008	–



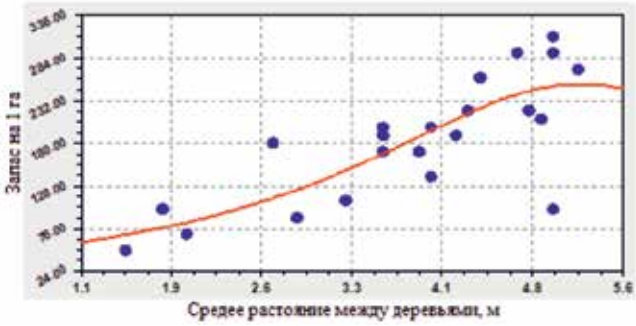
а) Пихтовые насаждения разнотравной группы



б) Пихтовые насаждения зеленомошной группы



в) Пихтовые насаждения разнотравной группы



г) Пихтовые насаждения папоротниково-мшистой группы

Связь запаса и среднего расстояния между деревьями в пихтовых насаждениях Канского лесничества (а, б) и Бирюсинского участкового лесничества Мининского лесничества (в, г)

Таблица 3

Выравненные значения запасов в зависимости от среднего расстояния между деревьями

Расстояния между деревьями, м	Канское лесничество		Бирюсинское участковое лесничество, Мининское лесничество	
	Запас пихтачей разнотравных, м^3/га	Запас пихтачей зеленомошных, м^3/га	Запас пихтачей разнотравных, м^3/га	Запас пихтачей папоротниково-мшистых, м^3/га
0,1	2	11	44	42
0,5	6	16	51	48
1	13	25	61	57
1,5	24	36	74	69
2	38	51	91	84
2,5	58	71	114	104
3	84	96	142	129
3,5	117	125	176	160
4	152	155	212	196
4,5	183	180	243	229
5	200	195	257	250
5,5	201	197	246	249
6	188	188	217	226
6,5	169	173	180	192

Необходимо отметить, что в исследуемых типах леса Канского лесничества облако данных и выравненные кривые имеют схожие траектории. При этом в разнотравных пихтачах интенсивный прирост запаса наблюдался при среднем расстоянии между деревьями 3,0–4,5 м. В зеленомошниковых пихтачах запас интенсивно увеличивался при средних расстояниях между деревьями 2,5–4,0 м.

Мининскому лесничеству по обеим типологическим группам исследования свойственны схожие тенденции прогнозирующих кривых. Необходимо отметить, что облако данных по папоротниково-мшистым пихтачам имеет рассеянное состояние (значительный разброс точек). Прирост запаса в зависимости от среднего расстояния между деревьями протекает интенсивно для разнотравного типа леса при междревесном расстоянии 3,0–4,5 м и 2,5–4,5 м для папоротниково-мшистой представленности.

Выравненные значения регрессионных моделей (5, 6) представлены в табл. 3.

Максимальные значения по запасу в пихтовых насаждениях Канского лесничества, вне зависимости от типа леса, наблюдались в диапазоне 5,0–5,5 м среднего расстояния между деревьями, при этом для пихтачей Мининского лесничества 4,5–5,0 м среднего расстояния между деревьями (табл. 3).

Заключение

В результате проведенного исследования получен ряд выводов.

– В процессе роста пихтовых насаждений в двух территориально-разобщенных лесничествах вне зависимости от типологической расположенности размещение деревьев менялось со случайного на групповой характер;

– В обоих районах исследования для разнотравного типа пихтачей с возраста 100 лет, в зеленомошниковых и папоротниково-мшистых с 80 лет начинается стадия распада древостоя (происходит смена горизонтальной представленности, а именно переход размещения деревьев со случайного на групповой тип);

– С VI класса возраста в пихтовых насаждениях разнотравной группы и с V в зеленомошниковых и папоротниково-мшистых древостоях, расположенных в Канском и Мининском (Бирюсинском участковом лесничестве) лесничествах целесообразно проведение добровольно-выборочных рубок, а с VIII класса возраста в Канском и VII класса возраста в Мининском лесничестве, возможно, рекомендовать назначение группово-выборочных рубок.

– Распределение запасов в зависимости от среднего расстояния между деревьями показало, что запас пихтачей зеленомошных Канского и разнотравных и папорот-

никово-мшистых Мининского лесничеств в основном сконцентрирован при высоких средних расстояниях.

– Выход максимальных значений запаса в пихтачах Канского лесничества наблюдался при среднем расстоянии между деревьями 5,4 м, а в Мининском лесничестве среднее расстояние между деревьями составило 5,0 м.

Таким образом, разница в продуктивности пихтачей Канского и Мининского лесничества обусловлена влиянием климатических и орографических факторов. При этом в типологическом разделении различие вызвано действием эдафических факторов и выражено при случайном размещении, когда среднее расстояние между деревьями меньше 4,0 м.

Изучение горизонтальной структуры пихтовых насаждений необходимо проводить с целью организации рационального лесопользования на территории Канского и Мининского лесничеств, а также восполнения имеющихся исследований в данной области и урегулирования возникших вопросов.

Список литературы / References

1. Манов А.В. Горизонтальная структура древостоя и подроста ельника разнотравно-черничного Средней тайги Республики Коми // Лесоведение. 2019. № 4. С. 286–293.

Manov A.V. Horizontal structure of the forest stand and undergrowth of the mixed-herb-blueberry spruce forest of the Middle taiga of the Komi Republic // Lesovedeniye. 2019. No. 4. P. 286–293 (in Russian).

2. Грибанов В.Я. Пространственная структура сосновых и лиственных деревьев. Продуктивность лесных фитоценозов: сб. ст. Красноярск: ИЛиД, 1984. С. 42–47.

Gribanov V.Ya. Spatial structure of pine and deciduous trees. Productivity of forest phytocenoses: collection of articles Krasnoyarsk: ILiD, 1984. P. 42–47 (in Russian).

3. Прокопцев В.В. Лесоводственно-таксационный анализ роста и пространственной структуры сосняков зеленомошников Брянского массива в связи с рубками ухода: автореф. дис…. канд. сельхоз. наук. Брянск, 1997. 21 с.

Prokoptsev V.V. Lesovodstvenno-taksatsionny analiz rosta i spatialnoy structury sosnyakov zelenomoshnikov Bryanskogo massif v svyazi s felling care: avtoref. dis…. kand.s.-kh. nauk. Bryansk, 1997. 21 p. (in Russian).

4. Грейг-Смит П. Количественная экология растений. М: Мир, 1976. 778 с.

Greig-Smith P. Quantitative ecology of plants. M.: Mir, 1976. 778 p. (in Russian).

5. Ковязин В.Ф., Фам Тхи Хиен Лыонг Горизонтальная структура фитоценозов курортного лесопарка Санкт-Петербурга в условиях интенсивной рекреационной нагрузки // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. № 223. С. 127–139.

Kovyazin V.F., Pham Thi Hien Luong Horizontal structure of phytocenoses of the resort forest park of St. Petersburg in the conditions of intensive recreational load // Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii. 2018. No. 223. P. 127–139 (in Russian).

6. Секретенко О.П., Грабарник П.Я. Анализ горизонтальной структуры древостоев методами случайных точечных полей // Сибирский лесной журнал. 2015. № 3. С. 32–44.

Sekretenko O.P., Grabarnik P.Ya. Analysis of the horizontal structure of forest stands by methods of random point fields // Sibirskiy lesnoy zhurnal .2015. No. 3. P. 32–44 (in Russian).

7. Колобов А.Н., Лонкина Е.С., Фрисман Е.Я. Моделирование и анализ горизонтальной структуры смешанных древостоев (на примере пробных площадей заповедника «Бастак» в Среднем Приамурье) // Сибирский лесной журнал. 2015. № 3. С. 45–56.

Kolobov A.N., Lonkina E.S., Frisman E.Ya. Modeling and analysis of the horizontal structure of mixed stands (on the example of the test areas of the «Bastak» reserve in the Middle Amur region) // Sibirskiy lesnoy zhurnal. 2015. No. 3. P. 45–56 (in Russian).

8. Вайс А.А., Кербис Е.С. Особенности учёта горизонтальной и вертикальной структуры березовых насаждений при организации выборочного хозяйства // Эпоха науки. 2019. № 17. С. 89–96.

Vays A.A., Kerbis E.S. Features of accounting for the horizontal and vertical structure of birch stands in the organization of selective farming // Epokha nauki. 2019. No. 17. P. 89–96. (in Russian).

9. Каганяк Ю.И., Регуш Н.В. Горизонтальная структура буковых насаждений Закарпатья // Наукові праці лісівничої академії наук України. 2014. № 12. С. 135–139.

Kaganyak Yu.I., Regush N.V. Horizontal structure of beech plantations in Transcarpathia // Naukovi pratsi lisivnychoyi akademiyi nauk Ukrayiny. 2014. No. 12. P. 135–139 (in Russian).

10. Ермолова А.С. Динамика горизонтальной структуры пойменных болотополевников // Наука вчера, сегодня, завтра: материалы научно-практической конференции (г. Воронеж, 05–09 сентября 2016 г.). Воронеж: Изд-во Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2016. С. 311–315.

Yermolova A.S. Dynamics of the horizontal structure of floodplain belotopolevniki // Nauka yesterday, today, tomorrow: materials of the scientific and practical conference (g. Voronezh, 05–09 sentyabrya 2016 g). Voronezh: Izd-vo Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. Imperatora Petra I, 2016. P. 311–315 (in Russian).

11. Вайс А.А. Горизонтальная структура древостоев средней Сибири // Научный журнал КубГАУ. 2009. № 45 (1). С. 166–181.

Vays A.A. Horizontal structure of forest stands in Central Siberia // Nauchnyy zhurnal KubGAU. 2009. № 45 (1). P. 166–181 (in Russian).

12. Правила заготовки древесины, утверждены приказом Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 01.12.2020 № 993 «Об утверждении правил заготовки древесины и особенностей заготовки древесины в лесничествах, лесопарках, указанных в статье 23 Лесного кодекса Российской Федерации».

Rules of wood harvesting, approved by the order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation of 01.12.2020 No. 993 «On approval of the rules of wood harvesting and features of wood harvesting in forest areas, forest parks specified in Article 23 of the Forest Code of the Russian Federation» (in Russian).

13. Вайс А.А. Научные основы оценки горизонтальной структуры древостоев для повышения их устойчивости и продуктивности (на примере насаждений Западной и Восточной Сибири): дис. ... докт. сельхоз. наук. Красноярск, 2014. 480 с.

Vays A.A. Scientific bases of assessment of the horizontal structure of stands for increasing their stability and productivity (on the example of plantings in Western and Eastern Siberia): dis. ... dokt. s.-kh. nauk. Krasnoyarsk, 2014. 480 p. (in Russian).

УДК 632.112

РОЛЬ АССОЦИАТИВНЫХ РИЗОБАКТЕРИЙ В ПОВЫШЕНИИ СОХРАНЕНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ГОРЧИЦЫ БЕЛОЙ К ПОЧВЕННОЙ ЗАСУХЕ

[1]Лебедев В.Н., [1]Воробейков Г.А., [2]Ураев Г.А.

[1]ФГБОУ ВО «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», Санкт-Петербург, e-mail: antares-80@yandex.ru

[2]ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Санкт-Петербург, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

В статье рассматриваются некоторые результаты изучения вегетационных опытов по изучению влияния ростостимулирующих растения ризобактерий (PGPR) (Агрофил, Мизорин, Флавобактерин, Экстрасол) в качестве биоудобрения при обработке горчицы белой сорта Рапсодия (к-4278), выращенной в нормальных условиях и при почвенной засухе. Исследуемые препараты оказывали влияние на ростовые процессы, минеральное питание, элементы структуры урожая и урожайность семян. При кратковременной почвенной засухе обработка семян ризобактериями способствует стабилизации физиологических процессов, увеличивает биомассу надземных и подземных органов, что приводит к сохранению общей и семенной продуктивности растений. Наибольшие значения таких элементов структуры посевов горчицы, как «количество стручков на растении» и «количество семян на растении», а также «масса семян на растении», были получены с использованием биопрепаратов Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7) и Флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, штамм 30) при нормальном увлажнении. При этом у растений, переживших засушливый период, наилучшие результаты в отношении стабилизации морфофизиологических процессов формирования продуктивности наблюдались в варианте с Агрофилом. Этот результат может быть связан с более выраженными протекторными свойствами агробактерий, входящих в данный биопрепарат, который проявляется после водного стресса. Кроме того, именно в варианте с использованием Агрофила наблюдалось максимальное увеличение урожайности в условии засухи по сравнению с контролем. Этот фактор повлиял и на то, что наибольший экономический эффект аграрного предприятия наблюдается при возделывании горчицы белой в условиях почвенной засухи с использованием Агрофила.

Ключевые слова: инокуляция, продуктивность, минеральное питание, интродукция, ризобактерии, способствующие росту растений (PGPR), засуха, водный стресс, ассоциативные ризобактерии, экономический эффект

THE IMPACT OF PLANT-ASSOCIATED RHIZOBACTERIA IN INCREASING THE PRODUCTIVITY OF WHITE MUSTARD IN CONDITIONS OF SOIL DROUGHT

[1]Lebedev V.N., [1]Vorobeykov G.A., [2]Uraev G.A.

[1]Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, e-mail: antares-80@yandex.ru;

[2]Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, Sankt-Petersburg, e-mail: uraev.ga@yandex.ru

Possibilities for increasing the yielding capacity of white mustard (*Sinapis alba* L.) and improving it nutrition due to the application of associative growth-stimulating plants of rhizobacteria (PGPR) (Agrofil, Mizorin, Flavobacterin, Extrasol) with polyfunctional effect were studied in a pot experiments grown under normal conditions and soil drought. The studied preparations had an effect on growth processes, mineral nutrition, elements of the crop structure and grain yield. Insufficient soil moisture disrupts water balance in plants. At a short-term soil drought processing of seeds rhizobacterias promotes stabilization phytophysiological processes, increase plant biomass, that leads to preservation of the general and seed efficiency of the plants. The highest values of such elements of the structure of the structure of mustard crops as «the number of pods per plant» and «the number of seeds per plant», as well as» the weight of seeds per plant « were obtained using biologics products based on Mizorin (*Arthrobacter mysorens*, strain 7) and Flavobacterin (*Flavobacterium sp.*, strain 30) under normal moisture. At the same time, in plants that survived the dry period, the best results in terms of stabilizing the morphophysiological processes of productivity formation were observed in the variant with an Agrofil. This result may be associated with more pronounced protective properties of agrobacteria included in this biological product, which manifests itself after water stress. In addition, it was in the variant with the use of an Agrofil that the maximum increase in yield was observed in the condition of drought compared to the control. This factor also influenced the fact that the greatest economic effect of an agricultural enterprise is observed when cultivating white mustard in conditions of soil drought using an Agrofil.

Keywords: inoculation, germinating capacity, productivity, mineral nutrition, stimulation of growth, introduce, Plant Growth-Promoting Rhizobacteria (PGPR), drought, water stress, associative rhizobacteria, economic effect

Развитие современного сельского хозяйства на протяжении последних лет характеризуется многочисленными направлениями экологизации и сопровождается активным использованием биотехнологических приемов. Одним из таких методов служит подбор и применение ризобактерий, вступающих в ассоциации с культурными растениями, стимулирующих их рост, развитие, минеральное питание и продук-

тивность. При помощи биологически активных веществ такие бактерии повышают толерантность растений к различным физиологическим стрессам и неблагоприятным условиям окружающей среды [1–3]. При этом наибольший интерес представляет протекторная роль ассоциативных штаммов в отношении почвенной засухи, наступившей в критический период онтогенеза растений, когда сельскохозяйственные культуры наиболее уязвимы к недостатку воды. Обычно этот период приходится на фазу бутонизации и начальный этап цветения [4], когда в растительном организме наиболее активно формируются элементы будущей продуктивности. Поэтому проблема стабилизации физиологических процессов на данном этапе онтогенетического развития имеет не только теоретическое, но и важное практическое значение, так как способствует нивелированию негативных последствий недостатка почвенной влажности [5]. Несмотря на свою актуальность, данное решение проблемы посредством ризосферных бактерий до сих пор изучено недостаточно полно [6; 7]. Во многом этот факт связан с тем, что отзывчивость того или иного ризобактериального штамма зависит не только от вида, но даже от сорта растения, которое подвергается бактериальной обработке (инокуляции) [8]. Однако создание эффективной ассоциации «бактерия – растения» способствует более полной реализации продуктивного потенциала растений, особенно таких малораспространенных в Нечерноземной зоне культур, как горчица белая [9–11].

Цель нашей работы состояла в определении наиболее эффективных ризобактериальных штаммов в основе отобранных бактериальных препаратов для сохранения продуктивности горчицы белой, выращенной при нормальном увлажнении и почвенной засухе в критический период.

Материалы и методы исследования

Работа проводилась в условиях вегетационных опытов с горчицей белой (*Sinapis alba* L.), образец сорта Рапсодия (к-4278), на территории биостанции РГПУ им. А.И. Герцена. Сортовые семена представлены ВНИИ растениеводства им. Н.И. Вавилова.

Растения выращивались в вегетационном домике по стандартной методике [12] на слабокислой дерново-подзолистой супесчаной почве со средним содержанием гумуса (1,5 %) и основных элементов минерального питания (фосфора и калия). Для гарантированного создания ассоциативного комплекса «растение – бактерия» перед посевом в почву каждого сосуда в качестве общего минерального фона вносилось комплексное удобрение азофоска из расчета $N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}$ д.в. на каждый кг почвы. Продолжительность опыта с момента посева (вторая декада мая) до фазы созревания стручков (первая декада августа) составила 86 дней.

Процедура инокуляции семенного материала происходила непосредственно в процессе его посева в полном соответствии с устоявшимися рекомендациями [13] лаборатории экологии ассоциативных и симбиотических ризобактерий ВНИИСХМ, предоставившей примененные нами бактериальные препараты: Агрофил (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 10), Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), Флавобактерин (*Flavobacterium sp*., штамм 30) и Экстрасол (*Pseudomonas fluorescens*, штамм ПГ-5). Выбор данных штаммов ризобактерий осуществлялся на основе предварительного лабораторного скрининга на проростках горчицы соответствующего сорта.

С момента посева до фазы бутонизации (критический период) все растения выращивались при нормальном увлажнении, которому соответствует 70 % почвенной влажности. При этом для части растений по достижении критического периода была создана десятидневная засуха почвы на уровне 30 %, после чего нормальный уровень влажности почвы был восстановлен и поддерживался до конца вегетации ежедневным поливом.

Изучение морфометрических и физиологических параметров осуществлялось согласно фенологическим фазам развития растений горчицы, после перенесения частью растений кратковременного периода почвенной засухи. Критерии водного баланса (общая оводненность надземных органов, водоудерживающая способность), сухая масса корневой системы и надземных органов, индекс чувствительности к засухе изучались в период цветения [14]. Качество урожая сухой надземной массы определяли биохимическим анализом основных питательных элементов (азота, фосфора и калия) методом мокрого озоления растительного материала. Продуктивность семян оценивалась в период зрелости стручков. При этом отбор данных показателей, являющихся наиболее чувствительными характеристиками засухоустойчивости, осуществлял-

ся на основе специально разработанных рекомендаций [15].

Кроме того, практический интерес для нас также представляла оценка экономического эффекта по изменению дохода у аграрного предприятия (фермерского хозяйства) от процесса предпосевной инокуляции семян семейства капустных препаратами на основе ризобактерий по сравнению с контрольными данными [8]. Понятия «экономический эффект» и «экономическая эффективность» относятся к ключевым экономическим категориям и связаны между собой. Экономический эффект характеризует полезный результат от реализации мероприятия или мероприятий, оцениваемый либо в форме дополнительного дохода, либо в стоимостной оценке экономии ресурса (ресурсов). Экономическая эффективность – это соотношение между полезным результатом (экономическим эффектом) и затратами на ресурсы для его достижения.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ данных вегетационного опыта выявил нарушение ростовых процессов при почвенной засухе. При этом отмечалось, что торможение ростовых процессов снижается при инокуляции семян биопрепаратами. Высота растений (фаза активного цветения), семена которых были обработаны ризобактериальными штаммами, после воздействия почвенной засухи была на 23–27 % больше, чем у необработанных вариантов. Наибольший эффект по этому показателю наблюдался в вариантах с применением препарата Агрофил.

Оптимизация минерального питания растений является путем, повышающим их засухоустойчивость. При этом, согласно некоторым данным [1; 3; 4], взаимодействие растений с ассоциативными ризобактериями способствует улучшению поступления в растительный организм основных питательных элементов, а засуха способствует его нарушению. В наших опытах, несмотря на некоторое снижение в надземных органах горчицы белой после засухи концентрации азота, фосфора и калия, было отмечено, что у инокулированных вариантов этот процесс происходит менее активно (табл. 1).

Обработка семян ассоциативными ризобактериями повышало содержание общего азота в сухом веществе горчицы белой с 1,70 % в контроле до 2,16 % в условиях нормального увлажнения и с 1,29 % до 2,09 % при засухе. Кроме того, в вариантах с использованием штаммов ризосферных бактерий отмечалось усиление поступления фосфора и калия в растения. При этом, несмотря на то что недостаток почвенной влаги оказал негативное действие на минеральное питание растений, в вариантах с инокуляцией семян отмечалось более высокое их содержание по сравнению с контрольными данными (без инокуляции).

Минеральное питание тесно связано со степенью развития подземных органов, а они в свою очередь с засухоустойчивостью. Растения с хорошо развитыми корнями, которые более глубоко проникают в почву, лучше противостоят засухе. Ранее отмечалось [4; 8], что штаммы ассоциативных ризосферных бактерий способны усиливать рост корневой системы, главным образом за счет увеличения боковых корней, и повышать ее поглотительную способность за счет образования большого количества корневых волосков.

Таблица 1

Влияние бактериальных препаратов на накопление основных минеральных элементов в надземных органах растений, %

Вариант	НУ*			ПЗ**			ПЗ/НУ***		
	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
Контроль	1,70	1,0	1,60	1,29	0,81	1,20	0,76	0,81	0,75
Агрофил	1,87	1,42	2,30	1,59	1,22	2,05	0,85	0,86	0,89
Мизорин	2,02	1,42	2,31	1,86	1,21	1,99	0,92	0,85	0,86
Флавобактерин	2,10	1,30	2,63	1,70	1,04	2,21	0,81	0,80	0,84
Экстрасол	1,92	1,26	2,30	1,56	1,24	1,90	0,81	0,98	0,83
$НСР_{0,05}$	0,05	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	-	-	-

Примечание: НУ* – нормальное водоснабжение; ПЗ** – почвенная засуха; ПЗ/НУ* – коэффициент стабильности развития растений.

Согласно нашим исследованием показано, что к концу вегетационного периода инокулированные растения лучше формировали корневую массу, чем контрольные (табл. 2), особенно в варианте с Флавобактерином (158%). Кроме того, отмечалось, что на фоне нормального увлажнения биопрепараты стимулировали накопление сухого вещества в надземной массе в среднем от 7 до 15%. Опытные варианты, подвергнутые засухе в критический период без использования ассоциативных бактерий, снижали сухую массу в полтора раза, а при предпосевной обработке семенного материала это снижение было менее выражено.

Индекс чувствительности к засухе определяется как соотношение сухой массы растений, подвергнутых засухе, к средней сухой массе растений и считается важным показателем засухоустойчивости. Чем ниже этот индекс, тем выше толерантность к засухе.

В наших опытах этот показатель в среднем составлял 0,99. Все опытные варианты характеризовались низким индексом засухоустойчивости по отношению к контролю. Наиболее низким индексом отличались растения, инокулированные Агрофилом (0,81) и Экстрасолом (0,96).

В наших исследованиях растения горчицы белой, семена которых прошли семенную инокуляцию, формировали большее число цветков, стручков и семян, в отличие от необработанного ризобактериями контроля (табл. 3). Причем в условиях нормального увлажнения количество цветков увеличивалась почти в 2,0 раза в вариантах с Флавобактерином и Мизорином. При внесении PGPR в условиях засухи максимальные показатели наблюдались при обработке семян Агрофилом (на 85%). Бактериальные препараты (особенно Мизорин и Флавобактерин) положительно повлияли на процесс стручкования. Недостаток влаги в почве резко ингибировал образование стручков почти в два раза. Однако применение ростостимулирующих штаммов ризобактерий нивелировало негативное действие засухи. Наиболее существенные прибавки отмечались при внесении на семена агробактерий препарата Агрофила.

Аналогичные результаты были получены при оценке действия биопрепаратов на количество и массу семян горчицы на фоне нормального увлажнения и засухи почвы, наступившей в критический период онтогенеза исследованных культурных растений (табл. 4).

Таблица 2

Сухая масса корней и растений в фазу полной спелости в разных условиях увлажнения

Вариант	Масса корней, г/сосуд			Надземная масса растений, г/сосуд			ИЧЗ*
	НУ	ПЗ	ПЗ/НУ	НУ	ПЗ	ПЗ/НУ	
Контроль	5,8	2,6	0,45	14,4	10,2	0,71	1,12
Агрофил	6,5	3,1	0,48	15,4	12,1	0,79	0,81
Мизорин	7,0	3,7	0,53	16,0	11.9	0,74	1,0
Флавобактерин	7,4	4,1	0,55	16,6	11,9	0,72	1,08
Экстрасол	6,9	3,2	0,46	15,6	11,7	0,75	0,96
$НСР_{0,05}$	0,4	0,4	-	1,0	1,1	-	-

Примечание: ИЧЗ* – индекс чувствительности к засухе.

Таблица 3

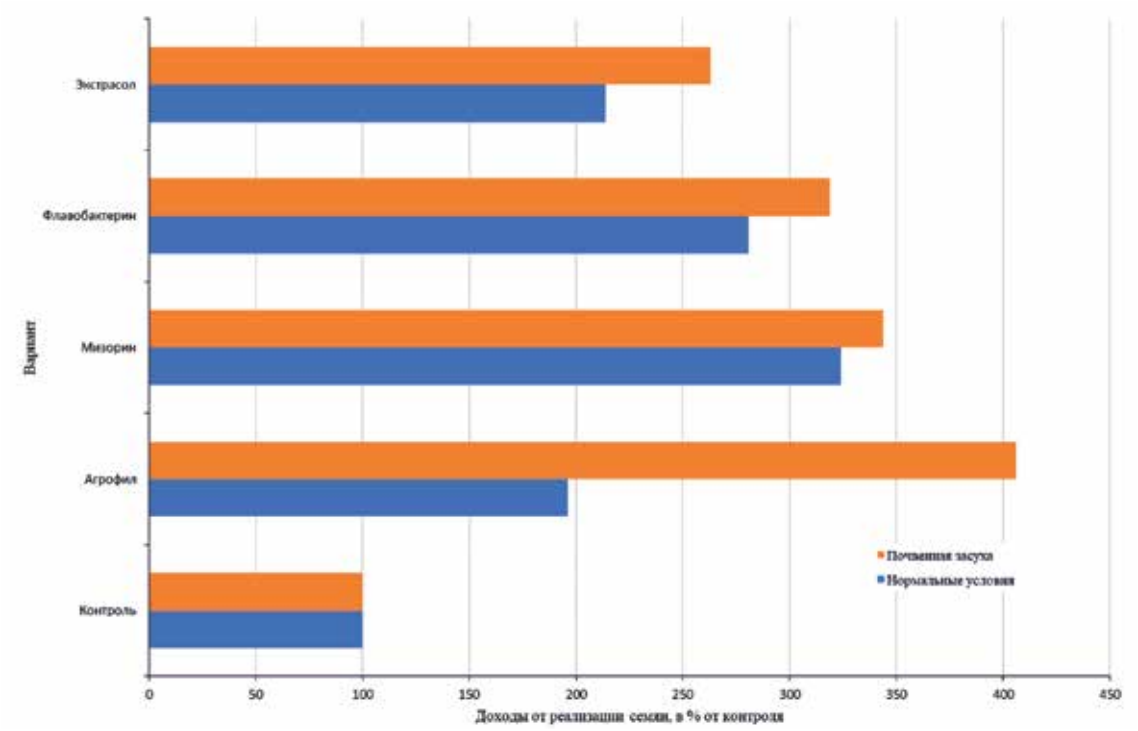
Влияние ризобактерий на формирование цветков и стручков при различном увлажнении

Вариант	Количество цветков, шт./растение			Количество стручков, шт./растение		
	НУ	ПЗ	ПЗ/НУ	НУ	ПЗ	ПЗ/НУ
Контроль	24,9	14,4	0,58	13,3	6,7	0,50
Агрофил	33,1	26,7	0,81	15,1	13,2	0,87
Мизорин	41,9	24,6	0,59	22,2	11,6	0,52
Флавобактерин	40,1	25,2	0,64	20,8	10,7	0,51
Экстрасол	29,2	22,5	0,77	18,8	10,0	0,53
$НСР_{0,05}$	5,5	3,0	-	2,0	0,9	-

Таблица 4

Продуктивность семян при инокуляции ризобактериями в разных условиях влагообеспечения

Вариант	Количество семян, шт./сосуд			Масса семян, г/сосудов		
	НУ	ПЗ	ПЗ/НУ	НУ	ПЗ	ПЗ/НУ
Контроль	492	282	0,57	3,0	0,8	0,27
Агрофил	604	548	0,91	4,8	1,7	0,35
Мизорин	888	524	0,59	5,4	1,5	0,28
Флавобактерин	832	488	0,59	5,0	1,5	0,30
Экстрасол	755	500	0,66	4,2	1,2	0,29
$НСР_{0,05}$	36,4	22,4	-	0,4	0,3	-



Изменение доходов аграрного предприятия от реализации семян горчицы белой в условиях нормального увлажнения (НУ) и почвенной засухи (ПЗ)

В опытных вариантах процесс образования семян у растений особенно интенсивно отмечался в семенной обработке Мизорином (на 80 %) и Флавобактерином (на 69 %) при нормальном увлажнении почвы. Обработанные PGPR растения, которые были подвергнуты периоду водного стресса, снижали число семян в среднем на 13–43 % по отношению к варианту без инокуляции и с засухой. Наиболее выраженный протекторный эффект к засухе по сравнению с остальными биопрепаратами наблюдался от использования Агрофила почти в два раза к контролю. Вес семян у растений от действия недостатка влаги в почве снижался в среднем до 73 %. Использование бактериальных препаратов позволяло снизить негативное влияние водного дефицита влаги и повысить урожай семенной массы на 50–113 %.

Рассмотренные выше факторы влияют и на экономический эффект аграрного предприятия (рисунок).

Показана зависимость доходов аграрного предприятия от увлажненности почвы и инокуляции семян бактериальными препаратами при выращивании горчицы белой на семенную продуктивность. Нормальные условия увлажнения почвы способствовали увеличению дохода в интервале 1,96–3,24. Более сильное влияние от инокуляции семян происходит у растений после почвенной засухи – увеличение дохода в 2,63–4,06 раза.

Выводы

Таким образом, проведенные вегетационные опыты выявили, что отобранные нами бактериальные препараты способствовали стабилизации морфофизиологических процессов растений *Sinapis alba* L. как при нормальном режиме увлажнения почвы, так и после засухи, даже если она совпадает с критическим периодом онтогенеза данной культуры. Штаммы ассоциативных ризосферных бактерий способствуют повышению стимуляции ростовых процессов, сохранению сухой массы корней и надземных органов растений, улучшению минерального питания благодаря поступлению основных элементов (азота, фосфора и калия), увеличению количества семян и их массы. Урожайность инокулированных растений при нормальном увлажнении была на 40–87%, а в условиях почвенной засухи на 50–113% больше, чем контрольных вариантов.

При этом при нормальной обеспеченности почвы влагой лучше себя проявил препарат Мизорин (*Arthrobacter mysorens*, штамм 7), а в стрессовых условиях с кратковременной почвенной засухой наиболее яркое действие отмечено в опытном варианте с Агрофилом (*Agrobacterium radiobacter*, штамм 10).

Список литературы / References

1. Лебедев В.Н. Минеральное питание, рост и продуктивность горчицы белой (*Sinapis alba* L.) при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. Санкт-Петербург – Пушкин, 2008. 18 с.

Lebedev V.N. Mineral nutrition, growth and productivity of white mustard (*Sinapis* alba L.) in seed inoculation with associative rhizobacteria: avtoref. dis. … kand. s.-h. nauk. St. Petersburg – Pushkin, 2008. 18 p. (in Russian).

2 Шапошников А.И., Белимов А.А., Кравченко Л.В., Виванко Д.М. Взаимодействие ризосферных бактерий с растениями: механизмы образования и факторы эффективности ассоциативных симбиозов (обзор) // Сельскохозяйственная биология. 2011. № 3. С. 16–22.

Shaposhnikov A.I., Belimov A.A., Kravchenko L.V., Vivanko D.M. Interaction of rhizosphere bacteria with plants: mechanisms of formation and efficiency factors of associative symbioses (review) // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2011. № 3. P. 16–22 (in Russian).

3. Лебедев В.Н. Реализация продуктивного потенциала растений семейства *Brassicaceae* при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями. Глава 3 // Наука сегодня: теория, практика, инновации: многотомная коллективная монография. В 9-ти томах. Том 6. Ростов-на-Дону: Изд-во Международного исследовательского центра «Научное сотрудничество», 2014. С. 56–77.

Lebedev V.N. Realization of the productive potential of plants of the *Brassicaceae* family when inoculating seeds with associative rhizobacteria. Chapter 3 // Nauka segodnya: teoriya, praktika, innovacii: mnogotomnaya kollektivnaya monografiya. V 9-ti tomah. Tom 6. Rostov-na-Donu: Izd-vo Mezhdunarodnogo issledovatel'skogo centra «Nauchnoe sotrudnichestvo», 2014. P. 56–77 (in Russian).

4. Воробейков Г.А., Бредихин В.Н., Лебедев В.Н., Юргина В.С. Биология критического периода растений в условиях нарушения влажности почвы // Известия РГПУ им. А.И. Герцена. 2015. № 173. С. 49–53.

Vorobejkov G.A., Bredihin V.N., Lebedev V.N., Yurgina V.S. Biology of the critical period of plants under conditions of soil moisture disturbance // Izvestiya RGPU im. A.I. Gercena. 2015. № 173. P. 49–53 (in Russian).

5. Юргина В.С. Морфофизиологические особенности и продуктивность редьки масличной (*Raphanus sativus* L. *var. oleifera* Metzg) при инокуляции семян ассоциативными ризобактериями в условиях нормального увлажнения и почвенной засухи: автореф. дис. … канд. биол. наук. Санкт-Петербург, 2011. 18 с.

Yurgina V.S. Morphophysiological features and productivity of oilseed radish (*Raphanus sativus* L. *var. oleifera* Metzg) under seed inoculation by associative rhizobacteria under conditions of normal moisture and soil drought: avtoref. dis. … kand. biol.nauk. St. Petersburg, 2011. 18 p. (in Russian).

6. Bhattacharyya P.N., Jha D.K. Plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR): emergence in agriculture. World Journal of Microbiology and Biotechnology. 2012. Vol. 28. P. 1327–1350.

7. Fatih C., Murat E., Mehmet S., Arzu C. The Role of Beneficial Microorganisms in the Protection of Plants Growing in Natural Landscape Areas. Siirt. 2017. P. 427–442.

8. Лебедев В.Н., Воробейков Г.А., Ураев Г.А. Повышение продуктивности растений семейства капустных (*Brassicaceae* Burnett.) при инокуляции семян бактериальными препаратами на основе ассоциативных штаммов // Успехи современного естествознания. 201. № 5. С. 41–45.

Lebedev V.N., Vorobejkov G.A., Uraev G.A. Increasing the productivity of plants of the cabbage family (*Brassicaceae* Burnett.) when inoculating seeds with bacterial preparations based on associative strains // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. № 5. P. 41–45 (in Russian).

9. Велкова Н.И., Наумкин В.П. Экономическая и биоэнергетическая эффективность возделывания горчицы белой в условиях ЦЧР // Зернобобовые и крупяные культуры. 2017. № 3 (23). С. 87–92.

Velkova N.I., Naumkin V.P. Economic and bioenergetic efficiency of white mustard cultivation in the conditions of the CDR // Zernobobovye i krupyanye kul'tury. 2017. № 3 (23). P. 87–92 (in Russian).

10. Трубина В.С., Шипиевская Е.Ю., Горлова Л.А., Сердюк О.А. Горчица белая (*Sinapis alba* L.) – перспективы и возможности использования сортов селекции ВНИИМК // X всероссийская конференция молодых учёных (Краснодар, 26–30 ноября 2016 г.). Краснодар: КубГАУ им. И.Т. Трубилина, 2017. С. 906–907.

Trubina V.S., Shipievskaya E.Yu., Gorlova L.A., Serdyuk O.A. White mustard (*Sinapis alba* L.) – prospects and possibilities of using VNIIMK breeding varieties // H vserossijskaya konferenciya molodyh uchyonyh (Krasnodar, 26–30 noyabrya 2016 g.). Krasnodar: KubGAU im. I.T. Trubilina, 2017. P. 906–907 (in Russian).

11. Воловик В.Т. Горчица белая – значение, использование // Адаптивное кормопроизводство. 2020. № 2. С. 41–67.

Volovik V.T. White mustard – meaning, usage // Adaptivnoe kormoproizvodstvo. 2020. № 2. P. 41–67 (in Russian).

12. Нарушева Е.А. Методы исследований в агрохимии: учебное пособие. Саратов: ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ», 2014. 90 с.

Narusheva E.A. Research methods in agrochemistry: a textbook. Saratov FGBOU VPO «Saratovskij GAU, 2014. 90 p. (in Russian).

13. Завалин А.А., Кожемяков А.П. Новые технологии производства и применения биопрепаратов комплексного действия. СПб.: Химиздат, 2010. 64 с.

Zavalin A.A., Kozhemyakov A.P. New technologies for the production and application of complex biological products. SPb.: Himizdat, 2010. 64 p. (in Russian).

14. Юртаева Н.М. Малый практикум по физиологии растений: учеб. пособие для вузов. Н. Новгород: ННГАСУ, 2015. 112 с.

Yurtaeva N.M. Small workshop on plant physiology: textbook. manual for universities. N. Novgorod: NNGASU, 2015. 112 p. (in Russian).

15. Гунес А., Инал А., Адак М.С., Багци Е.Г., Цицек Н., Ераслан Ф. Влияние засухи до и после зацветания растений нута на ряд физиологических параметров – возможных критериев засухоустойчивости // Физиология растений. 2008. Т. 55. № 1. С. 64–72.

Gunes A., Inal A., Adak M.S., Bagci E.G., Cicek N., Eraslan F. The effect of drought before and after chickpea flowering on a number of physiological parameters-possible criteria for drought resistance // Fiziologiya rastenij. 2008. Vol. 55. № 1. P. 64–72 (in Russian).

УДК 502.132(470.54-25)

ОРГАНИЗАЦИЯ МОНИТОРИНГА НАСАЖДЕНИЙ В ЛЕСОПАРКАХ ГОРОДА ЕКАТЕРИНБУРГА С ПРИМЕНЕНИЕМ МАТЕМАТИКО-СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ

Суслов А.В., Нагимов З.Я., Корелина А.А.

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

Статья посвящена обоснованию возможности использования для мониторинга насаждений в лесопарках математико-статистических методов, на которых базируется государственная инвентаризация лесов. С использованием материалов последнего лесоустройства по Единой схеме стратификации лесов Российской Федерации в лесопарках города выделены 29 лесных страт. Установлено, что на долю четырёх основных лесных страт (4, 10, 11 и 37) приходится более 62% от общей площади лесопарков. Лесные страты существенно различаются по средней продуктивности и в меньшей степени – по изменчивости запасов. Согласно имеющимся в специальной литературе критериям выделенные в лесопарках лесные страты по запасам древесины относятся к однородным и очень однородным лесным массивам. Исследуемые лесопарки отличаются между собой как по средней продуктивности отдельно взятых страт, так и по изменчивости запасов их насаждений. Для выделенных страт по методике государственной инвентаризации лесов определено необходимое количество пробных площадей для организации в них оценочных и мониторинговых исследований. В соответствии с алгоритмом расчёта итоговое количество пробных площадей по отдельным стратам зависит от их однородности по запасам. Поэтому страты из-за разницы в площадях существенно различаются по плотности территориального размещения пробных площадей. Корректное распределение общего количества пробных площадей страты по отдельным лесопаркам возможно на основе удельного веса лесопарков по площади данной страты. Сделан вывод, что для лесопарков актуальна более дифференцированная стратификация насаждений. Выделяемые по Единой схеме страты в лесопарках необходимо разделить на более однородные части (подстраты) с учётом показателей, определяющих жизненное состояние и экологические функции насаждений. Такими показателями, безусловно, являются полнота, возраст и порода (преобладающая порода).

Ключевые слова: лесопарк, стратификация, лесные страты, изменчивость запаса, пробная площадь

ORGANIZATION OF MONITORING OF PLANTINGS IN FOREST PARKS OF THE CITY OF YEKATERINBURG WITH THE USE OF MATHEMATICAL AND STATISTICAL METHODS

Suslov A.V., Nagimov Z.Ya., Korelina A.A.

Ural State Forestry University, Yekaterinburg, e-mail: suslovav@m.usfeu.ru

The article is devoted to the substantiation of the possibility of using mathematical and statistical methods for monitoring plantings in forest parks, on which the state forest inventory is based. Using the materials of the latest forest management according to the Unified Scheme of forest stratification of the Russian Federation, 29 forest strata were identified in the city's forest parks. It is established that the four main forest strata (4, 10, 11 and 37) account for more than 62% of the total area of forest parks. Forest strata differ significantly in average productivity and, to a lesser extent, in stock variability. According to the criteria available in the special literature, the forest countries allocated in forest parks by wood reserves belong to homogeneous and very homogeneous woodlands. The studied forest parks differ from each other both in the average productivity of individual strata, and in the variability of the stocks of their plantations. For the selected strata, according to the methodology of the state forest inventory, the necessary number of test areas for the organization of evaluation and monitoring studies in them is determined. In accordance with the calculation algorithm, the total number of test areas for individual strata depends on their uniformity in reserves. Therefore, the strata, due to the difference in areas, differ significantly in the density of the territorial placement of the sample areas. The correct distribution of the total number of sample areas of the stratum by individual forest parks is possible on the basis of the specific weight of forest parks in the area of this stratum. It is concluded that a more differentiated stratification of plantings is relevant for forest parks. The strata allocated according to a single scheme in forest parks should be divided into more homogeneous parts (sub-strata), taking into account the indicators that determine the vital state and ecological functions of plantings. Such indicators, of course, are fullness, age and breed (the predominant breed).

Keywords: forest park, stratification, forest strata, reserve variability, trial area

Лесопарки муниципального образования (МО) «город Екатеринбург» – важнейшая часть экологического каркаса города. Они, выполняя разнообразные экологические и социальные функции, формируют условия жизни человека в мегаполисе. Полезные функции лесных насаждений определяются их количественными и качественными характеристиками. Поэтому эффективность ведения хозяйства в лесопарках города во многом зависит от степени изученности лесоводственно-таксационных и ландшафтных показателей насаждений, их устойчивости и жизненного состояния.

В нашей стране основные сведения о лесах получают при лесоустройстве, которое

проводится с периодичностью 10 и более лет. Городские леса находятся под постоянным влиянием различных антропогенных факторов, которые определяют специфические особенности роста, ухудшают состояние, снижают устойчивость насаждений. Поэтому здесь материалы лесоустройства, получаемые с определенной периодичностью и характеризующиеся невысокой точностью, не могут являться надежной основой для осуществления лесохозяйственных и лесопарковых мероприятий.

В лесопарках актуальной задачей является организация постоянного мониторинга за ростом и состоянием насаждений. На наш взгляд, перспективным подходом при выполнении этой задачи может являться применение математико-статистическим методов, на которых базируется государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) [1].

В настоящее время при проведении ГИЛ в России используется метод случайного размещения пробных площадей, что, по работам некоторых исследователей, является неоптимальным. Преимущества регулярного размещения постоянных кластеров по территории заключаются в более полном покрытии территории [2]. Применение математико-статистических методов при изучении лесов и организации мониторинга требует специальных исследований.

Цель исследования: оценка возможности применения методических рекомендаций по проведению ГИЛ для организации мониторинга насаждений в лесопарках, формирование (выделение) лесных страт и определение количества пробных площадей в них с соблюдением требований к случайной выборке.

Непрерывный мониторинг за лесными насаждениями лесопарков в первую очередь необходим для своевременного выявления и прогнозирования развития процессов, негативно воздействующих на лесные экосистемы и оценки изменений состояния лесов под воздействием антропогенных факторов.

Материалы и методы исследования

В основу исследований положены методические рекомендации по проведению ГИЛ [1]. В основе ГИЛ лежат математико-статистические методы исследования, основанные на теории вероятностей и законах математической статистики [3, 4]. При этом под генеральной совокупностью понимают все леса, расположенные на территории объекта исследований, а под выборочной – статистически репрезентативную часть генеральной совокупности, при оценке которой получают необходимую информацию обо всей генеральной совокупности. Метод основан на рациональном сочетании случайной и систематической выборок.

Выборочную совокупность представляют пробные площади. Для получения статистически достоверных результатов по генеральной совокупности с заданной точностью они закладываются с учётом специальных требований к объему выборочной совокупности, случайности ее формирования и репрезентативности.

При проведении ГИЛ для уменьшения количества закладываемых пробных площадей производится стратификация исследуемой территории путем группировки лесных насаждений в более однородные группы (лесные страты). При этом исходят из того, что в выделяемых стратах изменчивость запасов должна быть достоверно ниже, чем в генеральной совокупности. Для стратификации используются таксационные характеристики выделов последнего лесоустройства. При выделении страт применяется Единая схема стратификации лесов Российской Федерации. Лесные страты формируются с учётом следующих характеристик (критериев стратификации): породы (группы пород), группы возраста и уровня производительности (классов бонитета) насаждений. В зависимости от этих характеристик Методическими рекомендациями предусмотрено выделение 49 страт [1].

В методических рекомендациях по проведению ГИЛ предусмотрено определение количества пробных площадей по объекту работ на основе изменчивости запасов и установленной целевой точности определения общего запаса по данному объекту с использованием следующего уравнения:

$$N = \frac{S^2 * t^2}{(x*g)^2}, \qquad (1)$$

где N – количество пробных площадей по страте в пределах лесопарков, шт.;

s^2 – дисперсия запасов древесины;

t – значение критерия Стьюдента (1,96 с вероятностью 0,95);

x – среднее значение запаса древесины, $м^3$/га;

g – целевая точность (0…1).

Среднее значение (x) рассчитывается по формуле

$$x = \Sigma x_i * a_i / \Sigma a_i, \qquad (2)$$

где x_i – запас выдела на гектаре, $м^3$/га;

a_i – площадь выдела, га.

Дисперсия запасов (s^2) при простой выборке определяется по формуле

$$s^2 = 1 / n - 1 * \Sigma (x_i - x)^2 * w_i, \quad (3)$$

где n – количество выделов;

w_i – вес выдела.

Вес выдела (w_i) устанавливается по соотношению площадей выделов по формуле

$$w_i = a_i * n / \Sigma a_i. \quad (4)$$

В нашей работе количество пробных площадей определялось дифференцированно по выделенным стратам.

Объектом исследований явились насаждения 15 лесопарков, находящихся в областной собственности. Они представляют собой так называемое «зелёное кольцо» города и занимают площадь 12094,8 га. Лесопарки существенно различаются по площади, таксационной структуре произрастающих на их территории лесных насаждений и уровню техногенных нагрузок [5].

Результаты исследования и их обсуждение

В основу исследований положены материалы лесоустройства 2008 г. Площади всех 15 лесопарков по данным лесоустройства приведены в табл. 1.

Данные табл. 1 свидетельствуют, что лесопарки МО «город Екатеринбург» существенно различаются по площади. Самым крупным является лесопарк Южный. Его площадь составляет 2167 га (17,9% от общей площади лесопарков города). В то же время площадь Мало-Истокского лесопарка занимает всего 11 га (0,1%).

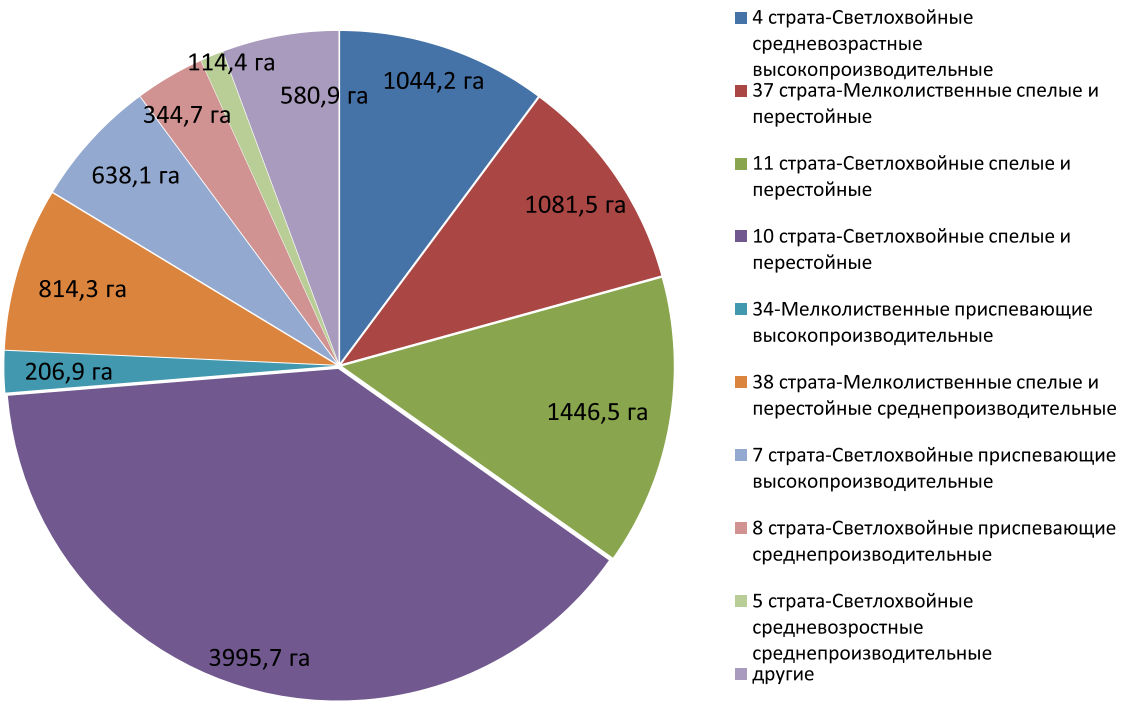
В соответствии с Единой схемой стратификации лесов Российской федерации лесные насаждения лесопарков корректно группируются в 29 лесных страт. Причём наибольшая площадь (3995,7 га) приходится на 10 лесную страту, которая объединяет светлохвойные спелые и перестойные высокопроизводительные (I_a–II классов бонитета) насаждения. Второе место по площади (1446,5 га) занимает 11 страта, в которую сгруппированы светлохвойные спелые и перестойные среднепроизводительные (III–V классов бонитета) насаждения. Примерно одинаковыми площадями характеризуются 4 (1044,2 га) и 37 (1081,5 га) страты. Причем 4 страта объединяет светлохвойные средневозрастные высокопроизводительные насаждения, а 37 – мелколиственные спелые и перестойные высокопроизводительные. Общая площадь остальных 25 выделенных в лесопарках города лесных страт составляет 4818,1 га. Более детально распределение площадей насаждений лесопарков по лесным стратам показано на рисунке.

В целом приведённые материалы свидетельствуют, что в лесопарках города по площади доминируют хвойные виды, а среди них сосна. Преобладают насаждения высокой производительности (2 класс бонитета и выше). Возрастная структура лесопарков далека от оптимальной. Она характеризуется существенным накоплением спелых и перестойных насаждений. Данное обстоятельство косвенно свидетельствует о низкой устойчивости лесопарковых насаждений.

Таблица 1

Площади лесопарков МО «город Екатеринбург»

Лесопарк	Площадь	
	га	%
Железнодорожный	516	4,3
Калиновский	1099,4	9,1
Карасье-Озерский	517,8	4,3
Им. лесоводов России	882,6	7,3
Мало-Истокский	11	0,1
Московский	336	2,8
Нижне-Исетский	1586,4	13,1
Оброшинский	642,5	5,3
Санаторный	498,1	4,1
Уктусский	415	3,4
Лесной парк культуры и отдыха им. Маяковского	97	0,8
Шарташский	726	6
Шувакишский	2012	16,6
Юго-западный	588	4,9
Южный	2167	17,9
Итого	12094,8	100



Распределение площадей насаждений лесопарков по лесным стратам

Ход исследований по определению количества пробных площадей рассмотрим на примере четырёх основных лесных страт (4, 10, 11 и 37), на долю которых приходится более 62 % от общей площади лесопарков. С этой целью по каждой из страт с использованием повыделенной базы лесоустроительных данных проводилась оценка изменчивости запасов насаждений. Основные статистические показатели распределения запасов насаждений в указанных лесных стратах представлены в табл. 2.

Данные табл. 2 свидетельствуют, что наиболее продуктивными являются насаждения 10 страты. В данной страте максимальный запас составляет 590 м^3, а средний – 375 м^3 Высокими запасами отличаются и насаждения 4 и 11 страт. В 37 страте запасы не столь значительны, что вполне логично. В этой страте преобладают березовые насаждения.

Наибольшая изменчивость запасов насаждений характерна для 37 страты (коэффициент вариации составляет 27,8 %), а наименьшая – для 10 (19,9 %). В целом следует признать изменчивость запасов во всех рассматриваемых стратах невысокой. В специальной литературе лесные массивы, в которых вариация запасов насаждений менее 35 %, рекомендуют относить к очень однородным. По величине коэффициента вариации запасов выделяют 5 групп лесных массивов: очень однородные (коэффициент вариации 35 % и менее), однородные (36–55 %), средние по однородности (56–75 %), неоднородные (76–95 %) и очень неоднородные (96 % и более).

Лесопарки на территории МО «город Екатеринбург» территориально обособлены. Поэтому представляет интерес анализ однородности выделяемых страт (по запасам насаждений) в пределах конкретных лесопарков. Такие исследования нами проведены на примере пяти лесопарков (Железнодорожного, Калиновского, имени лесоводов России, Московского и Шарташского), расположенных в разных частях города и существенно отличающихся условиями произрастания насаждений. Результаты исследований представлены в табл. 3.

Анализ приведённых в табл. 3 данных позволяет отметить следующее. По всем четырём лесным стратам наибольшей продуктивностью характеризуются насаждения в Московском лесопарке. Насаждения 4 и 10 страт наименьшие запасы имеют в Калиновском лесопарке, а 11 и 37 – в Шарташском. Обращают на себя вни-

мание существенные различия между лесопарками по запасам насаждений одних и тех же страт. Так, по четвертой страте средний запас насаждений в Московском лесопарке (407 м^3) на 153 м^3 больше, чем в Калиновском (254 м^3). Различия между этими лесопарками по запасам насаждений 10 страты составляют 121 м^3. При сопоставлении средних запасов насаждений Московского и Шарташского лесопарков по 11 и 37 стратам получаются примерно такие же результаты. На наш взгляд, такое положение главным образом объясняется различиями лесопарков по средней полноте насаждений.

Анализ коэффициентов вариации, приведённых в табл. 3, показывает, что однородность лесных страт по запасам насаждений существенно различается по исследуемым лесопаркам. Наиболее однородны выделенные лесные страты в Железнодорожном и Московском лесопарках, а наименее – в Калиновском. В целом приведённые материалы свидетельствуют в пользу расчёта количества пробных площадей по каждой страте отдельно для каждого лесопарка.

Таблица 2

Статистические показатели распределения запасов в лесных стратах

Основные статистические показатели	Страты			
	4 страта	10 страта	11 страта	37 страта
Среднее значение запаса на 1 га, м^3	346	375	295	319
Стандартная ошибка	3,5	2,2	2,9	2,6
Медиана	330	360	290	220
Мода	300	400	290	250
Стандартное отклонение	84,6	73,1	70,8	60,9
Дисперсия выборки	7160	5355	5009	3720
Минимальное значение запаса на 1 га	110	140	100	50
Максимальное значение запаса на 1 га	550	590	500	380
Коэффициент вариации,%	25,9	19,9	25,4	27,8

Таблица 3

Статистические показатели распределения запасов в лесных стратах в разрезе лесопарков

Страта	Лесопарк	Среднее значение	Дисперсия выборки	Минимальное значение	Максимальное значение	Коэффициент вариации,%
4	Железнодорожный	347	6019	210	470	22,3
	Калиновский	254	14460	110	1150	47,4
	Лесоводов России	303	11905	110	460	36,1
	Московский	407	5338	250	500	17,9
	Шарташский	303	9767	140	510	32,7
10	Железнодорожный	406	3048	280	530	13,6
	Калиновский	289	9941	140	520	34,5
	Лесоводов России	387	4949	250	590	18,2
	Московский	410	4251	250	540	15,9
	Шарташский	380	4311	200	500	17,3
11	Железнодорожный	324	1728	240	350	12,8
	Калиновский	285	8772	110	500	32,8
	Лесоводов России	387	7279	110	530	22,1
	Московский	391	5982	150	530	19,8
	Шарташский	272	5463	120	420	27,2
37	Железнодорожный	256	3242	80	340	22,3
	Калиновский	279	10975	80	520	37,6
	Лесоводов России	350	10438	70	510	29,2
	Московский	359	7486	130	540	24,1
	Шарташский	218	7157	70	420	38,8

Таблица 4

Характеристика лесных страт и расчётное количество пробных площадей в них

Страты	Площадь страт, га	Средний запас, м^3	Количество выделов в страте	Дисперсия	Количество пробных площадей
Светлохвойные средневозрастные высокопроизводительные	1044,2	346	315	7628	24
Светлохвойные спелые и перестойные высокопроизводительные	3995,7	375	389	5926	16
Светлохвойные спелые и перестойные среднепроизводительные	1442	295	358	5009	22
Мелколиственные спелые и перестойные высокопроизводительные	1081,5	319	244	3720	26
Мелколиственные приспевающие высокопроизводительные	206,9	193	132	3100	32
Мелколиственные спелые и перестойные средневозрастные	814,3	216	102	12761	103
Светлохвойные приспевающие высокопроизводительные	638,1	366	255	3853	11
Светлохвойные приспевающие среднепроизводительные	344,7	250	195	5944	37
Светлохвойные средневозрастные среднепроизводительные	114,4	232	83	4558	33
Всего	9681,8	–	–	–	304

На данном этапе для определения объёма работ и планирования эксперимента мы ограничились определением необходимого количества пробных *площадей в целом для выделенных в лесопарках города лесных страт. Расчёты проводились по изложенной выше методике с использованием формул (1)–(4).* Целевая точность определения запаса принята равной 10 %. Использованные при расчётах показатели и итоговое количество пробных площадей по основным лесным стратам приведены в табл. 4. Анализ данных табл. 2 и 4 показывает, что количество пробных площадей по отдельным стратам зависит от их однородности по запасам. Так, для четвёртой страты (светлохвойные средневозрастные высокопроизводительные насаждения) при изменчивости запаса 25,9 % расчётное количество пробных площадей составляет 24, а для 10 страты (светлохвойные спелые и перестойные высокопроизводительные насаждения) при изменчивости запаса 19,9 % – всего 16. Причем площадь 4 страты почти в четыре раза меньше, чем 10. Лесные страты существенно различаются по средней площади выделов (по стратам она колеблется от 1,4 до 10,3 га), а также по плотности размещения пробных площадей. Например, в 4 страте одна пробная площадь приходится на 43,5 га, в 10 – на 249,7 га, в 11 – на 65,5 га, а в 37 – на 41,6 га. Такие результаты вполне предсказуемы, когда в алгоритме расчёта пробных площадей не учитывается площадь объекта (страты).

Лесопарки города существенно различаются не только по естественным условиям произрастания насаждений, но и по уровню антропогенных нагрузок. Это обстоятельство требует корректного распределения рассчитанного для той или иной страты количества пробных площадей между лесопарками. Наиболее простым вариантом решения этой задачи является разделение общего количества пробных площадей страты на основе удельного веса лесопарков по площади данной страты. В этом случае количество пробных площадей по страте в пределах конкретного лесопарка можно определить по формуле

$$N_i = N_c * S_{ci} / S_c, \qquad (5)$$

где N_i – количество пробных площадей по страте в пределах лесопарка, шт.;

N_c – общее количество пробных площадей по страте в объекте исследований, шт.;

S_{ci} – площадь страты в пределах лесопарка, га;

S_c – площадь страты в объекте исследования, га.

Распределение пробных площадей основных лесных страт по пяти лесопаркам показано в табл. 5.

Таблица 5

Распределение пробных площадей лесных страт по лесопаркам

№ п/п	Шифр страты	Количество пробных площадей					
		общее	в том числе по лесопаркам				
			Железнодорожный	Калиновский	Лесоводов России	Московский	Шарташский
1	4	24	6	5	3	7	3
2	10	16	3	1	6	1	5
3	11	22	2	10	1	2	7
4	37	26	12	2	3	7	2

Заключение

В лесопарках, находящихся под постоянным антропогенным прессом, чрезвычайно актуальной задачей является организация постоянного мониторинга за ростом и состоянием насаждений. Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что перспективным подходом при выполнении этой задачи является применение математико-статистических методов, положенных в основу государственной инвентаризации лесов. Выделение лесных страт в соответствии с Единой схемой стратификации лесов Российской Федерации и математико-статистический подход в определении количества пробных площадей и территориальном их размещении позволят проводить мониторинговые и оценочные исследования в лесопарках по единой (сопоставимой) схеме с государственной инвентаризацией лесов. Однако, учитывая роль, функции и месторасположение лесопарков в существующую методику проведения ГИЛ, могут быть внесены изменения, уточняющие и детализирующие мониторинговые исследования, при сохранении основополагающих подходов государственного мероприятия. В частности, для лесопарков актуальна более дифференцированная стратификация насаждений, которую следует проводить с учётом страт, представленных в Единой схеме. Указанные страты в лесопарках необходимо разделить на более однородные части (подстраты) с учётом показателей, определяющих жизненное состояние и экологические функции насаждений. Такими показателями, безусловно, являются полнота, возраст и порода (преобладающая порода). В настоящее время в Единой схеме стратификации лесов Российской Федерации первый показатель не учитывается, а учёт второго производится опосредованно через группы возраста. При стратификации насаждений лесопарков их группировка по возрасту, на наш взгляд, должна проводиться более дифференцированно – по классам возраста. Включение в страту насаждений разных пород (например, сосны, лиственницы и кедра) при работе в лесопарках также не совсем корректно. Здесь более обоснованной является стратификация насаждений по преобладающим породам.

Список литературы / References

1. Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов. Утверждены приказом Рослесхоза от 10.11.2011 № 472. [Электронный ресурс]. URL: http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/199 (дата обращения: 01.06.2021).

Methodological recommendations for the state forest inventory. Approved by the order of the Federal Forestry Agency of 10.11.2011 No. 472. [Electronic resource]. URL: http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/199 (accessed: 01.06.2021). (in Russian).

2. Алексеев А.С. Статистическая инвентаризация лесов в России и современная государственная инвентаризация лесов // Лесной журнал. 2013. № 4. С. 122–124.

Alekseev A.S. Statistical inventory of forests in Russia and modern state inventory of forests // Lesnoy zhurnal. 2013. № 4. P. 122–124. (in Russian).

3. Красиков И.И. Закономерности структуры лесных массивов восточного склона Западного Саяна: автореф. дис. … канд. сельхоз. наук. Красноярск, 2010. 22 с.

Krasikov I.I. Regularities of the structure of forest massifs of the eastern slope of the Western Sayan: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. Krasnoyarsk, 2010. 22 p. (in Russian).

4. Черных В.Л., Вдовин Е.С., Ворожцов Д.М. Совершенствование методики выборочной таксации запаса древостоев на примере Учебно-опытного лесничества республики Марий Эл // Вестник МарГТУ. 2011. № 1. С. 3–10.

Chernykh V.L., Vdovin E.S., Vorozhtsov D.M., Improving the methodology of selective taxation of the stock of forest stands on the example of the Educational and Experimental forestry of the Republic of Mari El // Vestnik MarGTU. 2011. № . 1. P. 3–10. (in Russian).

5. Метелев Д.В. Структура и динамика городских лесов муниципального образования «город Екатеринбург» и совершенствование организации и ведения хозяйства в них: автореф. дис. … канд. сельхоз. наук. Екатеринбург, 2020. 20 с.

Metelev D.V. Structure and dynamics of urban forests of the municipal formation «the city of Yekaterinburg» and improvement of the organization and management of the economy in them: avtoref. dis. ...kand. s. – kh. nauk. Yekaterinburg, 2020. 20 p. (in Russian).

СТАТЬИ

УДК 544.72

СОРБЦИОННОЕ ИЗВЛЕЧЕНИЕ ИОНОВ ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РАСТВОРОВ КАТИОНИТОМ КУ-2-8 И ЕГО ЗАРУБЕЖНЫМИ АНАЛОГАМИ

Авфукова Л.С., Белова Т.П.

Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: nigtc@nigtc.ru

Данная статья посвящена анализу литературных данных по сорбционному извлечению ионов цветных металлов из многокомпонентных растворов универсальным сульфокатионитом КУ-2-8 (Россия) и его зарубежными аналогами. Ионный обмен широко применяется в технологии химического разделения, извлечения, удаления, концентрирования ионов цветных, благородных и редких металлов. Это связано с распространением методов, использующих различные ионообменные смолы, которые незаменимы во многих областях химической промышленности. В мире производится большое количество ионообменников, имеющих матрицу, представляющую собой сополимер стирола и дивинилбензола. В качестве функциональных групп в смоле присутствуют сульфогруппы $–SO_3H$. В Германии это Lewatit S-100 (Lewatit Monoplus S-100), в Англии – Purolite C-100, в США – Amberlite IR-120, Amberjet 1200, Dowex HCR-S/S, Dowex Marathon C. В статье представлена сравнительная характеристика сильнокислотных сульфокатионитов и показана сорбционная активность катионитов по отношению к ионам цветных металлов, содержащихся в многокомпонентных растворах. Показано, что сульфокатиониты широко применяются для извлечения цветных металлов из сточных вод металлургических предприятий различного происхождения: шахтных, рудничных, карьерных, подотвальных. Представлены данные по сорбционной переработке и концентрированию продуктивных растворов бактериально-химического выщелачивания кобальт-медно-никелевых руд и кислотного выщелачивания руд. В статье содержатся данные по сорбции ионов цветных металлов из сульфатных, хлоридных, аммиакатных и фосфатных растворов. Установлено, что катионит КУ-2-8 и его зарубежные аналоги могут быть широко использованы для извлечения и концентрирования ионов цветных металлов из растворов различного состава. К достоинствам можно отнести высокую скорость обмена, в связи с доступностью сульфогрупп, к недостаткам – низкую избирательность сорбции.

Ключевые слова: многокомпонентные растворы, обменная емкость, сорбция, сульфокатионит, цветные металлы

SORPTION OF NON-FERROUS METALS IONS RECOVERY FROM MULTICOMPONENT SOLUTIONS BY KU-2-8 CATION EXCHANGER AND ITS FOREIGN ANALOGUES

Avfukova L.S., Belova T.P.

Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: nigtc@nigtc.ru

This article dedicates of analysis of literature data for sorption recovery of non-ferrous ions from multicomponent solution by universal KU-2-8 sulfonic cation exchanger (Russia) and its foreign analogues. Ion exchange is widely used on technology chemical separation, recovery, removal, concentration of non-ferrous metals, precious and rare metals. This is due to proliferation of methods using various ion exchange resins, which are indispensable in many fields of chemical industry. A large amount of ion exchangers having of matrix that is a styrene copolymer and divinylbenzene produced in the world. The $–SO_3H$ sulphonic-acid group are present as functional groups in the resin. In Germany is это Lewatit S-100 (Lewatit Monoplus S-100), in England is Purolite C-100, in USA are Amberlite IR-120, Amberjet 1200, Dowex HCR-S/S and Dowex Marathon C. The article presents a comparative analysis of strongly acidic sulfonic cation exchangers and shows the sorption activity of cation exchangers with respect to non-ferrous metal ions contained in multicomponent solutions. It was shown that sulfonic cation exchangers are widely used for recovery of non-ferrous metals from waste water from metallurgical enterprises of various origins: shaft, ore, quarry, underspoil. The data on sorption processing and concentration of productive solutions of bacterial-chemical leaching of cobalt-copper-nickel ores and acid leaching of ores it was presents. The data on sorption of non-ferrous metals from sulfate, chloride, ammoniates and phosphate solutions contained in article. It was established that KU-2-8 cation exchanger and its foreign analogues can be widely used for recovery and concentration of non-ferrous metal ions from solutions of various compositions. The advantages include a high exchange rate, due to the availability of sulfo groups and the disadvantages of low sorption selectivity.

Keywords: multicomponent solutions, exchange capacity, sorption, sulfonic cation exchangers, non-ferrous metals

Цветные металлы играют исключительно важную роль в жизни современного человека. Спрос на цветные металлы имеет устойчивую тенденцию к возрастанию. Эти металлы широко используют в производстве сталей и сплавов. Никель применяют при легировании сталей, для достижения улучшенных прочностных и жаропрочностных характеристик. Никель и кобальт являются важными стратегическими металлами. Медь нашла широкое применение в энергетической промышленности благо-

даря высоким показателям тепло- и электропроводности. Запасы никеля сосредоточены в основном в латеритных и сульфидных рудах. В сульфидных рудах наряду с никелем содержатся медь и кобальт. Россия занимает четвертое место в мире по запасам никеля. Переработка кобальт-медно-никелевых руд ведется пирометаллургическими и гидрометаллургическими методами. При этом важная роль отводится полноте извлечения металлов из рудного и техногенного сырья в готовые продукты и сохранению экологии в районах горно-перерабатывающих предприятий. В настоящий момент вопрос загрязнения биосферы в районах металлургических предприятий остается не решенным. Современная металлургия стремится к превращению производства цветных металлов в безотходное или малоотходное.

Гидрометаллургические способы имеют существенное значение в совершенствовании методов производства цветных металлов на современном уровне развития технологии. Эффективность и область применения гидрометаллургических процессов постоянно возрастают. Это заметно по разработке и внедрению в последние годы новых сорбционных методов извлечения, удаления, концентрирования и разделения металлов и их соединений, процессов осаждения и выделения металлов из растворов. В результате процессов выщелачивания формируются растворы различного состава: продуктивные растворы, промывные растворы и сточные воды. Концентрация металлов в растворах колеблется в широких пределах [1–3].

Ионный обмен широко применяется в технологии химического разделения, извлечения, удаления, концентрирования ионов цветных металлов. Это связано с распространением методов, использующих различные ионообменные смолы, которые незаменимы во многих областях химической промышленности. Можно извлекать и обогащать тяжелые, благородные и редкие металлы [4; 5] из сложных технологических растворов с высоким выходом при использовании ионообменных сорбентов.

Для разделения, выделения и удаления цветных металлов из растворов различного состава перспективной представляется сорбция с использованием сильнокислотного сульфокатионита КУ-2-8 и его зарубежных аналогов. Однако процесс сорбции ионов цветных металлов катионитом КУ-2-8 из многокомпонентных растворов остается недостаточно изученным.

Целью настоящей работы является обобщение данных, опубликованных в отечественной и зарубежной литературе, по сорбции цветных металлов сульфокатионитом КУ-2-8 и его аналогами.

Сульфокатиониты производят во многих странах: Германии, Англии, США, Италии, Венгрии, Китае и др. В России производят катионит КУ-2-8. Сульфокатиониты разных производителей имеют практически одинаковую статическую обменную емкость (СОЕ), однако динамическая обменная емкость (ДОЕ) у отдельных их марок может различаться до 100 мг-экв/см^3. В таблице представлена сравнительная характеристика сильнокислотного сульфокатионита КУ-2-8 и некоторых его зарубежных аналогов.

Большое количество публикаций посвящено очистке сточных и промывных вод предприятий, в которых цветные металлы присутствуют в концентрациях, многократно превышающих значения ПДК. Первостепенная роль здесь принадлежит сорбционным методам. Катионит КУ-2-8 используют в двух формах: в водородной (H^+-форме) и натриевой (Na^+-форме). Сорбцию проводят из сульфатных [8; 9], хлоридных [10], фосфатных [11], аммиакатных [12] и других растворов. Описаны [13] процессы сорбции и десорбции ионов Cu^{2+}, Zn^{2+} и Ni^{2+} на катионите КУ-2-8 в H^+-форме из сульфатных модельных растворов, которые имитируют сточные и промывные воды металлообрабатывающих предприятий. Наибольшее значение общей обменной динамической емкости ионообменника было достигнуто при пропускании через сорбционную колонну модельных растворов концентрацией 0,02 н и составило в среднем 2140 мг-экв/дм^3. Наиболее эффективной оказалась десорбция ионов тяжелых металлов 10%-ной серной кислотой. После проведения исследований была предложена технологическая схема очистки промывной воды от ионов тяжелых металлов, в том числе меди, цинка и никеля.

В работе [14] авторы изучали адсорбцию ионов тяжелых металлов (Cu^{2+}, Cd^{2+}, Pb^{2+}) из водных растворов (исследуемые концентрации 0,1–1,0 М) при разных температурах (293–323 К) на сорбентах КБ-4, КУ-1, КУ-2-8, Amberlite, сульфоугле и целлюлозе. Авторы сделали вывод о достаточно высоких сорбционных достоинствах катионитов, благодаря найденным значениям сорбционной емкости по ионам Cu^{2+}, Cd^{2+} и Pb^{2+}.

Характеристика сильнокислотных сульфокатионитов [6; 7]

№	*Название сорбента*	*Плотность, г/мл*	*Статическая обменная емкость, ммоль-экв/см³, не менее*	*Динамическая обменная емкость, моль-экв/м³, не менее*	*Максимальная рабочая температура (t^o_{max}), °С*	*Страна-производитель*
1	Катионит **КУ-2-8**	0,75 – 0,90 (Na^+ и H^+форма)	1,80 (H^+ форма) 1,90 (Na^+ форма)	526	130	Россия
2	Катионит **Amberlite IR-120**	0,78–0,86 (Na^+форма) 0,80 (H^+ форма)	≥ 1,80 (H^+ форма) ≥ 2,00 (Na^+ форма)	420–480	135	США
3	Катионит **Amberjet 1200**	1,26 – 1,30 (Na^+форма) 1,18 – 1,22 (H^+ форма)	≥ 2,00 (Na^+ форма)	470	135	США
4	Катионит **Dowex HCR-S/S**	1,30 (Na^+форма)	1,90 (Na^+ форма)	–	120	США
5	Катионит **Dowex Marathon C**	1,28 (Na^+форма) 1,20 (H^+ форма)	1,80 (H^+ форма) 2,0 (Na^+ форма)	450	120	США
6	Катионит **Lewatit S-100** (Lewatit Monoplus S-100)	1,28 (Na^+форма) 1,22 (H^+ форма)	1,80 (H^+ форма) 2,0 (Na^+ форма)	490	120	Германия
7	Катионит **Purolite C-100**	1,29 (Na^+форма) 1,20 (H^+ форма)	2,0 (Na^+ форма)	410–430	120	Великобритания

Alyüz и Veli [15] исследовали кинетику и равновесие ионного обмена для удаления никеля и цинка из водного раствора с использованием смолы Dowex HCR S/S, являющейся сульфокатионитом. Было установлено, что удаление катионов Ni^{2+} и Zn^{2+} хорошо согласуется с кинетикой реакции второго порядка. Проведена сравнительная характеристика удаления меди из водных растворов сильными сульфокатионитными смолами Dowex HCR S/S и Dowex Marathon C. Были рассмотрены такие параметры, как время контакта катионит–раствор, масса катионита, концентрация меди в растворе, pH. Результаты показали, что изотермы в координатах уравнений Фрейндлиха и Ленгмюра являются линейными. Полученная из изотермы адсорбции Ленгмюра константа равновесия меди была рассчитана как 1,81 для Dowex HCR S/S и 4,71 для Dowex Marathon C. Были представлены коэффициенты разделения и коэффициенты распределения меди для Dowex HCR S/S и Dowex Marathon C.

Концентрирование ионов меди (II) из раствора сульфата меди (II), концентрацией меди в нем 25 мкмоль/дм^3 проведено на колонке с катионитом КУ-2-8 в динамическом режиме [16]. В качестве регенерирующих растворов рассматривались 5%-ные растворы серной и соляной кислот. Авторы установили, что такой способ регенерации может быть перспективен для отделения меди, а не для получения более концентрированного раствора, чем исходный. Регенерация колонок происходит со 100%-ным выходом ионов меди (II).

Использование катионообменной смолы Amberlite IR-120, аналога КУ-2-8, для извлечения меди из сульфатного раствора, содержащего 0,3–0,7 мг/мл меди, показало практически полное 99,99% извлечение. Установлено, что механизм адсорбции меди следует изотерме Ленгмюра и соответствует кинетике второго порядка [17]. Адсорбционная способность катионообменной смолы Amberlite IR-120 по отношению к ионам Ni (II) из модельного раствора, содержащего 440 мг/л никеля, рассчитанная по модели Ленгмюра, составила 49,75 мг/г [18]. Необходимым условием явилось поддержание значений pH, при которых не происходит химического осаждения гидроксида никеля $Ni(OH)_2$. При этом подчеркивается, что сорбция ионов Ni (II) на смоле является сложной и включает более одного механизма. При выявлении сродства ионов металлов к H^+-форме ионита Amberlite IR-120 установлено, что ряд имеет вид: $Cu^{2+} > Zn^{2+} > Cd^{2+} > H^+$. Таким образом, Amberlite IR-120 имеет большой потенциал для удаления тяжелых металлов из промышленных сточных вод или шламов, содержащих тяжелые металлы.

Другим аналогом катионита КУ-2-8 является Purolite C-100. Было установлено [19] адсорбционное поведение его по отношению к Ce (IV), Fe (III) и Pb (II), содержащимся в загрязненных сточных водах. Авторами было подтверждено, что явления адсорбции зависят от плотности заряда и диаметра гидратированного иона. Согласно исследованиям равновесия, последовательность ионов металлов может быть представлена как: Ce (IV) > Fe (III) > Pb (II).

Еще одним аналогом катионообменной смолы КУ-2-8 является сильнокислотная катионообменная смола Lewatit S-100 (Lewatit Monoplus S-100) производства Германии. Извлечение ионов Cs^+ и Co^{2+} из индивидуальных и смешанных водных хлоридных растворов в динамических условиях этой смолой представлено в работе [10]. Результаты показали, что цезий и кобальт могут быть эффективно удалены с помощью Lewatit S100 в диапазоне pH = 4–7. Показано, что большее сродство смола проявляет к Cs^+, чем Co^{2+}. Это может быть связано с меньшим радиусом гидратированных ионов Cs^+, чем Co^{2+}. Лучшие результаты были получены при глубине слоя 3 см при скорости потока 3 мл/мин как для Cs^+, так и для Co^{2+}.

В литературе имеются немногочисленные сведения по применению сульфокатионитов для сорбции цветных металлов из аммиакатных растворов. Например, изучена сорбция меди из нейтральных и щелочных аммиаксодержащих растворов и промывных вод композиционным сорбентом Dowex Maraton C–гидроксид железа [12]. Образование устойчивых комплексов меди с аммиаком позволяет проводить сорбцию при pH = 10,2. Динамическая обменная емкость композиционного сорбента в 2,5–3,0 раза превышает аналогичные значения для Dowex Maraton C в Na^+-форме в контрольных опытах. Десорбцию меди с композиционного сорбента проводили 10%-ной серной кислотой. Полнота десорбции составила 96–98%. Полученные результаты могут быть использованы для разработки эффективных технологических схем сорбционной очистки от меди различных медьсодержащих сточных вод, pH которых находится в диапазоне 5,0–11,0.

Извлечение из промывных вод гальванических производств ионов цинка и кадмия представлено в работе [20]. Экспериментально установлено, что адсорбция ионов цинка и кадмия на сульфокатионите КУ-2-8 значительно выше, чем на карбоксильном катионите КБ-4. Емкость КУ-2-8 равна 4,5–5 мг-экв/г. Катионит КУ-2-8 имеет наиболее выгодное взаимное расположение и расстояние функциональных групп для замещения ионов Na+ на ионы Cd^{2+} и Zn^{2+}. Еще одним плюсом является то, что сульфокислотные группы катионита диссоциируют в широком диапазоне pH раствора. На основании этого сделан вывод, что наиболее эффективным является универсальный сильнокислотный катионит КУ-2-8, динамическая ионообменная емкость которого значительно выше, чем карбоксильного катионита КБ-4 и амфотерного АНКБ-35.

Экспериментально подтверждено сорбционное извлечение никеля и кобальта из фосфатных растворов катионитом КУ-2-8 и их отделение от железа посредством селективного элюирования. Даже при достаточно высокой концентрации железа (III) в исходном растворе (22,9 г/л) оно плохо сорбируется. При степени сорбции никеля и кобальта 92–96 %, сорбция железа (III) составляет 1–3 %, в случае полной сорбции никеля и кобальта – 6 % железа [11].

Удаление хрома (III) из растворов, имитирующих сточные воды кожевенного производства, с помощью сульфокатионита Amberjet 1200 в Na^+-форме, имеющей дивинил-стирольную матрицу [21]. Средняя эффективность удаления ионов хрома (III) на лабораторных установках составляла 98,70 % и 89,24 %, средняя эффективность десорбции составляла 81,56 % и 92,50 %. Сульфокатионит Amberjet 1200 в Na^+-форме, имеющей однородный размер частиц, позволяет удалять ионы хрома (III) из синтетических сточных вод кожевенного производства и проводить окислительную регенерацию перекисью водорода в щелочных средах.

В работе [8] авторами рассмотрена возможность применения сульфокатионита Amberjet 1200 в Na^+-форме для удаления тяжелых металлов в реакторах периодического действия с псевдоожиженным слоем. Кинетика ионного обмена изучалась при различных исходных концентрациях металлов и скоростях подачи воздуха. Для приготовления модельных растворов использовали сульфат никеля (II) и нитрат свинца (II). В экспериментальных исследованиях было достигнуто 98 % и 99 % удаление ионов Ni^{2+} и Pb^{2+}.

Большую проблему представляют собой хвостохранилища горно-обогатительных комбинатов. В настоящее время первичное извлечение полезных компонентов из руд не является полным. Накопление отходов в хвостохранилищах возрастает с каждым годом, увеличивается объем стоков, содержащих большие концентрации цветных металлов. Остро стоит проблема повышения коэффициента извлечения и комплексности использования природных ресурсов.

Моделирование образования сточных вод хвостохранилищ, проведенное в перколяционном режиме [22], показало, что в раствор переходят такие металлы, как цинк, медь, кобальт и железо. Предложено извлекать ионы металлов сильнокислотным катионитом КУ-2-8 в Na^+- и H^+-формах. При pH исходного раствора выше 3,5 степень удерживания ионов металлов составляет 97–100 %. Сорбцию металлов из стоков хвостохранилищ контролируют также в динамических условиях. По сравнению с исходной концентрацией наблюдается практически полное удерживание этих металлов. Динамическая обменная емкость для меди – 1,75, цинка – 22,1, железа – 1,6, кальция – 36,19, магния – 22,0, кобальта – 21 мг/г. Десорбцию металлов из смолы КУ-2-8 проводили с помощью разной концентрации H_2SO_4, HCl и NaCl. Авторы на основании экспериментальных исследований пришли к выводу, что десорбция раствором NaCl имеет ряд преимуществ по сравнению с растворами H_2SO_4 и HCl кислот.

Для извлечения никеля из растворов сернокислотного выщелачивания шлама, образующегося на установках никелирования/хромирования методом сорбции на ионообменных смолах, изучали в работе [9]. Недостатком сернокислотного выщелачивания является отсутствие выраженной селективности извлечения никеля, хрома и железа. В качестве сорбентов для поглощения никеля при совместном его нахождении с хромом в растворе использовали КУ-2-8, Lewatit TP207, Purolite C104, Purolite S930. Статическая обменная емкость (г/г) КУ-2-8 по никелю составила – 0,044, по хрому – 0,027.

Представляет интерес процесс катионообменного выщелачивания катионитом КУ-2-8 в водородной форме [23], при котором кислота не вводится в систему, а генерируется в ходе ионного обмена, т. е. один и тот же реагент – катионит является

и поставщиком расходуемых ионов водорода, и сорбентом, накапливающим выщелачиваемые ионы. За три стадии прямого катионообменного выщелачивания катионитом КУ-2-8 извлекается 46% никеля, а в ходе кислотного растворения достигается 94%-ное выщелачивание никеля. Селективность никеля при катионообменном выщелачивании выше, чем при кислотном. Коэффициент разделения никеля и железа составляет – 270 при катионообменном выщелачивании. Это в 3 раза выше, чем при кислотном выщелачивании. Следовательно, это позволит снизить расход кислоты на первой ступени комбинированной переработки окисленных никелевых руд и получить более чистые продуктивные растворы.

Экспериментальные исследования по сорбционному концентрированию продуктивных растворов бактериально-химического выщелачивания кобальт-медно-никелевых руд проводятся в НИГТЦ ДВО РАН. Нами показано [1], что при сорбции в статических условиях с применением Na^+-формы КУ-2-8 извлекается до 90% никеля за три цикла сорбции. За пять циклов сорбции из продуктивных растворов извлекается до 97,3% цветных металлов и железа натриевой формой ионообменной смолы КУ-2-8 и до 95,6% водородной формой [2].

Установлено [3], что суммарная сорбционная емкость катионита КУ-2-8 в натриевой форме в результате последовательной противоточной сорбции составляет – 6,56 мг-экв/г. Определено необходимое количество ступеней для практически полного извлечения никеля, меди и кобальта из растворов сложного состава. Экспериментальные данные по сорбции и десорбции цветных металлов и железа из продуктивных растворов БХВ кобальт-медно-никелевых руд в динамическом режиме с применением катионита КУ-2-8 показали, что применение динамического метода оправданно при содержании никеля менее 2,0 г/л [24]. Удаление железа из сорбционной колонны происходит под действием сульфата никеля, применяемого в качестве вытеснителя. Показано, что наиболее эффективной является десорбция никеля при чередовании статического и динамического режимов.

Заключение

Анализ литературных данных показывает, что в настоящее время проводится большое количество исследований по разработке технологических схем сорбционного извлечения цветных металлов из многокомпонентных растворов. Однако из-за сложного состава многокомпонентных растворов вопрос сорбционной переработки остается недостаточно изученным.

Для извлечения цветных металлов из многокомпонентных растворов в различных диапазонах концентраций могут быть использованы сульфокатионит КУ-2-8 и его зарубежные аналоги. Преимуществом катионитов является возможность их использования в широком диапазоне pH = 0–14. Процесс регенерации прост и не требует дорогих реактивов. Способность использовать сорбент многократно обеспечивает его экономичность и перспективность.

К главным недостаткам следует отнести низкую селективность по отношению к цветным металлам при их совместном присутствии.

Список литературы / References

1. Белова Т.П., Ратчина Т.И., Ершова Л.С. Сорбционное извлечение никеля из продуктивных растворов бактериально-химического выщелачивая кобальт-медно-никелевых руд // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S32. С. 303–309.

Belova T.P., Ratchina T.I., Ershova L.S. Sorption nickel recovery from productive solutions of bacterial-chemical leaching of cobalt-copper-nickel ores // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal). 2017. No. S32. P. 303–309 (in Russian).

2. Белова Т.П., Ершова Л.С. Сорбция цветных металлов из продуктивных растворов БХВ катионитом КУ-2-8 // Естественные и технические науки. 2018. № 4 (118). С. 98–102.

Belova T.P., Ershova L.S. Sorption of non-ferrous metals from productive solutions of BCHL by KU-2-8 // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2018. No. 4 (118). P. 98–102 (in Russian).

3. Белова Т.П. Экспериментальные данные переработки продуктивных растворов бактериально-химического выщелачивания кобальт-медно-никелевых руд методом последовательной сорбции // Камчатка-7: Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) (специальный выпуск 57). 2018. № 12. С. 148–153.

Belova T.P. Experimental data of productive solutions processing of bacterialchemical leaching of cobalt-copper-nickel ores by the method of sequential sorption // Kamchatka-7: Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal) (special'nyj vypusk 57). 2018. No. 12. P. 148–153 (in Russian).

4. Белова Т.П., Ратчина Т.И. Исследование сорбции лития катионитом КУ-2-8 из модельных растворов, имитирующих геотермальные теплоносители в динамическом режиме // Записки горного института. 2020. Т. 242. С. 197–201.

Belova T.P., Ratchina T.I. Research of lithium sorption by KU-2-8 cation exchanger from model solutions simulating geothermal fluids in the dynamic mode // Zapiski gornogo instituta. 2020. Vol. 242. P. 197–201 (in Russian).

5. Belova T.P., Selivanova O.N. Adsorption of metal ions by sorbents composed of marine alga saccharina bongardiana and poriferous aluminosilicates Journal of Environmental Science and Engineering. 2012. Vol. 1. No. 4. P. 514–521.

6. Water Treatment and Purification – Lenntech. [Electronic resource]. URL: https://www.lenntech.com/ (date of access: 08.05.2021).

7. Алексеева Т.В., Якубович Ю.В., Мусарова Г.М. Основные требования к применению ионитов на водоподготовительных установках тепловых электростанций. Технологические рекомендации по диагностике их качества и выбору. СТО ВТИ 37.002-2005. Челябинск, 2006.

Alekseeva T.V., Yakubovich Yu.V., Musarova G.M. Basic requirements for use of ion exchangers in water treatment plants of thermal power plants. Technological recommendations for diagnosis of their quality and selection. STO VTI 37.002-2005. Chelyabinsk, 2006. (in Russian).

8. Taghreed Zewail, Nibal Yousef. Kinetic study of heavy metal ions removal by ion exchange in batch conical air spouted bed. Alexandria Engineering Journal. 2015. P. 8.

9. Makoskaya O.Yu., Kostromin K.S., Bryantseva N.I. Hydrometallurgical Technology for Processing of Galvanic Sludges. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 969. P. 6.

10. El-Naggar M.R., El-Kamash A. M., Haneen Abdel Salam Ibrahim. Sorptive Removal of Cesium and Cobalt Ions in a Fixed bed Column Using Lewatit S100 Cation Exchange Resin. Arab Journal of Nuclear Science and Applications. 2014. Vol. 47 (2). P. 77–93.

11. Patrushev V.V., Chubarov A.V., Smirnov I.I., Shulakov P.G. Co-processing of Copper and Nickel Ores from Noril'sk Deposits and the Apatites from Maymecha-Kotuy Province. Chemistry for Sustainable Development. 2003. Vol. 11. P. 395–405.

12. Марков В.Ф., Формазюк Н.И., Маскаева Л.Н., Макурин Ю.Н., Степановких Е.И. Извлечение меди (II) из промышленных стоков с помощью композиционного сорбента сильнокислотный катионит–гидроксид железа // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» АЭЭ. 2007. № 3 (47). С. 144–149.

Markov V.F., Formazyuk N.I., Maskaeva L.N., Makurin Yu.N., Stepanovskikh E.I. Removal of copper (II) from industrial waste water using combination sorbent comprising strong-acid cation resin and iron hydroxide // Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Al'ternativnaya energetika i ekologiya» AEE. 2007. No. 3 (47). P. 144-149. (in Russian).

13. Koliehova A., Trokhymenko H., Magas N. Extraction of Cu^{2+}, Zn^{2+} and Ni^{2+} cations from industrial wastewater by ionite KU-2-8. Ecology and environmental technology. 2019. No. 5/3 (49). P. 22–27.

14. Смирнова Л.Г., Смирнов А.К. Особенности сорбции тяжелых металлов катионитами // Современные проблемы естественных наук и медицины: сборник статей Всероссийской научной конференции (г. Йошкар-Ола, 18–20 мая 2020 г.). Йошкар-Ола: Изд-во Марийский государственный университет, 2020. С. 392–393.

Smirnova L.G., Smirnov A.K. Propriety of sorption of heavy metals by cationites // Sovremennye problemy estestvennyh nauk i mediciny: sbornik statej Vserossijskoj nauchnoj konferencii (g. Joshkar-Ola, 18–20 maya 2020 g.). Joshkar-Ola: Izd-vo Marijskij gosudarstvennyj universitet, 2020. P. 392–393 (in Russian).

15. Alyüz B., Veli S. Kinetics and Equilibrium Studies for the Removal of nickel and zinc from aqueous solutions by ion exchange resins. Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 167. Is. 1–3. P. 482–488.

16. Рязанова Е.В., Фокина А.И. Изучение динамики выхода ионов меди (II) из колонки с катионитом КУ-2-8 // Экология родного края: проблемы и пути их решения: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Киров, 16–18 апреля 2019 г.). Киров: Изд-во Вятский государственный университет, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, 2019. С. 93–95.

Ryazanova E.V., Fokina A.I. Study of dynamics of escape of copper (II) ions from column with cationite KU-2-8 // Ekologiya rodnogo kraya: problemy i puti ih resheniya: materialy XIV Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Kirov, 16–18 aprelya 2019 g.). Kirov: Izd-vo Vyatskij gosudarstvennyj universitet, Institut biologii Komi nauchnogo centra Ural'skogo otdeleniya RAN, 2019. P. 93–95 (in Russian).

17. Kumar Jha M. Nguyen N., Le J., Jeong J., Yoo J. Adsorption of copper from the sulphate solution of low copper contents using the cationic resin Amberlite IR 120. Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 164. Is. 2–3. P. 948–953.

18. Gomathi Priyaa P., Ahmed Bashab C., Ramamurthia V., Nathira Begumb S. Recovery and reuse of Ni (II) from rinse water of electroplating industries. Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 163. P. 899–909.

19. Abo-Farha S.A., Abdel-Aal A.Y., Ashourb I.A., Garamon S.E. Removal of some heavy metal cations by synthetic resin Purolite C100. Journal of Hazardous Materials. 2009. Vol. 169. P. 190–194.

20. Кеймиров М.А. Очистка промывных вод гальванических производств от ионов тяжелых металлов ионообменным способом // Вестник технологического университета. 2020. Т. 23. № 12. С. 76–79.

Kejmirov M.A. Cleaning of washing waters of electroplating plants from heavy metal ions by ion exchange method // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2020. Vol. 23. No. 12. P. 76–79 (in Russian).

21. Gulten Cetin, Sevgi Kocaoba, Goksel Akcin. Removal and Recovery of Chromium from Solutions Simulating Tannery Wastewater by Strong Acid Cation Exchanger. Journal of Chemistry. 2013. 7 p.

22. Haydarov A.A., Kashkay Ch.M., Guliyeva A.A., Huseynova A.B., Aghayev A.N., Jafarov Z.R. Recovery of precious metals from Dashkesan mineral tailings by combined methods. Azerbaijan chemical journal. 2016. No. 3. P. 121–129.

23. Пашков Г.Л. Саикова С.В., Пантелеева М.В., Саикова Д.И. Катионообменное выщелачивание окисленных никелевых руд Усть-Порожинского месторождения // Цветные металлы. 2018. № 8. С. 52–56.

Pashkov G.L. Saikova S.V., Panteleeva M.V., Saikova D.I. Cation resin exchange leaching of oxidized nickel ores of the Ust-Porozhinskoye deposit // Tsvetnye Metally. 2018. No. 8. P. 52–56 (in Russian).

24. Белова Т.П., Ратчина Т.И. Сорбционная переработка продуктивных растворов бактериально-химического выщелачивания кобальт-медно-никелевых руд в динамическом режиме // Естественные и технические науки. 2018. № 11(125). С. 266–269.

Belova T.P., Ratchina T.I. Sorption processing of productive solutions of bacterialchemical leaching of cobalt-copper-nickel ores in the dynamic mode // Estestvennye i tekhnicheskie nauki. 2018. No. 11(125). P. 266–269 (in Russian).

УДК 911.9(470.341)

МАШИНОСТРОЕНИЕ КАК ВЕДУЩАЯ ОТРАСЛЬ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени К. Минина», Нижний Новгород, e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru

В статье раскрывается роль машиностроения как одной из ведущих отраслей экономики Нижегородской области. Сложная и многоотраслевая структура машиностроительного комплекса региона обусловлена такими факторами размещения предприятий, как выгодные черты транспортно-географического положения, подготовка трудовых ресурсов высокой квалификации для разных отраслей машиностроения, специализация и кооперирование, обеспеченные развитые интенсивные внутрирайонные и межрайонные связи. Ведущие позиции в машиностроительном комплексе Нижегородской области занимает транспортное машиностроение, выпускающее такие виды экспортной продукции, как автомобили разных классов, автобусы, суда различного назначения, а также продукцию оборонного назначения: истребители семейства «МиГ», дизель-электрические подводные лодки, спасательные глубоководные аппараты, понтонно-мостовые переправы. О машиностроительной специализации региона свидетельствует и факт устойчивого лидирующего положения продукции машиностроения в структуре экспорта Нижегородской области. Несмотря на то что отрасль занимает в структуре экспорта второе место после продукции химической промышленности, доходы от экспорта машиностроительной продукции в целом продолжали расти до 2019 г. Анализируя данные стоимости экспортной продукции, объем отгруженных товаров машиностроительного комплекса региона, можно обнаружить два периода снижения показателей – в 2008–2010 гг. и 2015 г., обусловленных последствиями мировых финансовых кризисов. В последние годы товары машиностроения в валовом региональном продукте занимают устойчивую позицию в 25%. В статье рассматривается еще один важный экономический показатель – численность работников, занятых на предприятиях машиностроительного комплекса. Анализ статистки показал сокращение численности работников, однако этот факт не повлиял на объемы выпускаемой продукции и ее долю в ВРП. За период с 2007 по 2019 г. статистка говорит об увеличении выпускаемой машиностроительной продукции. Таким образом, можно судить об устойчивом положении машиностроительного комплекса в Нижегородской области, что, безусловно, свидетельствует о сохранении машиностроительной специализации региона.

Ключевые слова: машиностроение, Нижегородская область, транспортное машиностроение, оборонно-промышленное машиностроение, авиационное машиностроение, структура экспорта

MECHANICAL ENGINEERING AS THE LEADING BRANCH OF SPECIALIZATION OF THE NIZHNY NOVGOROD REGION

Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu.

The Nizhny Novgorod state pedagogical university of K. Minin, Nizhny Novgorod, e-mail: o.v.arakcheeva@rambler.ru

The article reveals the role of mechanical engineering as one of the leading sectors of the economy of the Nizhny Novgorod region. The complex and multi-sectoral structure of the machine-building complex of the region is caused by such factors of the location of enterprises as favorable features of the transport and geographical location, training of highly qualified labor resources for various branches of machine-building, specialization and cooperation, providing developed intensive intra-district and inter-district relations. The leading positions in the machine-building complex of the Nizhny Novgorod region are occupied by transport engineering, which produces such types of export products as cars of different classes, buses, ships of various purposes, as well as defense products – MiG family fighters, diesel-electric submarines, deep-sea rescue vehicles, pontoon-bridge crossings. The machine-building specialization of the region is also evidenced by the fact of a stable leading position of machine-building products in the export structure of the Nizhny Novgorod region. Despite the fact that the industry occupies the second place in the export structure after the products of the chemical industry, revenues from the export of machine-building products in general continued to grow until 2019. Analyzing the data on the cost of export products, the volume of shipped goods of the machine-building complex of the region can be found two periods of decline in indicators – in 2008-10. and 2015, due to the consequences of the global financial crises. In recent years, machine-building products in the gross regional product occupy a stable position of 25%. The article considers another important economic indicator – the number of employees employed at the enterprises of the machine-building complex. The analysis of statistics showed a reduction in the number of employees, however, this fact did not affect the volume of output and its share in GRP. For the period from 2007 to 2019, statistics show an increase in the production of machine-building products. Thus, we can judge the stable position of the machine-building complex in the Nizhny Novgorod region, which, of course, indicates the preservation of the machine-building specialization of the region.

Keywords: mechanical engineering, Nizhny Novgorod region, transport engineering, military-industrial engineering, aviation engineering, export structure

Машиностроение является ведущим комплексом в экономике Российской Федерации. Отрасли машиностроительного комплекса представлены во всех экономических районах страны, но в одних районах они имеют специализирующую функ-

цию, а в других внутрирайонное значение. В Нижегородской области машиностроение является отраслью специализации региона. Первые отрасли возникли еще в Нижегородской губернии в XIX веке, на протяжении советского периода машиностроение развивалось, появлялись новые передовые отрасли, такие как электроника и приборостроение, и в целом достигло своего максимального развития. Машиностроительной специализации региона способствовали выгодные черты транспортно-географического положения, наличие квалифицированных трудовых ресурсов для разных отраслей машиностроения. Машиностроительный комплекс в Нижегородской области имеет сложную многоотраслевую структуру [1]. Прежде всего, необходимо выделить транспортное машиностроение при лидирующей роли автомобильной промышленности, которая представлена одной из крупнейших российских автомобилестроительных компаний «Группа ГАЗ», объединяющей 13 производственных предприятий-смежников из восьми регионов России. Компания выпускает лёгкие и среднетоннажные коммерческие автомобили, тяжёлые грузовики, автобусы, легковые автомобили [2].

Развитые интенсивные внутрирайонные и межрайонные связи обусловили эффективную территориальную организацию машиностроительного производства в Нижегородском регионе [3]. Главными представителями отрасли в регионе являются Горьковский автомобильный завод, Павловский автобусный завод, предприятия, выпускающие двигатели внутреннего сгорания (Заволжский завод), электротехническое оборудование, звуковые сигналы и тросы (Лысковский электротехнический завод), автостекла с установочным оборудованием и различными системами (Борский стекольный завод), крепеж для всех узлов автомобилей (завод «Красная Этна»), автомобильный войлок (Арзамасская войлочная фабрика), искусственные кожи (Богородск).

Еще одной важной отраслью машиностроения, старейшей в регионе (с XVII в.), является судостроение, представленное заводом «Красное Сормово» и Навашинским судостроительным предприятием. Современные судостроительные предприятия ориентированы на производство коммерческих судов: танкеров и сухогрузов, пассажирских судов речного и смешанного плавания «река-море», дноуглубительных судов. Значительную долю в судостроении составляет продукция оборонного значения: дизель-электрические подводные лодки, спасательные глубоководные аппараты, понтонно-мостовые переправы.

Первомайский механический завод – один из крупнейших заводов, специализирующихся на выпуске гидравлических агрегатов, топливорегулирующей аппаратуры, пневмоагрегатов для авиационной и ракетно-космической техники, интегральных рулевых механизмов для большегрузных автомобилей, автобусов, троллейбусов. Продукция пользуется высоким спросом на современных оборонных, авиастроительных и машиностроительных рынках.

Значительную долю в машиностроении Нижегородской области занимает авиационный сектор, в первую очередь являющийся объектом военно-промышленного комплекса, продукцией которого являются истребители семейства «МиГ».

Цель исследования – анализ современного состояния отраслей машиностроения в Нижегородской области и их роли в народно-хозяйственном комплексе региона.

Материалы и методы исследования

В настоящее время машиностроительный комплекс является важным звеном в нижегородской экономике. Об этом свидетельствуют данные структуры экспорта Нижегородской области уже на протяжении 20 лет XXI века (рис. 1). Анализируя статистические данные, мы видим, что в 2000 г. продукция машиностроения в структуре экспорта региона занимала лидирующее место (33 %), к 2010 спустилась на вторую позицию, давая четверть экспортной продукции [4]. В 2019 г. машиностроение твердо занимает второе место в структуре экспортируемых товаров (28 %).

На протяжении всего исследуемого периода, с 2000 по 2019 г., увеличиваются доходы от экспорта продукции машиностроительного комплекса. Снижение доходов наблюдалось после мирового финансового кризиса 2007–2008 гг., а также в период с 2013 по 2015 г. и в 2019 г. Наибольший доход от экспорта машиностроительной продукции регион получил в 2018 г. (1523,6 млн долл. США) (рис. 2).

Несомненно, продукция машиностроения Нижегородской области не только экспортируется в другие регионы и страны, но также реализуется и на внутреннем рынке [5]. Вследствие того что в регионе развиты разнообразные отрасли машиностроительного комплекса, то и выпускается широкий ассортимент продукции.

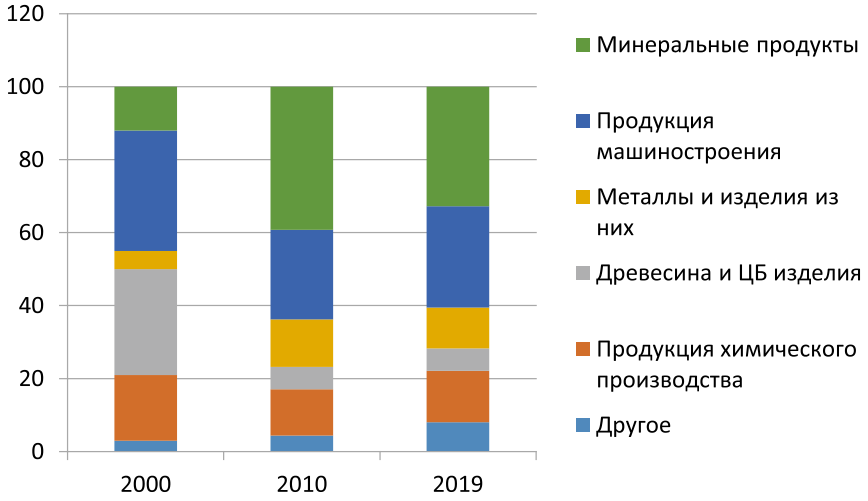


Рис. 1. Структура экспорта Нижегородской области (%)

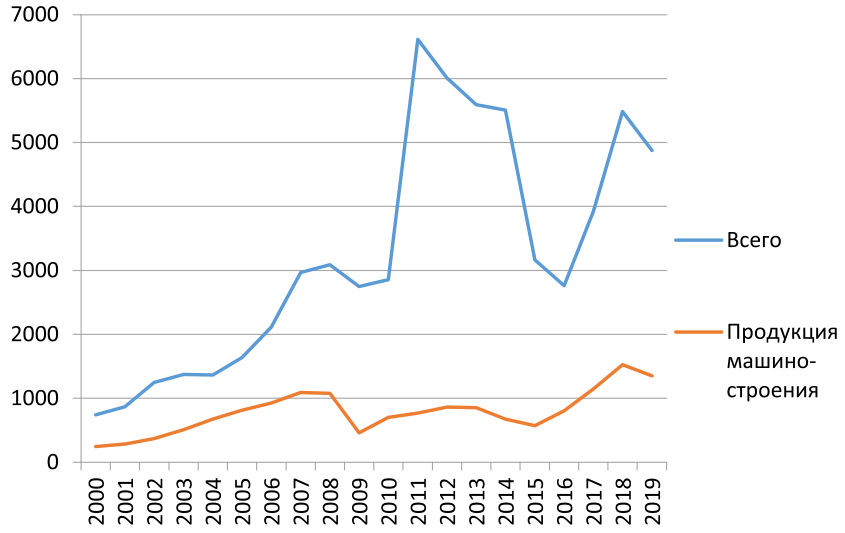


Рис. 2. Экспорт Нижегородской области (млн долл. США)

Больше всего в денежном эквиваленте производят нижегородцы автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов (табл. 1, рис. 3). Это обусловлено тем, что именно транспортное машиностроение является отраслью специализации Нижегородской области. Оно представлено крупными предприятиями судо- и авиастроения и автомобильной промышленности [6; 7]. Также в регионе производят электронные, оптические изделия, электрическое и другое машиностроительное оборудование.

В целом объем отгруженных товаров собственного производства организациями машиностроения Нижегородской области составляет весомую долю валового регионального продукт. В 2007 г. данный объем составлял максимальное значение – 34 %, к 2009 г. происходит существенное снижение (в 2 раза) выпуска машиностроительной продукции [8]. Это последствие мирового финансового кризиса, в результате которого пострадали многие сферы промышленного производства и непроизводственной сферы, и машиностроение оказалось наиболее уязвимой отраслью производства. Затем происходит постепенное восстановление машиностроительного комплекса, и доля выпущенной продукции предприятиями увеличивается до 26 % от ВРП Нижегородской области. В последние годы товары машиностроения в валовом региональном продукте занимают устойчивую позицию в 25 %.

Таблица 1

Объем отгруженных товаров собственного производства организациями Нижегородской области по виду экономической деятельности, млн руб.

	ВРП	Производство электрического оборудования, компьютеров, электронных и оптических изделий	Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	Произведено отраслями машиностроения	
					млн руб.	% от ВРП
2007	473307,4	19391,1	129977,8	12000,9	161369,8	34,1
2008	588790,8	20453,8	130683,9	14279,1	165416,8	28,1
2009	547223,0	19561,4	68735,5	9467,2	97764,1	17,9
2010	652805,9	24780,2	99428,3	9534,3	133742,8	20,5
2011	770774,0	36279,4	131211,2	9291,4	176782	22,9
2012	842195,5	40079,8	157590,7	17394,4	215064,9	25,5
2013	925182,0	43609,9	182603,5	19409,6	245623	26,5
2014	1009460,1	49813,4	194835,9	24379,5	269028,8	26,7
2015	1104643,2	65970,6	177267,9	24248,5	267487	24,2
2016	1160782,3	81972,5	178322,7	24697,7	284992,9	24,6
2017	1261939,4	69296,6	201939,2	54629,4	325865,2	25,8
2018	1502156,2	77045,2	244632,0	62222	383899,2	25,6
2019	1 621 913,1	68855,1	277954,8	61557,1	408367	25,2

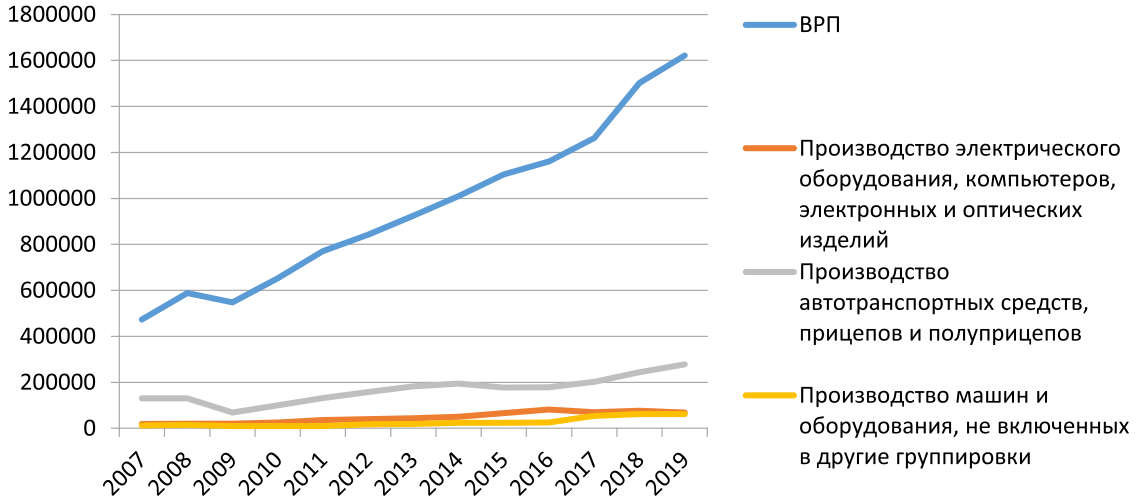


Рис. 3. Объем отгруженных товаров собственного производства организациями машиностроительного комплекса Нижегородской области по виду экономической деятельности, млн руб.

Важной характеристикой машиностроительного комплекса является численность работников предприятий, производящих машины, оборудование и другие изделия машиностроения [9]. Анализируя статистические данные за период с 2007 по 2019 г., мы видим, что, несмотря на увеличение выпускаемой продукции, численность работников, работающих на предприятиях машиностроения, наоборот, сокращается (табл. 2). Наибольшая численность работников на заводах и производствах машиностроительного комплекса была в 2008 г. – более 140 тысяч человек, или 8,3 % от числа всех занятых в экономике Нижегородской области. К 2019 г. число занятых в промышленности сократилось на 50 тысяч человек и составило 89,9 тысячи человек, или 5,3 %. Это обусловлено и экономической ситуацией, которая не позволяет держать большой

штат работников, и снижением привлекательности труда рабочих и инженеров; молодежь неохотно идет работать на промышленные предприятия, а многие рабочие и квалифицированные специалисты заканчивают свою трудовую деятельность и выходят на заслуженный отдых.

Наибольшее сокращение работников произошло в автомобильной промышленности (на 58%); если в 2007 г. в этой отрасли было занято 81,5 тысячи человек, то в 2019 г. только 33 тысячи человек [4]. Численность работников, занятых в производстве электрического оборудования, компьютеров, электронных и оптических изделий уменьшилась на 6 тысяч человек, или на 27%. Наоборот, увеличивается количество занятых в других отраслях машиностроительного комплекса. В целом в различных отраслях машиностроения занято 5% экономически активного населения Нижегородской области.

Машиностроение Нижегородской области тесно связано с оборонно-промышленным комплексом. На предприятиях региона выпускают как гражданскую, так и продукцию оборонного назначения.

Результаты исследования и их обсуждение

Определенную трудность при изучении данной темы составили статистические данные, представленные в соответствующих официальных сборниках. В разные периоды времени они даны то в относительных (в процентах к предыдущему году), то в абсолютных единицах (либо в денежном эквиваленте, либо в штуках). Анализируя статистические данные по выпуску основных видов продукции машиностроения, можно констатировать, что в период с 2014 по 2019 г. уменьшилось производство навигационных, метеорологических, гефизических приборов, металлорежущих станков, легковых автомобилей и, наоборот, увеличился выпуск электрических кухонных плит, воздушных и ваккумных насосов и газовых компрессоров, двигателей внутреннего сгорания, транспортных средств для жилищно-коммунального хозяйства и содержания дорог (рис. 4).

Анализируя данные по производству инструментов и приборов для измерения, контроля и испытаний предприятиями машиностроительного комплекса Нижегородской области, можно судить о значительном увеличении выпуска данных товаров за последние 3 года [4]. А вот в производстве автобусов резкое увеличение объёмов пришлось на 2011–2013 гг., которое сменилось к 2015 г. таким же стремительным сокращением продукции. В настоящее время, как и в других машиностроительных отраслях, ситуация выравнивается.

Таблица 2

Среднегодовая численность работников организаций по виду экономической деятельности, тыс. человек

	Занято в экономике, всего	Производство электрического оборудования, компьютеров, электронных и оптических изделий	Производство автотранспортных средств, прицепов и полуприцепов	Производство машин и оборудования, не включенных в другие группировки	Всего занято в машиностроении	
					тыс. чел.	%
2007	1735,6	28,6	81,5	29,5	139,6	8,0
2008	1702,5	30,7	82,2	27,8	140,7	8,3
2009	1688,2	27,2	62,7	23,2	113,1	6,7
2010	1660,3	25,9	58,9	17,4	102,2	6,2
2011	1676,0	25,8	57,4	15,1	98,3	5,9
2012	1719,1	27,2	56,9	14,9	99,0	5,8
2013	1702,0	27,7	61,7	14,4	103,8	6,1
2014	1701,1	25,7	62,5	13,6	101,8	6,0
2015	1688,6	26,8	58,3	13,8	98,9	5,9
2016	1696,0	28,1	57,2	12,3	97,6	5,8
2017	1695,9	20,8	37,020	33,231	91,1	5,4
2018	1686,9	23,4	33,798	33,091	90,3	5,4
2019	1682,4	22,5	34,324	33,094	89,9	5,3

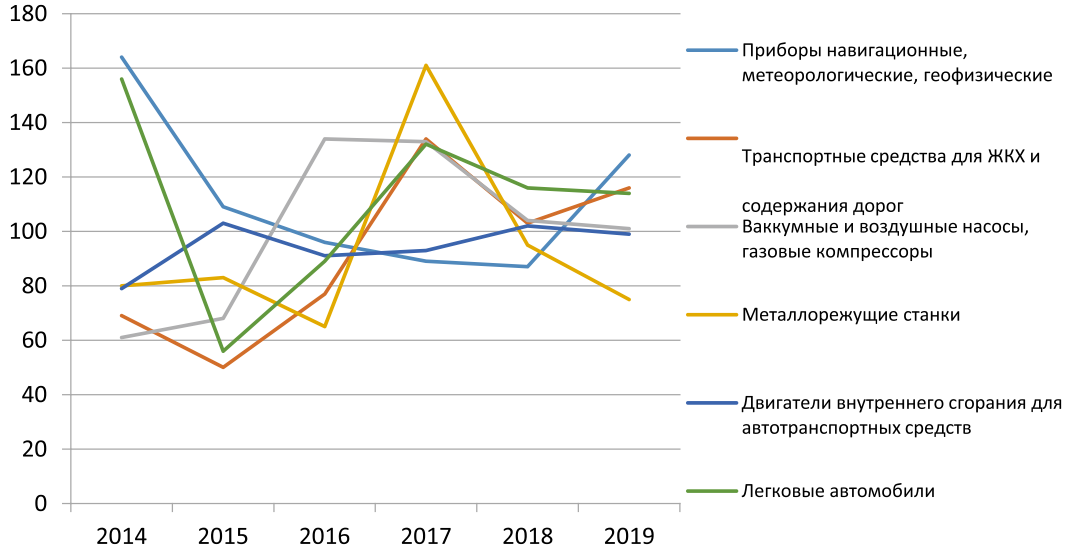


Рис. 4. Производство основных видов продукции машиностроения предприятиями Нижегородской области (в % к предыдущему году)

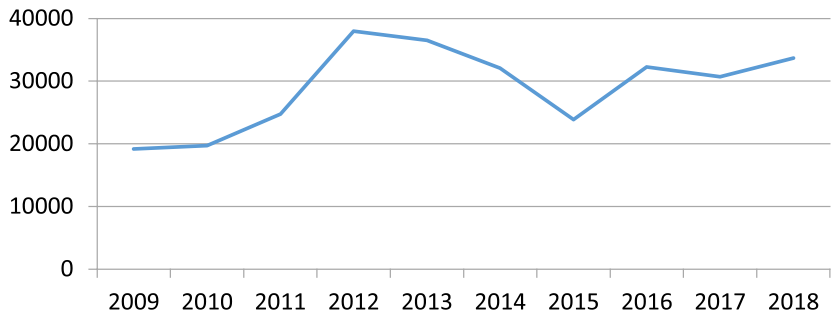


Рис. 5. Производство автобусов (включая автотранспортные пассажирские с числом мест для сидения не менее 10) предприятиями Нижегородской области (шт.)

Выводы

Таким образом, исходя из вышеизложенного, можно судить об устойчивом положении машиностроительного комплекса в Нижегородской области, что, безусловно, свидетельствует о сохранении машиностроительной специализации региона. Несмотря на лидирующие позиции в экспорте товаров химической промышленности, машиностроительная продукция оказалась довольно конкурентоспособной на внутреннем рынке, а также востребованной в странах СНГ и некоторых странах Восточной Европы, Азии и Африки. В настоящее время отрасли машиностроительного комплекса являются сферой привлечения инвестиций как российского, так и иностранного капитала, поэтому можно говорить о перспективности развития этого комплекса в ближайшем будущем.

Список литературы / References

1. Орфанов И.К. Промышленность и агропромышленный комплекс // Отечество мое Нижегородское. Н. Новгород: Нижегородский гуманитарный центр, 1997. С. 323–333.

Orfanov I.K. Industry and agro-industrial complex // Otechestvo moe Nizhegorodskoe. N. Novgorod: Nizhegorodskiy gumanitarnyy tsentr, 1997. P. 323–333 (in Russian).

2. Аракчеева О.В., Кривдина И.Ю. Развитие машиностроительного комплекса в Нижегородском регионе // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2018. № 1. С. 163–166.

Arakcheeva O.V., Krivdina I.Yu. Development of the machine-building complex in the Nizhny Novgorod region // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2018. No. 1. P. 163–166 (in Russian).

3. Волкова А.В., Копосова Н.Н. Устойчивое развитие городов Нижегородской области // Успехи современного естествознания. 2019. № 5. С. 42–46.

Volkova A.V., Koposova N.N. Sustainable development of the cities of the Nizhny Novgorod region // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. No. 5. P. 42–46 (in Russian).

4. Краткий статистический сборник «Нижегородская область в цифрах. 2020». [Электронный ресурс]. URL: https://nizhstat.gks.ru/publication_collection/document/29431?print=1 (дата обращения: 24.05.2021).

Brief statistical collection «Nizhny Novgorod region in numbers. 2020». [Electronic resource]. URL: https://nizhstat.gks.ru/publication_collection/document/29431?print=1 (date of access: 24.05.2021) (in Russian).

5. Ушаков Е.А. Оценка факторов неравенства субъектов российской федерации по совокупности социально-экономических показателей // Успехи современного естествознания. 2020. № 1. С. 61–69.

Ushakov E.A. Evaluation of factors of inequality of the subjects of the russian federation according to the totality of socio-economic indicators // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2020. No. 1. P. 61–69 (in Russian).

6. Официальный сайт компании «Группа ГАЗ». [Электронный ресурс]. URL: http://gazgroup.ru/company/structure/gaz/ (дата обращения: 29.05.2021).

Official website of GAZ Group. [Electronic resource]. URL: http://gazgroup.ru/company/structure/gaz/ (date of access: 29.05.2021) (in Russian).

7. Официальный сайт ПАО «Завод Красное Сормово». [Электронный ресурс]. URL: http://krsormovo.nnov.ru/ (дата обращения: 29.05.2021).

Official website of PJSC «Krasnoe Sormovo Plant». [Electronic resource]. URL: http://krsormovo.nnov.ru/ (date of access: 29.05.2021) (in Russian).

8. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (дата обращения: 24.05.2021).

Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2020. [Electronic resource]. URL: https://rosstat.gov.ru/folder/210/document/13204 (date of access: 24.05.2021) (in Russian).

9. Вознесенская А.Г., Аракчеева О.В. Население Нижегородской области: динамика численности, естественное и механическое движения // Вестник Мининского университета: сетевое издание. 2013. № 4. [Электронный ресурс]. URL: http://vestnik.minininuniver.ru/jour/article/view/442 (дата обращения: 29.05.2021).

Voznesenskaya A.G., Arakcheeva O.V. Population of the Nizhny Novgorod region: population dynamics, natural and mechanical movements // Vestnik Mininskogo universiteta: setevoye izdaniye. 2013. No. 4. [Electronic resource]. URL: http://vestnik.minininuniver.ru/jour/article/view/442 (date of access: 29.05.2021) (in Russian).

УДК 556.113 (575.2)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ФИЗИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОДЫ РЕКИ НАРЫН

[1]Асанов Б.Д., [2]Оторова С.Т., [3]Тотубаева Н.Э., [3]Кожобаев К.А.

[1]Американский университет в Центральной Азии (АУЦА), Бишкек, e-mail: asanov_ba@auca.kg;
[2]Нарынский государственный университет им. С. Нааматова, Нарын, e-mail: saira-091@mail.ru;
[3]Кыргызско-Турецкий университет «Манас», Бишкек, e-mail: nurzat.totubaeva@manas.edu.kg, kanatbek.kojobaev@manas.edu.kg

В статье приведены данные по физическим показателям воды реки Нарын – по результатам выполнения проекта NATO SfP 983945 «Оценка трансграничного загрязнения воды в Центральной Азии» за 2013 и 2014 гг. Полученные при помощи прибора «CyberScan Eutech PCD 650» в полевых условиях данные, такие как pH, температура, электропроводность, сопротивление, растворенные общие соли, солоноватость, были усреднены и проанализированы. Измерения с двукратной повторностью проводились в 11 точках от высот в 3735 м н.у.м. до 513 м н.у.м. Эти точки замеров расположены на озере Петрова, реках Кумтор и Тарагай, которые являются истоками реки Нарын, а также в самой реке Нарын – от ее верховьев и до границы с Узбекистаном. В статье рассматривается воздействие антропогенных объектов на воды указанных рек. По результатам измерений значений pH, температуры, электропроводности и электросопротивления, NaCl до и после антропогенных объектов выявлено, что на изменения температуры, кроме Токтогульского водохранилища, населенные пункты и другие объекты не оказывают существенного влияния. После Токтогульского глубоководного водохранилища, из-за глубинной стратификации и вытекания воды из нижних горизонтов, она заметно охлаждается. Значения pH вниз по течению реки медленно и постепенно возрастают, за исключением отрезка между точками ниже села Казарман и перед Токтогульским водохранилищем, что, ввиду неясности причин, требует дополнительных исследований. На электропроводность вод истока реки Нарын – реки Кумтор, а следовательно, на общей минерализации этой реки, значительное повышающее влияние оказывают воды с рудника Кумтор. На электропроводность вод реки Нарын заметное влияние предположительно оказывает впадение в реку Нарын ее более минерализованного правого притока – реки Кажырты. Населенные пункты не оказывают существенного влияния на минерализацию воды – ввиду больших расходов реки Нарын.

Ключевые слова: река Нарын, физические показатели воды, CyberScan Eutech PCD 650, проект NATO SfP 983945

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF ANTHROPOGENIC FACILITIES ON PHYSICAL INDICATORS OF WATER IN THE NARYN RIVER

[1]Asanov B.D., [2]Otorova S.T., [3]Totubaeva N.E., [3]Kozhobaev K.A.

[1]American University of Central Asia (AUCA), Bishkek, e-mail: asanov_ba@auca.kg;
[2]Naryn State University named after S. Namatov, Naryn, e-mail: saira-091@mail.ru;
[3]Kyrgyz-Turkish University «Manas», Bishkek, e-mail: nurzat.totubaeva@manas.edu.kg, kanatbek.kojobaev@manas.edu.kg

The article provides data for 2013 and 2014 on the physical indicators of water in the Naryn River – based on the results of the implementation of the NATO project SfP 983945 «Assessment of transboundary water pollution in Central Asia». Field data such as pH, temperature, conductivity, resistance, dissolved total salts, salinity was averaged and analyzed. All data obtained using the CyberScan Eutech PCD 650 instrument. The measurements were carried out in duplicate at 11 points from an altitude of 3735 m above sea level. up to 513 m above sea level These measuring points are located on the Petrov Lake, the Kumtor and Taragay rivers, which are the sources of the Naryn River, as well as in the Naryn River itself – from its headwaters to the border with Uzbekistan. The article examines the impact of anthropogenic objects on the waters of these rivers. According to the results of measuring the values of pH, temperature, electrical conductivity and electrical resistance, NaCl, except for the Toktogul reservoir, settlements and other objects do not have a significant effect. The water temperature after the Toktogul deep-water reservoir is noticeably cooled, due to deep stratification and water outflow from the lower horizons. Downstream of the river, pH increases slowly and gradually, with the exception of the section between points below the village of Kazarman and in front of the Toktogul reservoir. This fact due to the unclear reasons, it requires additional research. The conductivity and general mineralization of the Kumtor River are significantly influenced by waters from the Kumtor mine. The electrical conductivity of the waters of the Naryn River is supposedly influenced by its more mineralized right tributary – the Kazhyrty River. The settlements do not have a significant impact on the salinity of water due to the high flow rates of the Naryn River.

Keywords: Naryn river, physical indicators of water, CyberScan Eutech PCD 650, project NATO SfP 983945

Реализация проекта NATO SfP 983945 «Оценка трансграничного загрязнения воды в Центральной Азии» началась в июле 2011 г., и окончательный отчет по нему был принят в марте 2016 г. [1]. Наиболее полная и плодотворная фаза проведения полевых и лабораторных исследований, по результатам которых были получены наиболее надежные данные, пришлись на лето и осень 2013 г. и на весну, лето и осень 2014 г., поэтому в статье рассматриваются данные за эти пять периодов. В рамках проекта

оценивали содержание в воде девяти тяжелых металлов при помощи атомно-абсорбционного спектрометра, а также проводили замеры физических показателей воды в полевых условиях при помощи прибора «CyberScan Eutech PCD 650» [2, 3]. Были получены такие физические параметры воды, как pH, температура, электропроводность, электросопротивление, солоноватость.

Целью данной статьи является оценка воздействия населенных пунктов г. Нарын и пос. Казарман, золоторудного месторождения Кумтор и Токтогульского водохранилища на физические параметры воды реки Нарын.

Материалы и методы исследования

Измерения физических параметров воды на приборе CyberScan Eutech PCD 650 проводились непосредственно в полевых условиях, на месте отбора проб воды для дальнейшего анализа на тяжелые металлы. В зимние месяцы замеры не производились. Для получения более достоверных данных замер на месте производился не менее двух раз. На рис. 1 приведена карта, где отмечены точки проведения замеров на р. Нарын и ее истоках. Замеры проводились на 11 точках, 7 из них на р. Нарын, а остальные – с ее истоков: р. Кумтор, Тарагай и оз. Петрова. Ниже в табл. 1 приведено краткое описание пунктов отбора проб.

Река Нарын – самая крупная река Кыргызской Республики (среднемноголетний расход в устье – 480 м^3/с), после слияния с рекой Кара-Дарья образует реку Сыр-Дарья – одну из двух основных рек Центральной Азии.

Город Нарын, с населением около 40 000 жителей, является центром одноименной области КР и расположен на высоте (центр) 2020 м н.у.м. в основном на левом берегу р. Нарын, небольшая часть города расположена на правом берегу. Не все население города охвачено централизованным водоснабжением и водоотводом, поэтому в реку Нарын нередко попадают сильно загрязненные бытовые и иногда мелкопромышленные сточные воды.

Поселок Казарман является центром Тогуз-Тороузского района Нарынской области КР и территориально находится в бассейне реки Нарын. Рядом с поселком с 1986 г. разрабатывается золоторудное месторождение «Макмал», на котором уже добыто порядка 35 т золота.

Золоторудное месторождение «Кумтор» одно из крупных высокогорных (4000 м.н.у.м.) месторождений золота в мире, которое активно разрабатывается открытым способом с 1997 г., каждый год в среднем добывается 17 т золота и к 31.12.2019 г. там уже выработано примерно 392 т золота.

Таблица 1

Данные по точкам отбора проб и полевых исследований

№	Условное наименование точки отбора проб	Описание места отбора проб	Абсолютная высота точки, м н.у.м.	Координаты точки
1	KGZ 1.	озеро Петрова	3735	41^{0}54’03”N; 78^{0}13’23”E
2	KGZ 1,1	река Кумтор – до сброса в нее воды с хвостохранилища рудника «Кумтор»	3675	41^{0}54’39”N; 78^{0}10’51”E
3	KGZ 2.	река Кумтор – после сброса в нее воды с хвостохранилища рудника «Кумтор»	3656	41^{0}53’28”N; 78^{0}10’12”E
4	KGZ 2.1	река Тарагай – после смешения с ней вод реки Кумтор	3339	41^{0}44’29”N; 77^{0}54’20”E
5	KGZ 3	река Нарын – перед городом Нарын	2077	41^{0}25’45”N; 76^{0}04’14”E
6	KGZ 4	река Нарын – после города Нарын	1970	41^{0}26’23”N; 75^{0}51’56”E
7	KGZ 5	река Нарын – перед поселком Казарман	1321	41^{0}22’45”N; 74^{0}12’41”E
8	KGZ 6	река Нарын – после поселка Казарман	1261	41^{0}27’16”N; 73^{0}58’42”E
9	KGZ 7	река Нарын – перед Токтогульским водохранилищем	897	41^{0}46’05”N; 73^{0}17’26”E
10	KGZ 8	река Нарын – после Токтогульского водохранилища	743	41^{0}37’05”N; 72^{0}37’26”E
11	KGZ 9	река Нарын на границе с Узбекистаном	513	41^{0}10’03”N; 72^{0}10’03”E

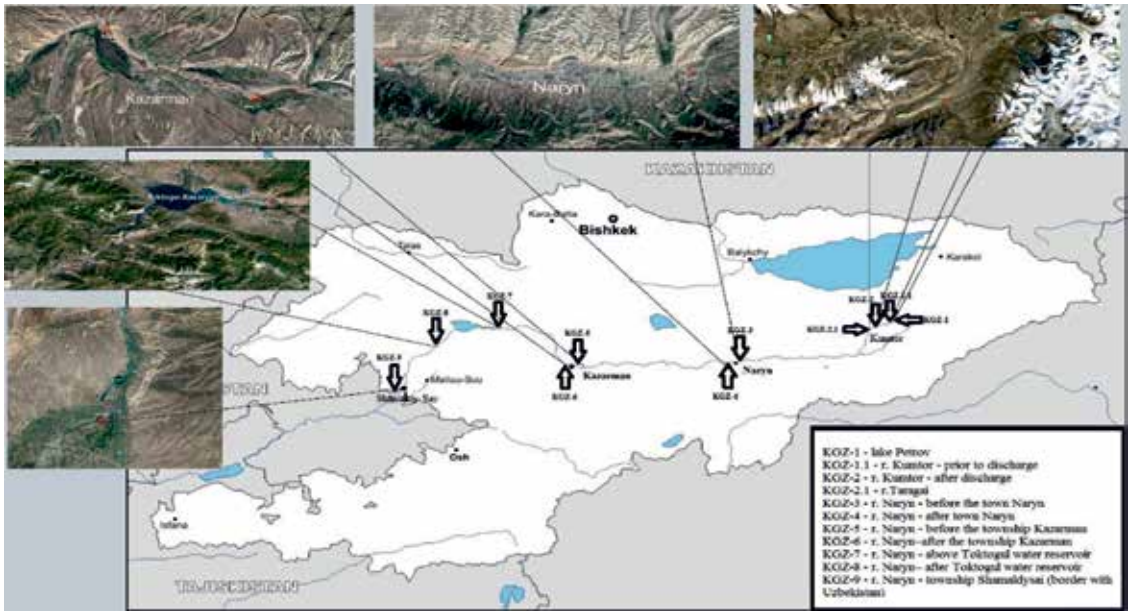


Рис. 1. Карта пунктов замеров воды по реке Нарын

Токтогульское водохранилище на реке Нарын, с общим объемом 19,5 млрд м^3, является самым крупным и глубоководным (толщина воды при полном заполнении у плотины равна 180 м) водохранилищем в КР.

Как видно на рис. 1 и в табл. 1, замеры проводились до и после населённых пунктов или производственных объектов – для оценки возможного антропогенного воздействия на воды рек. Разница высот от первой до последней точки составила 3222 м.

Величина pH характеризует кислотно-основное равновесие воды и является одним из важнейших показателей. От pH сильно зависят развитие жизнедеятельности водных организмов, формы миграции элементов и многое другое. На величину pH поверхностных вод влияет состояние карбонатного равновесия, интенсивность процессов фотосинтеза и распада органических веществ, содержание гумусовых веществ. В поверхностных водах величина pH наиболее часто колеблется от 6,3 до 8,5 [4].

Удельная электрическая проводимость – количественная характеристика способности воды проводить электрический ток. В большинстве случаев удельная электропроводность поверхностных вод суши является приблизительной характеристикой концентрации в воде неорганических электролитов – катионов и анионов. Удельная электрическая проводимость поверхностных вод суши зависит в основном от их минерализации и обычно колеблется в пределах от 50 до 10000 мкСм/см [5, 6].

Обратная величина электропроводимости – это электрическое сопротивление. И эта величина находится в зависимости от суммарного солесодержания и температуры. Электропроводность любого водного источника в основном формируют концентрации катионов магния, кальция, натрия, калия и сульфат, хлорид, карбонат-анионов чем больше их концентрация – тем выше электропроводность воды. А такие ионы, как марганец, железо, алюминий, фосфат и нитрат-анионы, не оказывают заметного влияния на удельное электрическое сопротивление воды [4]. Так, согласно ГОСТ 6709-72 удельная электропроводность дистиллированной воды составляет всего 5 мкСм/см [5]. В то же время по величине удельной электропроводности (или по электросопротивлению) невозможно судить о присутствующих в растворе неионогенных органических соединениях, нейтральных взвешенных частицах и о газах.

Безусловно, температура воды и растворенный кислород имеют огромное значение для гидробионтов. Температура воды указана в градусах Цельсия. При измерениях растворенного кислород в воде, видимо, были допущены какие-то грубые и систематические ошибки, потому что их значения оказались очень маленькими (как правило, менее 1–2 мг/л, поэтому они были исключены из рассмотрения и анализа.

Все данные получены при помощи прибора CyberScan Eutech PCD 650. Портативный многопараметровый киберсканер CyberScan Eutech PCD 650 (рис. 2) обеспечивает исключительную гибкость для полевых измерений в различных комбинациях содержания растворенного кислорода, удельной электропроводимости, удельного сопротивления, общего солесодержания (TDS), pH, окислительно-восстановительного потенциала, концентрации ионов и температуры. Также это очень мощный лабораторный инструмент для измерения вышеперечисленых показателей [2].

Рис. 2. Портативный киберсканер PCD 650

Результаты исследования и их обсуждение

Для наглядности и упрощения анализа все полученные в полевых условиях данные усреднены и показаны в табл. 2.

Как показывают результаты замеров, средняя температура воды в целом возрастает вниз по течению, что можно видеть на рис. 3 и объяснить снижением высоты (в целом на 3222 м) и, следовательно, повышением температуры воздуха. Небольшое снижение температуры (почти на 2 °C) воды после вытекания из озера Петрова можно объяснить ее охлаждением за счет окружающего воздуха – при интенсивном ее смешивании с бурно текущей водой. Резкое, в среднем почти на 4 градуса, снижение температуры наблюдается только после Токтогульского водохранилища, что можно объяснить температурной стратификацией воды в глубоководном водохранилище (до 180 м) и попаданием (вытеканием) воды на гидротурбины из нижних частей. Таким образом, кроме Токтогульского водохранилища по данным многократных измерений температуры в реках нет оснований говорить о каких-либо значимых «тепловых» загрязнениях воды р. Нарын от населенных пунктов и исследованных объектов.

В соответствии с требованиями к составу и свойствам воды водоемов у пунктов питьевого водопользования, воды водных объектов в зонах рекреации, а также воды водоемов рыбохозяйственного назначения величина pH не должна выходить за пределы интервала значений 6,5–8,5 [6]. Как можно видеть из рис. 4, значение pH ни в одной точке не превышает норму, но монотонно возрастает от озера Петрова до точки, расположенной после населенного пункта Казарман. Явная причина резкого снижения pH на отрезке после села Казарман и до Токтогульского водохранилища не выявлена. После этого отрезка pH начинает снова постепенно и ненамного возрастать на следующих точках вниз по течению.

На рис. 5 и 6 изображены графики электропроводности и удельного сопротивления соответственно. На них можно увидеть, как после сброса воды с хвостохранилища золотодобывающего рудника резко возрастает электропроводность и снижается сопротивление.

Таблица 2

Средние значения по пунктам проведения замеров прибором «CyberScan Eutech PCD 650»

		KGZ-1	KGZ-1,2	KGZ-2	KGZ-2,1	KGZ-3	KGZ-4	KGZ-5	KGZ-6	KGZ-7	KGZ-8	KGZ-9
1	Температура, °C	6,15	5,22	4,31	4,91	8,4	9,47	10,73	9,93	11,45	7,53	8,85
2	pH	7,03	7,208	7,639	7,643	7,836	8,042	7,973	8,036	6,91	6,969	7,007
3	Электропроводность, µS	114,1	229	452,5	383,7	320,2	332,3	456,9	446,2	387,3	375,9	357,1
4	Общие растворенные соли (TDS) ppm	116,6	219,5	425,4	350,3	346,7	360,4	445,5	461,7	378,6	360,1	335,7
5	Солоноватость (NaCl) ppm	98,46	202,9	401,9	301,4	335,3	334,3	436,7	439,5	361,1	346,1	329,8
6	Удельное сопротивление, kΩ	4,599	3,172	1,124	1,878	1,573	1,635	1,288	1,284	1,164	1,12	1,194
7	Растворенный кислород (%)	0,32	0,4	0,42	0,36	6,555	,21	6,6	6,92	15,8	8,29	8,26

Рис. 3. Данные температуры по пунктам замеров данных

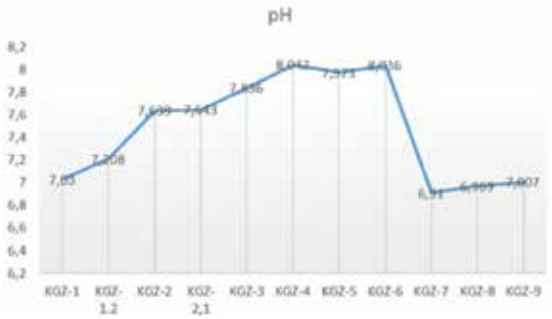


Рис. 4. Данные pH по пунктам замеров данных

Рис. 5. Данные электропроводности

Рис. 6. Данные удельного сопротивления

Из этих данных можно сделать вывод, что после сбросов сточных вод возрастает минерализация воды. Известно, что эксплуатация рудника «Кумтор» сказывается и на многих других показателях вод [7]. Но с постепенным увеличением расхода воды р. Нарын до города Нарын электропроводность снижается. На отрезке после города Нарын и перед пос. Казарман электропроводность снова заметно повышается, что, видимо, можно объяснить впадением в реку Нарын на этом промежутке более минерализованного правого притока, как река Кажырты [8]. Населенные пункты г. Нарын и пос. Казарман не оказывают существенного влияния на электропроводности вод реки Нарын, видимо из-за большого объема (расхода) воды (как правило, более 90–100 м^3/с) мелкие выбросы сточных вод с этих населенных пунктов на физических показателях воды отражаются слабо.

Заключение

На 11 точках реки Нарын и ее истоков 5 раз с двухкратной повторностью в теплое время 2013 и 2014 гг. были определены 6 показателей физических параметров воды. На основе усредненных данных можно сделать следующие основные выводы.

На изменение температуры воды р. Нарын, кроме Токтогульского водохранилища, населенные пункты и другие объекты не оказывают существенного влияния. В Токтогульском глубоководном водохранилище, из-за глубинной стратификации и вытекании воды из нижних горизонтов, она заметно охлаждается.

Значения pH вниз по течению реки медленно и постепенно возрастают, за исключением отрезка между точками ниже села Казарман и перед Токтогульским водохранилищем, что, ввиду неясности причин, требует дополнительных исследований.

На электропроводность вод истока реки Нарын – реки Кумтор, а следовательно, на общую минерализацию этой реки, значительное повышающее влияние оказывают воды с рудника Кумтор. На электропроводность вод реки Нарын, видимо, заметное влияние оказывает впадение в реку На-

рын ее более минерализованного правого притока – р. Кажырты. Населенные пункты не оказывают существенного влияния на минерализацию воды – ввиду больших расходов реки Нарын.

Список литературы / References

1. Стейнес Э., Садыров О.А., Кожобаев К.А. Итоговый отчет проекта «Оценка загрязнений трансграничной воды в ЦА» (SfP 983945). Бишкек, 20 ноября, 2015.

Steinnes E., Sadyrov O.A., Kozhobaev K.A. Final report of the project «Assessment of pollution of transboundary water in Central Asia» (SfP 983945). Bishkek, 20 noyabrya, 2015 (in Russian).

2. Стейнес Э., Садыров О., Кожобаев К.А. Предварительные результаты выполнения проекта NATO SfP 983945 «Оценка трансграничного загрязнения воды в Центральной Азии» в Кыргызской Республике // Дистанционные и наземные исследовании Земли в Центральной Азии: матер. межд. конф. Бишкек, 2014. С. 362–367.

Steines E., Sadyrov O., Kozhobaev K.A. Preliminary results of the implementation of the NATO project SfP 983945 «Assessment of transboundary water pollution in Central Asia» in the Kyrgyz Republic // Distantsionnyye i nazemnyye issledovanii Zemli v Tsentral'noy Azii: mater. mezhd. konf. Bishkek, 2014. P. 362–367 (in Russian).

3. Бестереков У.Б., Гончаров В.В. Определение количественно-качественных показателей воды // Сборник методических инструкций. Издание Южно-Казахстанского государственного университета им. М. Ауезова. Шымкент, 2012. С. 8–23.

Besterekov U.B., Goncharov V.V. Determination of quantitative and qualitative indicators of water // Sbornik metodicheskikh instruktsiy. Izdaniye Yuzhno-Kazakhstanskogo gosudarstvennogo universiteta im. M. Auezova. Shymkent, 2012. P. 8–23 (in Russian).

4. Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод. Методика выполнения измерений электрометрическим методом. РД 52.24.495-2005. (утв. Росгидрометом 15.06.2005).

Vodorodnyy pokazatel' i udel'naya elektricheskaya provodimost' vod. Metodika vypolneniya izmereniy elektrometricheskim metodom. RD 52.24.495-2005. (utv. Rosgidrometom 15.06.2005) (in Russian).

5. ГОСТ 6709-72. Вода дистиллированная. Технические условия. Межгосударственный Стандарт. ИЗДАНИЕ, март 2004 г., с Изменениями № 1, 2.

6. Правила охраны поверхностных вод Кыргызской Республики (Постановление Правительства КР № 128 от 14 марта 2016 года. В редакции постановления Правительства КР от 15 декабря 2017 года № 813).

Rules for the protection of surface waters of the Kyrgyz Republic (Resolution of the Government of the Kyrgyz Republic No. 128 of March 14, 2016. V redaktsii postanovleniya Pravitel'stva KR ot 15 dekabrya 2017 goda № 813) (in Russian).

7. Кожобаев К.А., Молдогазиева Г.Т., Тотубаева Н.Э., Оторова С.Т. Геоэкологические проблемы, связанные с деятельностью горнодобывающих предпритятий Кыргызской Республики // Горный журнал. 2016. № 8 (2229). С. 32–37.

Kozhobaev K.A., Moldogazieva G.T., Totubaeva N.E., Otorova S.T. Geoecological problems associated with the activities of mining enterprises of the Kyrgyz Republic // Gornyy zhurnal. 2016. No. 8 (2229). P. 32–37 (in Russian).

8. Технический регламент «О безопасности питьевой воды». Закон Кыргызской Республики от 30 мая 2011 года № (В редакции Закона КР от 28 апреля 2017 года № 67).

Technical regulations «On safety of drinking water». LAW OF THE Kyrgyz Republic of May 30, 2011 No. (V redaktsii Zakona KR ot 28 aprelya 2017 goda № 67) (in Russian).

УДК 911.2

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАЗНЫХ ТИПАХ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ УЛЬЯНОВСКОЙ ОБЛАСТИ)

Васин Д.В.

ГОУ ВО МО «Московский государственный областной университет», Мытищи, e-mail: dv_0504@mail.ru

В данной публикации рассматриваются вопросы, связанные с особенностями накопления тяжелых металлов в разных типах почв (на примере Ульяновской области). Исследование проводилось на основе обобщения собственных полевых исследований автора и на изучении научной и справочной литературы. На сегодняшний день проблема накопления тяжёлых металлов в почвенном покрове является наиболее важной, так как концентрация данных веществ может служить одним из индикаторов геоэкологического состояния почвенного покрова. Тяжелые металлы могут также активно поглощаться растительным покровом с разной степенью интенсивности, что также необходимо учитывать. Накопление тяжелых металлов почвенным покровом зависит от целого комплекса факторов, главными из которых являются содержание гумуса, сорбционные показатели, кислотность, характер почвообразующих пород и тип почв. Тяжелые металлы естественного происхождения накапливаются, как правило, в нижней части почвенного профиля, а антропогенного – в верхней. Также на распределение тяжелых металлов по почвенному разрезу в первую очередь влияет характер использования почв и общая антропогенная нагрузка. В почвенном покрове Ульяновской области наиболее распространёнными типами почв являются серые лесные и черноземы выщелоченные, с характерными для них особенностями накопления тяжелых металлов. Накопление тяжёлых металлов серыми лесными почвами и черноземами характеризуется средней степенью аккумуляции. Наиболее активно тяжелые металлы накапливаются в дерново-карбонатных почвах, а наименьшая их аккумуляция характерна для аллювиальных дерново-насыщенных почв. Среди почвообразующих пород Ульяновской области наибольшая аккумуляция тяжелых металлов характерна для известняков.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почвы, буферность, почвообразующая порода, тип почв, накопление

FEATURES OF ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN DIFFERENT TYPES OF SOILS (ON THE EXAMPLE OF THE ULYANOVSK REGION)

Vasin D.V.

Moscow Region State University, Mytischi, e-mail: dv_0504@mail.ru

This publication discusses the issues related to the peculiarities of the accumulation of heavy metals in different types of soils (on the example of the Ulyanovsk region). The research was conducted on the basis of generalization of the author's own field research and on the study of scientific and reference literature. To date, the problem of accumulation of heavy metals in the soil cover is the most important, since the concentration of these substances can serve as one of the indicators of the geoecological state of the soil cover. Heavy metals can also be actively absorbed by the vegetation cover with varying degrees of intensity, which also needs to be taken into account. The accumulation of heavy metals by the soil cover depends on a whole complex of factors, the main of which are the humus content, sorption parameters, acidity, the nature of the soil-forming rocks and the type of soil. Heavy metals of natural origin usually accumulate in the lower part of the soil profile, and anthropogenic in the upper part. Also, the distribution of heavy metals in the soil section is primarily affected by the nature of soil use and the total anthropogenic load. In the soil cover of the Ulyanovsk region, the most common types of soils are gray forest and leached chernozems, with their characteristic features of the accumulation of heavy metals. The accumulation of heavy metals by gray forest soils and chernozems is characterized by an average degree of accumulation. Heavy metals accumulate most actively in sod-carbonate soils, and their least accumulation is characteristic of alluvial sod-saturated soils. Among of soil-forming rocks of the Ulyanovsk region the greatest accumulation of heavy metals is characteristic of limestones.

Keywords: heavy metals, soils, buffering capacity, soil-forming rock, soil type, accumulation

Проблеме накопления тяжёлых металлов разными типами почв в последнее время уделяется все больше внимания. Почва является главным связующим звеном между всеми частями биосферы и отвечает за геоэкологические процессы, происходящие в том числе на глобальном уровне.

Кроме того, в почве гораздо больше, чем в других частях биосферы, продолжительность пребывания тяжелых металлов и других загрязнителей. Важно изучение почвы еще и потому, что она постоянно испытывает геохимическую нагрузку и сохраняет геоэкологическую информацию за многие годы функционирования источников загрязнения. В связи с этим изучение содержания и распределения тяжелых металлов в почвах является наиболее важной задачей современного почвоведения [1].

Тяжелые металлы способны попадать в почву разными способами. Выделяют естественные и техногенные источники поступления тяжелых металлов, которые также делятся на первичные и вторичные.

Среди естественных источников тяжелых металлов необходимо выделить в первую очередь почвообразующие породы [2].

В природе тяжелые металлы распространены крайне неравномерно, и их содержание в почвообразующих породах существенно варьируется. Для исследования было выбрано шесть тяжелых металлов: цинк (Zn), медь (Cu), свинец (Pb), кадмий (Cd), никель (Ni), хром (Cr) – которые являются наиболее распространенными и наиболее активно накапливаются почвенным покровом.

Цель данного исследования – изучить особенности накопления основными типами почв (на примере Ульяновской области) наиболее распространённых тяжелых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni, Cr).

Материалы и методы исследования

Исследование проводилось на основе обобщения собственных полевых исследований автора на территории Ульяновской области и на изучении научной и справочной литературы по данной тематике. Пробы почв отбирались методом прикопок летом 2019 г., а анализы были выполнены в специализированной лаборатории. Были изучены особенности накопления основными типами почв Ульяновской области и почвообразующими породами шести самых распространённых тяжёлых металлов: цинка (Zn), меди (Cu), свинца (Pb), кадмия (Cd), никеля (Ni) и хрома (Cr).

Результаты исследования и их обсуждение

Почвенный покров Ульяновской области изучен достаточно подробно и отличается значительным разнообразием, которое связано с положением её преимущественно в лесостепной зоне, с особенностями геологического строения, рельефа и климата. Так как лесостепь является экотоном со своими постоянно меняющимися границами природных комплексов, то она характеризуется значительным биоразнообразием и потенциалом.

Лесостепь характеризуется преобладанием серых лесных почв, а степная зона отождествляется в первую очередь с многочисленными видами черноземов (оподзоленные, выщелоченные, долинные, обыкновенные и типичные).

Почвенный покров представлен двадцатью пятью типами почв и семью почвенными комплексами. В Ульяновской области четко проявляется почвенная зональность, которая наиболее выражена в направлении с севера на юг. Из-за возрастания континентальности климата наблюдается переход от серых лесных почв, выщелоченных и типичных черноземов к солонцам и солончакам.

В настоящее время принято делить территорию Ульяновской области на четыре агроклиматические зоны, в каждой из которой преобладают свои типы почв.

Для Западной агроклиматической зоны характерно преобладание темно-серых, серых и светло-серых лесных почв, а также выщелоченных и типичных черноземов.

В Заволжской зоне почвы представлены в основном только черноземами типичными, выщелоченными и оподзоленными.

Южная агроклиматическая зона характеризуется преобладанием типичных, оподзоленных и выщелоченных черноземов, а также дерново-карбонатных и темно-серых лесных почв.

В Центральной зоне почвы представлены в основном темно-серыми, серыми и светло-серыми лесными, выщелоченными, типичными, типичными карбонатными и типичными остаточно-луговатыми черноземами, а также встречаются участки дерново-карбонатных почв.

На особенности накопления почвенным покровом тяжёлых металлов влияет целый комплекс факторов, среди которых в первую очередь необходимо выделить содержание гумуса, сорбционные показатели, кислотность, характер почвообразующих пород, а также буферность.

Показатели буферности в почвенном покрове отвечают за защитную функцию и препятствуют негативному изменению химического состава при взаимодействии с тяжелыми металлами природного и антропогенного происхождения.

Установлена четкая взаимосвязь между буферностью и гумусом, поэтому, как правило, чем выше содержание гумуса в почве, тем выше буферность. В Ульяновской области черноземы распространены достаточно широко, а мощный гумусовый горизонт в них обеспечивает дополнительную защиту. Как правило, буферность почв нужно учитывать для оценки процесса почвообразования [3].

Как уже было ранее отмечено, одним из важнейших естественных источников поступления тяжелых металлов в почвы являются почвообразующие породы, при этом накопление тяжелых металлов в них происходит достаточно специфично. Тяже-

лые металлы естественного происхождения накапливаются, как правило, в нижней части почвенного профиля, а антропогенного – в верхней. Также на распределение тяжелых металлов по почвенному разрезу в первую очередь влияет общая антропогенная нагрузка. В табл. 1 представлены данные по среднему и суммарному содержанию тяжелых металлов в основных почвообразующих породах Ульяновской области, мг/кг.

личной интенсивностью поглощаются и накапливаются растениями [4].

Также необходимо отметить, что существует определенная связь между химическим составом почв и растениями, но в то же время нельзя определенно утверждать, что тяжелые металлы накапливаются в почвах и растениях практически аналогично. Растительный покров способен к избирательному накоплению отдельных тяжелых металлов. Растения – чуткие индикаторы

Таблица 1

Среднее и суммарное содержание тяжелых металлов в основных почвообразующих породах Ульяновской области, мг/кг

Элемент	Глины	Тяжелые суглинки	Средние суглинки	Лёгкие суглинки	Известняки	Пески	Супеси
Zn	25,5	21,8	26,8	24,8	34,3	30,6	19,5
Cu	18,5	16,4	15,7	11,6	16,4	16,6	11,8
Pb	12,8	15,4	11,5	11,6	14,1	14,8	10,3
Cd	1,1	0,5	0.9	0,3	1,2	0,7	0,5
Ni	26,9	20,7	23,5	18,8	32,9	23,5	14,9
Cr	15,1	22,9	17,2	21,0	26,4	15,9	14,0
Сумма	99,9	97,7	95,6	88,1	125,3	102,1	71,0

Из таблицы видно, что в почвообразующих породах тяжёлого механического состава активно накапливаются Cu, Cd и Ni, а в почвообразующих породах легкого механического состава (средние и легкие суглинки) накапливается Zn, Cu и Ni. В песках и супесях преимущественно идёт аккумуляция Zn, Pb, и Cu.

Также обращает на себя внимание очень высокое суммарное содержание тяжелых металлов в известняках (125,3 мг/кг), это связано в первую очередь с физико-химическими особенностями данной почвообразующей породы. Наименьшие суммарные показатели отмечены в супесях и лёгких суглинках (71,0 и 88,1 мг/кг).

Аккумуляция тяжелых металлов разными типами почв Ульяновской области имеет определённую специфику. Тяжелые металлы накапливаются преимущественно в дерново-карбонатных и серых лесных почвах, наименьшая их концентрация отмечена в аллювиальных дерново-насыщенных почвах, которые испытывают незначительную техногенную нагрузку. Черноземы по аккумуляции тяжелых металлов занимают средние позиции, так как они достаточно равномерно распределены по территории области. На особенности накопления тяжёлых металлов также в значительной степени влияет биотический круговорот. Химические элементы выборочно и с раз-

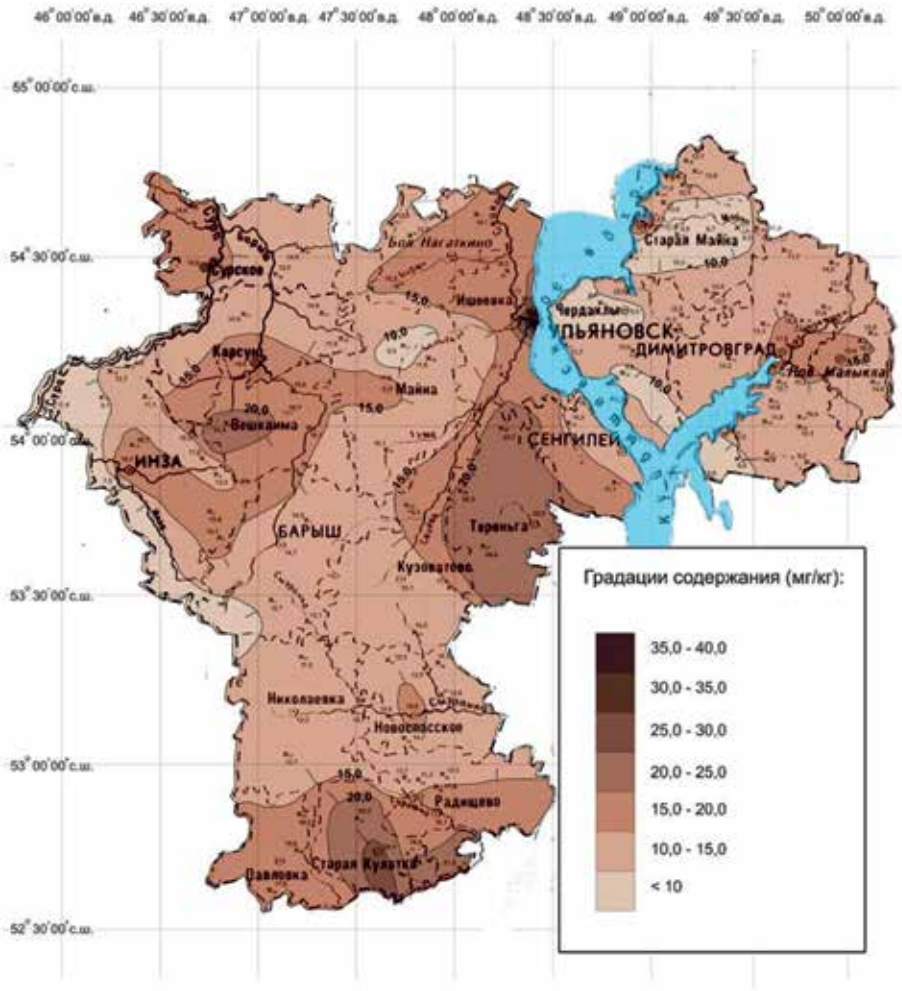
состояния экологической среды. Тяжелые металлы накапливаются в них не только из почвы, но и воздуха [5]. Большое значение имеют не только содержание, но и формы тяжёлых металлов в почве, так как они различны по степени доступности для растений [6]. В ходе проведенного исследования было определено содержание тяжелых металлов в четырёх типах почв (серых лесных, черноземах, дерново-карбонатных и аллювиальных дерновых насыщенных) и полученные данные были сравнены с региональным фоном. Под фоновым показателем понимается содержание тяжелых металлов в незагрязненных территориях и территориях, не испытывающих антропогенного воздействия. Фоновые содержания шести самых распространённых тяжелых металлов в почвенном покрове Ульяновской области представлены в табл. 2.

Из таблицы также видно, что дерново-карбонатные почвы имеют превышение регионального фона по всем исследуемым тяжёлым металлам, а остальные типы почв превышают региональные значения по всем тяжелым металлам кроме никеля (Ni). Серьезную опасность вызывает превышение регионального фона основными типами почв Ульяновской области по Pb и Cd, так как они относятся к высокоопасным веществам для состояния окружающей среды и обладают высокой токсичностью.

Таблица 2

Фоновые содержания тяжелых металлов в основных типах почв Ульяновской области, мг/кг

Элемент	Региональный фон	Серые лесные	Черноземы	Дерново-карбонатные	Аллювиальные дерновые насыщенные
Zn	24,2	37,2	35,2	39,8	31,7
Cu	11,2	17,5	16,4	17,7	15,1
Pb	11,2	15,3	14,2	16,8	13,1
Cd	0,43	1,1	1,03	1,4	1,0
Ni	35,3	28,4	27,5	35,9	26,5
Cr	16,3	27,5	19,4	25,1	16,8



Накопление свинца (валовая форма) почвенным покровом Ульяновской области, мг/кг

Например, токсичность свинца (Pb) в черноземных почвах достаточно быстро нейтрализуется, а в дерново-подзолистых почвах с кислой реакцией свинец (Pb), наоборот, остается очень токсичным практически неограниченное время. Содержание свинца изменяется от 13,1 мг/кг в аллювиальных дерновых насыщенных до 16,8 мг/кг в дерново-карбонатных почвах, но при этом средняя концентрация свинца (Pb) в почвах, как правило, не превышает 10–40 мг/кг.

Особенности аккумуляции свинца (Pb) почвенным покровом Ульяновской области представлены на рисунке.

Таблица 3

Средняя аккумуляция тяжелых металлов в некоторых подтипах черноземов, мг/кг

Элемент	Черноземы выщелоченные	Черноземы обыкновенные	Черноземы типичные
Zn	35,3	31,5	38,9
Cu	16,1	14,6	18,6
Pb	13,7	12,0	16,9
Cd	1,0	0,8	1,3
Ni	27,1	24,9	30,7
Cr	19,0	18,1	21,1

Кадмий (Cd) в значительных количествах поглощается и накапливается в почвах с щелочной и нейтральной реакцией и высоким содержанием гумуса, что как раз характерно практически для всех видов черноземов. Также необходимо отметить, что, как и кадмий (Cd), свинец (Pb) концентрируется в верхнем гумусовом горизонте и довольно легко может поглощаться растениями. Цинк (Zn) также является токсичным элементом, и даже незначительное повышение его концентрации сразу негативно сказывается на почвенной биоте и растительном покрове, но, в отличие от кадмия (Cd), цинк (Zn) все же менее доступен растениям. Содержание Zn колеблется от 31,7 мг/кг в аллювиальных дерновых насыщенных до 39,8 мг/кг в дерново-карбонатных почвах, хотя среднее его содержание в почвах составляет 30–50 мг/кг. Cr благодаря своим особенностям способен в больших количествах накапливаться в серых лесных почвах, а так как данный тип почв широко распространен по территории области, то отслеживание динамики аккумуляции Cr очень важно.

Также необходимо отметить, что представленные в табл. 2 типы почв обладают разной устойчивостью к тяжёлым металлам, в первую очередь из-за количества гумуса.

Черноземы и пойменные аллювиальные почвы обладают наибольшей устойчивостью к тяжелым металлам, а серые лесные почвы и дерново-подзолистые – наименьшей из-за низкого содержания гумуса [7]. Среди черноземов наибольшим содержанием гумуса в первую очередь отличается чернозем типичный (7–15 %).

В Ульяновской области аккумуляция тяжелых металлов увеличивается от черноземов обыкновенных и выщелоченных к черноземам типичным. Черноземы обыкновенные по всем изученным тяжелым металлам имеют минимальную аккумуляцию, особенно обращают на себя внимание низкие показатели Zn (31,5) и Ni (24,9) соответственно. Хотя черноземы выщелоченные и занимают среднее положение в способности накапливать тяжелые металлы, но из-за низкого содержания гумуса даже такие относительно невысокие концентрации представляют опасность, поэтому необходим мониторинг. Для черноземов типичных характерны высокие значения всех загрязнителей, особенно Pb (16,9) и Cu (18,6), но значительные показатели данных тяжелых металлов нейтрализуются высокой гумусностью и поэтому риски негативных последствий не так высоки. Средняя аккумуляция тяжелых металлов в некоторых подтипах черноземов представлена в табл. 3.

Для черноземов также характерна закономерность, что аккумуляция валовых форм тяжелых металлов не всегда совпадает с аккумуляций подвижных. В частности, исключение характерно для черноземов типичных, так как они обладают максимальной гумусностью. Максимальные значения валовых форм для данного подтипа черноземов сочетаются с минимальными показателями подвижных. Что касается остальных подвидов черноземов, то для них максимальные значения валовых форм приводят к формированию максимальных значений и подвижных форм.

Заключение

В результате обобщения собственных полевых исследований и анализа научной литературы можно сделать следующие выводы:

1. В Ульяновской области наиболее распространёнными типами почв являются серые лесные и черноземы выщелоченные, с характерными для них особенностями накопления тяжелых металлов.

2. На особенности накопления почвенным покровом тяжёлых металлов влияет целый комплекс факторов, среди которых в первую очередь необходимо выделить со-

держание гумуса, сорбционные показатели, кислотность, характер почвообразующих пород, а также буферность.

3. Максимальное суммарное содержание тяжелых металлов характерно для известняков, а минимальное – для супесей и лёгких суглинков.

4. Высокая концентрация тяжелых металлов отмечена для дерново-карбонатных почв, а наиболее низкая – для аллювиальных дерновых насыщенных почв.

5. Черноземы и пойменные аллювиальные почвы обладают наибольшей устойчивостью к тяжелым металлам из-за очень значительного содержания гумуса.

6. Средняя аккумуляция тяжелых металлов некоторыми подтипами черноземов увеличивается от черноземов обыкновенных к черноземам типичным.

Список литературы / References

1. Васин Д.В. Современное геоэкологическое состояние почв Московской области: в сборнике Добродеевские чтения 2017. I Международная научно-практическая конференция (г. Москва, 12–13 октября 2017 г.). М.: Изд-во МГОУ, 2017. С. 21–23.

Vasin D.V. Modern geoecological state of soils in Moscow region: v sbornike Dobrodeevskie chteniya 2017. I Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya (g. Moskva, 12–13 oktyabrya 2017 g.). M.: Izd-vo MGOU, 2017. P. 21–23 (in Russian).

2. Васин Д.В. Содержание тяжелых металлов в почвах разных агроклиматических зон Ульяновской области. Сравнительная характеристика распределения тяжелых металлов в почвах Ульяновской области и в соседних регионах (на примере Самарской области) // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. [Электронный ресурс]. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8332 (дата обращения: 14.05.2021).

Vasin D.V. The content of heavy metals in coils of different agroclimatic zones of the Ulyanovsk region. The comparative characteristic of distribution of heavy metals in soils of the Ulyanovsk region and in the next regions (on the example of the Samara region) // Sovremennie problemi nauki i obrazovaniya. 2013. № 1. [Electronic resource]. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=8332 (date of access: 14.05.2021) (in Russian).

3. Зайцева Т.Ф. Буферность почв и вопросы диагностики // Известия СО АН СССР. Серия биол. науки. 1987. Вып. 2. № 14. С. 69.

Zaitseva T.F. Soil buffering and diagnostic issues // Izvestiya SO RAN SSSR Seriya biol. n. 1987. Vyp. 2. № 14. P. 69 (in Russian).

4. Лопатина Д.Н. Накопление тяжелых металлов в почвах и растениях бассейна реки Оса (Верхнее Приангарье) // Успехи современного естествознания. 2019. № 6. С. 82–87.

Lopatina D.N. Accumulation of heavy metals in soils and plants of Osa river basin (Top Angara region) // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2019. № 6. P. 82–87 (in Russian).

5. Болтунова А.Д., Смирнова С.В., Солтис В.В. Накопление тяжелых металлов в почвах под влиянием промышленного производства // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 4. [Электронный ресурс]. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26637 (дата обращения: 14.05.2021).

Boltunova A.D., Smirnova S.V., Soltis V.V. Accumulation of heavy metals in soils under the influence of industrial production // Sovremennie problemi nauki i obrazovaniya. 2017. № 1. [Electronic resource]. URL: http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=26637 (date of access: 14.05.2021) (in Russian).

6. Малышева З.Г., Павлова Е.Г. Накопление тяжелых металлов в городских почвах (на примере города Новочеркасска) // Политематический сетевой электронный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 78. С. 106–115.

Malysheva Z.G., Pavlova E.G. Accumulation of heavy metals in soils of steppe agglomeration (on example of Novocherkassk). Politematicheskij setevoj elektronnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 78. P. 106–115 (in Russian).

7. Рустамова Е.В., Гилева Е.М., Матвеева А.А. Оценка устойчивости почв по отношению к тяжелым металлам // Аграрный вестник Урала. 2010. № 11–2. С. 5.

Rustamova E.V., Gileva E.M., Matveeva A.A. Estimation stability ground in relation to heavy metals // Agrarnii vestnik Urala. 2010. № 11–2. P. 5 (in Russian).

УДК 502/504:338.48(571.150)

К ВОПРОСУ О ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «САЛАИР» В АЛТАЙСКОМ КРАЕ В ЦЕЛЯХ РАЗВИТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ТУРИЗМА

[1]Гребенников О.Р., [2]Важов В.М., [3]Важов С.В., [2]Штехман А.И.

[1]ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», филиал, Белокуриха;
[2]ФГБОУ ВО «Алтайский государственный гуманитарно-педагогический университет имени В.М. Шукшина», Бийск, e-mail: vazhov49@mail.ru;
[3]ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», Барнаул

Алтайский край входит в число перспективных туристских регионов России. Турпоток в Алтайском крае в 2020 г. достиг 1,2 млн чел. Одним из востребованных туристских объектов на Алтае является Салаирский кряж. Он занимает переходное положение от равнин Западно-Сибирской низменности к Горному Алтаю. Территория представляет собой сложное сочетание ландшафтов и характеризуется многими географическими и биологическими достопримечательностями. В административном отношении Салаирский кряж находится на сопредельных территориях Кемеровской и Новосибирской областей. Занимает также восточную часть Алтайского края, где в 2020 г. создан первый в регионе национальный парк «Салаир». Функционирование парка, наряду с охраной черневой тайги, кедровых лесов, реликтовых экосистем липовых рощ, исчезающих ландшафтов северной лесостепи, биоразнообразия и других целей, предусматривает развитие экологического туризма. Этому способствуют уникальные ландшафты и первозданная дикая природа, а также преимущества в отношении некоторых охраняемых территорий сопредельных регионов: к ним можно отнести неизведанные туристами ландшафтные участки, что способствует открытию новых природных объектов; многообразие дикой флоры и фауны; нетронутые деятельностью человека девственные леса, привлекательные для любителей сплавов и рыбалки водотоки и водоёмы. Хорошая транспортная доступность границ парка является важной для туристов. Природное своеобразие парка предопределяет также развитие познавательного туризма и экологического просвещения в области спелеологии, геологии, палеонтологии, археологии; имеется большой выбор видов активного туризма: горный рафтинг, альпинизм, конный туризм; обилие снега создаёт все условия для отдыха любителям лыжных походов. Развитие экологического туризма с учётом обобщённых сведений географической оценки национального парка «Салаир» предполагает приоритетное использование горных и лесных ландшафтов, водотоков, их пойменных участков и водоёмов, что обусловливает социально-экономическую перспективу парка.

Ключевые слова: Алтайский край, экологический туризм, национальный парк «Салаир», заповедный ландшафт, биоразнообразие

TO THE QUESTION ABOUT THE GEOGRAPHICAL ASSESSMENT OF THE TERRITORY OF THE NATIONAL PARK «SALAIR» IN THE ALTAI KRAI FOR THE PURPOSE OF DEVELOPMENT OF ECOLOGICAL TOURISM

[1]Grebennikov O.R., [2]Vazhov V.M., [3]Vazhov S.V., [2]Shtekhman A.I.

[1]Altai State University, branch, Belokurikha;
[2]Shukshin Altai State University for Humanities and Pedagogy, Biysk, e-mail: vazhov49@mail.ru;
[3]Altai State University, Barnaul

Altai krai is one of the most promising tourist regions of Russia. The tourist flow in the Altai Territory in 2020 reached 1.2 million people. One of the most popular tourist sites in Altai is the Salair Ridge. It occupies a transitional position from the plains of the West Siberian Lowland to Gorny Altai. The territory is a complex combination of landscapes and is characterized by many geographic and biological attractions. In administrative terms, the Salair Ridge is located in the adjacent territories of the Kemerovo and Novosibirsk regions. It also occupies the eastern part of the Altai Territory, where in 2020 the first national park in the region «Salair» was created. The functioning of the park, along with the protection of the black taiga, cedar forests, relict ecosystems of linden groves, endangered landscapes of the northern forest-steppe, biodiversity and other purposes, provides for the development of ecological tourism. This is facilitated by unique landscapes and pristine wilderness, as well as advantages in relation to some protected areas of adjacent regions: these include landscape areas unexplored by tourists, which contributes to the discovery of new natural objects; variety of wild flora and fauna; virgin forests untouched by human activity, watercourses and reservoirs attractive for lovers of rafting and fishing. There is good transport accessibility to the borders of the park, which is an important point for tourists. The natural originality of the park also predetermines the development of educational tourism and environmental education in the field of speleology, geology, paleontology, archeology; there is a wide range of types of active tourism: mountain rafting, mountaineering, equestrian tourism; the abundance of snow creates all conditions for recreation for lovers of ski trips. The development of ecological tourism, taking into account the generalized information of the geographical assessment of the Salair National Park, presupposes the priority use of mountain and forest landscapes, watercourses, their floodplain areas and reservoirs, which determines the socio-economic perspective of the park.

Keywords: Altai Territory, ecological tourism, Salair National Park, protected landscape, biodiversity

Экологический туризм в России формируется с последнего десятилетия прошлого века с ориентацией на западную практику, где распространялся ещё в начале 1990-х гг. Первостепенное значение для него имеют особо охраняемые природные территории (ООПТ) [1]. Минприроды РФ запланировало к 2024 г. повышение по-

тока туристов на ООПТ почти в 5 раз [2]. Алтайский край входит в число перспективных субъектов федерации в отношении туризма. Количество туристов и экскурсантов в Алтайском крае в 2020 г. достигло 1,2 млн чел. [3], что соответствует почти половине населения края.

Известно, что привлекательность природных туристско-рекреационных объектов связана с контрастностью ландшафтных условий и пейзажной уникальностью местности. Одним из таких природных объектов в Алтайском крае является Салаирский кряж. Он занимает переходное положение от равнинных пространств Западно-Сибирской низменности к Горному Алтаю [4]. Территория представляет собой сложное сочетание ландшафтов, свойственных как той, так и другой области, характеризуется широким биоразнообразием. По этой причине Салаир является привлекательным туристским районом юга Западной Сибири.

Сегодня туристы, путешественники и рекреанты хотят сами увидеть то, что преподносят им визуально средства массовой информации и реклама, особенно интересны им объекты природы [5].

В административном отношении Салаирский кряж находится на сопредельных территориях Кемеровской и Новосибирской областей. Занимает также часть территории Алтайского края на востоке, где Постановлением Правительства РФ от 11 сентября 2020 г. № 1399 учреждён национальный парк «Салаир» [6]. Функционирование парка в алтайской части кряжа, наряду с охраной черневой тайги, кедровых лесов, реликтовых экосистем липовых рощ, исчезающих ландшафтов северной лесостепи, биоразнообразия и других целей, предусматривает совершенствование экологической составляющей туристской сферы. Национальный парк «Салаир» охватывает земли Заринского, Тогульского, Ельцовского и Солтонского районов, состоит из шести кластеров и расположен на площади свыше 161,2 тыс. га [6]. Включает государственные природные комплексные заказники краевого значения (ГПКЗ) – «Тогульский», «Ельцовский», «Сары-Чумышский», а также дополнительные участки (рис. 1).

Рис. 1. Карта-схема национального парка «Салаир» (по tigirek.ru›Русский›salair)

Развитию экологического туризма в национальном парке «Салаир» способствуют уникальные ландшафты и первозданная дикая природа, а также преимущества в отношении некоторых ООПТ сопредельных регионов: к ним можно отнести неизведанные туристами ландшафтные участки, что способствует открытию новых природных объектов; многообразие дикой фауны и флоры; нетронутые деятельностью человека девственные леса; привлекательные для любителей сплавов и рыбалки водотоки и водоёмы. Можно отметить и довольно хорошую транспортную доступность границ парка, что является немаловажным для туристов.

Природное своеобразие национального парка «Салаир» предопределяет также развитие познавательного туризма и экологического просвещения в области спелеологии, геологии, палеонтологии, археологии; имеется большой выбор видов активного туризма: горный рафтинг, альпинизм, конный туризм; обилие снега создаёт все условия для отдыха любителям лыжных походов.

Географическая оценка, направленная на изучение территории парка в целях туризма, прежде всего экологического, является актуальной.

Цель работы предусматривает оценку территории национального парка «Салаир» для развития экологического туризма как одного из перспективных туристских направлений в Алтайском крае.

Материалы и методы исследования

Экспедиционные работы проходили в 2013–2018 гг. с использованием автомобильного транспорта повышенной проходимости, в труднодоступных местах – сплавом на лодках по рекам или пешком. В экспедициях работало 1–2 группы по 2–3 человека (в разных экспедициях участвовало разное количество групп и людей).

Использовались такие методы, как географический, картографический, камерально-описательный, проанализированы полевые материалы, собранные в ходе экспедиционных работ (полевые дневники, фотоматериалы, информация с GPS-навигаторов, гербарий), а также имеющиеся данные литературных и информационных источников. Обобщение полученных результатов проводилось общепринятыми методами [7]. Создана база данных, содержащая информацию о местообитаниях редких и находящихся под угрозой исчезновения видов животных, растений, грибов и лишайников, включенных в Красные книги.

Среди наиболее интересных фаунистических наблюдений можно назвать уникальную для Салаирского кряжа встречу орлана-белохвоста и серого сорокопута в период с 8 июля по 15 ноября 2017 г. Эти очень редкие птицы занесены в Красные книги федерального и регионального уровней.

Результаты исследования и их обсуждение

Орографически кряж выражен недостаточно чётко, только на северо-востоке имеется уступ Тырган, высота которого изменяется от 100 до 200 м [4].

В юго-восточной части граница кряжа пролегает по правому берегу Нени в направлении устья р. Сары-Чумыша. На юге Салаир имеет вид скалистой гряды протяжённостью до 20 км при относительной высоте до 350 м. На юго-западе гряда снижается и имеет вид протянувшихся в одном направлении сопок. На юге кряж ограничивается правобережьем Бии к западу от р. Нени [4].

Южной оконечностью кряжа считается Кивдинская гряда. Максимальная абсолютная отметка кряжа (618 м) принадлежит горе Кивде. Основной элемент рельефа представлен плоскими вершинами и пологими склонами различных экспозиций, выположенными водоразделами и редкими скальными останцами. В комплексе с инсоляцией, эрозионной работой рек и преобладающих ветров, на формирование рельефа влияют разломы и складки палеозойского фундамента [4].

На Салаирском кряже произрастает 1022 вида растений [6], найдены их редкие представители, такие как сердечник трёхнадрезанный, княженика, лобария лёгочная, рамалина китайская и др. Обитают редкие животные: эйзения Малевича, аполлон обыкновенный, таймень, чёрный аист, обыкновенная летяга, летучие мыши и др. В парке и на кряже в целом зарегистрировано 34 вида пернатых хищников из семейств Ястребиные Accipitridae, Соколиные Falconidae и Совиные Strigidae [8].

На территории национального парка известно до 700 видов сосудистых растений, из них многие виды растений, лишайников и грибов включены в Красную книгу Алтайского края [9], среди них – копытень европейский, *кандык сибирский,* волчеягодник обыкновенный, липа сибирская, *лобария легочная*. А такие растения, как *кандык сибирский* (рис. 2) и *лобария легочная,* представлены в Красной книге Российской Федерации [10].

Рис. 2. Кандык сибирский (по lushrussia.ru›information/articles/148982/)

Фауна парка насчитывает 231 вид позвоночных, из которых 44 вида животных являются редкими и занесены в региональную Красную книгу, 12 видов представлены в федеральной Красной книге [6]. Наибольшее количество редких и исчезающих видов животных приходится на авифауну, например в парке гнездятся чёрный аист, сапсан, филин [8, 11]. С разным характером пребывания отмечены скопа, беркут, змееяд, балобан и орёл-могильник [8]. Не случайно часть территории парка занимает Ельцовская ключевая орнитологическая территория международного уровня [6].

Поскольку ГПКЗ «Тогульский», «Ельцовский» и «Сары-Чумышский» составляют территориальную основу национального парка «Салаир», приводим по ним основные данные, касающиеся экологического туризма.

ГПКЗ «Тогульский» организован 04.05.1975, располагается на площади в 65 тыс. га, территориально принадлежит Тогульскому району [12, 13]. Занимает отроги юго-западного склона Салаирского кряжа с отметками высот от 200 до 500 м. Рельеф заказника низкогорный. Густота речной сети характеризуется как очень высокая, сформирована в основном реками Тогул и Уксунай, в которые впадает до 50 мелких водотоков. Почвенный покров охраняемой территории представлен зональными дерново-глубокооподзоленными почвами черневой тайги, а также тёмно-серыми лесными почвами и чернозёмами оподзоленными. В долинах рек встречаются пойменные луговые и пойменные лугово-болотные почвы.

Ландшафтная структура характеризуется преобладающими в заказнике полого-увалистыми расчленёнными поверхностями, поросшими разнообразными травяными лесами. Произрастают редкие растения: копытень европейский (*Asarum europaeum*), бруннера сибирская (*Brunnera sibirica*), колокольчик крапиволистный (*Campanula trachelium*), липа сибирская (*Tilia sibirica*), волчеягодник обыкновенный (*Daphne mezereum*), щитовник мужской (*Dryopteris filix-mas*) [12, 13].

В заказнике обитает редкое на Салаире животное – выдра. Встречается летяга, косуля, росомаха, солонгой, предполагается обитание сибирской белозубки. Авифауна заказника насчитывает до 140 видов, в основном – воробьиные птицы. С разным характером пребывания известны соколообразные, ржанкообразные (кулики), дятлообразные, совы, курообразные и др. Наблюдаются редкие птицы: черный аист, большой подорлик, сапсан, иглохвостый стриж, таежный сверчок – все они включены в федеральную и региональную Красные книги [12]. Предполагается нахождение других редких видов, таких как могильник, беркут, змееяд, балобан, малый перепелятник, филин, трёхпалый дятел, серый сорокопут, синехвостка, пятнистый конёк, часть этих птиц может гнездиться в заказнике. На сопредельной с заказником территории наблюдаются такие редкие пти-

цы, как большой крохаль и синий соловей. Из герпетофауны на охраняемой территории известны остромордая лягушка, серая жаба, живородящая и, возможно, прыткая ящерицы. Ихтиофауна представлена сибирским ельцом, речным гольяном, щукой, гольцом-губачом, сибирским хариусом [12].

ГПКЗ «Ельцовский» создан 11.10.1993 в качестве ихтиологического, а позднее, в 2001 г., переименован в комплексный. В Ельцовском районе заказник занимает типичные для алтайской части Салаира ландшафты разнообразных угодий в отрогах Салаирского кряжа на площади 12,8 тыс. га. Здесь расположен практически весь фаунистический таёжный комплекс [12, 14]. Отметки высот охраняемой территории в основном находятся в интервале 236–470 м. Рельеф сильно расчленён, преобладает низкая овражность местности. По территории заказника пролегают долины рек Большая Мостовая и Малая Мостовая. Тип густоты речной сети характеризуется как очень густой.

Почвы заказника – зональные серые лесные и дерновые глубоко-оподзоленные, заняты в основном черневой тайгой. Преобладающие ландшафты речных долин представлены заболоченными лугами и лесами. На территории заказника местами встречаются участки кедра.

В заказнике зарегистрированы представители редких растений из Красной книги России [2] – кандык сибирский (*Erythronium sibiricum*), волчеягодник обыкновенный (*Daphne mezereum*), пион марьин корень (*Paeonia anomala*), щитовник мужской (*Dryopteris filix-mas*). В список растений региональной Красной книги входит башмачок крупноцветковый (*Cypripedium macranthon*) [12, 14].

Из животных здесь обычны волк, рысь, бурый медведь, ласка, горностай, колонок, американская норка. Изредка наблюдается росомаха, значительно чаще встречается лось, немногочисленны ондатра, степной хорь и барсук. В кормные годы высока численность обыкновенной белки и азиатского бурундука. Всегда обычен заяц-беляк. Предполагается обитание редких животных – сибирской белозубки и выдры [12].

В заказнике известно до 135 видов птиц, в основном это воробьиные. Есть соколообразные, гусеобразные, дятлообразные, совообразные и курообразные. Среди редких видов зарегистрированы чёрный аист, балобан, скопа, змееяд, орел-карлик, сапсан, трехпалый дятел, иглохвостый стриж, серый сорокопут. Предполагается обитание большого крохаля, малого перепелятника, могильника, филина, соловья-свистуна, таёжного сверчка, синего соловья, синехвостки, пятнистого конька [12, 14].

Население амфибий и рептилий представляют остромордая лягушка, серая жаба, живородящая ящерица, обыкновенная гадюка. В реке Мостовая водится сибирский хариус и таймень. В этой же реке находится единственное в крае нерестилище тайменя [12, 14].

ГПКЗ «Сары-Чумышский» основан 16.10.1952, занимает площадь 0,6 тыс. га, располагается в Солтонском районе на южных отрогах Салаирского кряжа [12, 15]. Отметки высот территории контрастно изменяются и составляют 250–400 м. Густота речной сети очень высокая и сложена множеством водотоков. Почвы – дерновые глубоко-оподзоленные. Преобладают в основном леса, представленные пихтой и осиной.

В заказнике произрастают редкие растения: пальчатокоренник балтийский (*Dactylorhiza baltica*), внесённый в Красную книгу РФ [10], а также пион марьин корень (*Paeonia anomala*), отмеченный в региональной Красной книге [12, 15].

Из животных здесь встречаются лисица, рысь, американская норка, колонок, лось, обыкновенный бобр, ондатра, заяц-беляк и обыкновенная белка. Зарегистрировано присутствие волка и светлого хорька. Имеются сведения о встречах горностая и барсука, изредка наблюдается азиатский бурундук. Такое редкое животное, как выдра, представлено в региональной Красной книге. Из мелких млекопитающих обычны полёвки – красная, экономка и водяная. Реже встречаются восточноазиатская мышь, а также полёвки – обыкновенная, тёмная и красно-серая. Из насекомоядных известны обыкновенная бурозубка и возможно обитание равнозубовой, средней и малой бурозубок [12].

Видовой состав птиц характеризуется присутствием в орнитокомплексе, кроме распространённых здесь видов, обитающих в лесах, на их опушках, в черневой тайге, ещё и множества водно-болотных птиц. В заказнике могут находиться такие редкие виды, как змееяд, сапсан, беркут, могильник, филин, воробьиный сыч, трехпалый дятел, пятнистый конёк, синехвостка, синий соловей и таёжный сверчок. Некоторые из этих птиц могут гнездиться [12, 15].

В заказнике наблюдаются остромордая лягушка, серая жаба, живородящая яще-

рица и обыкновенная гадюка. Достаточно разнообразна ихтиофауна: сибирский елец, речной гольян, щука, голец-губач, предположительно сибирский хариус [12].

Таким образом, первозданная природа, живописный рельеф, чрезвычайно многообразная флора и фауна предопределяют уникальность природных ландшафтов национального парка «Салаир».

Заключение

Экологический туризм, сочетающий относительную дешевизну, доступность, познавательное, эстетическое и воспитательное содержание, в настоящее время является востребованной формой отдыха на природе и вносит значительный вклад в повышение социальной устойчивости региона [7].

Практикуемые формы экотуризма могут нести определённые риски для охраняемых экосистем в виде вытаптывания травостоя, нарушения лесной подстилки и самой почвы, беспокоящих факторов для животных от присутствия людей и транспорта, загрязнения территории, водотоков и водоёмов различными отходами. Избежать этого поможет совершенствование рекомендаций в туризме и их неукоснительное исполнение в целях обеспечения приоритета экологических интересов [2].

Развитие экологического туризма с учётом обобщённых фаунистических и флористических сведений при географической оценке национального парка «Салаир» предполагает приоритетное использование горных и лесных ландшафтов, водотоков, их пойменных участков и водоёмов. Туристская привлекательность парка обусловливает его социально-экономическую перспективу.

Функционирование национального парка «Салаир», предусматривающее сохранение естественного облика заповедного ландшафта и воспроизводства биоразнообразия, предопределяет выполнение задач в сфере экологического туризма и природоохранного просвещения в регионе.

Авторы выражают благодарность ООО «Лаш-Раша», оказавшему финансовую поддержку полевых исследований в 2017 г., а также участникам экспедиций А.В. Грибкову, к.б.н. Р.Ф. Бахтину, к.б.н. Н.В. Елесовой, В.Н. Никулкину и А.А. Чухлову.

Список литературы / References

1. Дунец А.Н., Индюкова М.А. Теоретические аспекты развития этноэкологического туризма // Использование потенциала особо охраняемых природных территорий для развития экотуризма: материалы научно-практической конференции (г. Барнаул, 12 декабря 2014 г.). Барнаул, 2014. С. 77–80.

Dunets A.N., Indyukova M.A. Theoretical aspects of the development of ethno-ecological tourism // Ispol'zovaniye potentsiala osobo okhranyayemykh prirodnykh territoriy dlya razvitiya ekoturizma: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii (g. Barnaul, 12 dekabrya 2014 g.). Barnaul, 2014. P. 77–80 (in Russian).

2. Игнатьева Н.А. Туризм и ООПТ в России: неразрывная связь или непримиримое противоречие // Степной бюллетень. 2019. № 53. С. 7–12.

Ignatieva N.A. Tourism and protected areas in Russia: an inextricable link or irreconcilable contradiction // Stepnoy Byulleten'. 2019. No. 53. P. 7–12 (in Russian).

3. Туризм в цифрах в Алтайском крае [Электронный ресурс]. URL: https://tourism.alregn.ru/pages/turizm-v-cifrah-v-altayskom-krae (дата обращения: 20.05.2021).

Tourism in Figures in the Altai Territory [Electronic resource]. URL: https://tourism.alregn.ru/pages/turizm-v-cifrah-v-altayskom-krae (date of access: 20.05.2021) (in Russian).

4. Малолетко А.М. Палеогеография Предалтайской части Западной Сибири в мезозое и кайнозое. Томск: Изд-во Томского университета, 1972. 230 с.

Maloletko A.M. Paleogeography of the Pre-Altai part of Western Siberia in the Mesozoic and Cenozoic. Tomsk: Izd-vo Tomskogo universiteta, 1972. 230 p. (in Russian).

5. Николаев А.А. Особо охраняемые природные территории Якутии для организации экологического туризма // Успехи современного естествознания. 2019. № 10. С. 89–94.

Nikolaev A.A. Specially protected natural territories of Yakutia for the organization of ecological tourism // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2019. No. 10. P. 89–94 (in Russian).

6. Официально опубликовано Постановление Правительства РФ о создании в Алтайском крае первого национального парка «Салаир» [Электронный ресурс]. URL: http://altaipriroda.ru/news/oopt_/?/2020/09/18/10366_ofitsialno_opublikovano_postanovlenie_pravitelstva_rf_o_sozdanii_v_altayskom_krae_pervogo_natsionalnogo_parka_salair (дата обращения: 21.05.2021).

Officially published the Decree of the Government of the Russian Federation on the creation of the first national park «Salair» in the Altai Territory [Electronic resource]. URL: http://altaipriroda.ru/news/oopt_/?/2020/09/18/10366_ofitsialno_opublikovano_postanovlenie_pravitelstva_rf_o_sozdanii_v_altayskom_krae_pervogo_natsionalnogo_parka_s (date of access: 21.05.2021) (in Russian).

7. Черемисин А.А., Важов С.В., Важов В.М. Территориальная оценка заказников Алтайского края в целях организации орнитологических туров // Успехи современного естествознания. 2020. № 4. С. 176–181. DOI: 10.17513/use.37382.

Cheremisin A.A., Vazhov S.V., Vazhov V.M. Territorial assessment of the Altai Territory reserves in order to organize ornithological tours // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2020. No. 4. P. 176–181. DOI: 10.17513 / use.37382 (in Russian).

8. Важов С.В., Важов В.М., Черемисин А.А. Материалы к изучению ястребиных птиц Салаирского кряжа // Русский орнитологический журнал. 2018. Т. 27 (1664). С. 4393–4403.

Vazhov S.V., Vazhov V.M., Cheremisin A.A. Materials for the study of hawk birds of the Salair Ridge // Russkiy ornitologicheskiy zhurnal. 2018. Vol. 27 (1664). P. 4393–4403 (in Russian).

9. Красная книга Алтайского края. Т.1. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды растений и грибов. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2016. 292 с.

Red Book of Altai Territory. T.1. Rare and endangered species of plants and fungi. Barnaul: Izd-vo Alt. un-ta, 2016. 292 p. (in Russian).

10. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / Гл. ред. Ю.П. Трутнев и др.; сост. Р.В. Камелин и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 885 с.

Red Book of the Russian Federation (plants and mushrooms) / gl. red. Yu.P. Trutnev i dr.; sost. R.V. Kamelin i dr. M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008. 885 p. (in Russian).

11. Важов С.В., Важов В.М. О гнездовании чёрного аиста *Ciconia nigra* в заказниках ленточных боров Алтайского края // Русский орнитологический журнал. 2021. Т. 30 (2026). С. 305–307.

Vazhov S.V., Vazhov V.M. On the nesting of the black stork *Ciconia nigra* in the reserves of the tapered pine forests of the Altai Territory // Russkiy ornitologicheskiy zhurnal. 2021. Vol. 30 (2026). P. 305–307 (in Russian).

12. Красная книга Алтайского края. Особо охраняемые природные территории. Барнаул, 2009. 284 с.

The Red Book of the Altai Territory. Specially protected natural areas. Barnaul, 2009. 284 p. (in Russian).

13. Тогульский заказник. [Электронный ресурс]. URL: https://www.altairegion22.ru/territory/info/120809/1308095/ (дата обращения: 22.05.2021).

Togulsky zakaznik [Electronic resource]. URL: https://www.altairegion22.ru/territory/info/120809/1308095/ (date of access: 22.05.2021) (in Russian).

14. Ельцовский заказник. [Электронный ресурс]. URL: https://www.altairegion22.ru/territory/info/120809/13080929/ (дата обращения: 23.05.2021).

Eltsovsky reserve. [Electronic resource]. URL: https://www.altairegion22.ru/territory/info/120809/13080929/ (date of access: 23.05.2021) (in Russian).

15. Сары-Чумышский заказник. [Электронный ресурс]. URL: https://www.altairegion22.ru/territory/info/120809/1308098/ (дата обращения: 22.05.2021).

Sary-Chumyshsky zakaznik. [Electronic resource]. URL: https://www.altairegion22.ru/territory/info/120809/1308098/ (date of access: 22.05.2021) (in Russian).

УДК 504.064.2:504.455:504.4.054

ЭКОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОДОЕМОВ В УСЛОВИЯХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ НЕФТЕХРАНИЛИЩ И КОМПЛЕКСНЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НИЖЕГОРОДСКОГО РЕГИОНА

Козлов А.В., Клочков Е.А., Береснев А.А., Захарова А.А., Козлова Е.С.

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный педагогический университет имени Козьмы Минина», Нижний Новгород, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru

В работе содержится первичный эколого-гидрохимический анализ воды из природных и техногенно-природных водных объектов Нижегородского региона, пребывающих в условиях различной и хронической техногенной нагрузки – водоемы микрорайона «Бурнаковская низина» и водоемы городской агломерации «Балахна – Правдинск». Как естественные, так и искусственно созданные озера и иные водоемы, испытывающие очень длительное воздействие со стороны антропогенных объектов, получают сложный геоэкологический статус, вследствие чего зачастую сами становятся потенциальными источниками загрязняющих веществ и запуска процессов нарушения трофических цепей в местном биоценозе. По этим причинам проведение экологической оценки состояния озер Бурнаковской низины и промышленной территории Балахны и Правдинска является одним из актуальных исследований регионального экологического мониторинга. Пробы воды отбирались осенью 2020 г. из изучаемых водных объектов, в которых определялся широкий спектр экологически значимых показателей – водородный показатель и общая минерализация, содержание веществ из макро- и микрокомпонентного состава (сульфаты, хлориды и общее железо), содержание экотоксикантов (нефтепродукты) и уровень биохимических свойств (растворенный кислород, ХПК и БПК$_7$). По проведенной работе следует, что исследованные водные объекты обладают повышенной минерализацией (до 584–863 мг/л), относительно высокими концентрациями хлоридов (96–97 мг/л), сульфатов (до 368–480 мг/л) и общего железа (3,2–4,9 мг/л), а также различных органических веществ-поллютантов, в том числе и нефтепродуктов (0,626–0,692 мг/л). Подобного рода тенденции являются характерными для любых природных и техногенно-природных водных объектов, испытывающих активное и хроническое техногенное воздействие. В целом для понимания целесообразности использования полученных данных в региональном экологическом мониторинге водоемов, а также для установления комплексного экологического состояния изучаемых водных объектов необходимо дальнейшее проведение эколого-гидрохимических исследований в сезонной и многолетней динамике.

Ключевые слова: природные и техногенно-природные водные объекты, эколого-гидрохимическая характеристика водоема, городская территория, хроническое загрязнение вод суши

ENVIRONMENTAL AND HYDROCHEMICAL ASSESSMENT OF WATER BODIES IN CONDITIONS OF OPERATION OF OIL STORAGE FACILITIES AND COMPLEX TECHNOGENIC FACILITIES OF NIZHNY NOVGOROD REGION

Kozlov A.V., Klochkov E.A., Beresnev A.A., Zakharova A.A., Kozlova E.S.

Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University, Nizhny Novgorod, e-mail: a.v.kozlov_ecology@mail.ru

The work contains a primary environmental and hydrochemical analysis of water from natural and technogenic-natural water bodies of the Nizhny Novgorod region, which are in conditions of various and chronic technological loads – water bodies of the Burnakovskaya Lowland microdistrict and water bodies of the Balakhna-Pravdinsk urban agglomeration. Both natural and artificially created lakes and other bodies of water with very long-term effects from anthropogenic objects receive a complex geo-ecological status, as a result of which they often become potential sources of pollutants and the initiation of trophic chain disruption processes in local biocenosis. For these reasons, the environmental assessment of the lakes of the Burnakovskaya lowland and the industrial territory of Balakhna and Pravdinsk is one of the relevant studies of regional environmental monitoring. Water samples were taken in the fall of 2020 from the studied water bodies, which determined a wide range of environmentally significant indicators – hydrogen indicator and general mineralization, the content of substances from macro- and microcomponent composition (sulfates, chlorides and total iron), the content of ecotoxicants (petroleum products) and the level of biochemical properties (dissolved oxygen, COC and BOC$_7$). It follows from the work that the water bodies studied have increased mineralization (up to 584-863 mg/l), relatively high concentrations of chlorides (96-97 mg/l), sulfates (up to 368-480 mg/l) and total iron (3,2-4,9 mg/l), as well as various organic substances-pollutants, including petroleum products (0,626-0,692 mg/l). Such trends are characteristic of any natural and technogenic-natural water bodies experiencing active and chronic anthropogenic effects. In general, in order to understand the feasibility of using the obtained data in regional environmental monitoring of water bodies, as well as to establish the integrated ecological state of the studied water bodies, further environmental-hydrochemical research in seasonal and multi-year dynamics is necessary.

Keywords: natural and technogenic-natural water bodies, ecological and hydrochemical characteristics of the reservoir, urban territory, chronic pollution of land waters

Современная урбоэкология характеризуется рядом определенных экологических проблем, присущих большинству городских территорий промышленного типа градостроительного формирования. Зачастую они состоят из спектра одних и тех же фак-

торов воздействия на окружающую среду, а именно из хронической загазованности местной атмосферы над городами, а в случае агломерационных каркасов – и прилегающих территорий, из загрязнения поверхностных водоемов вследствие сброса как нормативно чистых, так и неочищенных сточных вод промышленного, коммунально-бытового и ливневого происхождения, а также из деградации почвенного покрова и почвоподобных грунтов вследствие чрезмерного вскрытия и рекультивации территорий, складирования и захоронения отходов [1, 2].

Известно, что как естественные, так и искусственно созданные водоемы, испытывающие хроническое воздействие со стороны техногенных объектов, получают сложный экологический статус, вследствие чего зачастую сами становятся потенциальными источниками загрязняющих веществ и запуска процессов нарушения трофических цепей в местном биоценозе [3, 4]. Одними из таких техногенно-природных водных объектов являются озера Бурнаковской низины, расположенные в Нижнем Новгороде, и водоемы от старицы р. Волги, расположенные в Городецком районе области – в городской агломерации «Балахна – Правдинск».

Организация Бурнаковской низины Нижнего Новгорода берет свое начало с 1920–1930-х гг., когда она получила статус промышленной территории. Из истории Нижегородского края известно, что уже тогда местные болота заполняли нефтяными отходами с ближайших нефтеперерабатывающих предприятий, а именно с Сормовской нефтебазы (также известна как «Нефтебаза Левинка») и Завода «Имени 26 Бакинских комиссаров». Таким образом решались две проблемы: уничтожение очагов распространения малярийных комаров и закрытие проблемы хранения отходов нефтепереработки. Нефтебаза Левинка, находящаяся на берегу Волги, бесконтрольно теряла нефтепродукты, в результате чего шло образование линзы загрязняющих органических веществ над уровнем подземных вод, то есть, по сути, на уровне местных озер. В дальнейшем обе нефтебазы, одна из которых перенесет катастрофу в 1970-е гг., прекратили свою работу. Окружающая среда начала свое восстановление, в результате чего на территории Бурнаковской низины вырос большой зеленый массив. Между тем, еще проводившиеся в 1975–1989 гг. исследования показывали явное наличие в данном районе локальных загрязнений нефтепродуктами грунтовых вод и почвы.

В 2010 г. эксперты местного экологического центра «Дронт» при обсуждении дальнейших перспектив развития данной территории предлагали оставить ее в свободном от застроек статусе и дождаться постепенной природной самоочистки грунтовой толщи. Однако в 2011 г. на части территории низины началось строительство жилого комплекса «Бурнаковский». В 2012 г. была проведена независимая экспертиза почвенного покрова, в результате которой в нем были найдены повышенные концентрации ртути, свинца, кадмия, мышьяка, бенз(а)пирена и, естественно, нефтепродуктов. В 2014 г. Департамент Росприроднадзора по ПФО проводил проверку территории Бурнаковской низины, в результате чего были выявлены три зоны, подпадающие под понятие «Объекта накопленного экологического ущерба». В их число вошли буферный пруд и шламонакопители ООО «Нефтемаслозавод «Варя», участок возле сбросного канала Сормовской ТЭЦ и участок второй очереди жилой застройки [5, 6].

Таким образом, вследствие длительного негативного воздействия на местный биоценоз и образования крупной экологической проблемы загрязнения грунтов и вод изучаемой территории в водоемах данной зоны и на поверхности местного течения реки Волги ежегодно появляются нефтяные пятна. В настоящее время здесь, на восстановленной «зеленой» территории возведен новый жилищный комплекс – микрорайон «Бурнаковский», проходящий практически до берега Волги. В рамках данной, актуальной в региональном экологическом мониторинге темы проводится оценка экологического состояния водоемов и реки Волги по содержанию приоритетных экотоксикантов в их водах.

Особенностью агломерации «Балахна – Правдинск» Нижегородской области (Городецкий муниципальный район) является то, что она расположена на территории старицы Волги, где присутствует одна из крупных электростанций региона – НИГРЭС, а также здесь сосредоточены техногенно-природные водоемы, образованные в том числе вследствие ее деятельности. Кроме того, г. Балахна и Правдинск характеризуются большим количеством предприятий различных отраслей промышленности. В частности, здесь представлены целлюлозно-бумажный (АО «Волга»), автотранспортный (ООО «ПКФ «Луидор», ООО «РусКомТранс»), электротехнический

и электронный (АО «НПО «Правдинский радиозавод», ООО «Узола»), химический (ООО «Биаксплен», ГК «Реал-Инвест»), горно-обогатительный (ООО «Балкум» – ГК «INESCO») и смешанный (ООО «СТП») виды промышленности. Естественно, что подобная концентрация промышленных объектов на относительно небольшой территории потенциально может оказывать высокое негативное воздействие на местную окружающую среду [1, 7]. По этим причинам проведение экологической оценки состояния рассматриваемых водных объектов является одним из актуальных исследований регионального экологического мониторинга [3, 5].

Цель работы – проведение первичной эколого-гидрохимической характеристики вод из естественных и техногенно-природных водных объектов, расположенных на территориях с различной техногенной нагрузкой в Нижегородской области.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования явились воды из различных озер и водоемов, а также из р. Волги, пребывающих в различных антропогенных условиях г. Нижнего Новгорода и Нижегородской области. В черте Нижнего Новгорода точки отбора располагались на искусственных водоемах Сормовской нефтебазы и вдоль реки Волги. В черте агломерации «Балахна – Правдинск» точки отбора проб воды располагались на природных (реки Волга и Теплушка) и техногенно-природных (пруд-охладитель НИГРЭС, пруды карьера Бурцевский и села Коробейниково, пруд Земснаряда, пожарный водоем в районе ул. Кавказ) водоемах. На рис. 1 и 2 показаны ситуационные планы объектов исследования и расположение точек отбора проб воды.

Отбор проб воды осуществлялся в осенний период 2020 г. по ГОСТ Р 51592-2000 «Вода. Общие требования к отбору проб», ГОСТ 17.1.5.05-85 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков» и Р 52.24.353-2012 «Рекомендации по отбору проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод» при помощи батометра гидрологического БГ-1,0. Пробы воды доставлялись в Эколого-аналитическую лабораторию мониторинга и защиты окружающей среды при НГПУ им. К. Минина, где впоследствии подвергались эколого-гидрохимическому анализу в течение семи дней после отбора.

Рис. 1. Территория объекта «Бурнаковская низина» г. Нижнего Новгорода и расположение точек отбора проб воды из водных объектов и реки Волги

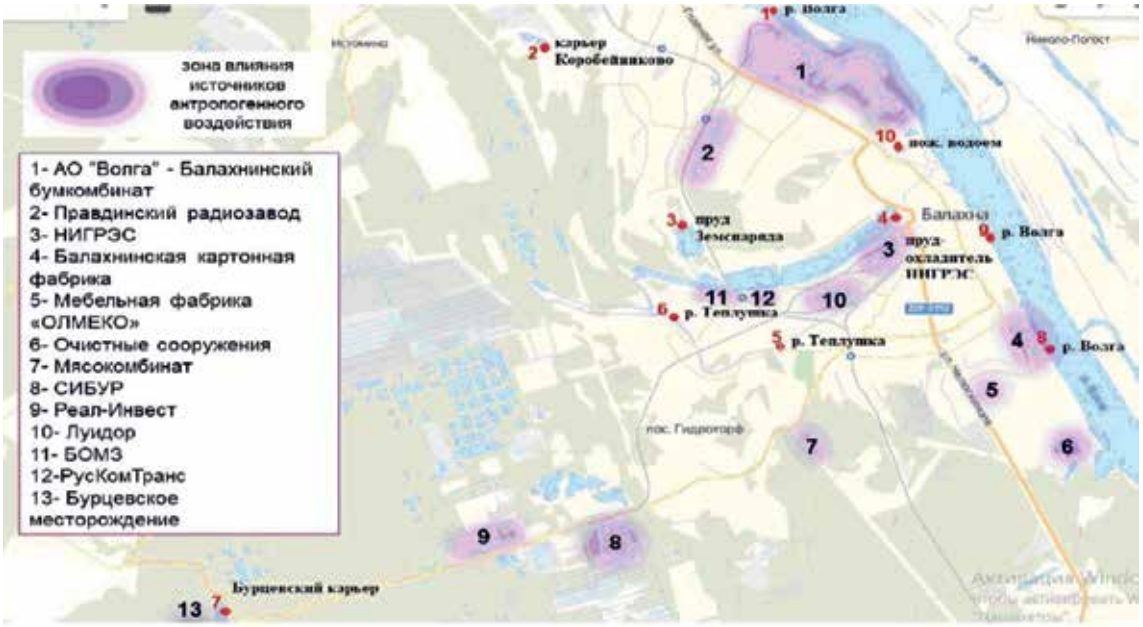


Рис. 2. Промышленная территория агломерации «Балахна – Правдинск» Нижегородской области и расположение точек отбора проб воды из водных объектов и реки Волги

В пробах определялся широкий спектр экологически значимых показателей, среди которых водородный показатель воды и ее общая минерализация, содержание веществ из макро- и микрокомпонентного состава (в том числе концентрация сульфатов, хлоридов и общего железа), содержание экотоксикантов (в том числе суммарная концентрация нефтепродуктов) и уровень биохимических свойств (в том числе концентрация растворенного кислорода, ХПК по перманганатной окисляемости воды и $БПК_7$). Химико-аналитическое сопровождение выполняемых анализов соответствовало современным нормативным и методическим требованиям [4, 8].

Результаты исследования и их обсуждение

Данные табл. 1 отражают уровень показателей эколого-гидрохимического состояния воды из водных объектов, обследованных на территории Бурнаковской низины в Нижнем Новгороде. В результате проведенного исследования была установлена относительно нейтральная кислотность вод по всем точкам отбора проб, варьирующая от 6,86 ед. до 7,62 ед. pH. Примерно аналогичным образом изменялась общая минерализация воды, за исключением проб из р. Волги (точки 9 и 10), где воды оказались пресными. Нужно отметить, что по остальным точкам отбора воды были более минерализованы, а многие из них характеризовались относительно повышенной минерализацией (до 522–584 мг/л), что вполне могло быть обусловлено катионно-анионными примесями, в том числе и хлоридами. Известно, что хлориды могут присутствовать в составе различных переработанных нефтепродуктов в виде хлорорганических и иных веществ, добавляемых для снижения вязкости, растворения некоторых смол, предотвращения микробиологической коррозии и при многих других технологических процессах.

Было выявлено, что содержание хлорид-анионов в водах водоемов находилось на достаточно высоком уровне, варьирующем от 1,3 % до 28 % от ПДК. Вполне вероятно, что данные концентрации хлоридов были обусловлены техногенной деятельностью, поскольку геоэкологический фон природных местных водоемов территории южно-таежной подзоны изначально определяется крайне низким содержанием катионов и анионов, в том числе и анионов хлора [4, 9].

Оценивая значения показателя $ХПК_{ПЕРМАНГ.}$ по пробам воды и содержание в ней растворенного кислорода, нужно отметить, что уровень загрязненности вод легкоокисляемыми органическими примесями водоемов Бурнаковской низины в целом нахо-

дился на относительно приемлемом уровне, а интенсивность процессов самоочищения – на достаточно высоком. Исключением явились пробы из точек 5 и 10, где проявлялись более неблагополучные тенденции. Однако, судя по уровню показателя $БПК_7$, иногда выходящего за пределы установленных норм, в водах техногенных водоемов активно происходят микробиологические процессы, а сами воды имели широкий спектр степени загрязненности. По-видимому, такой разброс тенденций был обусловлен явным наличием в составе вод органических соединений и в том числе нефтяного происхождения, которые и являются благоприятной средой для размножения некоторых микроорганизмов-гидробионтов.

В результате проведенного первичного исследования было установлено наличие нефтепродуктов во всех водоемах, превышающее санитарно-экологические нормы практически по всем точкам отбора проб. Оценивая в целом ситуацию по загрязняющим веществам, нужно сказать, что только воды местного течения реки Волги характеризовались незначительным превышением нормы ПДК (0,3 мг/л) – здесь превышение достигало 130% от допустимого уровня. В водоемах, расположенных за чертой нового жилого комплекса, вариабельность превышения составляла от 135% до 208% ПДК. В водоемах, расположенных непосредственно в зоне воздействия нефтенакопителей, уровень превышения содержания нефтепродуктов варьировал от 138% до 153% ПДК.

Характеризуя уровень загрязненности водоемов, расположенных в промышленной агломерации «Балахна – Правдинск» Нижегородской области (табл. 2), нужно сказать, что водородный показатель воды также оказался достаточно нейтральным (по точкам от 7,21 до 7,94 ед. pH), а вариабельность общей минерализации – в пределах категории пресных вод и вод с относительно повышенным содержанием растворенных солей (по точкам от 280 до 863 мг/л).

Общий уровень концентрации хлоридов здесь также оказался достаточно высоким для региональных вод (до 30% от ПДК), но в целом находился примерно на одинаковом уровне за исключением точки 10, где располагается ООО ПКФ «Луидор». Содержание сульфатов в водах принимало наибольшие значения вблизи Правдинского радиозавода (т. 2, 74% от ПДК), мясокомбината (т. 7, 96% от ПДК) и автотранспортного предприятия (т. 10, 41% от ПДК). Уровень концентрации общего железа в водах был очень высок и повсеместно превышал ПДК – от 4,3 раза в районе точки 7 до 16,3 раза в районе точки 10.

Таблица 1

Уровень общих свойств, содержания хлоридов и биохимического состояния воды из водных объектов с территории Бурнаковской низины г. Нижнего Новгорода, мг/л

Показатель	Общие свойства		Хлориды (Cl^-)	Свойства биохимического состояния			Нефтепродукты
№ точки	pH, ед. pH	Минерализация		$ХПК_{ПЕРМАНГ.}$	Раств. O_2	$БПК_7$	
1	7,62	581	97,5	1,04	8,48	5,12	0,556
2	7,32	472	18,4	1,36	7,52	4,86	0,404
3	7,54	584	24,5	2,88	9,28	3,89	0,529
4	7,08	522	17,5	1,28	4,09	3,68	0,437
5	7,16	513	13,5	3,52	1,65	1,44	0,448
6	7,12	466	15,7	2,00	5,28	4,64	0,426
7	7,20	412	13,5	3,21	6,88	4,81	0,459
8	7,23	417	12,1	1,63	4,96	3,84	0,415
9	6,86	239	8,2	4,16	11,68	5,92	0,389
10	7,17	262	4,5	6,47	10,72	5,12	0,074
11	7,61	490	14,5	0,56	11,04	6,43	0,626
ПДК*	6,5-8,5	1000	350	5,0	>4,0	3,0 / 6,0	0,3

*ПДК – предельно допустимая концентрация согласно ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования», ГН 2.1.5.2280-07 Дополнения и изменения № 1 к ГН 2.1.5.1315-03, ГН 2.1.5.2307-07 «Ориентировочные допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования».

Таблица 2

Уровень общих свойств, показателей макрокомпонентного состава и биохимического состояния воды из водоемов территории «Балахна – Правдинск» Нижегородской области, мг/л

Показатель	Общие свойства		Макрокомпоненты			Свойства биохимического состояния			Нефтепродукты
№ точки	pH, ед. pH	Минерализация	SO_4^{2-}	Cl^-	$Fe_{ОБЩ.}$	$ХПК_{ПЕРМАНГ.}$	Раств. O_2	$БПК_7$	
1	7,73	280	132	13	3,2	2,96	11,04	5,28	0,692
2	7,62	487	368	15	1,7	2,80	11,52	7,20	0,036
3	7,94	863	188	26	3,2	2,96	11,52	8,48	0,556
4	7,86	386	140	14	1,8	18,40	11,84	7,52	0,011
5	7,84	682	132	25	2,1	17,61	10,88	10,28	0,148
6	7,82	674	160	27	3,3	10,24	11,20	7,36	0,646
7	7,21	619	480	12	1,3	5,40	12,32	11,21	0,663
8	7,77	313	132	15	4,3	12,03	11,20	10,72	0,147
9	7,26	283	132	14	4,9	1,76	11,84	6,88	0,392
10	7,57	737	204	96	1,9	3,44	10,88	9,44	0,394
ПДК*	6,5-8,5	1000	500	350	0,3	5,0	>4,0	3,0 / 6,0	0,3

В условиях природных территорий южнотаежной зоны данная особенность является геохимическим фоном поверхностных и подземных вод [7, 9], однако в условиях функционирования антропогенных объектов вероятно влияние, в том числе и различного рода сточных вод.

В водах водоемов, расположенных на территории Балахнинской картонной фабрики, мебельной фабрики и городских очистных сооружений было обнаружено заметное превышение ПДК по показателю перманганатной окисляемости воды (от 2,1 до 3,7 раза), что может свидетельствовать о наличии загрязнения водоемов органическими веществами. Кроме того, по показателю биологического потребления кислорода воды со всех обследованных территорий характеризовались как «грязные» и «очень грязные» (V–VI класс), что характеризует водоемы с интенсивным протеканием процессов разложения органических веществ.

Наиболее благополучным явлением является установленный достаточно высокий уровень содержания растворенного кислорода в водах всех изучаемых водоемов (в среднем по точкам – более 10–12 мг/л), что, с одной стороны, является характеристикой холодного времени года, но при этом может характеризовать воды с относительно приемлемым уровнем самоочищающей способности.

Суммарное содержание нефтепродуктов свидетельствует о явном наличии загрязнения водоемов данными веществами. В частности, превышение предельно допустимой концентрации по показателю было установлено в точке на территории Балахнинского целлюлозно-бумажного комбината (2,3 ПДК), НИГРЭС (1,9 ПДК), городских очистных сооружений (2,2 ПДК), а также в водоемах автомобильных предприятий (1,3 ПДК).

Заключение

В работе были представлены результаты первичных эколого-геохимических исследований воды из природных и техногенно-природных водоемов, расположенных в зонах воздействия нефтехранилищ (г. Нижний Новгород) и комплекса техногенных объектов (агломерация «Балахна – Правдинск» Нижегородской области). В целом по проведенной работе следует, что водные объекты, пребывающие на территории потенциального хронического влияния разнообразной антропогенной деятельности, обладают повышенной минерализацией, относительно высокими концентрациями хлоридов, сульфатов и общего железа, а также различных органических веществ-поллютантов, в том числе и нефтепродуктов. Подобного рода тенденции являются характерными для любых природных и техногенно-природных водных объектов, испытывающих активное и хроническое техногенное воздействие [1–3]. В целом для понимания целесообразности использования полученных данных в региональном экологическом мониторинге водоемов, а также для установления комплексного экологического состояния изучаемых водных объектов

необходимо дальнейшее проведение эколого-гидрохимических исследований в сезонной и многолетней динамике.

Список литературы / References

1. Kozlov A.V., Koposova N.N., Uromova I.P., Volkova A.V., Novik I.R., Kovler L.D., Zhadaev A.Yu., Avdeev Yu.M. General trends in the environmental state of the atmosphere of the industrial territory of the Nizhny Novgorod region and the sanitary protection zone of Nizhny Novgorod's city-forming enterprise. Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. Vol. 8. № 4. P. 1434–1438.

2. Трифонова Т.А., Ширкин Л.А., Селиванова Н.В. Эколого-геохимический анализ загрязнения ландшафтов. Владимир: ООО «Владимир Полиграф», 2007. 170 с.

Trifonova T.A., Shirkin L.A., Selivanova N.V. Environmental and geochemical analysis of landscape pollution. Vladimir: OOO «Vladimir Poligraf», 2007. 170 p. (in Russian).

3. Бортникова С.Б., Гаськова О.Л., Айриянц А.А. Техногенные озера: формирование, развитие и влияние на окружающую среду. Новосибирск: Изд-во СО РАН, «Гео», 2003. 120 с.

Bortnikova S.B., Gas'kova O.L., Ajriyanc A.A. Man-made lakes: formation, development and impact on the environment. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, «Geo», 2003. 120 p. (in Russian).

4. Гагарина О.В. Оценка и нормирование качества природных вод: критерии, методы, существующие проблемы. Ижевск: Издательство «Удмуртский университет», 2012. 199 с.

Gagarina O.V. Assessment and rationing of natural water quality: criteria, methods, existing problems. Izhevsk: Izdatel'stvo «Udmurtskij universitet», 2012. 199 p. (in Russian).

5. Битва за Бурнаковскую низину: Росприроднадзор оценивает экологические потери. [Электронный ресурс]. URL: http://ecologygroup.msk.ru/bitva-za-burnakovskuu-nizinu-rosprirodnadzor-otsenivaet-ekologicheskie-poteri (дата обращения: 18.05.2021).

Battle for the Burnakov Lowland: Rosprirodnnadzor assesses environmental losses. [Электронный ресурс]. URL: http://ecologygroup.msk.ru/bitva-za-burnakovskuu-nizinu-rosprirodnadzor-otsenivaet-ekologicheskie-poteri (дата обращения: 18.05.2021) (in Russian).

6. Микрорайон Бурнаковский. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Бурнаковский (дата обращения: 18.05.2021).

Burnakovsky microdistrict. [Electronic resource]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Бурнаковский (date of access: 18.05.2021) (in Russian).

7. Козлов А.В., Вершинина И.В. Анализ вариабельности общих, биохимических и экотоксикологических показателей в воде реки Волга и каналах дренажной системы города Балахны в Нижегородской области // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 95–100.

Kozlov A.V., Vershinina I.V. Analysis of the variability of general, biochemical and ecological-sycological indicators in the water of the Volga River and the channels of the drainage system of the city of Balakhny in the Nizhny Novgorod Region // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2019. № 11. P. 95–100 (in Russian).

8. Козлов А.В. Оценка экологического состояния почвенного покрова и водных объектов: учебно-методическое пособие. Н. Новгород: Мининский университет, 2016. 146 с.

Kozlov A.V. Environmental assessment of soil cover and water objects: study guide. N.–Novgorod: Mininskij universitet, 2016. 146 p. (in Russian).

9. Никаноров А.М., Иваник В.М. Словарь-справочник по гидрохимии и качеству вод суши (понятия и определения). Ростов-н/Д., 2014. 548 с.

Nikanorov A.M., Ivanik V.M. Dictionary-handbook on hydrochemistry and quality of land waters (concepts and definitions). Rostov-n/D., 2014. 548 p. (in Russian).

УДК 911.2:551.58(571.122)

ДИНАМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ГОРОДА ХАНТЫ-МАНСИЙСКА

Кузнецова Э.А., Соколов С.Н., Кушанова А.У., Прасина Ю.А.

ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет», Нижневартовск, e-mail: elzanv07@yandex.ru

Изменения климата, темпы которых в последние десятилетия существенно возросли, в той или иной степени оказывают влияние на все сферы человеческой деятельности, представляя собой новые условия, в которых эта деятельность должна осуществляться. Оценка таких изменений на региональном уровне является актуальной задачей, что и раскрыто в данной статье. Особую значимость климатические условия имеют в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, на территории которого идёт интенсивная добыча нефти и газа, имеющих мировое значение. В этой ситуации географическая оценка климатических условий жизни людей и хозяйственного освоения приобретает особую актуальность. Поэтому необходимо рассмотреть продолжительность лета и зимы, а также изменение тепло- и влагообеспеченности территории путем расчета гидротермического коэффициента Селянинова и индекса биоклиматической эффективности климата Иванова. В г. Ханты-Мансийске начало зимы и конец зимы могут запаздывать или опережать средние сроки их наступления. За период с 2011 по 2020 г. продолжительность самой короткой зимы составляла 140 дней, а самой длинной – 188 дней. Величина среднего отклонения в продолжительности зимы – 18 дней. В рассматриваемый период чаще всего наблюдались длинные зимы, чем короткие. Раннее начало зимы неблагоприятно для хозяйственной деятельности человека, так как сокращается вегетационный период растений, увеличивается отопительный период. За рассматриваемый период гидротермический коэффициент в среднем составлял 1,415, т.е. в основном наблюдалась повышенная влагообеспеченность территории. Индекс биоклиматической эффективности климата составлял 22,15, что соответствует высокому уровню экологического потенциала и наиболее устойчивых геосистемах.

Ключевые слова: Ханты-Мансийск, климат, оценка, биоклиматические условия, особенности погодно-климатического режима

DYNAMIC FEATURES OF THE WEATHER AND CLIMATE REGIME IN THE CITY OF KHANTY-MANSIYSK

Kuznetsova E.A., Sokolov S.N., Kushanova A.U., Prasina Yu.A.

Nizhnevartovsk State University, Nizhnevartovsk, e-mail: elzanv07@yandex.ru

Climate change, the pace of which has increased significantly in recent decades, to varying degrees affects all spheres of human activity and creates a new environment in which these activities should be carried out. Assessment of these changes at the regional level is an urgent task which is dwelt upon in this article. Climatic conditions in Khanty-Mansiysk Autonomous Area-Yugra are of particular importance due to the region's intensive oil and gas production of global importance. Given this context, geographical assessment of climatic conditions of human life and economic development becomes particularly relevant. Therefore, it is necessary to consider the duration of summer and winter, as well as changes in the heat and moisture supply of the territory by calculating the Selyaninov's hydrothermal coefficient and the climate biological efficiency index of N.N. Ivanov. In Khanty-Mansiysk, the beginning of winter and the end of winter may be late or ahead of the average time of their onset. For the period 2011-2020, the shortest winter was 140 days, and the longest was 188 days. The average deviation in the duration of winter is 18 days. During the period under review, long winters were more common than the short ones. The early winter has a negative impact on human economic activity, as the growing season of plants is shortened, and the heating period increases. During the period under review, the average hydrothermal coefficient was 1.415 (±0.403), i.e., the increased moisture supply of the territory was mainly observed. The climate biological efficiency index was 22.15 (±4.04), which corresponds to a high level of ecological potential and geosystems of high stability.

Keywords: Khanty-Mansiysk, climate, assessment, bioclimatic conditions, dynamic features of the weather and climate regime

Климатические условия представляют собой совокупность динамики основных метеорологических элементов в нижней атмосфере, определяющих деятельность человека. Охлаждение или потепление, связанные с изменением климата, могут происходить в течение различных длительных периодов времени. Важным отличительным признаком является различие между теми погодными процессами, которые происходят в рамках климатической зоны, и самим изменением климата, которое увеличивает или снижает вероятность возникновения определенных погодных условий. Таким образом, можно исследовать динамические особенности погодно-климатического режима территории г. Ханты-Мансийска за период с 2011 по 2020 г., что говорит о наличии тенденций к ряду климатических колебаний.

Изменения климата также являются результатом деятельности человека на планете, такой как массовое использование ископаемого топлива, в то время как есте-

ственное изменение климата происходит в течение очень длительных периодов времени, что влечет за собой определенную адаптацию видов животных и растений, антропогенные изменения (т.е. связанные с деятельностью человека) происходят очень быстро и, следовательно, угрожают часто хрупким экосистемам.

Нынешнее глобальное потепление – это повышение средней температуры околоземной атмосферы и морей с начала индустриализации. Это антропогенное изменение климата, поскольку оно в основном связано с деятельностью энергетического, сельского и лесного хозяйства, промышленности, в транспортном и строительном секторах, выделяющих парниковые газы [1].

При антропогенном глобальном потеплении, без ужесточения мер по защите климата, ожидается, что температура поднимется на 4–5 °С с конца XX по конец XXI в.; таким образом, потепление происходит примерно в 100 раз быстрее, чем при исторических природных изменениях климата [2].

Отдельного внимания заслуживает вопрос климатических условий города, которые обычно изменены по сравнению с окружающими районами [3]. Географическую оценку региона следует начинать с климата [4]. Для этого необходимо проанализировать средние статистические показатели климата [5]. Изменения климата происходят в быстром темпе, так что экосистемы и их компоненты не успевают адаптироваться. Поэтому оценка таких изменений особенно важна на региональном уровне. Изменение климата указывает на необходимость заблаговременного формирования разностороннего подхода к проблемам климата [6].

Оценка климатических условий имеет особую значимость в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, где экосистемы наиболее чувствительны к происходящим изменениям климата. Поэтому необходимо рассмотреть изменение перехода температур воздуха через 0 °С осенью и весной, т.е. продолжительность лета и зимы, а также изменение влагообеспеченности территории путем расчета показателей балансового подхода за 2011–2020 гг.

Материалы и методы исследования

Нами для исследования была выбрана территория ХМАО-Югры, северное географическое положение которого накладывает отпечаток на развитие отраслей экономики [7]. Город Ханты-Мансийск располагается в центральной части Западной Сибири [8]. Современное местоположение метеостанции г. Ханты-Мансийска – 61 °03′ с.ш. и 69 °12′ в.д., высота над уровнем моря 44 м. По классификации климатов А.А. Григорьева и М.И. Будыко город расположен в умеренном климатическом поясе, с умеренно теплым летом и умеренно суровой снежной зимой. Радиационный баланс составляет здесь 1100–1200 МДЖ/м^2, суммарная солнечная составляющая – 3400–3600. МДЖ/м^2. Продолжительность солнечного сияния изменяется с 1700 до 1800 ч, число дней без солнца – с 100 до 120. Средняя температура воздуха в январе равна -20 °С, в июле 18 °С, абсолютный минимум января – 49 °С, абсолютный максимум июля – +37 °С, годовая амплитуда 37–38 °С. Здесь достаточно продолжительны устойчивые морозы (150–160 дней), средняя продолжительность безморозного периода на почве колеблется от 90 до 100 дней. Снежный покров наблюдается от 190 до 200 дней при средней из наибольших декадных высот от 50 до 60 см. Относительная влажность составляет 75 %, месяцы с высокой относительной влажностью – это январь, ноябрь и декабрь. Средняя междусуточная изменчивость температуры воздуха за холодный период (ноябрь – март) изменяется от 4,5 до 5 °С. Среднее количество осадков не превышает 550 мм в год, 170–180 дней в году в г. Ханты-Мансийске фиксируются осадки. Скорость ветра не превышает 3–4 м/с, зимой наблюдаются ветры преимущественно южного и юго-западного направлений, летом – северные.

При оценке биоклиматического потенциала наиболее существенным показателем является сумма температур воздуха за период с температурами выше 10 °С, которые иначе называют суммой активных температур. Степень комфортности природной среды для жизнедеятельности человека, также хозяйственной деятельности определяется совокупностью количественных характеристик периода с температурой выше 10 °С, температурой, осадками.

Данные некоторых показателей погодно-климатического режима для Ханты-Мансийска приведены в табл. 1.

Среднегодовая температура воздуха г. Ханты-Мансийска составляет -0,8 °С, количество осадков за год составляет 532 мм, среднегодовая влажность воздуха равна 77 %, скорость ветра 2,4 м/с [9].

Таблица 1

Показатели погодно-климатического режима г. Ханты-Мансийска

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Температура воздуха, °С	-18,9	-17,3	-8,1	-1,2	7,4	15,2	18,3	14,5	7,8	0,5	-10,4	-16,8
Количество осадков, мм	32	24	27	29	48	55	62	81	55	46	38	36

Таблица 2

Градации гидротермического коэффициента Г.Т. Селянинова [10]

Значение ГТК	Влагообеспеченность	Значение ГТК	Влагообеспеченность
более 2,00	переувлажненная	0,60–0,41	очень низкая (средняя засуха)
2,00–1,51	избыточная		
1,50–1,41	повышенная	0,40–0,21	исключительно низкая (сильная засуха)
1,40–1,11	достаточная (оптимальная)		
1,10–0,76	недостаточная	менее 0,20	катастрофически низкая (очень сильная засуха)
0,75–0,61	низкая (слабая засуха)		

Таблица 3

Уровень экологического потенциала и шкала устойчивости геосистем в зависимости от градации БЭК

Значение БЭК	Уровень экологического потенциала	Шкала устойчивости геосистем
0–8	очень низкий	наиболее неустойчивые
8–12	низкий	неустойчивые
12–16	средний	умеренно устойчивые
16–20	относительно высокий	устойчивые
20 и более	высокий	наиболее устойчивые

В качестве критериев для оценки климатических условий территории обычно выбирается несколько ведущих, которые существенным образом влияют на качество географической среды.

Среди показателей балансового подхода для оценки климатических условий территории используют разнообразные характеристики тепло- и влагообеспеченности территории, среди которых можно отметить: гидротермический коэффициент Селянинова и индекс биоклиматической эффективности климата Иванова.

Гидротермический коэффициент Селянинова рассчитывается по формуле

$$ГТК = 10 \cdot R_{10} / \sum T_{10}, \quad (1)$$

где R_{10} – сумма осадков (мм) за период с температурой воздуха выше 10 °С; ΣT_{10} – сумма температур (°С) за период с температурой воздуха выше 10 °С.

ГТК по Селянинову интерпретируется следующим образом (табл. 2).

Данный показатель характеризует общие условия увлажнения и теплообеспеченности. С его помощью можно определять степень увлажнения с точки зрения соотношения тепла и влаги.

Индекс биоклиматической эффективности климата Н.И. Иванова рассчитывается по формуле

$$БЭК = 0{,}01 K_у \sum T_{10}, \quad (2)$$

где $K_у$ – коэффициент увлажнения Г.Н. Высоцкого – Н.И. Иванова, который определяется по формуле

$$K_у = \frac{R}{0{,}0018 \sum (t+25)^2 \cdot (100 - f)}, \quad (3)$$

где R – годовое количество выпавших осадков (мм), t – среднемесячная температура воздуха (°С); f – среднемесячная относительная влажность воздуха (%).

Годовая тепло- и влагообеспеченность характеризуется индексом биоклиматической эффективности климата (БЭК), включающим температуру и относительную влажность воздуха, а также атмосферные осадки, что, в свою очередь, хорошо отражает устойчивость геосистем.

В зависимости от величины индекса БЭК существуют разные интерпретации экологических условий. Так, авторы [11, 12] выделили уровень экологического потенциала и шкалу устойчивости экосистем (табл. 3).

Результаты исследования и их обсуждение

Наряду с изменениями климата в глобальных масштабах значительный интерес представляет изучение региональных климатических изменений, так как они широко используются для решения практических задач и применяются в различных нормах и правилах, использующихся в строительстве, сельском хозяйстве и других отраслях [13].

Одним из ключевых климатических показателей является переход температур воздуха через 0 °С осенью и весной, его считают признаком начала и конца зимы. В XX в. эти даты приходились на 13 октября и 17 апреля в Ханты-Мансийске согласно Справочнику климата СССР [14]. Рассмотрим примеры флуктуаций гидрометеорологических показателей, наблюдающихся в пределах временного интервала с 2011 по 2020 г.

Если проанализировать данные за последнее десятилетие, то можно увидеть, что начало зимы и конец зимы может запаздывать или опережать средние сроки начала прошлого столетия. Величины отклонения могут достигать от нескольких дней до месяца, например осенью 2010 г. переход через 0° отмечался 15 ноября, в 2019 он регистрировался 17 октября. Таким образом, начало зимы за рассматриваемые годы наступало с первой декады октября по первую декаду ноября, но чаще в третью декаду октября. Конец зимы колебался от третьей декады марта по первую декаду мая, чаще всего фиксировался в первой или третьей декаде апреля (табл. 4).

Продолжительность зимы в исследуемый период колебалась в следующих пределах: самая короткая – 140 дней (2010–2011 гг., 2015–2016 гг.), самая длинная – 188 дней (2017–2018 гг.). Очень короткой зима оказалась из-за раннего начала (15 ноября, 11 ноября) и раннего конца (4 апреля, 30 марта). Величина среднего отклонения в продолжительности зимы – 18 дней. В рассматриваемый период чаще всего наблюдались длинные зимы, чем короткие (табл. 5).

Раннее начало зимы неблагоприятно для хозяйственной деятельности человека, особенно если предшествующие лето и осень были холодными и дождливыми, так как сокращается вегетационный период растений, увеличивается отопительный период. Раннее окончание зимы и раннее начало весны хуже поздних, так как возможен возврат холодов, весны становятся затяжными.

Расчетные показатели гидротермического коэффициента и биоклиматической эффективности климата за 2011–2020 гг. приведены в табл. 6.

Для Ханты-Мансийска среднее многолетнее значение гидротермического коэффициента составляет 1,55, что говорит об избыточном увлажнении территории. За период 2011–2020 гг. ГТК в среднем составлял 1,415 (±0,403), т.е. наблюдалась повышенная влагообеспеченность, хотя в 2011, 2016 и 2020 гг. она была недостаточная.

Таблица 4

Даты перехода температур воздуха через 0 °С

Год	Даты перехода температур через 0°		Год	Даты перехода температур через 0°	
	весна	осень		весна	осень
2010	15 апреля	15 ноября	2016	30 марта	11 октября
2011	4 апреля	25 октября	2017	9 апреля	21 октября
2012	31 марта	22 октября	2018	27 апреля	28 октября
2013	20 апреля	15 октября	2019	1 мая	17 октября
2014	20 апреля	7 октября	2020	10 апреля	8 ноября
2015	2 апреля	11 ноября			

Таблица 5

Продолжительность зимы

Период	Продолжительность зимы	Период	Продолжительность зимы
2010–2011	140	2015–2016	140
2011–2012	158	2016–2017	180
2012–2013	180	2017–2018	188
2013–2014	186	2018–2019	185
2014–2015	176	2019–2020	176

Таблица 6

Показатели балансового подхода для оценки климатических условий

Годы	ГТК	Влагообеспеченность	БЭК	Экологический потенциал	Устойчивость геосистем
2011	0,86	недостаточная	12,29	средний	умеренно устойчивые
2012	0,91	недостаточная	26,13	высокий	наиболее устойчивые
2013	1,63	избыточная	23,57	высокий	наиболее устойчивые
2014	2,17	переувлажненная	28,81	высокий	наиболее устойчивые
2015	2,46	переувлажненная	30,26	высокий	наиболее устойчивые
2016	1,08	недостаточная	19,15	относительно высокий	устойчивые
2017	1,37	достаточная	16,57		устойчивые
2018	1,41	повышенная	21,47	высокий	наиболее устойчивые
2019	1,16	достаточная	21,43	высокий	наиболее устойчивые
2020	1,10	недостаточная	21,80	высокий	наиболее устойчивые

Среднее многолетнее значение индекса биоклиматической эффективности климата в Ханты-Мансийске равно 19,68, что говорит об относительно высоком уровне экологического потенциала и устойчивых геосистемах. За период 2011–2020 гг. БЭК в среднем составлял 22,15 (±4,04), что соответствует высокому уровню экологического потенциала в наиболее устойчивых геосистемах, в то время как в 2011 г. экологический потенциал был средним, устойчивость геосистем была умеренная.

По показателям тепло- и влагообеспеченности можно судить о недостатке или избытке тепла или влаги на той или иной территории.

Заключение

Изменение климата является одной из важнейших международных проблем XXI в., которая выходит за рамки научной дискуссии и представляет собой комплексную междисциплинарную проблему, охватывающую экологические, экономические и социальные аспекты устойчивого развития как России, так и всего мирового сообщества.

Проблемы современного изменения климата в наши дни являются общепризнанными. Изменения климата являются частью планетарных изменений природной среды и проявляются на различных уровнях – от глобального до регионального. Основная идея заключается в том, что изменение климата на региональном уровне (например, ландшафтные зоны, бассейны рек, страны и их регионы) имеет индивидуальный характер. Наблюдаемые в настоящее время изменчивость и изменение климата и адаптация к ним на региональном и локальном уровнях стали повседневной реальностью. Причины выявленных флуктуаций погодно-климатического режима в пределах г. Ханты-Мансийска, как и особенности его микроклимата, представляют собой существенный научный интерес и требуют своего изучения.

Последствия изменения климата заключаются в повышении средней температуры у поверхности Земли, изменении количества осадков, гидрологического режима водоемов. Изменения климата отражаются на водных ресурсах озер и водохранилищ, на их качестве, а также на ледово-термическом режиме водоемов.

Список литературы / References

1. Ревич Б.А., Малеев В.В. Изменения климата и здоровье населения России: анализ ситуаций и прогнозные оценки. М.: ЛЕНАНД, 2011. 208 с.

Revich B.A., Maleev V.V. Climate change and public health in Russia: situation analysis and forward-looking estimates. M.: LENAND, 2011. 208 p. (in Russian).

2. Филандышева Л.Б., Ромашова Т.В. Тенденции изменения сезонных ритмов климата и условий функционирования ландшафтов в подтайге Западно-Сибирской равнины // Ландшафтная география в XXI веке: материалы Международной научной конференции (г. Симферополь, 11–14 сентября 2018 г.). Симферополь: Изд-во ИТ «АРИАЛ», 2018. С. 189–192.

Filandysheva L.B., Romashova T.V. Trends in seasonal rhythms of climate and conditions of functioning of landscapes in the sub-taiga of the West Siberian plain // Landshaftnaya geografiya v XXI veke: Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (g. Simferopol, 11–14 sentyabrya 2018 g.). Simferopol: Izd-vo IT «ARIAL», 2018. P. 189–192 (in Russian).

3. Густокашина Н.Н. Многолетние изменения основных элементов климата на территории Предбайкалья. Иркутск: Издательство Института географии СО РАН, 2003. 107 с.

Gustokashina N.N. Long-term changes in the main elements of the climate in the territory of the Pre-Baikal region. Irkutsk: Izdatel'stvo Instituta geografii SO RAN, 2003. 107 p. (in Russian).

4. Кузнецова Э.А., Соколов С.Н. Оценка условий жизни населения ХМАО-Югры по биоклиматическим индексам // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: материалы Международной научно-практической конференции (г. Воронеж,

3–5 октября 2019 г.). Воронеж: Изд-во «Цифровая полиграфия», 2019, Т. 2. С. 390–394.

Kuznetsova E.A., Sokolov S.N. Assessment of the living conditions of the population of the KhMAO-Yugra by bioclimatic indices // Global'nye klimaticheskie izmeneniya: regional'nye e'ffekty, modeli, prognozy: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii (g. Voronezh, 3–5 oktyabrya 2019 g.). Voronezh: Izd-vo «Cifrovaya poligrafiya». 2019. Vol. 2. P. 390–394 (in Russian).

5. Оганесян В.В. Климатические изменения периодов засух и избыточного увлажнения на территории России // Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем. 2011. Т. XXIV. С. 307–316.

Oganesyan V.V. Climatic changes of periods of droughts and excessive moisture in the territory of Russia // Problemy e'kologicheskogo monitoringa i modelirovanie e'kosistem. 2011. Vol. XXIV. P. 307–316 (in Russian).

6. Бедрицкий А.И., Куролап С.А., Вильфанд Р.М., Дмитриева В.А. Стратегические направления обеспечения экологической и гидрометеорологической безопасности России в условиях современных климатических изменений // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2019. № 4. С. 5–14. DOI: 10.17308/geo.2019.4/2706.

Bedritsky A.I., Kurolap S.A., Vilfand R.M., Dmitrieva V.A. Strategic directions of ensuring ecological and hydrometeorological safety of Russia in the conditions of modern climatic changes // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoe'kologiya. 2019. № 4. P. 5–14. DOI: 10.17308/geo.2019.4/2706 (in Russian).

7. Кузнецова Э.А., Соколов С.Н. Континентальность климата Сибирского региона // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2020. № 4. С. 44–52. DOI: 10.17308/geo.2020.4/3064.

Kuznetsova E.A., Sokolov S.N. Continentality of the climate of the Siberian region // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoe'kologiya. 2020. № 4. P. 44–52. DOI: 10.17308/geo.2020.4/3064 (in Russian).

8. Кузнецова Э.А., Соколов С.Н. Гидрология, метеорология и климатология: климатические расчеты: учебное пособие. Нижневартовск: НВГУ, 2019. 86 с.

Kuznetsova E.A., Sokolov S.N. Hydrology, meteorology and climatology: climate calculations: textbook. Nizhnevartovsk: NVGU, 2019. 86 p. (in Russian).

9. Климат Ханты-Мансийска. [Электронный ресурс]. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/climate/23933.htm (дата обращения: 12.05.2021).

Climate of Khanty-Mansiysk. [Electronic resource]. URL: http://www.pogodaiklimat.ru/climate/23933.htm (date of access: 12.05.2021) (in Russian).

10. Переведенцев Ю.П., Шарипова Р.Б., Важнова Н.А. Агроклиматические ресурсы Ульяновской области и их влияние на урожайность зерновых культур // Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле. 2012. Вып. 2. С. 120–126.

Perevedentsev Yu.P., Sharipova R.B., Vazhnova N.A. Agro-climatic resources of the Ulyanovsk region and their impact on the yield of grain crops // Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle. 2012. Vyp. 2. P. 120–126 (in Russian).

11. Абалаков А.Д., Лопаткин Д.А. Устойчивость ландшафтов и ее картографирование // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2014. Т. 8. С. 2–14.

Abalakov A.D., Lopatkin D.A. Landscape stability and its mapping // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Nauki o Zemle. 2014. Vol. 8. P. 2–14 (in Russian).

12. Исаченко А.Г. Теория и методология географической науки. М.: Академия, 2004. 400 с.

Isachenko A.G. Theory and methodology of geographical science. M.: Akademiya, 2004. 400 p. (in Russian).

13. Лазарев О.Е., Мартьянова И.А. Изучение температурного режима осадков территории Волговерховья с использованием современных метеорологических данных // Вестник ТвГУ. Серия География и геоэкология. 2012. Вып. 1 (10). № 30. С. 65–83.

Lazarev O.E., Martyanova I.A. Study of the temperature regime of precipitation in the Volga-Verkhovye region using modern meteorological data // Vestnik TvGU. Seriya Geografiya i geoe'kologiya. 2012. Vyp. 1 (10). № 30. P. 65–83 (in Russian).

14. Справочник по климату СССР: температура воздуха и почвы Тюменской и Омской области / Отв. ред. А.А. Шумакова. Ч. 2. Вып. 17. Л.: Гидрометеоиздат, 1965. 276 с.

Reference book on the climate of the USSR: air and soil temperature of the Tyumen and Omsk regions / Ed. by A.A. Shumakov. Ch. 2. Vyp. 17. L.: Gidrometeoizdat, 1965. 276 p. (in Russian).

УДК 502:504.54:911.2:911.52:519.876

КОЭФФИЦИЕНТ ДИНАМИЧНОСТИ ЗА 50 ЛЕТ ДОЛИ КАТЕГОРИЙ ЗЕМЕЛЬ

[1]Мазуркин П.М., [2]Ефимова Е.А.

[1]Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, e-mail: kaf_po@mail.ru;
[2]Управление Росреестра по Республике Марий Эл, Волжск, e-mail: efimovakalinina@mail.ru

Критерий относительной доли позволяет совместно рассматривать матрицы земельных категорий и их видов угодий. Возможно дополнение долей кадастров и угодий другими относительными параметрами. Коэффициент динамичности доли категорий за 50 лет показывает, что доля площади категорий земельного кадастра дает более достоверную картину динамики поведения землеустроителей в сравнении с измерением площади. По модулю максимумы коэффициента динамичности наблюдаются: 1 категория – 0.0859 в 1996 г.; 2 – 0.0259 в 1978; 3 – 0.2171 в 1998; 4 – 0.0048 в 1998; 5 – 0.2898 в 2020; 6 – 0.0158 в 1998; 7 категория – 4.1887 в 2020 г. Наибольшую динамичность имеют доли земель запаса. При этом очень малую динамичность получают земли особо охраняемых природных территорий. Для анализа динамики категорий земельного кадастра, а затем территориального планирования и прогнозирования необходимы массивы табличных данных площади и долей площади по муниципалитетам страны, причем не менее чем за 50 лет. Идентификация тренда является менее трудоемкой в сравнении с волновой функцией. Тренд у каждой категории нужно будет выявить один раз. Показано, что колебания можно определить по категориям земель до погрешности измерений. Поэтому в землеустройстве наблюдается квантовая определенность разложения динамических рядов на сумму вейвлетов. Этот факт доказывает, что разделение территории на категории кадастра является изобретением человека, а не самой природной среды. Коэффициент динамичности убедительно доказывает, что при условии повышения точности измерений ежегодно должны быть разные значения площади по категориям земельного кадастра.

Ключевые слова: муниципалитет, земли, категории, доля площади, коэффициент динамичности, тренды

DYNAMIC COEFFICIENT FOR 50 YEARS OF THE SHARE OF LAND CATEGORIES

[1]Mazurkin P.M., [2]Efimova E.A.

[1]Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf_po@mail.ru;
[2]Department of state land supervision of the Rosreestr Administration for the Republic of Mari El, Volzhsk, e-mail: efimovakalinina@mail.ru

The criterion of the relative share makes it possible to jointly consider the matrices of land categories and their types of land. It is possible to supplement the shares of cadastres and lands with other relative parameters. The coefficient of dynamism of the share of categories for 50 years shows that the share of the area of the categories of the land cadastre gives a more reliable picture of the dynamics of the behavior of land surveyors in comparison with the measurement of the area. In modulus, the maxima of the dynamism coefficient are observed: 1 category – 0.0859 in 1996; 2 – 0.0259 in 1978; 3 – 0.2171 in 1998; 4 – 0.0048 in 1998; 5 – 0.2898 in 2020; 6 – 0.0158 in 1998; 7 – 4.1887 in 2020. The shares of reserve lands have the greatest dynamism. At the same time, the lands of specially protected natural areas receive very little dynamism. To analyze the dynamics of the categories of the land cadastre, and then territorial planning and forecasting, arrays of tabular data on the area and shares of the area by municipalities of the country are needed, moreover, for at least 50 years. Identifying a trend is less time consuming compared to a wave function. The trend for each category will need to be identified once. It is shown that fluctuations can be determined by land categories up to the measurement error. In land management, there is a quantum definiteness in the expansion of time series into the sum of wavelets. This fact proves that the division of the territory into cadastre categories is an invention of man, and not of the natural environment itself. The dynamism coefficient convincingly proves that, subject to an increase in the accuracy of measurements, there should be different values of the area by land cadastre categories every year.

Keywords: municipality, land, categories, area share, dynamic factor, trends

За рубежом экспериментально исследуется динамика земель во взаимосвязи с другими видами деятельности человека. Например, в [1] дан подход к моделированию динамики земного покрова в зависимости от технологий землепользования. Выявлены связи между социально-экономической динамикой и изменениями в лесном покрове. Этот подход может быть использован для прогнозирования лесного покрова.

Корреляционный анализ между землепользованием и земельным покровом проведен [2] в муниципальном районе Абуджа (Нигерия) по данным дистанционного зондирования и обработки ГИС по трем космическим снимкам (1986, 2001 и 2016). Было обнаружено, что площадь застройки увеличилась на 246,96 км^2 (86,4%). Также обнаружено, что температура поверхности земли увеличилась в среднем с 23,5 до 30,2 °C. Сильная корреляция между классами земли и температурой наблюдалась на уровне 0.8266, 0.9486 и 0.7700 для трех измерений. Крупные районы были основными факто-

рами изменений в муниципалитете Абуджа. Для обеспечения теплового комфорта необходима посадка деревьев – вот одна из рекомендаций.

В статье [3] показана связь между классификацией форм рельефа и растительностью на юго-западе провинции Фарс (Иран). Высокая корреляция 0.909 была получена для прогноза высоты деревьев с использованием классификации рельефа. С интенсификацией землепользования возрастает сброс сточных вод, что угрожает качеству поверхностных вод. Виды землепользования представляют разную степень опасности для водных ресурсов [4].

Для сопоставления долей земельных категорий с параметрами климата, рельефа, деревьев, количеством сточных вод и другими факторами вначале необходимо выяснить динамику коэффициента динамичности поведения специалистов в ходе землеустройства.

Цель исследования – методом идентификации [5] выявить закономерности изменения за период в 50 лет, с 1970 до 2020 г., коэффициента динамичности доли распределения земель по категориям кадастра на примере Волжского района Республики Марий Эл (РМЭ).

Из отчетов о распределении земельного фонда Волжского района Республики Марий Эл были выписаны данные (табл. 1) по доле семи категорий кадастра.

Таблица 1

Динамика доли земель Волжского района, %

Год	Время, τ лет	Доля площади земель по категориям						
		1	2	3	4	5	6	7
1970	0	51.55	3.11	1.19	-	41.29	-	2.86
1971	1	53.05	3.11	1.31	-	41.26	-	2.86
…	…	…	…	…	…	…	…	…
2018	48	45.45	3.72	1.21	19.15	27.25	2.82	0.39
2019	49	45.45	3.72	1.21	19.15	27.25	2.82	0.39
2020	50	45.45	3.72	1.21	19.15	27.25	2.82	0.39

j = 1 – сельхозназначения (СХН); 2 – населенных пунктов; 3 – промышленности …; 4 – особо охраняемых территорий … (ООПТ); 5 – лесного фонда; 6 – водного фонда; 7 – запаса. С 1992 г. были выделены категории земельного кадастра 4 и 5.

Доли даны по простой формуле:

$$\alpha_j = 100 S_j / S, \qquad (1)$$

где α – доля, %, j – код, S_j – площадь j категории, S – общая площадь.

Коэффициент динамичности K вычисляется (табл. 2) по формуле

$$K = (\alpha_F - \alpha_T) / \alpha_T, \qquad (2)$$

где α_F – фактическое значение доли площади по категории (табл. 1), га; α_T – расчетное по тренду значение доли площади, га. Чем больше K, тем динамичнее распределение.

Тренд динамики за 50 лет был выявлен по двухчленной формуле вида

$$y = a\exp(-bx^c) + dx^e \exp(-fx^g), \qquad (3)$$

где y – зависимый показатель, x – влияющая переменная, a – g – параметры модели (3), идентифицируемые в программной среде CurveExpert-1.40 по данным табл. 2.

Идентификация тренда (3) менее трудоемкий процесс в сравнении с волновой функцией. К тому же тренд нужно будет выявить только один раз, так как не требуется идентифицировать асимметричный вейвлет множество раз. Наши исследования показали, что колебания можно определить по категориям земель до погрешности измерений. Поэтому в землеустройстве наблюдается почти полная квантовая определенность разложения динамических рядов на сумму асимметричных вейвлетов. Этот факт еще раз доказывает, что разделение территории на категории является изобретением человека, а не самой природной среды.

По модулю максимумы коэффициента динамичности наблюдаются: 1 категория – 0.0859 в 1996 г.; 2 – 0.0259 в 1978; 3 – 0.2171 в 1998; 4 – 0.0048 в 1998; 5 – 0.2898 в 2020; 6 – 0.0158 в 1998; 7 категория – 4.1887 в 2020 г. Наибольшую динамичность имеют доли земель запаса. При этом очень малую динамичность получают земли особо охраняемых природных территорий.

Тренды динамики долей категорий. Параметр общей площади исключается (табл. 3), что позволяет дополнять к долям семи категорий кадастра другие показатели.

Категории земель № 4 и 6 были введены в России только с 1992 года. В итоге эти две категории в табл. 3 также получили меньшие коэффициенты корреляции 0,8835 и 0,8868. Все тренды по табл. 3 получили уровень адекватности больше 0,7 или сильную связь.

Динамичность доказывается тем, что дополнительно к тренду получено еще множество колебаний, которые, как правило, являются конечномерными асимметричными вейвлетами. Выявление колебаний продол-

жается почти до ошибки измерений. Тогда можно утверждать, что площади и их доли по категориям земель относятся к вполне определяемым квантам поведения. В связи с этим коэффициент динамичности позволяет по тренду вычислять по формуле (2), и это облегчает процесс анализа динамики земель по категориям.

Из рис. 1 исключена категория ООПТ с малым коэффициентом динамичности.

Таблица 2

Коэффициент динамичности доли земель Волжского района РМЭ

Год	Время, τ лет	Коэффициент динамичности доли площади по категориям						
		1	2	3	4	5	6	7
1970	0	-0.0015	0.0083	-0.1302	-	-0.0031	-	-0.0120
1971	1	-0.0061	0.0050	-0.0400	-	-0.0039	-	-0.0120
…	…	…	…	…	…	…	…	…
1992	22	0.0808	-	-0.1900	0.0017	-0.2786	0.0071	-0.9734
…	…	…	…	…	…	…	…	…
2018	48	0.0028	-0.0017	0.0178	0.0000	-0.2731	-0.0015	2.4014
2019	49	-0.0044	-0.0038	0.0209	0.0005	-0.2821	-0.0016	3.1827
2020	50	-0.0117	-0.0059	0.0240	0.0010	**-0.2898**	-0.0016	**4.1887**

Таблица 3

Параметры (3) динамики доли площади по категориям земель Волжского района

Код категории	Тренд $y = a\exp(-bx^c) + dx^e \exp(-fx^g)$							Коэф. корр. r
	Экспоненциальный закон			Биотехнический закон [3]				
	a	b	c	d	e	f	g	
1	51.47273	-0.032345	0.70408	-0.43605	1.15916	0	0	0.8986
2	3.08455	-0.00067961	1.28251	0.0087425	1.48093	0.10832	0.76742	0.9898
3	1.36811	0.0025367	1.03693	8.68802e-8	9.23649	0.44301	1.10285	0.9280
4	18.27637	0.00062077	0.99902	0.016715	1.52302	0.030420	1.00024	0.8835
5	41.42000	5.14420e-6	2.85262	-6.58250e-13	12.93446	0.42329	1.00769	0.9668
6	2.82501	0	0	-2.88053	0	0.00034091	2.52720	0.8868
7	2.89474	2.77216e-7	3.01334	-1.58695e-26	23.07846	0.086521	1.58504	0.9757

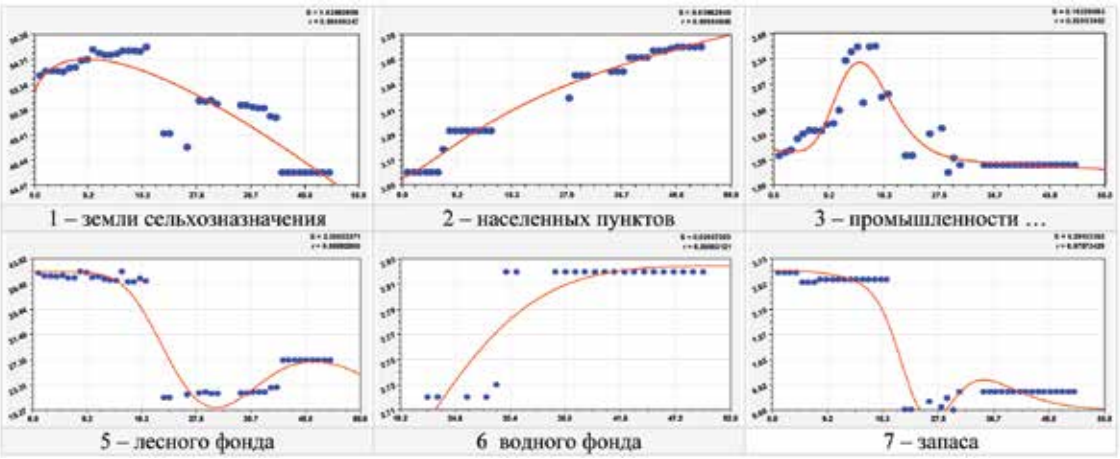


Рис. 1. Тренды динамики долей категорий земельного фонда Волжского района РМЭ с 1970 по 2020 г. (в правом верхнем углу: S – стандартное отклонение; r – коэффициент корреляции)

Таблица 4

Параметры (4) коэффициента динамичности (1) долей площади земель Волжского района

Код категории	Номер i	Вейвлет $y_i = a_{1i}x^{a_{2i}}\exp(-a_{3i}x^{a_{4i}})\cos(\pi x/(a_{5i}+a_{6i}x^{a_{7i}})-a_{8i})$								Коэф. корр. r
		Амплитуда (половина) колебания				Полупериод колебания			Сдвиг	
		a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
1	1	7.63146e-11	9.69680	0.48223	0.95573	10.58764	0.23095	0.22766	0.77238	0.9424
	2	0.00023654	1.62395	0.00057009	2.08964	3.97256	0.011516	1.08961	-1.702310	
	3	1.97547e-6	3.50977	0.11165	0.98760	1.88124	0.011247	1.00134	0.28354	0.5608
	4	9.16728e-14	9.33418	0.12226	1.14793	1.36393	0.0043571	0.98655	-1.41396	0.3585
2	1	0.00073338	3.82902	0.56652	0.98352	3.45877	0.020769	1.47778	0.91843	0.8149
3	1	-0.073940	0.38457	0.055856	1	5.49613	-4.89605e-7	2.13534	-0.21550	0.6954
	2	0.00027297	3.25269	0.27795	0.89179	2.18825	0.13399	0.59726	1.21603	
	3	-1.15322e-6	6.25622	0.41003	0.95484	2.02225	-0.00045409	1.69047	-1.76800	0.6891
	4	1.36004e-9	7.32618	0.18410	1.08419	5.90606	0.073925	0.92917	4.65873	0.4568
	5	0.0030526	1.54799	0.010051	1.69995	0.63147	0.049435	0.68026	3.18144	0.6712
	6	-0.13018	0	2.79430	1	1.00020	0	0	-0.01067	0.6722
	7	-5.09532e-74	59.01923	0.015553	2.26974	11.29117	-0.0031889	2.23211	-2.10862	0.6667
	8	-0.0026239	1.66650	0.28045	0.80062	2.74885	0.32567	1.17231	0.26601	0.4101
4	1	0.00022875	2.49031	0.20110	1.00122	5.12809	0.017479	1.04278	-2.35496	0.7664
5	1	1.87292e-7	4.45628	0.00060479	1.00196	0.84956	0.17579	0.98975	0.57140	0.9770
	2	1.00411e-25	26.09208	1.11252	1.00065	0.46620	0.052211	1.01140	1.36445	
	3	-2.68743e-24	18.66028	0.32626	1.08290	6.01892	-0.00082751	1.60426	2.51011	0.6887
	4	9.52462e-12	11.08623	0.52355	1.01320	1.08195	0.026019	1.00200	0.42307	0.6180
	5	-0.0074176	1.14414	0.12430	1.00111	38.90826	0.10919	1.05278	-3.29726	0.5181
6	1	0.0038156	3.15096	0.33045	1.00665	6.49030	-0.0036896	1.31218	-2.17480	0.8899
	2	0.00017752	3.33750	0.23724	1.01060	3.33170	-0.0082527	1	-0.041081	
7	1	2.24084e-26	15.47109	0	0	0	0	0	0	0.8586
	2	-6.72509e-45	43.21524	0.76385	1.20150	6.92857	0	0	-1.28537	
	3	8.22656e-75	66.27260	0.83103	1.22618	1.66825	-0.0094641	0.91045	-0.37831	0.9315
	4	4.14588e-33	27.42522	0.49802	1.09078	0.68028	0.039600	1.05288	0.41559	0.5369
	5	8.02904e-34	37.67122	3.09083	0.83569	0.16161	0.021506	0.96236	1.61731	0.8508

Вейвлеты коэффициента динамичности. Параметры всех вейвлетов даны в табл. 4.

Изменение во времени коэффициента динамичности имеет волновую природу (табл. 4), и поэтому асимметричные колебания (вейвлет-сигналы) записываются волновой формулой [5] вида

$$y_i = A_i\cos(\pi x/p_i - a_{8i}),$$

$$A_i = a_{1i}x^{a_{2i}}\exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}),$$

$$p_i = a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}}, \qquad (4)$$

где y – зависимый фактор, i – номер составляющей, m – количество членов, x – объясняющая переменная, $a_1...a_8$ – параметры, получаемые в программной среде CurveExpert-1.40, A_i – амплитуда (половина) вейвлета (ось y), p_i – полупериод колебания (ось x).

Динамический коэффициент получил по одному колебанию у доли земель населенных пунктов и особо охраняемых территорий. Два колебания характеризуют поведение доли водного фонда, четыре вейвлета у доли СХН, по пять колебаний у долей земель лесного фонда и земель запаса. Наибольшее количество колебаний (8 шт.) есть у земель промышленности.

Коэффициент динамичности доли земель СХН. Динамичность доли первой категории кадастра оказалась всего с четырьмя членами, при 18 членах по площади (рис. 2).

Остатки (рис. 2) показывают возможность выявления колебаний с малой амплитудой.

Динамичность доли земель населенных пунктов, ООПТ и водного фонда (рис. 3).

Сильные колебательные возмущения, как правило, были в последней четверти XX столетия. Остатки от вейвлета для населенных пунктов дают возможность выявления колебаний после 2000 г. А остатки от коэффициента динамичности доли ООПТ показывают

значимость колебаний до 2000 г. Водный фонд в последние 20 лет также успокаивается по динамичности. Этот факт указывает на две возможные причины: 1) действительно земельный фонд Волжского района получил колебательную адаптацию; 2) землеустроители успокоились и стали ежегодно записывать одни и те же значения площади.

Динамичность доли земель промышленности …. Все графики даны на рис. 4.

Вейвлеты № 1, 3, 6-8 получили отрицательный знак, и он указывает на кризис в росте коэффициента динамичности для земель третьей категории земельного кадастра. При этом можно сделать предположение, что периоды колебаний в 1970 г. зависели от циклов солнечной активности. Например, колебания № 1 и 4 почти совпадают со средним циклом солнечной активности в 11,3 года. С этим циклом также совпадает вейвлет № 7. Шестой вейвлет является откликом прошлого, то есть наблюдается влияние колебаний до 1970 г.

Коэффициент динамичности третьей категории земель имеет сильные колебания из-за планирования на территории Волжского района, кроме расширения Марийского бумажного комбината, еще ряда других деревообрабатывающих предприятий. Однако марийские леса сильно истощились по хвойным породам, а опыт Финляндии по применению лиственных пород в производстве бумаги так и не был использован. В итоге к настоящему времени произошел сильнейший спад в развитии промышленности Волжского района.

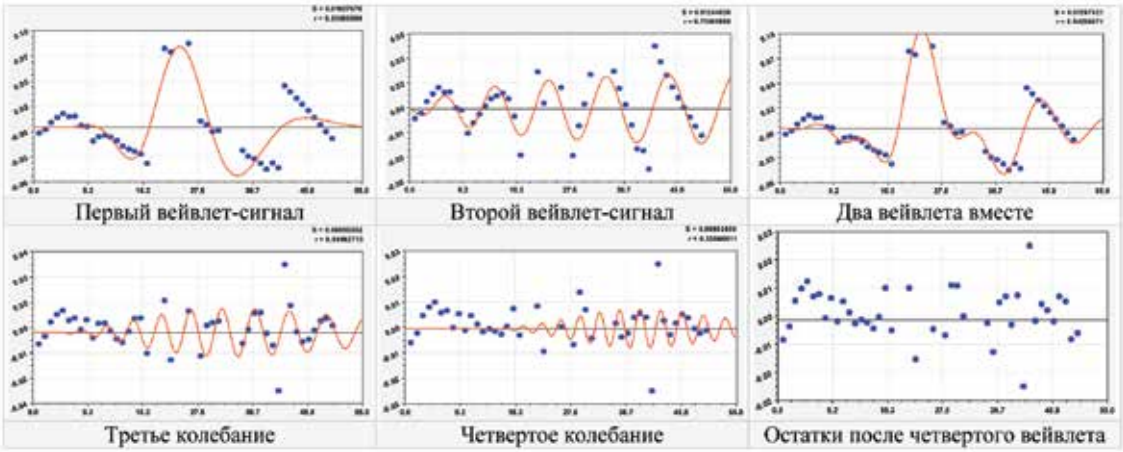


Рис. 2. Коэффициент динамичности распределения доли СХН Волжского района РМЭ (в правом верхнем углу: S – стандартное отклонение; r – коэффициент корреляции)

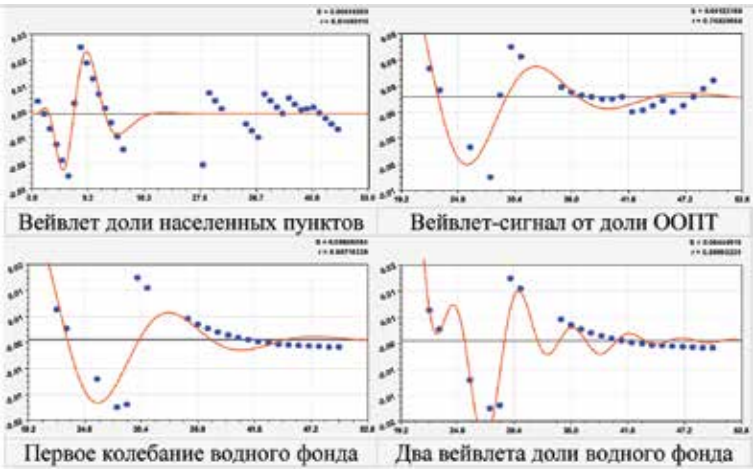


Рис. 3. Динамичность доли земель трех категорий Волжского района РМЭ

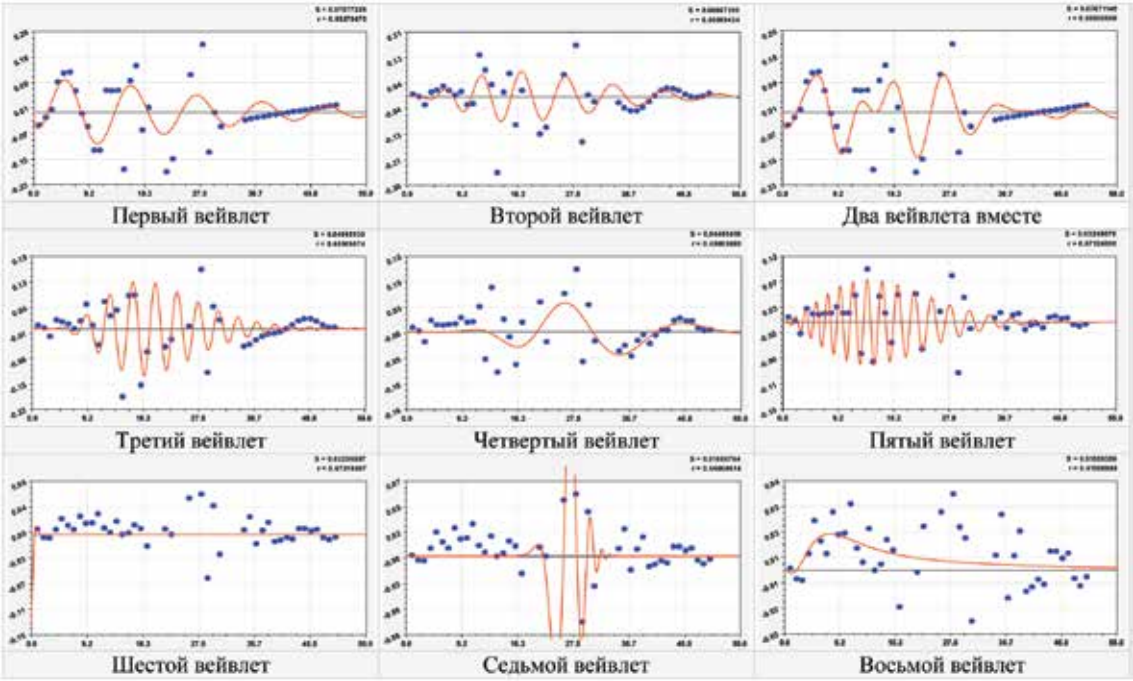


Рис. 4. Коэффициент динамичности доли земель промышленности Волжского района РМЭ

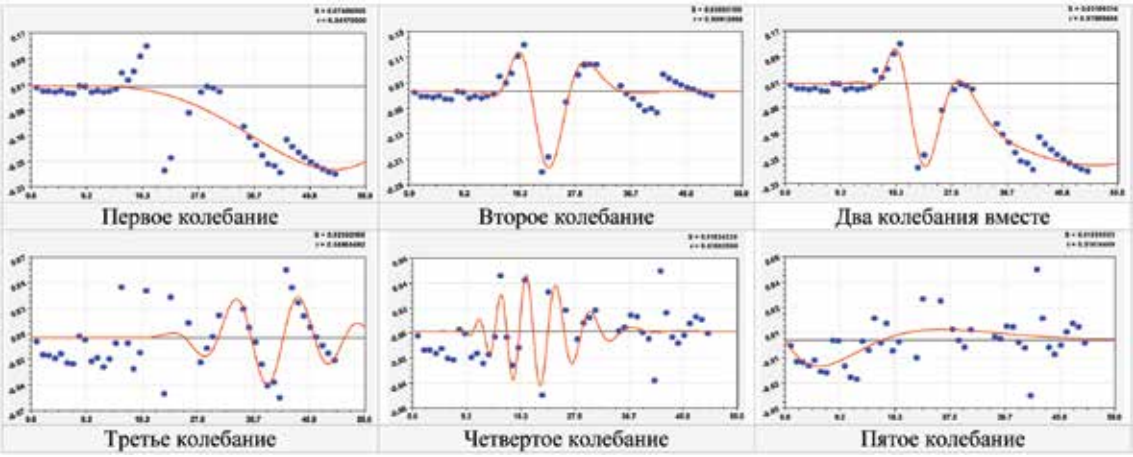


Рис. 5. Коэффициент динамичности доли земель лесного фонда Волжского района РМЭ

Динамичность доли земель лесного фонда. Первое колебание показывает, что слишком сильное колебательное давление оказывалось на леса Волжского района (рис. 5) с 1982 года. На это повлияло планирование города Волжска в советское время как крупного центра глубокой механической и химической технологий переработки древесины.

Первые два вейвлета совместно дают самый высокий коэффициент корреляции 0,9770. Лесная политика была неустойчивой по второму колебанию с 1982 по 2007 год. Наиболее продолжительным был кризис по пятому колебанию с периодом в 1970 г. около 79 лет. В будущем колебания исключаются, и первое колебание показывает снижение амплитуды.

Коэффициент динамичности доли земель запаса. Эта категория показывает резкий рост коэффициента динамичности в будущем по закону степенной функции (рис. 6).

По абсолютной площади земли запаса в последние годы получили постоянное значение. Однако тренд на рис. 1 показывает снижение доли запаса. Поэтому на рис. 6 появляется новый тренд коэффициента динамичности в виде степенной функции.

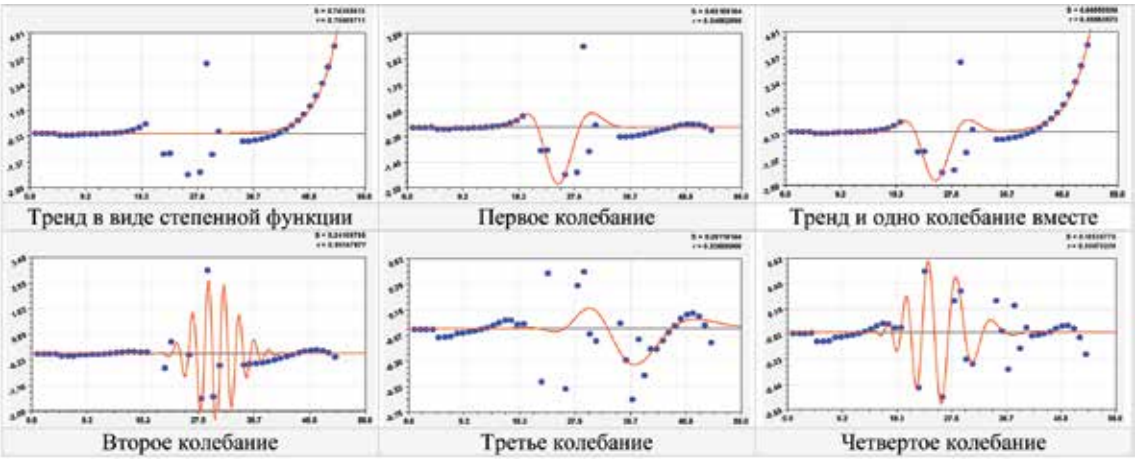


Рис. 6. Коэффициент динамичности доли земель запаса Волжского района РМЭ

Тогда получается, что мониторинг земель фактически каждый год не актуализируется. Аналогично переписываются значения площади и по другим категориям земельного кадастра. Заметно также, что колебательные возмущения остались в прошлом. Поэтому актуальной становится задача повышения точности (снижения погрешности) измерений площади земель по семи категориям кадастра. Это позволит повысить точность вычисления долей в общей площади и снижения коэффициентов динамичности как площади, так и долей по категориям земельного кадастра.

Заключение

Коэффициент динамичности доли категорий за 50 лет показывает, что относительная доля площади категорий земельного кадастра дает более достоверную картину динамики поведения землеустроителей в сравнении с измерением площади.

Для анализа динамики категорий земельного кадастра, а затем последующего территориального планирования и прогнозирования в Российской Федерации срочно необходимы массивы официальных табличных данных площади и долей площади по всем муниципалитетам страны, причем не менее чем за 50 лет, с 1970 года.

На примере Волжского района РМЭ видно, что переход на доли категорий земельного кадастра дает более достоверную картину изменений коэффициента динамичности.

Идентификация тренда является менее трудоемкой в сравнении с волновой функцией. Тренд у каждой категории нужно будет выявить один раз. Наши исследования показали, что колебания можно определить по категориям земель до погрешности измерений. Поэтому в землеустройстве наблюдается почти полная квантовая определенность разложения динамических рядов на сумму асимметричных вейвлетов. Этот факт доказывает, что разделение территории на категории кадастра является изобретением человека, а не самой природной среды.

Коэффициент динамичности показывает, что при условии повышения точности измерений ежегодно должны быть разные значения площади по категориям земельного кадастра.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: «19-45-240004р_а Прогноз эколого-экономического потенциала возможных «климатических» миграций в Ангаро-Енисейском макрорегионе в меняющемся климате 21 века».

Список литературы / References

1. Brown D.G., Pijanowski B.C., Duh J.D. Modeling the relationships between land use and land cover on private lands in the Upper Midwest, USA. Journal of Environmental Management. 2000. Vol. 59. DOI: 10.1006/jema.2000.0369.

2. Awuh1 M.E., Japhets, P.O., Officha M.C., Okolie A.O., Enete I.C. A Correlation Analysis of the Relationship between Land Use and Land Cover / Land Surface Temperature in Abuja Municipal, FCT, Nigeria. Journal of Geographic Information System. 2019. Vol. 11. P. 44–55. DOI: 10.4236/jgis.2019.111004.

3. Mokarram M., Sathyamoorthy D. Relationship between landform classification and vegetation (case study: southwest of Fars province, Iran). Open Geosci. 2016. Vol. 8. P. 302–309. DOI: 10.1515/geo-2016-0027.

4. Seeboonruang U. A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes. Journal of Environmental Management. 2012. Vol. 101. P. 134–142. DOI: 10.1016/j.jenvman.2011.10.019.

5. Mazurkin P.M. Bioclimatic regularities of change in the density of organic carbon of the steppe soil in different regions of the World. Journal of Atmospheric Science Research. 2021. Vol. 04. Is. 01. P. 16–25. DOI: 10.30564/jasr.v4i1.2521.

УДК 504.4.054

ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДЫ РЕКИ ЛУГА

[1,2]Манвелова А.Б.

[1]ФГБУН «Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (СПб ФИЦ РАН), Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук, Санкт-Петербург, e-mail: abmanvelova@mail.ru;
[2]Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле, Санкт-Петербург

По данным многолетнего мониторинга (1999–2019 гг.) приведены результаты комплексной оценки степени загрязнения р. Луга на основе анализа гидрохимических показателей качества воды и удельного комбинаторного индекса загрязнения воды (УКИЗВ). Рассмотрена динамика загрязнения водотока по эколого-водохозяйственным участкам и тенденция пространственно-временного изменения качества воды в реке. Проанализированы линейные тренды изменения концентраций загрязняющих веществ за 1999–2019 гг., свидетельствующие об изменениях концентраций на протяжении рассматриваемого периода. В результате проведенного исследования были выявлены повышенные концентрации ХПК, соединений железа, меди, по которым на всех участках реки наблюдается характерная загрязненность. В отдельные годы существенный вклад в общую степень загрязненности воды вносили марганец и азот нитритный. Максимальные значения среднегодовых концентраций ХПК составили 4,2 ПДК (г. Луга, створ № 4), железа общего 8,5 ПДК (г. Луга, створ № 1), меди 14 ПДК (г. Кингисепп, створ № 1). Среднегодовые концентрации азота нитритного на протяжении рассматриваемого периода достигали 11,5 ПДК (г. Луга, створ № 1), марганца – 16 ПДК (г. Луга, створ № 1). Значение УКИЗВ показало, что экологическое состояние водотока в последние годы стабильно на всей протяженности реки, по качеству вода относится к классу 3а «загрязненная». Показано, что по длине реки от верховья до нижнего течения в воде уменьшаются концентрации взвешенных веществ, увеличиваются концентрации соединений железа. В многолетней динамике на всех участках реки характерно наличие тенденции снижений концентраций в воде для нефтепродуктов и свинца.

Ключевые слова: река Луга, качество воды, экологическое состояние, загрязняющие вещества, гидрохимические показатели

DYNAMICS OF WATER POLLUTION INDICATORS OF THE LUGA RIVER

[1,2]Manvelova A.B.

[1]St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (SPC RAS), Scientific Research Centre for Ecological Safety of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, e-mail: abmanvelova@mail.ru;
[2]Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg

According to long-term monitoring data (1999-2019), the results of a comprehensive assessment of the degree of pollution of the Luga River based on the analysis of hydrochemical indicators of water quality and the specific combinatorial index of water pollution are presented. The dynamics of water pollution in ecological and water management areas and the trend of spatio-temporal changes in the water quality in the river are considered. The linear trends of changes in the concentrations of pollutants for 1999-2019, indicating changes in concentrations during the period under review, are analyzed. As a result of the study, increased concentrations of COD, iron compounds, copper were revealed, according to which characteristic pollution is observed in all sections of the river. In some years, manganese and nitrite nitrogen made a significant contribution to the overall degree of water pollution. The maximum values of the average annual concentrations of COD were 4.2 MPC (Luga, site N 4), and total iron was 8.5 MPC (Luga, site N1), copper 14 MPC (Kingisepp, site N1). The average annual concentrations of nitrite nitrogen during the period under review reached 11.5 MPC (Luga, site N 1), and manganese – 16 MPC (Luga, site N 1). The value of the specific combinatorial index of water pollution showed that the ecological state of the watercourse in recent years has been stable throughout the entire length of the river, the quality of the water belongs to class 3a “polluted”. It is shown that along the length of the river from the upper to lower reaches, the concentrations of suspended substances in the water decrease, and the concentrations of iron compounds increase. In the long-term dynamics, all sections of the river are characterized by a tendency to decrease the concentrations of petroleum products and lead in the water.

Keywords: Luga river, water quality, ecological state, pollutants, hydrochemical indicators

Река Луга протекает на территории двух субъектов Российской Федерации: Ленинградской и Новгородской областей. В соответствии с современным гидрографическим и водохозяйственным районированием бассейн реки относится к Балтийскому бассейновому округу, к бассейну реки Нарва. Исток реки начинается на болоте Нетыльской Мох – южной части Тесовского болотного массива. Впадает в Лужскую губу Финского залива Балтийского моря, являющуюся трансграничным

водным объектом. Обладает развитой гидрографической сетью, на своем пути река принимает воды более 30 притоков. Река Луга относится к средним водотокам [1], длина реки составляет 353 км, площадь бассейна – 13,2 тыс. км^2. По площади бассейна Луга занимает третье место среди рек Ленинградской области [2]. В пределах Ленинградской области пересекает 6 муниципальных районов.

Территория бассейна характеризуется равнинным рельефом. Уклон местности незначительный и составляет 0,15 м/км. Малый уклон местности и избыточное увлажнение определяют наличие многочисленных заболоченных участков. Кроме того, реки получают обильное питание за счёт карстовых вод [3].

Водотоки в бассейне р. Луга являются источником питьевого водоснабжения для нужд населения, технического водоснабжения для промышленных предприятий и сельскохозяйственных объектов, а также используются в рекреационных целях. В бассейне р. Луги водозабор из поверхностных источников осуществляется из пяти рек: Луги, Хревицы, Оредеж, Суйды, Кобринки. Поверхностные воды Луги и Суйды служат источниками питьевого водоснабжения для городов и поселков рассматриваемого региона. Около 30 водотоков, а также 3 озера являются приемниками сточных и ливневых вод. Ежегодный объем сброса сточных вод в реку Луга составляет более 10 млн м^3, а в реку Оредеж – более 1 млн м^3 [2].

Природные условия территории определяют характер хозяйственной деятельности. Большая часть бассейна покрыта смешанными лесами, что обуславливает развитие деревообрабатывающей, лесной промышленности. На территории бассейна также развита добывающая, химическая, стекольная, пищевая, металлообрабатывающая промышленность [4, 5]. Наибольший вклад в общий объем сбросов сточных вод дают предприятия химической промышленности и жилищно-коммунального хозяйства. Специфическим аспектом антропогенной нагрузки является наличие крупных точечных источников сброса сточных вод, оказывающих воздействие на определенных участках реки – предприятие по производству химических веществ и водоканалы городов Луга и Кингисепп, а также наличие относительно равномерно распределенных по длине реки выпусков хозяйственно-бытовых сточных вод. Значительные площади территории заняты сельскохозяйственными угодьями, что обуславливает повышенный сток биогенных элементов [6].

Цель работы – исследование многолетней динамики качества воды в реке Луга в пределах Ленинградской области.

Материалы и методы исследования

В качестве исходных данных использованы фондовые материалы системных гидрохимических наблюдений за состоянием поверхностных вод реки Луга, выполняемых Северо-Западным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Наблюдения за химическим составом вод в бассейне р. Луга выполняются по стандартным программам на сети стационарных пунктов наблюдений за загрязненностью поверхностных вод. Отбор проб и химический анализ проводится по методикам, вошедшим в «Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды» (РД 52.18.595-96) [7].

Местоположения пунктов наблюдения за качеством поверхностных вод в бассейне р. Луга представлены на рис. 1, а их характеристика – в табл. 1.

Выполнен сбор, анализ, систематизация и статистическая обработка фондовых материалов гидрохимической информации о качестве воды в р. Луга за период с 1999 по 2019 г.

Оценка качества поверхностных вод р. Луга осуществлялась на основе сравнения данных о величинах гидрохимических показателей с соответствующими значениями их предельно допустимых концентраций (ПДК), а также с использованием удельного комбинаторного индекса загрязнения вод как наиболее информативного комплексного показателя качества воды [7].

Для комплексной оценки качества воды удельный комбинаторный индекс загрязнения вод (УКИЗВ) используется с 2005 г. В связи с этим оценка тенденций изменений качества воды в реке Луга по УКИЗВ выполнена за период 2005–2019 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

Динамика и тенденции изменения качества воды в реке Луга проанализированы по усредненным результатам исследований

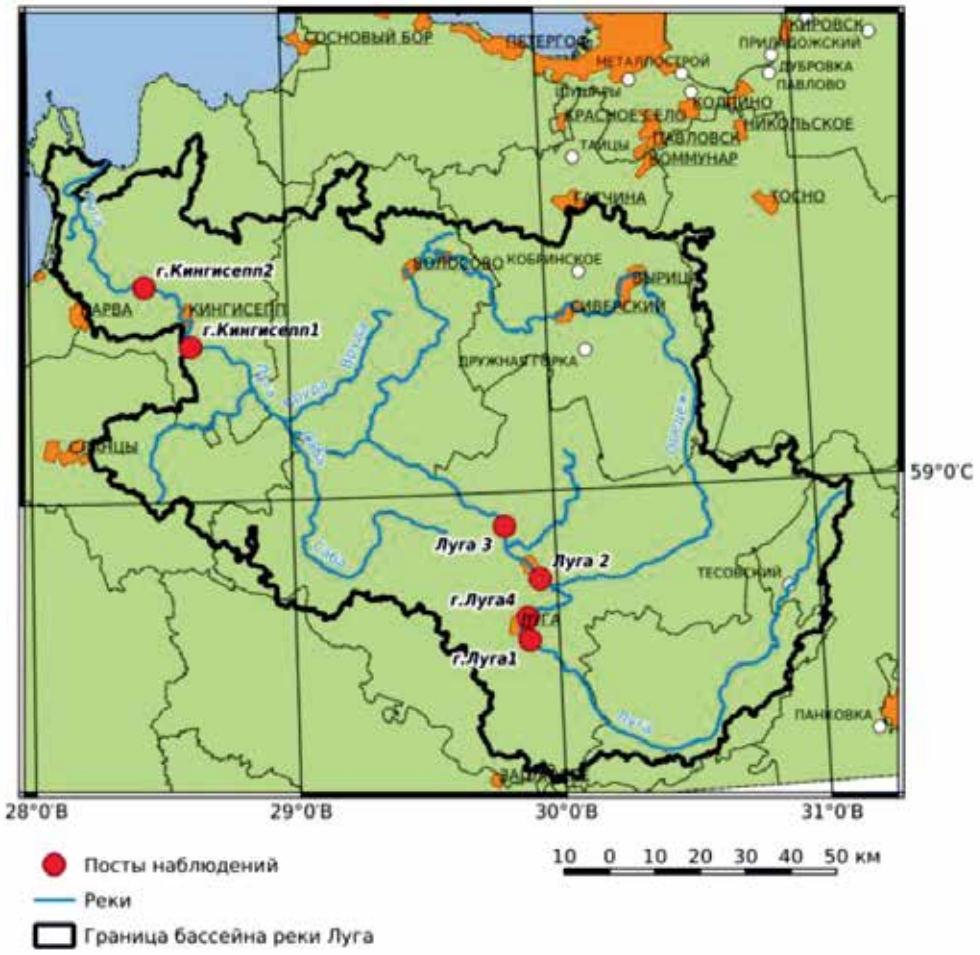


Рис. 1. Схема расположения действующих пунктов мониторинга за качеством воды в р. Луга

Таблица 1

Перечень пунктов наблюдений за состоянием загрязненности поверхностных вод бассейна р. Луги

Пункт наблюдений	№ створа	Расстояние от устья, км	Средний многолетний расход воды, м^3/с
г. Луга	1	227	11,2
	4	222	–
пгт Толмачево	2	187	44,3
	3	170,8	49,9
г. Кингисепп	1	72,5	99,1
	2	48	102,0

проб воды за период 1999–2019 гг. по показателям, представленным в табл. 2 по шести створам. Так как река Луга относится к водотокам высшей рыбохозяйственной категории, оценка состояния речных вод осуществлена на основе сравнения фактических значений показателей их качества с нормативами ПДК для рыбохозяйственного водопользования. В случае отсутствия ПДКрх использованы наиболее жесткие нормативы, установленные для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Обобщенные за двадцатилетний период данные о статистических характеристиках качества воды р. Луга приведены в табл. 2.

Таблица 2

Гидрохимические параметры качества воды реки Луга за 1999–2019 гг.

Показатель, мг/дм^3	г. Луга, створ 1		г. Луга, створ 4*		пгт Толмачево, створ 2		пгт Толмачево, створ 3		г. Кингисепп, створ 1		г. Кингисепп, створ 2		ПДК
	Min – Max Среднее	V, %	Min – Max Среднее	V, %	Min – Max Среднее	V, %	Min – Max Среднее	V, %	Min – Max Среднее	V, %	Min – Max Среднее	V, %	
Растворенный O_2	6,7-9,5 7,9	10,2	6,0-8,0 7,3	8,0	6,8-9,9 8,1	9,8	3,3-10,1 7,9	16,7	7,6-11,1 9,3	10,9	7,5-11,7 9,4	11,6	>6,0
Взвешенные вещества	2,9-**10,9** 6,0	36,5	3,4-9,4 5,7	30,8	2,9-9,8 5,8	29,8	3,4-**12,3** 6,6	33,5	0,83-**17,4** 4,5	85,1	0,83-**28,9** 5,1	118,4	10
ХПК	**22,3-60,3** **40,0**	23,8	**29,9-62,9** **40,3**	23,0	**23,5-50,8** **36,7**	20,3	**23,5-50,2** **36,7**	20,4	**27,6-52,3** **39,1**	19,2	**27,4-50,9** **38,7**	17,2	15
БПК$_5$	0,67-1,8 1,12	20,5	0,93-1,3 1,08	8,8	0,74-1,5 1,18	14,1	0,64-1,7 1,15	18,5	0,53-1,7 1,15	23,0	0,66-1,8 1,2	23,4	2
Сульфаты	4,5-56,1 20,6	64,6	6,5-40,3 17,1	60,8	6,3-45,2 17,7	62,9	6,5-51,1 18,2	68,9	4,5-48,8 17,4	80,4	6,9-53,6 19,1	81,8	100
Хлориды	6,3-21,8 14,28	37,4	7,0-18,0 12,73	29,1	6,5-15,5 11,15	21,3	6,1-15,4 10,07	23,9	4,1-12,8 7,04	32,7	5,2-12,8 7,95	28,7	300
Азот аммонийный	0,02-0,17 0,06	87,9	0-0,24 0,06	130,4	0-0,13 0,05	68,4	0-0,14 0,05	18,5	0-0,09 0,03	81,5	0-0,16 0,05	67,5	0,4
Азот нитритный	0-**0,23** **0,03**	148,5	0-**0,18** **0,04**	152,3	0-**0,13** **0,04**	94,3	0-**0,17** **0,03**	121,5	0-**0,067** 0,01	123,9	0-**0,064** 0,02	88,2	0,02
Азот нитратный	0,11-1,3 0,51	66,0	0,36-1,2 0,62	33,4	0,13-1,1 0,56	52,4	0,13-1,3 0,57	60,2	0,11-0,75 0,45	50,6	0,14-0,79 0,50	44,9	9,0
Фосфаты	0,01-0,05 0,02	50,2	0,01-0,04 0,02	51,7	0,01-0,14 0,02	115,8	0,005-**0,26** 0,04	156,7	0,01-0,026 0,01	38,6	0,01-**1,1** 0,11	232,0	0,15
Нефтепродукты	0-**0,07** 0,02	80,5	0-0,03 0,01	106,0	0-0,05 0,02	85,4	0-0,05 0,02	80,6	0-**0,06** 0,02	125,4	0-**0,06** 0,02	99,7	0,05
СПАВ	0-0,09 0,02	92,5	0-0,02 0,01	60,8	0,002-0,09 0,02	86,2	0,001-0,07 0,02	76,0	0-**0,10** 0,02	108,4	0,01-**0,11** 0,02	106,2	0,1
Железо общее	0,05-**0,85** **0,36**	49,6	0,12-**0,73** **0,38**	50,4	0,05-**0,79** **0,42**	41,3	**0,18-0,83** **0,45**	33,7	0,10-**0,83** **0,41**	47,2	0,05-**0,70** **0,40**	45,3	0,1
Медь	**0,002-0,011** **0,005**	52,3	**0,0017-0,0043** **0,0031**	30,9	**0,0022-0,012** **0,0049**	56,4	**0,0015-0,0086** **0,0046**	49,4	**0,0012-0,014** **0,0038**	78,3	**0,0013-0,011** **0,0037**	76,8	0,001
Свинец	0-**0,0083** 0,0033	73,7	0-0,0041 0,0019	84,8	0-**0,009** 0,0035	70,6	0-**0,0082** 0,0031	74,8	0-**0,0096** 0,0031	88,9	0-**0,0091** 0,0033	81,4	0,006
Кадмий	0,00013-**0,0012** 0,00046	58,4	0,00004-**0,0010** 0,00037	80,2	0,00005-0,00098 0,00044	61,2	0,0001-0,0009 0,00047	56,4	0,00006-0,0009 0,00033	71,0	0,00006-0,0008 0,00036	62,3	0,001
Марганец	0,0052-**0,16** **0,056**	65,5	0,0020-**0,15** **0,047**	95,1	0,0034-**0,15** **0,064**	65,2	0,0030-**0,13** **0,064**	61,8	0,0070-**0,11** **0,028**	94,3	0,0022-**0,084** **0,029**	88,6	0,01

Примечание: Max – максимальное значение, Min – минимальное значение, V – коэффициент вариации (отношение стандартного отклонения к среднему значению). Жирным шрифтом выделены значения, превышающие ПДК; пункт наблюдений в черте г. Луга (створ 4) открыт в 2008 г.

Верхнее течение реки. В верхнем течении реки (створ № 1) и в границах г. Луга (створ № 4) наблюдается превышение ПДК по среднегодовым концентрациям: ХПК – в 1,5–4,2 раза; азота нитритного – до 11,5 раз в створе № 1 и до 9 раз в створе № 4; железа общего – до 8,5 раз, меди – до 11 раз на участке реки выше г. Луга и до 4,3 раз в черте г. Луга, марганца – до 15,6 раз. На участке реки выше г. Луга (створ № 1) в отдельные годы наблюдаются незначительные превышения ПДК по нефтепродуктам и свинцу. В створах выше и ниже пгт Толмачево наблюдается постоянное превышение ПДК по среднегодовым концентрациям: ХПК – в 1,5–3,4 раза и соединениям меди – 2,2–12 раз в створе № 2 и 1,5–8,6 раз в створе № 3. Отмечены периодические превышения ПДК по азоту нитритному – до 8,5 раз, соединениям железа – до 8 раз, марганцу – до 15 раз, незначительное превышение по взвешенным веществам и фосфатам (створ № 3), свинцу (створы № 2, 3 пгт Толмачево). Существенных различий в кратности превышения ПДК среднегодовых концентраций ХПК, соединений железа, марганца, азота нитритного выше и ниже пгт Толмачево не наблюдается. В створе № 3 ниже пгт Толмачево в отдельные годы отмечается превышение среднегодовых концентраций фосфатов (кратность превышения до 1,7 раза). Таким образом, в верхнем течении реки постоянное превышение среднегодовых значений концентраций по сравнению с ПДК на протяжении рассматриваемого периода отмечается только по ХПК и меди. Характерными загрязняющими веществами, частота превышения ПДК которых во внутригодовой динамике более 50% случаев, являлись ХПК, железо общее, медь, в отдельные годы марганец и азот нитритный.

Исследование данных за период 2005–2019 гг. (табл. 3) показывает, что качество воды, оцененное по комплексному показателю УКИЗВ, в створах выше и в черте г. Луга (створы г. Луга № 1, 4), а также на участке реки ниже пгт Толмачево (створ № 3) изменялось от «загрязненной» (3-й класс, разряд «а») до «грязной» (4-й класс, разряд «б»). Максимальное значение УКИЗВ характерно для 2010 г. в створах № 1, 4 (г. Луга) и створе № 3 (пгт Толмачево), а также в 2009 г. в черте г. Луга, что связано с высокими значениями концентраций ХПК, азота нитритного, меди, марганца, железа общего (максимальные значения концентраций в 2010 г. составили в створе № 1, г. Луга: 4,5; 18,0; 13,0; 33,4; 7,9 ПДК соответственно, в створе № 4: 4,7; 11,0; 8,2; 32,9; 8,1 ПДК соответственно, в створе № 3: 3,6; 10,2; 9,2; 27,3; 7,8) [7].

Нижнее течение реки. В створах выше и ниже г. Кингисеппа постоянное превышение ПДК наблюдается по среднегодовым концентрациям: ХПК – в 1,8–3,5 ПДК; меди – 1,2–14 ПДК в створе № 1 и 1,3–11 ПДК в створе № 2. К показателям, среднее значение содержания которых в воде за рассматриваемый период выше установленных нормативов, но в отдельные годы среднегодовые значения не превышают норматив, относятся: железо общее, кратность превышения ПДК до 8 раз в створе № 1 и до 7 раз в створе № 2, и марганец – максимальные превышения 11 ПДК в створе № 1 и 8,4 ПДК на участке реки ниже г. Кингисеппа. В отдельные годы в обоих створах отмечаются превышения ПДК по азоту нитритному – до 3,4 раз, свинцу – до 1,5 раз. По взвешенным веществам в створах выше и ниже г. Кингисеппа превышение ПДК отмечается в 2002 г., в остальные годы значение среднегодовой концентрации не превышало установленного норматива. В период 2008–2010 гг. на участке реки ниже Кингисеппа отмечается превышение ПДК по фосфатам (в 2010 г. в 7,3 раза), что может быть обусловлено залповым сбросом от точечного источника.

Качество воды в створе № 1 (4,5 км выше г. Кингисеппа) по сравнению с участками реки выше по течению несколько улучшается. За рассматриваемый период класс качества воды на этом участке реки менялся от 2-го – «слабо загрязненная» до 3-го класса, разряд «б», которому соответствует характеристика воды «очень загрязненная». Характерная загрязненность воды выше и ниже г. Кингисеппа во внутригодовой динамике концентраций наблюдалась по ХПК, железу общему, меди, в отдельные годы также по азоту нитритному и марганцу. Далее по течению реки (створ ниже г. Кингисепп) в период с 2008 по 2010 г. и в 2012 г. отмечается ухудшение качества воды по сравнению с качеством воды на участке реки выше г. Кингисеппа за счет как большего числа показателей, концентрации которых превышали ПДК, среди них: азот нитритный, азот аммонийный, цинк, свинец, кадмий, так и в ряде случаев более высокой кратности превышения нормативов и частоте случаев превышения нормативов (по марганцу, азоту нитритному, цинку, свинцу) [7]. Влияние нагрузки сточных вод предприятий и поверхностного стока с городской территории Кингисеппа на качество воды

в р. Луга отражается в значениях УКИЗВ, которые на протяжении рассматриваемого периода в 70% случаев превышают соответствующие значения УКИЗВ в створе выше города. Однако значения УКИЗВ колеблются в пределах одного класса качества воды. Состояние водотока в последние годы (2016–2019 гг.) стабильно на всей протяженности реки, по качеству вода относится к классу 3а «загрязненная».

Следует отметить, что во внутригодовой динамике гидрохимических показателей имеет место существенное различие значений. Так, по абсолютному содержанию кислорода в пробах воды, отобранных в период с марта по октябрь, наблюдается периодическое отклонение от норматива, что характерно для всех участков реки Луга (в меньшей степени для створов выше и ниже г. Кингисеппа).

По результатам анализа данных о качестве вод р. Луга по гидрохимическим показателям за 1999–2019 гг. загрязняющие вещества можно сгруппировать следующим образом:

– I группа – показатели, среднее значение содержания которых в воде по всем створам наблюдений за весь период было ниже установленных нормативов. К ним относятся $БПК_5$, сульфаты, хлориды, растворенный кислород, азот аммонийный, азот нитратный;

– II группа – вещества, среднее значение содержания которых в воде за рассматриваемый период ниже нормативов, но среднегодовые значения в отдельные годы в ряде случаев превышали установленные нормативы. К ним относятся взвешенные вещества, фосфаты, нефтепродукты, СПАВ, свинец и кадмий;

– III группа – показатели, среднее значение содержания которых в воде за рассматриваемый период выше установленных нормативов, но в отдельные годы среднегодовые значения не превышают этот норматив: азот нитритный, железо общее, марганец;

– IV группа – показатели, содержание которых в воде по всем створам наблюдений за весь рассматриваемый период превышает соответствующие значения нормативов: ХПК, медь.

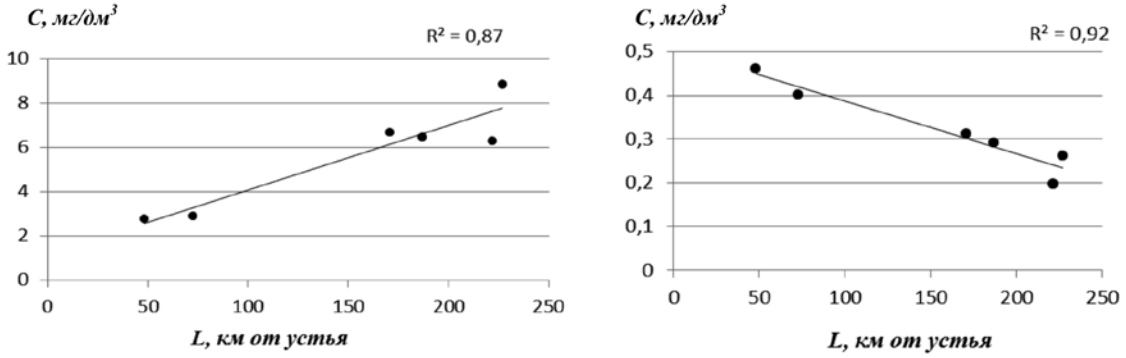
По коэффициентам вариации выделяются две группы показателей: показатели с низкой вариабельностью значений концентраций, характерной для показателя на всех участках реки: ХПК, $БПК_5$, растворенный кислород и хлориды; вещества, для которых характерна высокая вариабельность значений на протяжении рассматриваемого периода: сульфаты, азот аммонийный, азот нитратный, азот нитритный, взвешенные вещества, фосфаты, нефтепродукты, СПАВ, свинец, кадмий, железо общее, марганец, медь.

В связи с тем, что в последние годы наблюдается относительно стабильное состояние качества вод, что характеризуется значениями УКИЗВ, представляется интересным отдельно рассмотреть период 2015–2019 гг., характеризующий современное состояние антропогенного воздействия на водный объект. При анализе изменений концентраций химических показателей по длине реки выявлены следующие значимые линейные тренды: уменьшаются – взвешенные вещества, увеличивается – железо общее (рис. 2). Выявление физических основ данных зависимостей требует дальнейшего изучения гидрохимических особенностей формирования поверхностного стока в системе локальных бассейнов. По остальным показателям значимые тренды не выявлены.

Таблица 3

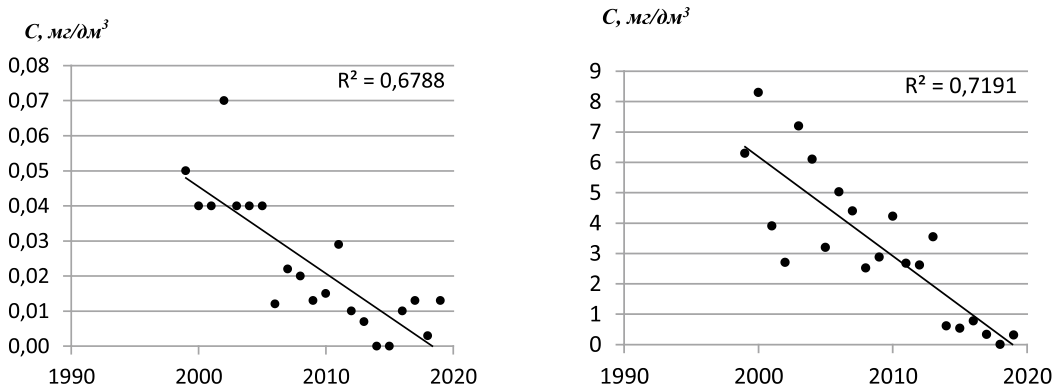
Динамика показателя УКИЗВ воды реки Луга в 2005–2019 гг.

Створ	Годы														
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
г. Луга, створ 1	2,95	4,00	3,34	3,55	3,73	4,77	4,37	3,75	3,82	2,96	2,28	3,04	2,41	2,66	2,42
г. Луга, створ 4	–	–	–	2,96	4,25	4,41	4,14	3,41	3,93	2,93	2,02	2,08	2,11	2,41	2,42
пгт Толмачево, створ 2	3,59	4,23	3,69	3,40	3,93	4,35	3,95	3,73	4,01	3,18	2,47	2,58	2,19	2,50	2,38
пгт Толмачево, створ 3	3,38	3,83	4,01	3,37	3,81	4,74	4,07	3,82	3,83	3,07	2,09	2,50	2,16	2,55	2,89
г. Кингисепп, створ 1	3,01	2,73	2,41	2,65	2,31	2,73	2,54	2,24	3,08	1,93	2,12	2,92	2,23	2,28	2,34
г. Кингисепп, створ 2	3,24	2,97	2,72	3,17	3,10	3,16	–	3,04	2,31	2,40	2,39	2,51	2,67	2,32	2,31



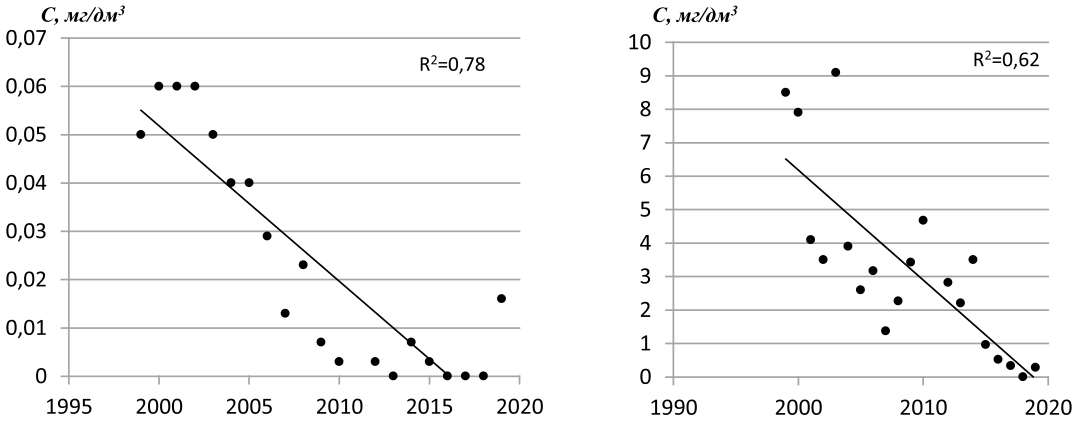
а) *б)*

Рис. 2. Изменение содержания взвешенных веществ (а) и железа общего (б) по длине р. Луга (среднее за 2015–2019 гг.),
• – концентрации, – линия тренда



а) *б)*

Рис. 3. Многолетняя динамика изменения содержания показателей в створе 1 (выше г. Луга), а) нефтепродукты, б) свинец
• – концентрации, – линия тренда



а) *б)*

Рис. 4. Многолетняя динамика изменения содержания показателей в створе 2 (ниже г. Кингисеппа) а) нефтепродукты, б) свинец
• – концентрации, – линия тренда

Анализ межгодовой динамики изменения концентраций загрязняющих веществ в природных водах реки выявил некоторые тенденции. Проведенный статистический анализ содержания поллютантов позволил выявить межгодовую тенденцию к снижению загрязненности вод реки Луга нефтепродуктами и свинцом, характерной для всех участков реки, тренд повышения – для взвешенных веществ в верхнем течении реки (створ 1 выше г. Луга). На рис. 3 и 4 в качестве примера представлены линейные тренды снижения содержания данных показателей в воде реки Луга на участках выше г. Луга и ниже по течению г. Кингисеппа.

Содержание нефтепродуктов в речной воде характеризуется средним многолетним значением 0,02 мг/дм^3. В период с 1999 по 2019 г. в зависимости от участка реки оно уменьшилось в 3–3,5 раза. Средняя величина концентрации нефтепродуктов за период с 1999 по 2005 г. находится в диапазоне значений 0,046–0,051 мг/дм^3, а с 2006 по 2019 г. – 0,004–0,012 мг/дм^3. В межгодовой изменчивости содержания в воде реки Луга свинца также отмечается постепенное его снижение. В рассматриваемый двадцатилетний период его содержание в речной воде (в зависимости от участка реки) уменьшается с 6,3–9,3 до 0–0,3 мкг/дм^3.

Заключение

Выполненная оценка качества воды отдельных участков р. Луга за период с 1999 по 2019 г. на основании дифференцированного и комплексного подходов позволяет сделать следующие выводы. Воды реки Луга характеризуются повышенным содержанием ХПК, соединений железа, меди, по которым на всех участках реки наблюдается характерная загрязненность. В отдельные годы существенный вклад в общую степень загрязненности воды вносили марганец и азот нитритный. Повышенное содержание указанных показателей в водах средних рек обычно обусловлено сочетанием особенностей естественных условий формирования речного стока и антропогенной нагрузкой промышленных и сельскохозяйственных предприятий. При этом высокое содержание железа и марганца характерно для большинства водотоков Ленинградской области и обусловлено региональными особенностями природных условий, связанных, в частности, с болотным питанием рек.

В верхнем течении реки качество воды изменялось от «загрязненной» (3-й класс, разряд «а») до «грязной» (4-й класс, разряд «б»). Динамика уровня загрязненности воды в створе выше г. Кингисеппа в период с 2006 по 2014 г. свидетельствует об улучшении качества воды по сравнению с участками выше по течению, вода в этот период характеризовалась как «загрязненная», а в 2014 г. как «слабо загрязненная». Далее по длине реки в створе ниже г. Кингисеппа в период с 2005 по 2015 г. (исключение 2013 г.) состояние воды ухудшается под влиянием антропогенной нагрузки промышленного узла г. Кингисепп, в связи с высокой концентрацией техногенных нагрузок на коротком отрезке реки. Однако это изменение не носит резкий характер, что может объясняться высокой водностью реки в нижнем течении. В последние годы (2016–2019 гг.) состояние реки стабильно на всей протяженности, по качеству вода относится к классу 3а «загрязненная».

Анализ межгодовой динамики изменения концентраций загрязняющих веществ в поверхностных водах реки Луга позволил выявить некоторые тенденции. Для всех участков реки характерна межгодовая тенденция снижения загрязненности воды нефтепродуктами и свинцом.

Список литературы / References

1. ГОСТ 19179-73 Гидрология суши. Термины и определения. М.: Издательство стандартов, 1988. 36 с.

2. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Луга и рек бассейна Финского залива от границы бассейна реки Луга до южной границы бассейна реки Нева. Кн. 1. 2015. 117 с.

Scheme of integrated use and protection of water bodies of the Luga River basin and the rivers of the Gulf of Finland basin from the border of the Luga River basin to the southern border of the Neva River basin. Kn. 1. 2015. 117 p. (in Russian).

3. Лемешко Н.А., Шалашина Т.Л. Особенности гидрологического режима малых незарегулированных рек Северо-Запада России // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 314–324.

Lemeshko N.A., Shalashina T.L. Peculiarities of small unregulated rivers hydrological regime in the north-west of Russia // Voprosy geografii. 2018. P. 314–324 (in Russian).

4. Инвестиционный паспорт Лужского муниципального района. [Электронный ресурс]. URL: https://luga.ru/investors/passport (дата обращения: 15.05.2021).

Investment passport of the Luga municipal district. [Electronic resource]. URL: https://luga.ru/investors/passport (date of access: 15.05.2021) (in Russian).

5. Инвестиционный паспорт Кингисеппского муниципального района. [Электронный ресурс]. URL: https://kingisepplo.ru/images/AMO/deyatelnost/ekonom-razv/invest-potencyal/Investitcionnyi_pasport_2019.pdf (дата обращения: 15.05.2021).

Investment passport of the Kingisepp municipal district. [Electronic resource]. URL: https://kingisepplo.ru/images/AMO/deyatelnost/ekonom-razv/invest-potencyal/Investitcionnyi_pasport_2019.pdf (date of access: 15.03.2021) (in Russian).

6. Кондратьев С.А., Шмакова М.В., Брюханов А.Ю., Викторова Н.В., Ершова А.А., Обломкова Н.С. К оценке биогенного стока в Финский залив Балтийского моря // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. № 51. С. 109–120.

Kondratev S.A., Shmakova M.V., Bryukhanov A.Yu., Viktorova N.V., Ershova A.A., Oblomkova N.S. To the evaluation of nutrient removal to the Gulf of Finland of the Baltic sea // Uchenye zapiski Rossijskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2018. № 51. P. 109–120. (in Russian).

7. Ежегодники качества поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям на территории деятельности ФГБУ «Северо-Западное УГМС» (Ленинградская область) за 1999–2019 гг. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-Западное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Санкт-Петербург.

Yearbooks of land surface water quality on hydrochemical indicators in the territory of the Federal State Budgetary Institution «North-Western UGMS» (Leningrad region) 1999–2019, Saint-Petersburg (in Russian).

УДК 913

ОЦЕНКА СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА НА МУНИЦИПАЛЬНОМ И ПОСЕЛКОВОМ УРОВНЯХ

Мошков А.В., Ушаков Е.А., Чурзина А.А.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: eaushakov@mail.ru

В статье рассматриваются арктические районы Дальневосточного федерального округа и анализируется их социально-экономическое положение. Отмечена их важность для стратегического развития России с точки зрения изменения их геополитического положения в связи с развитием Северного морского пути. Приводятся результаты анализа сложившегося в рассматриваемых районах уровня социально-экономического развития. Выделены основные проблемы данных арктических районов – сложные природно-климатические условия, удаленность от федерального центра и крупных городов, слабая инфраструктурная освоенность. Отмечено, что в ходе реформ 1990-х гг. в данных районах резко сократилась численность населения. На сегодняшний день рассматриваемые районы по своим социально-экономическим показателям существенно отстают от южных районов Дальнего Востока. Отдельно выделены прибрежные и континентальные районы арктической части Республики Саха (Якутия), а также Чукотского автономного округа. По совокупности характеристик муниципальные образования арктической части субъектов Дальневосточного федерального округа можно объединить в несколько групп. Рассчитан коэффициент соотношения социально-экономических показателей муниципалитетов арктических районов Республики Саха (Якутия). Выделены отличия между арктическими районами Якутии по социально-экономическому развитию. Отмечено, что муниципальные образования Чукотского автономного округа отличаются более высоким уровнем развития и экономической устойчивостью по сравнению с арктическими районами Якутии. Показаны особенности социально-экономического развития арктических районов на уровне поселений. Выделены социально-экономические центры – наиболее развитые поселения, определяющие основу экономики арктических районов Дальнего Востока. Отмечено, что подавляющее большинство поселений находятся в депрессивном состоянии. Сохранение такой ситуации может привести в ряде случаев даже к закрытию некоторых поселений.

Ключевые слова: арктические районы, Дальний Восток, муниципальный уровень, поселения, социально-экономическое положение, коэффициент соотношения социально-экономических показателей

ASSESSMENT OF THE SOCIO-ECONOMIC SITUATION ARCTIC TERRITORIES OF THE FAR EAST AT THE MUNICIPAL AND SETTLEMENTS

Moshkov A.V., Ushakov E.A., Churzina A.A.

Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: eaushakov@mail.ru

The article examines the Arctic regions of the Far Eastern Federal District and analyzes their socio-economic situation. Their importance for the strategic development of Russia, from the point of view of changes in their geopolitical position in connection with the development of the Northern Sea Route, is noted. The results of the analysis of the level of socio-economic development in the areas under consideration are presented. The main problems of this Arctic region are highlighted – difficult natural and climatic conditions, remoteness from the federal center and large cities, poor infrastructure development. It is noted that during the reforms of the 1990s. in these areas, the population has sharply decreased. To date, the regions under consideration in their socio-economic indicators significantly lag behind the southern regions of the Far East. The coastal and continental regions of the Arctic part of the Republic of Sakha (Yakutia), as well as the Chukotka Autonomous Okrug, are identified separately. By the totality of characteristics, the municipalities of the Arctic part of the subjects of the Far Eastern Federal District can be combined into several groups. The ratio of socio-economic indicators of municipalities in the Arctic regions of the Republic of Sakha (Yakutia) was calculated. The differences between the Arctic regions of Yakutia in terms of socio-economic development are highlighted. It is noted that the municipalities of the Chukotka Autonomous Okrug are distinguished by a higher level of development and economic stability in comparison with the Arctic regions of Yakutia. The features of the socio-economic development of the Arctic regions at the settlement level are shown. The socio-economic centers are highlighted – the most developed settlements that determine the basis of the economy of the Arctic regions of the Far East. It is noted that the overwhelming majority of settlements are in a depressed state. If this situation persists, in some cases it may even lead to the closure of some settlements.

Keywords: arctic districts, the Far East, municipal level, settlements, socio-economic situation, ratio of socio-economic indicators

Арктические районы Дальневосточного федерального округа (ДФО) (13 муниципальных районов Республики Саха (Якутии) и все муниципалитеты Чукотского автономного округа) являются важным объектом изучения проблемы комплексного освоения арктических районов России, в том числе формирования береговой инфраструктуры, обслуживающей северо-восточную часть Северного морского пути (СМП). В последние годы существенно возросло геополитическое и экономическое значение СМП, поэтому развитию арктических районов уделяется большое внимание – разрабатываются различные Стратегии и Программы развития, инвестиционные проек-

ты и т.д. [1–4]. Необходимо отметить, что на этой территории сложилась совокупность общих социально-экономических проблем: экстремальные климатические и природные условия проживания населения, большая удаленность от федерального центра, крупных городов и промышленных центров, сокращение численности населения с угрозой закрытия ряда населённых пунктов, высокие тарифы на электроэнергию, большой износ инфраструктуры и т. д. [4–7]. Различия в уровнях социально-экономического развития, сложившиеся между районами, вызваны особенностями их освоения и развития, неравномерным размещением месторождений минерально-сырьевых и топливных ресурсов, слабой инфраструктурной освоенностью, сложившейся структурой экономики ресурсного типа и другими факторами [8, 9]. При этом существующие различия отмечаются не только на муниципальном уровне, но и между поселками.

Цель исследования – выявить различия в социально-экономическом развитии арктической зоны Дальнего Востока на муниципальном и поселковом уровнях. Рассмотреть факторы, влияющие на нынешнюю социально-экономическую дифференциацию муниципальных районов и поселений рассматриваемой территории.

Материалы и методы исследования

В работе использовалась информация, полученная из статистических управлений субъектов ДФО, а также аналитические отчеты и материалы по проблеме освоения арктических районов Дальнего Востока России. При написании работы были использованы традиционные методы комплексного анализа: статистический, сравнительно-географический, районирования (зонирования).

Результаты исследования и их обсуждение

Арктические районы занимают обширную территорию ДФО России – 2830,2 млн км^2, или 40,7% от всей его площади. При этом плотность населения здесь в 28 раз меньше, чем в среднем по ДФО. Стоит отметить, что данная территория претерпела большие демографические изменения после начала в 1990-х гг. социально-экономических реформ в стране [10, 11]. Численность населения в арктических субъектах с 1990 по 2000 г. сократилась вдвое (-52,6%) – с 308,5 до 146,2 тыс. чел., и сокращение продолжилось в 2000-х гг. (на 14,9% за 2000–2010 гг.). В последние годы начала происходить стабилизация численности населения, а по итогам 2019 г. наблюдался даже его небольшой прирост (рис. 1).

По большинству социально-экономических показателей арктические районы значительно уступают их средним значениям по ДФО [6]. Это относится к показателям по основным видам деятельности (объемы строительства, оборот розничной торговли, общественного питания, объем инвестиций в основной капитал и т.д.). Кроме этого, уровень безработицы здесь почти в 2 раза выше, чем по среднем по ДФО.

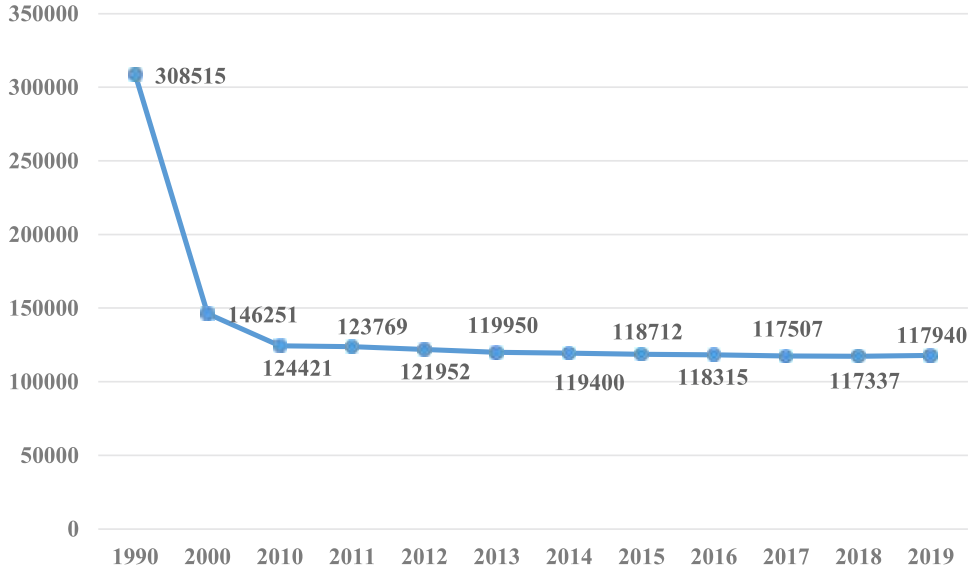


Рис. 1. Динамика численности населения арктической зоны Дальневосточного федерального округа

Таблица 1

Социально-экономические показатели арктических районов Дальневосточного федерального округа по итогам 2017 г.

	Арктические районы	Доля арктических районов от Дальневосточного федерального округа, в %
Территория, тыс. м^2	2346,5	38,0
Численность населения, чел.	117337	1,9
Численность рабочей силы, тыс. чел.	54,4	1,6
Среднемесячная заработная плата, руб.	77640	159*
Число больничных коек на 1000 человек населения	113,3	114*
Численность врачей на 1000 человек населения	56,0	102*
Объем работ, выполненных по виду деятельности строительство, млн руб.	6148,2	1,2
Ввод в действие жилых домов на 1000 человек населения, м^2	215,0	67*
Объем сельскохозяйственной продукции, млн руб.	2409,9	3,6
Грузооборот автомобильным транспортом, млн т	2,8	2,8
Оборот розничной торговли на душу населения, руб.	160368	75*
Объем платных услуг на душу населения, руб.	52061	61*
Оборот общественного питания на душу населения, руб.	6102	50*
Инвестиции в основной капитал на душу населения, руб.	178072	90*

Примечание. *От среднедушевого = 100%, рассчитан на основе [12].

Следует учитывать, что в муниципальных образованиях арктических районов стоимость жизни даже выше, чем в среднем по Республике Саха (Якутия), и сопоставима с ценами Чукотки. С другой стороны, здесь и уровень заработной платы выше среднего по ДФО (табл. 1).

Муниципальные образования Чукотского автономного округа, по ряду социально-экономических показателей, заметно превосходят арктические районы Республики Саха (Якутии) и характеризуются более динамичным развитием (табл. 2). При этом основой экономического развития этих районов является добыча полезных ископаемых: в Чукотском автономном округе это, прежде всего, добыча золота (9% от общероссийской) и серебра (10% от общероссийской). Главной специализацией арктических районов Республики Саха (Якутии) является добыча алмазов (до 10% от общероссийской).

В целом экономика Чукотского автономного округа демонстрирует более устойчивые темпы развития, во многом благодаря стабильной ситуации на рынках драгоценных металлов. При этом как на Чукотке, так и на севере Якутии в настоящее время отмечается множество схожих социально-экономических проблем: высокая стоимость жизни, значительный отток населения, большое число депрессивных поселений, высокий износ объектов инфраструктуры и т.д. [13].

По особенностям географического положения, особенностям природно-климатических условий и социально-экономическим факторам, в пределах арктической зоны ДФО можно выделить три группы районов:

1. Прибрежные районы арктической Якутии. Эта группа районов выделяется среди других муниципальных образований Республики Саха (Якутии) сравнительно высоким уровнем развития, в первую очередь за счет Анабарского района, где представлены производства, связанные с добычей алмазов. На территории района проживает 14% от населения данной группы районов. Здесь сконцентрировано до 70% оборота организаций, более половины инвестиций, оборота розничной торговли и общественного питания и построенного жилья, до 70% собственных до-

ходов бюджета от всех прибрежных районов арктической Якутии. Размер среднемесячной заработной платы здесь выше в 1,6–1,9 раза, чем в других районах Якутии. Однако в последующие годы, вследствие резкого сокращения добычи алмазов, район, скорее всего, покажет отрицательную динамику в своем развитии. Это также негативно отразится и на показателях всей группы прибрежных районов арктической Якутии в целом. При этом в этой группе районов присутствует Булунский район, который в последние годы демонстрирует высокие темпы развития за счет создания здесь предприятий по добыче алмазов (поселок Сиктях). Другие прибрежные районы не отличаются высоким уровнем развития и поэтому существенных различий в социально-экономических показателях между собой не имеют.

2. Континентальные районы арктической Якутии. В этой группе высокими социально-экономическими показателями выделяется только Оленекский район (за счет добычи алмазов). Большинство районов менее развиты и схожи по социально-экономическим показателям. Наиболее сложная ситуация в этой группе и в целом в арктической зоне Дальнего Востока, сложилась в Среднеколымском и Эвено-Бытантайском районах.

3. Муниципальные образования Чукотского автономного округа. Здесь по уровню социально-экономического развития можно выделить несколько видов муниципальных районов. Лидером является городской округ Анадырь, значительное преимущество которого заключается в том, что он является еще и административным центром субъекта. Этот фактор обеспечивает приток населения в Анадырь из ближайших районов. Такой процесс характерен и для других административных центров субъектов ДФО. Анадырь является главным центром притяжения инвестиций, поступающих в субъект ДФО, и доходов местных бюджетов, которые в том числе собираются здесь за счет юридической прописки добывающих компаний. Также достаточно развитыми муниципальными образованиями представляются Билибинский район и городской округ Певек; от них несколько отстает Анадырский район и Эгвекинот; менее развитыми муниципальными образованиями являются Провидения и Чукотский район (табл. 3).

Необходимо отметить, что социально-экономическую основу районов составляют, как правило, их районные центры или другие экономические центры, специализирующиеся на добыче полезных ископаемых или портовой функции. Социально-экономическая ситуация в большинстве поселений районов неблагоприятная, депрессивная.

Таблица 2

Социально-экономические показатели арктических районов Дальневосточного федерального округа по итогам 2019 г.

	Арктическая зона Дальнего Востока	Якутия, всего	в том числе		Чукотский АО
			Прибрежные	Континентальные	
Территория, тыс. км^2	**2830,2**	2108,8	*1093,8*	*1014,9*	721,5
Численность населения на 01.01.2020, чел.	**117940**	67652	*26131*	*41521*	50288
Динамика численности населения за 2015–2019 гг., %	+0,5	-0,0	*+0,6*	*-0,5*	+1,3
Среднесписочная численность работников организации, чел.	**50601**	23488	*9542*	*13946*	27113
Размер среднемесячной заработной платы, руб.	**92299**	72588	*82866*	*65555*	109374
Общая сумма инвестиции за 2015–2019 гг., млн руб.	**122649,1**	44244,1	*15507,2*	*28733,9*	78408,0
Строительство жилья за 2015–2019 гг., м^2	**103517**	83573	*14645*	*68928*	19944
Объем сельскохозяйственной продукции, млн руб.	**1645,8**	1447,8	*495*	*952,8*	3096,3
Объем отгруженных товаров и услуг, млн руб.	**129277,7**	25022,2	*14086,4*	*10935,8*	104255,5

Таблица 3

Основные социально-экономические показатели муниципальных районов Арктической зоны Дальнего Востока

	Численность населения, на 01.01.2020	Динамика численности населения, 2015–2019 гг.	Среднесписочная численность работников, организации, чел	Размер среднемесячной заработной платы, руб.	Общая сумма инвестиции за 2015–2019 гг., млн руб.	Строительство жилья за 2015–2019 гг., м²	Объем сельскохозяйственной продукции, млн руб.	Объем отгруженных товаров и услуг, млн руб.	
								2015	2019
Республика Саха (Якутия)									
Прибрежные									
Аллаиховский	2697	+0,6	950	69878	96,7	2240	1,7	302,8	763,9
Анабарский	3653	+6,5	1601	119012	7999,2	6706	114,4	8321,2	1091,1
Булунский	8513	+1,8	3307	83382	6245,6	3799	102,7	5509,6	7890,1
Нижнеколымский	4260	-2,9	1440	69549	163,6	128	97,6	520,4	1063,9
Усть-Янский	7008	-3,2	2244	70370	1002,1	1772	178,6	946,9	3277,4
Континентальные									
Абыйский	3949	-3,6	1544	66602	812,4	2195	47,5	310,1	846,3
Верхнеколымский	4003	-6,6	1519	71677	199,0	6107	39,2	1258,8	1178,1
Верхоянский	11059	-2,7	2462	59868	175,5	12061	395,8	1510,2	3613,1
Жиганский	4112	-3,4	1326	61287	985,3	11994	27,8	341,0	773,2
Момский	3974	-4,0	1383	55832	156,4	7676	113,4	379,6	992,1
Оленёкский	4247	+6,6	1808	97079	25763,6	14291	45,1	911,5	1524,5
Среднеколымский	7332	-2,7	2051	58002	591,2	11541	148,3	550,8	1499,6
Эвено-Бытантайский	2845	+2,4	853	54066	50,5	3063	135,7	151,6	508,9
Чукотский АО									
Анадырь	15819	+6,2	9806	123971	47398,7	6462	41,7	61190,3	22836,9
Анадырский	8389	-2,2	3727	100925	4621,5	6616	420,6	3191,1	43571,7
Билибинский	7537	-0,9	4823	109969	16518,6	445	237,2	9527,2	18130,3
Певек	5480	-4,5	4068	108209	7545,4	46	381,9	833,0	15859,4
Провидения	3550	-4,4	1203	87323	199,5	0	22,7	484,2	546,2
Эгвекинот	5049	+4,9	2281	87820	1620,5	2055	473,7	2239,7	2859,6
Чукотский	3984	-8,3	1205	81167	503,8	4320	70,7	395,6	451,4

Примечание. Рассчитано по [14].

Таким образом, в муниципальных образованиях Чукотского АО отмечается достаточно высокая дифференциация среди поселений по уровню социально-экономического развития (табл. 3).

В целом арктические районы Дальнего Востока можно сгруппировать по степени социально-экономического развития:

1. «Лидеры». В эту группу входят муниципальный район Анадырь, Певек, Билибинский и Анабарский районы. Анадырь, как уже было отмечено, получил дополнительный прирост в развитии, благодаря статусу административного центра субъекта. По своим социально-экономическим показателям он является наиболее развитым среди всех арктических районов Дальнего Востока. Высокий уровень развития в других районах обеспечен их ресурсной структурой экономики – добыча драгоценных металлов, алмазов в Булунском и Анабарском районах.

2. «Развитые». В эту группу входят следующие муниципальные образования – Эгвекинот, Анадырский, Оленекский, Булунский и Жиганский районы. Большая часть районов получила свое развитие за счет размещения на их территории предприятий горнодобывающего комплекса. Стоит отметить, что районы этой группы имеют поло-

жительные тенденции в социально-экономическом развитии.

3. «Середняки». В эту обширную группу можно объединить значительную часть муниципальных образований со схожими социально-экономическими показателями, но заметно отстающих от более развитых районов. Это Провидение, Чукотский, Аллаиховский, Нижнеколымский, Усть-Янский, Абыйский, Верхнеколымский, Верхоянский, Момский районы.

4. «Аутсайдеры». В эту группу можно отнести Среднеколымский и Эвено-Бытантайский районы. По совокупности социально-экономических показателей они заметно отстают от группы середняков, особенно Эвено-Бытантайский район.

Одним из главных средообразующих элементов рассматриваемых муниципальных образований Восточного сектора Арктики являются поселения. На всей рассматриваемой территории можно выделить несколько групп поселений, выделенных по совокупности социально-экономических показателей: демографическая составляющая (изменение численности населения в период 2010–2017 гг.), бюджетная составляющая (наличие собственных доходов, которые в основном формируются за счет отчислений с НДФЛ), наличия промышленного производства, а также ряд других показателей. Таким образом, было выделено 5 групп поселений:

1. Социально-экономические центры первого порядка – поселения, имеющие большое значение в экономике рассматриваемых территорий. Они отличаются положительной динамикой численности населения, высокой численностью занятого населения и высоким размером среднемесячной заработной платы. Собственные доходы в бюджете составляют более 20000 руб. на одного человека, что делает их менее зависимыми от вышестоящих бюджетов. К этим населенным пунктам можно отнести Анадырь (стоит учитывать, что в отличие от других поселений он самостоятельный муниципальный район), Певек, Билибино, а также два алмазодобывающих центра на территории Якутии – Саскылах и Сиктях.

Также в эту группу входят ряд других крупных населенных пунктов Чукотки – Угольные Копи, Эгвекинот, Провидения. Эти поселения имеют социальные показатели схожие с поселениями-лидерами, а также отличаются положительной динамикой в росте численности населения. Кроме этого, они выполняют важную функцию в обеспечении береговой инфраструктуры Северного морского пути.

2. Социально-экономические центры второго порядка – поселения, которые имеют большое значение в социально-экономической структуре муниципалитетов. При этом их социально-экономические показатели заметно отстают от центров первого порядка. К таким населенным пунктам можно отнести Беринговский, Чокурдах, Оленек и Тикси. Отдельно стоит выделить Беринговский, который в ближайшие годы может перейти в центры первого порядка за счет создания ТОР «Беринговский», как центра добычи угля на Чукотке. По объемам промышленного производства он приближается к центрам первого порядка. Однако основная проблема этого населенного пункта заключается, прежде всего, в непостоянной динамике численности населения (например, с 2010 по 2017 г. она упала на 44,6%), а в последние годы наблюдается значительный рост численности населения (в 2017–2019 гг. на 23,6%). Кроме этого, здесь отмечаются невысокий уровень развития социальной сферы, да и собираемость собственных доходов в бюджет небольшая.

3. Социально-экономические центры третьего порядка – поселения, не имеющие большого значения для экономики своих районов, но в них отмечается большая численность работающего населения и высокая наполняемость бюджета собственными доходами. К этому типу можно следующие районные центры: Черский, Депутатский и Лаврентия, а также почти все административные центры континентальных районов Якутии (исключение Оленек), а также Угольное (Верхнеколымский район) и Жилинда (Оленекский район). Эти населенные пункты имеют небольшое промышленное производство (как правило, представленное производством электроэнергии, газа и воды), которое обеспечивает весь поселок необходимыми бытовыми услугами. Кроме этого, в динамике численности населения здесь отмечается отрицательный прирост, а наполняемость собственными доходами местного бюджета на душу населения в разы ниже, чем у экономических центров первого порядка. Основной фактор развития этих поселений – наличие статуса административного центра (в поселках Угольное и Жилинда этот фактор дополняется ещё и наличием природно-ресурсного фактора – добычи угля (Угольное) и алмазов (Жилинда).

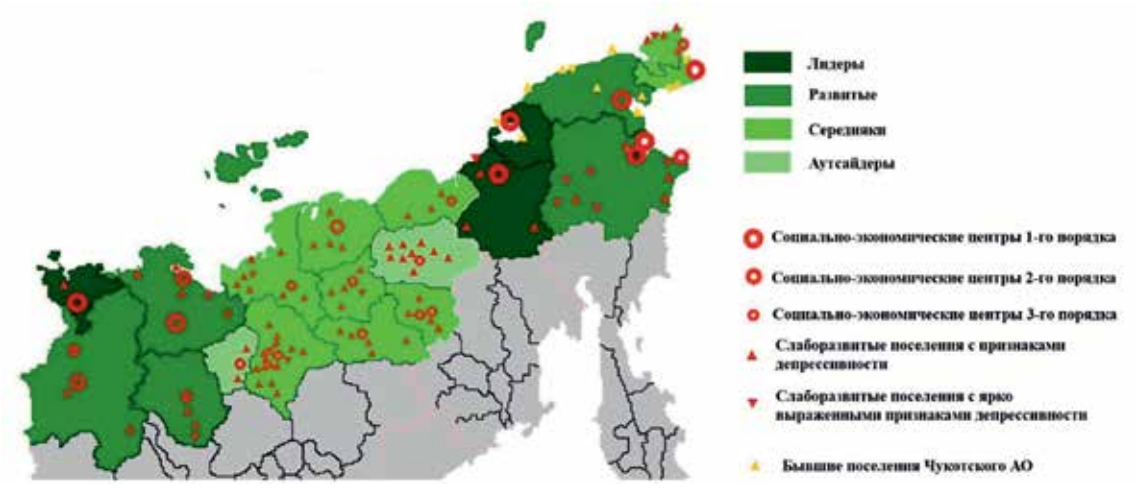


Рис. 2. Группировка муниципальных районов и их поселений по социально-экономическому положению

4. Слаборазвитые поселения с признаками депрессивности – имеют отрицательный рост численности населения (свыше 1% в год), небольшую численность занятого населения, низкий размер среднемесячной заработной платы, местные бюджеты полностью зависят от безвозмездных поступлений). При этом доля своих доходов не превышает 10% от объема поступлений в доходную часть бюджета. К этой группе поселений относятся подавляющее большинство остальных поселений Якутии, а также около половины поселений Чукотки.

5. Слаборазвитые поселения с ярко выраженными признаками депрессивности, которые можно охарактеризовать как «вымирающие». Характеризуются сильным оттоком населения (отрицательный рост часто в таких поселениях составляет не менее 3% в год), а также практически полным отсутствием собственных доходов в бюджете. В эту группу входят чуть менее половины поселений Чукотки, а также несколько поселений Арктической части Республики Саха (Якутии). Наименее развитыми поселениями среди этой группы являются Лапутское, Снежное, Чуванское (Анадырский район), а также Мыс Шмидта, который входит в состав городского округа Эгвекинот.

Отдельно стоит отметить бывшие сельские поселения Чукотского АО, которые были упразднены в ходе преобразования районов в городские округа (Эгвекинот, Провидение, Певек). При рассмотрении 12 бывших поселений городских округов относятся к слаборазвитым поселениям, 8 можно отнести к первой группе, а 4 – ко второй группе «слаборазвитых» поселений (рис. 2).

Для количественной оценки степени дифференциации муниципалитетов можно использовать коэффициент соотношения группы социально-экономических показателей. В качестве района исследования была взята Арктическая часть Республики Саха (Якутия) с её 13 муниципальными районами. Для расчета коэффициента было взято 20 удельных социально-экономических показателей, которые приводились на душу населения. Например, демографические показатели (динамика численности населения); социальные показатели (безработица, размер среднемесячной заработной платы и др.); и экономические (оборот организации, объем инвестиций и др.). При расчёте использовалась следующая система подсчета: максимальному значению социально-экономического показателя присваивалось значение равное 1, а минимальному – 0.

$$(X = (P_{reg} - P_{min}) / (P_{max} - P_{min})).$$

Все получившиеся расчетные данные в дальнейшем суммировались и делились на количество социально-экономических показателей

$$(K = \Sigma(X_1 + X_2 + \ldots + X_{17})/N,$$

где N – количество социально-экономических показателей).

Если получившееся суммарное значение коэффициента близко к 1, то район выглядит более благополучным по сравнению с другими. Если коэффициент близок к 0, то и район смотрится менее развитым (табл. 4).

Таблица 4

Суммарный коэффициент соотношения социально-экономических показателей по Арктической зоне Республики Саха (Якутия)

Улусы	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Аллаиховский	0,272	0,359	0,378	0,320	0,414	0,374	0,332
Анабарский	0,454	0,652	0,618	0,544	0,577	0,610	0,538
Булунский	0,307	0,246	0,140	0,235	0,288	0,372	0,315
Нижнеколымский	0,314	0,352	0,425	0,392	0,287	0,284	0,226
Усть-Янский	0,634	0,481	0,387	0,345	0,335	0,311	0,253
Прибрежные	*0,388*	*0,396*	*0,345*	*0,343*	*0,354*	*0,362*	*0,316*
Абыйский	0,316	0,401	0,375	0,337	0,343	0,354	0,320
Верхнеколымский	0,502	0,409	0,434	0,368	0,418	0,433	0,340
Верхоянский	0,356	0,370	0,345	0,306	0,294	0,301	0,294
Жиганский	0,334	0,403	0,517	0,427	0,434	0,345	0,373
Момский	0,460	0,377	0,402	0,349	0,322	0,365	0,333
Оленёкский	0,291	0,391	0,375	0,438	0,442	0,414	0,485
Среднеколымский	0,415	0,362	0,414	0,356	0,331	0,304	0,267
Эвено-Бытантайский	0,255	0,269	0,278	0,250	0,223	0,225	0,236
Внутренние	*0,356*	*0,375*	*0,380*	*0,358*	*0,338*	*0,339*	*0,320*
Всего	**0,369**	**0,382**	**0,367**	**0,353**	**0,344**	**0,347**	**0,318**

Примечание. Рассчитано на основе [15].

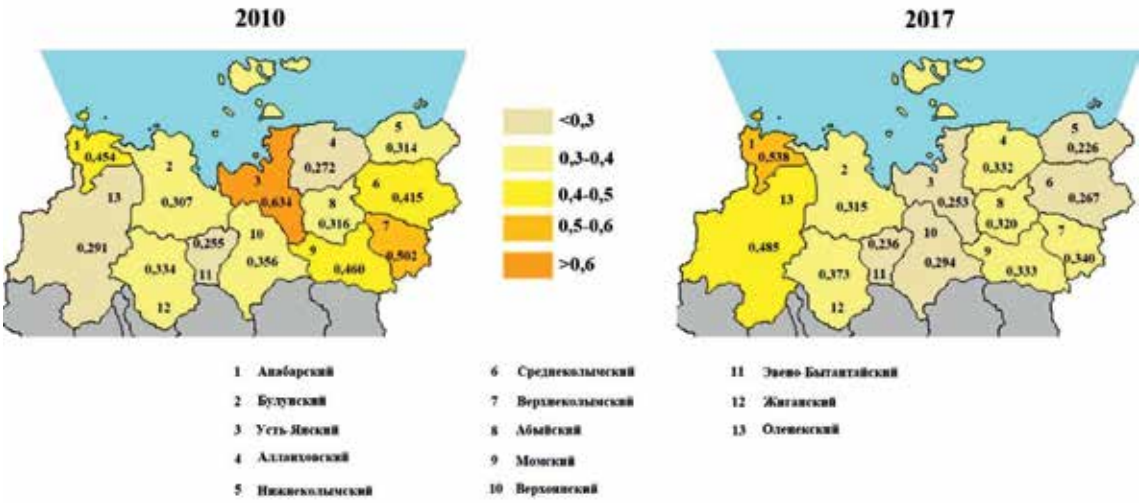


Рис. 3. Значения коэффициента соотношения социально-экономических показателей на примере Арктических районов Республики Саха (Якутия)

Нами получены суммарные значения коэффициента по рассматриваемым районам за 2010 и 2017 гг. В 2010 г. по значению рассчитанного коэффициента «лидером» был Усть-Янский район, во вторую группу «более развитых» районов по данному коэффициенту входил Верхнеколымский район, а в третью группу «развитых» районов – Анабарский, Момский и Среднеколымский. Близкие к «средним» значениям коэффициента имели Верхоянский и Жиганский район. В группу «отстающих» районов входили Булунский, Нижнеколымский, Абыйский и Оленекский районы. «Аутсайдерами» были Аллаиховский и Эвено-Бытантайский районы.

В 2017 г. ситуация изменилась кардинально. «Лидером» стал Анабарский район. Во вторую группу «развитых» вошел Оленекский район, а в третью группу «развитых» – Жиганский. В группу «середняков» входили Аллаиховский, Булунский, Абыйский, Верхнеколымский, Верхоянский и Момский районы. В группу «отстающих» районов входили Усть-Янский и Среднеколымский районы, а «аутсайдерами» являлись Нижнеколымский и Эвено-Бытантайский районы (рис. 3). Следует отметить, что

за этот период произошло уменьшение социально-экономической дифференциации между районами.

По динамике полученных значений суммарного коэффициента можно выделить четыре группы районов:

1 – показавшие постоянный рост показателя (Оленекский район);

2 – показавшие постоянное снижение показателя (Усть-Янский и Среднеколымский районы);

3 – стабильные (показатель находится на одном и том же уровне) – Анабарский, Абыйский, Верхоянский, Момский и Эвено-Бытантайский районы;

4 – изменяющиеся – имеют значительные колебания в виде роста и снижения в весь рассматриваемый период (Аллаиховский, Булунский, Нижнеколымский, Верхнеколымский и Жиганский районы).

Заключение

При рассмотрении дифференциации арктических муниципальных образований (районов и городских округов) по уровню социально-экономического развития необходимо выделить ряд групп районов. Группу развитых районов можно разделить на три подгруппы:

1. Лидер – Анадырь. Отличается наиболее высокими социально-экономическими показателями.

2. Более развитые районы. Это городской округ Певек и Билибинский район Чукотского АО, а также Анабарский район Якутии.

3. Группу относительно развитых районов. Это городской округ Эгвекинот, Анадырский, Чукотский, Булунский и Оленекский районы. Они показывают более высокие социально-экономические показатели по отношению к большинству муниципальных районов, но заметно отстают от двух вышеперечисленных групп.

Главным фактором сравнительно высокого уровня их социально-экономического развития является природно-ресурсный фактор – добыча золота и серебра в чукотских муниципалитетах, а в якутских районах – алмазов.

Подавляющее большинство других муниципальных районов заметно отстают по социально-экономическим показателям от вышеуказанных районов и входят в группу «середняков». К группе наименее развитых можно отнести 2 района – Среднеколымский и Эвено-Бытантайский.

Наибольшее социально-экономическое развитие получили те поселения, которые имеют административную статусность и обладающие наибольшей численностью населения. Главными экономическими видами деятельности наиболее развитых поселений являются добыча драгоценных металлов и алмазов, а также их специализация на портовых функциях. Небольшие поселения практически все находятся в «состоянии депрессии», которая характеризуется низкими социально-экономическими показателями (особенно в резком сокращении численности населения). Здесь отмечается негативная динамика социально-экономических показателей, сохранение которой может привести к исчезновению этих поселений в будущем.

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания по теме «Географические и геополитические факторы в инерционности, динамике и развитии разноранговых территориальных структур хозяйства и расселения населения Тихоокеанской России», № АААА-А16-116110810013-5 (Раздел 1) и при финансовой поддержке РФФИ-Арктика, проект № 18-05-60103 «Пространственная дифференциация уровней и форм адаптации групп населения к изменению природных, социально-экономических и экологических условий в районах Восточной Арктики».

Список литературы / References

1. Крутиков А.В., Смирнова О.О., Бочарова Л.Н. Стратегия развития российской Арктики. Итоги и перспективы // Арктика и Север. 2020. № 40. С. 254–269.

Krutikov A.V., Smirnova O.O., Bocharova L.K. Strategy for the development of the Russian Arctic. Results and prospects // Arktika i Sever. 2020. No. 40. P. 254–269 (in Russian).

2. Лексин В.Н., Порфирьев Б.Н. Переосвоеине Российской Арктики: вопросы методологии и организации // Российский экономический журнал. 2015. № 2. С. 84–104.

Leksin V.N., Porfiryev B.N. Redevelopment of the Russian Arctic: Issues of Methodology and Organization // Rossiyskiy ekonomicheskiy zhurnal. 2015. No. 2. P. 84–104 (in Russian).

3. Морская стратегия России и приоритеты развития Арктики России. Апатиты: Институт экономических проблем Кольского научного центра РАН, 2012. 416 с.

The Maritime Strategy of Russia and the priorities of the development of the Russian Arctic. Apatity: Institut ekonomicheskikh problem Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN, 2012. 262 p. (in Russian).

4. Регионы Севера и Арктики Российской Федерации: современные тенденции и перспективы развития. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 2017. 171 с.

Regions of the North and Arctic of the Russian Federation: Modern trends and perspectives of development. Apatity: Kol'skiy nauchnyy tsentr RAN, 2017. 171 p. (in Russian).

5. Бабурин В.Л., Бадина С.В., Горячко М.Д., Земцов С.П., Колтерманн С.П. Оценка уязвимости социально-экономического развития Арктической территории России // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2016. № 6. С. 71–77.

Baburin V.L., Badina S.V., Goryachko M.D., Zemtsov S.P., Koltermann K.P. Vulnerability assessment of socio-economic

development of the Russian Arctic territories // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5: Geografiya. 2016. No. 6. P. 71–77 (in Russian).

6. Бакланов П.Я., Мошков А.В., Романов М.Т. Географические и геополитические факторы и направления долгосрочного развития Арктической зоны России // Вестник ДВО РАН. 2015. № 2. С. 5–15.

Baklanov P.Ya., Moshkov A.V., Romanov M.T. Geographical and geopolitical factors and the direction of the long-term development of the Arctic zone of Russia // Vestnik DVO RAN. 2015. No. 2. P. 5–15 (in Russian).

7. Леонов С.Н. Освоение арктической зоны Дальнего Востока: состояние и проблемы // Управленческие науки. 2013. № 4. С. 57–70.

Leonov S.N. The development of the Russian Far East Arctic zone and challenges // Upravlencheskiye nauki. 2013. No. 4. P. 57–70 (in Russian).

8. Бакланов П.Я, Мошков А.В. Пространственная дифференциация структуры экономики регионов Арктической зоны России // Экономика регионов. 2015. № 1. С. 53–63.

Baklanov P.Ya., Moshkov A.V. Spatial differentiation of the structure of the economy of the regions of the Arctic zone of Russia // Ekonomika regionov. 2015. No. 1. P. 53–63 (in Russian).

9. Гладышева Ю.В. Анализ пространственной неравномерности социально-экономического развития регионов Арктической зоны ДВ // Вектор экономики. 2019. № 12. С. 58–79.

Gladysheva Yu.V. Analysis of spatial unequency of socio-economic development of regions Arctic zone of the Russian Federation // Vektor ekonomiki. 2019. No. 12. P. 58–79 (in Russian).

10. Авдеев Ю.А., Ушакова В.Л., Сидоркина З.И. Тенденции демографического развития в районах российской Восточной Арктики // Народонаселение. 2020. № 3. С. 130–144.

Avdeev Yu.A., Ushakova V.L., Sidorkina Z.I. Demographic development trends in the Russian Eastern Arctic // Narodonaseleniye. 2020. No. 3. P. 130–144 (in Russian).

11. Шведов В.Г., Ушаков Е.А., Чурзина А.А. Демографические проблемы Тихоокеанской России и Восточной Арктики // Международный демографический форум. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2020. С. 536–540.

Shvedov V.G., Ushakov E.A., Churzina A.A. Demographic problems of Pacific Russia and the Eastern Arctic // Mezhdunarodnyy demograficheskiy forum. Voronezh: Tsifrovaya poligrafiya, 2020. P. 536–540 (in Russian).

12. Регионы России: Социально-экономические показатели 2018. Статистический сборник. М.: Росстат, 2018. 1162 с.

Regions of Russia: Socio-economic indicators 2018. Statisticheskiy sbornik. M.: Rosstat, 2018. 1162 p. (in Russian).

13. Ушаков Е.А. Социально-экономическое положение прибрежных арктических районов Якутии и Чукотки // Проблемы обеспечения экологической безопасности и устойчивое развитие Арктических территорий. Архангельск: ОМ-Медиа, 2019. С. 587–591.

Ushakov E.A. Socio-economic situation of the coastal Arctic regions of Yakutia and Chukotka // Problemy obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti i ustoychivoye razvitiye Arkticheskikh territoriy. Arkhangel'sk: OM-Media, 2019. P. 587–591 (in Russian).

14. База данных показателей муниципальных образований Росстата. [Электронный ресурс]. URL: https://www.gks.ru/storage/mediabank/munst.htm (дата обращения: 26.05.2021).

Database of indicators of municipalities of Rosstat. [Electronic resource]. URL: https://www.gks.ru/storage/mediabank/munst.htm (date of access: 2.05.2021) (in Russian).

15. Статистический ежегодник республики Саха (Якутия). Якутск: Территориальный орган Федеральной государственной службы по Республики Саха (Якутия), 2018. 652 с.

Statistical Yearbook of the Republic of Sakha (Yakutia). Yakutsk: Territorial'nyy organ Federal'noy gosudarstvennoy sluzhby po Respubliki Sakha (Yakutiya), 2018. 652 p. (in Russian).

УДК 504.45

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОД ПРИТОКОВ РЕКИ ТОБОЛ

[1]Несговорова Н.П., [1]Савельев В.Г., [1]Иванцова Г.В., [2]Фирулина И.И.

[1]ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курган, e-mail: geograf@kgsu.ru;
[2]ФГБОУ ВО «Самарский государственный экономический университет», Самара, e-mail: ecun@sseu.ru

Географическое положение Курганской области ставит развитие ее водохозяйственного комплекса в зависимость от развития водного хозяйства Свердловской и Челябинской областей РФ и Костанайской области Республики Казахстан, с территории которых в область поступает речной сток реки Тобол и его притоков – Уя, Убагана, Исети, Миасса. Основным источником питьевого водоснабжения в регионе является река Тобол. На качество ее воды оказывают влияние трансграничный перенос загрязняющих веществ из Костанайской области Республики Казахстан, ежегодно возрастающий транзит загрязняющих веществ из сопредельных региону Челябинской и Свердловской областей. Качество воды в реке Тобол в границах Курганской области зависит от ее притоков. На территории Курганской области в Тобол впадают более 25 рек. Наиболее крупными притоками являются реки Уй, Убаган, Юргамыш, Куртамыш, Алабуга, Суерь. Река Уй берет начало в 12 км к северо-западу от с. Азнашево Учалинского района Республики Башкортостан. Реки Убаган и Алабуга берут начало на территории Костанайской области Республики Казахстан. Остальные притоки протекают по территории Курганской области. Не все малые реки входят в программу государственного мониторинга, но при этом они играют определенную хозяйственную роль. Часть притоков Тобола, с одной стороны, увеличивают смешение вод и долю разбавления веществ, а с другой – привносят дополнительные загрязняющие вещества в достаточно высоких концентрациях. Следовательно, необходимо вести мониторинговые исследования качества притоков реки Тобол по физико-химическим и биологическим показателям.

Ключевые слова: мониторинг, качество воды, река, притоки реки, водоросли

MONITORING OF WATER QUALITY TRIBUTARY OF THE TOBOL

[1]Nesgovorova N.P., [1]Savelyev V.G., [1]Ivantsova G.V., [2]Firulina I.I.

[1]Kurgan State University, Kurgan, e-mail: geograf@kgsu.ru;
[2]Samara State University of Economics, Samara, e-mail: ecun@sseu.ru

The geographical location of the Kurgan region makes the development of its water management complex dependent on the development of the water economy of the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions of the Russian Federation and the Kostanay region of the Republic of Kazakhstan, from the territory of which the river flow of the Tobol River and its tributaries – Uya, Ubagana, Iset, Miass, flows into the region. The main source of drinking water supply in the region is the Tobol River. The quality of its water is influenced by the transboundary transfer of pollutants from the Kostanay region of the Republic of Kazakhstan, the annually increasing transit of pollutants from the Chelyabinsk and Sverdlovsk regions adjacent to the region. The water quality in the Tobol River within the borders of the Kurgan region depends on its tributaries. More than 25 rivers flow into the Tobol on the territory of the Kurgan region. The largest tributaries are the rivers Uy, Ubagan, Yurgamysh, Kurtamysh, Alabuga, Suer. The Uy River originates 12 km north-west of the village. Aznashevo of the Uchalinsky district of the Republic of Bashkortostan. The Ubagan and Alabuga rivers originate in the Kostanay region of the Republic of Kazakhstan. The rest of the tributaries flow through the territory of the Kurgan region. Not all small rivers are included in the state monitoring program, but at the same time they perform a certain economic role. Part of the Tobol tributaries, on the one hand, increase the mixing of waters and the proportion of dilution of substances, and on the other hand, they introduce additional pollutants in sufficiently high concentrations. Therefore, it is necessary to conduct monitoring studies of the quality of the tributaries of the Tobol River in terms of physical, chemical and biological indicators.

Keywords: monitoring, water quality, river, river tributaries, algae

Согласно Водному кодексу РФ, под мониторингом водных объектов понимается система наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния водных объектов [1].

Мониторинговые исследования притоков реки Тобол опираются на положения концепции академика Ю.А. Израэля, содержание мониторинга согласно работам И.П. Герасимова основывается на наблюдении за природными системами.

Как полагают Л.В. Тернова, А.В. Скрипник, С.Ю. Коломоец, С.И. Ларин, малые водотоки чувствительны к антропогенной нагрузке на водосборе [2, 3]. Они реагируют на вырубку лесов, распашку земель, причиной этого является загрязнение малых реки продуктами деятельности, а результатом – потеря способности к самоочищению.

По мнению Т.Г. Константиновой, Л.В. Васильевой, Т.В. Красновой, другой особенностью малых рек является неравномерность стока в течение года, что влияет на их гидрохимический режим [4, 5].

Паводковый сток в русле малых рек осуществляется в течение одной недели. Как отмечает Т.Н. Мельникова, за такой период реки не успевают очиститься от загрязняющих веществ, которые попали в них вследствие

не только естественных физико-химических и биологических процессов [6]. В результате часть притоков крупных рек, с одной стороны, увеличивают смешение вод и долю разбавления веществ, а с другой – привносят дополнительные загрязняющие вещества в достаточно высоких концентрациях.

В рамках складывающейся таким образом ситуации следует осуществлять мониторинг качества вод притоков крупных рек.

На территории Курганской области в реку Тобол впадает более 25 крупных притоков, однако государственный мониторинг проводится Курганским центром по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды только на одной реке Уй. В проведенном исследовании мониторинг реализован по шести притокам реки Тобол.

Другая особенность заключается в том, что расширен перечень показателей мониторинга качества воды рек за счет привнесения биологического компонента – оценки водорослевого населения водотоков.

Цель исследования: осуществить мониторинг качества вод притоков реки Тобол, выявить факторы, оказывающие влияние на их воды.

Материалы и методы исследования

Река Тобол начинается от слияния рек Бозбие и Кокпекты на границе Оренбургской области РФ и Костанайской области Республики Казахстан, впадает в реку Иртыш с левой стороны на территории Тюменской области. Длина реки 1591 км, общая площадь водосбора 426 000 кв. км. Протяженность Тобола на территории Курганской области 428 км.

Качество воды в реке Тобол в границах Курганской области зависит, в том числе, от вод ее притоков. На территории Курганской области в Тобол впадают более 25 рек.

Притоками Тобола в границах Курганской области являются Исеть, Долгая, Ук, Березовка, Чёрная (Звериноголовского района), Упоровка, Нияп, Суерь, Черная (Кетовского района), Ик, Нижний Утяк, Средний Утяк, Утяк, Юргамыш, Боровлянка, Чёрная (Притобольного района), Талица, Куртамыш, Нижняя Алабуга, Горькореченская, Алабуга, Убаган, Кочердык, Уй.

Наиболее крупными притоками являются реки Уй, Убаган, Юргамыш, Куртамыш, Алабуга, Суерь. Река Уй берет начало в 12 км к северо-западу от с. Азнашево Учалинского района Республики Башкортостан. Реки Убаган и Алабуга берут начало на территории Костанайской области Республики Казахстан. Остальные притоки протекают по территории Курганской области.

Исследования проводились с 2002 по 2020 гг. в теплый период (весна – лето – осень) на 6 реках: Уй, Куртамыш, Утяк, Чёрная (Кетовского района, г. Кургана), Ик, Суерь (рис. 1):

1 – на реке Уй в районе с. Усть-Уйское (приграничная территория с Казахстаном, Целинный район Курганской области). Это левый приток реки Тобол длиной 462 км. Берега реки покрыты лесами и лугами;

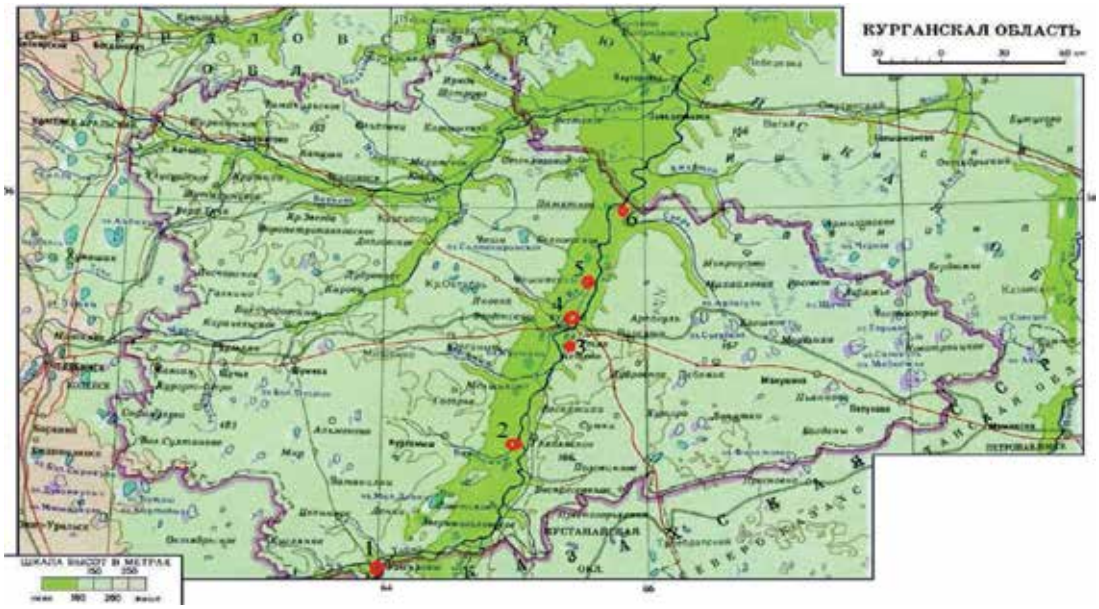


Рис. 1. Места впадения притоков в реку Тобол

2 – на реке Куртамыш в городе Куртамыш. Левый приток реки Тобол длиной 124 км;

3 – на реке Утяк (Кетовский – Притобольный районы) в районе лагеря отдыха детей «Космос». Это правый приток реки Тобол длиной 29 км;

4 – на реке Чёрная (г. Курган) в районе микрорайона Рябково города Кургана. Это левый приток Тобола. Река течет через озеро Чёрное (Стакан), в котором находится отстойник промстоков Курганского машиностроительного завода, протекает через районы города Кургана Северный и Рябково, собирая коммунальные отходы и сточные воды;

5 – на реке Ик в районе села Старый Просвет (Кетовский район). Это левый приток Тобола, протекает недалеко от Шуховского полигона ТБО, его сточные воды попадают в реку, особенно в период паводка, во время дождей в весенне-осенний период;

6 – на реке Суерь в районе село Верхнесуерское (северо-восток области Варгашинский – Белозерский район Курганской области). Это правый приток Тобола длиной 134 км.

Отбор проб воды осуществляли батометром с апреля по октябрь 1 раз в месяц в верхней трети общей глубины рек в местах с наиболее сильным течением за 1–2 км до их впадения в реку Тобол. Отобранную воду переливали доверху в емкости из прозрачного стекла (или сосуды из полиэтилена) с притертой пробкой. Емкости несколько раз ополаскивали отобранной водой. Содержание кислорода определяли сразу после отбора проб кондуктометром. Емкости с водой транспортировали в лабораторию.

В лаборатории комплексных экологических исследований кафедры географии, фундаментальной экологии и природопользования в соответствии с ГОСТ 17.1.2.04-77. Охрана природы. Гидросфера. Показатели состояния и правила таксации рыбохозяйственных водных объектов определяли водородный показатель (потенциометрическим методом), сухой остаток (гравиметрическим методом), растворенный кислород (кондуктометрическим и йодометрическим методами), гидрокарбонаты, оксид углерода (методом титриметрии), хлориды (методом аргентометрии), нитратный азот, сульфат ион, марганец, медь, цинк (методами колориметрирования) [7].

На основании полученных данных рассчитывали среднегодовые показатели и средние многолетние показатели, а также комбинаторный индекс загрязненности воды на основе метода интегральной оценки качества воды по совокупности находящихся в ней загрязняющих веществ и частоты их обнаружения.

В работе задействованы следующие приборы: pH-метр-милливольтметр pH-410, кондуктометр – иономер Анион-4100, кислородомер – Анион 7040, спектрофотометр LEKI SS2107UV.

Собранный в пробах воды фитопланктон исследовали путем микрокопирования изготовленных препаратов типа «раздавленной капли» и в рамках методики получения накопительных культур на плотных агаризованных и жидких минеральных средах, засеваемых определенным объемом пробы [8, 9]. Проводили качественный анализ фитопланктона, который сводился к точному определению входящих в его состав организмов. Для определения видов фитопланктона использовались определители М.М. Голлербах, В.И. Полянского «Определитель пресноводных водорослей СССР» [10], Н.Т. Дедусенко-Щеголевой «Определитель пресноводных водорослей СССР» и др. [11]. Сравнение водорослевого состава между реками проводили на основании индекса Жаккара. Статистическая обработка данных осуществлялась в программе MS *Excel*.

Результаты исследования и их обсуждение

Изучение сухого остатка при выпаривании воды позволяет судить о возможном качественном и количественном химическом составе воды и его обилии.

Содержание растворимых нелетучих минеральных и органических веществ в пробах воды рек колеблется от 0,7 г/л в реке Утяк до 3,2 г/л в реке Чёрная. В остальных водотоках минерализация составляет более 1 г/л.

В целом, по сухому остатку можно сказать, что только вода реки Утяк соответствует требованиям ГОСТ для рыбохозяйственных водоемов (рис. 2).

Динамика водородного показателя. Результаты исследования водородного показателя вод показали, что он подвержен динамике и изменяется в пределах от 7,2 до 8,4 единиц. Выявлено, что вода в реке Чёрная может быть охарактеризована как нейтральная, вода остальных рек относится к слабощелочным, кроме реки Утяк, в ней вода щелочная (рис. 3).

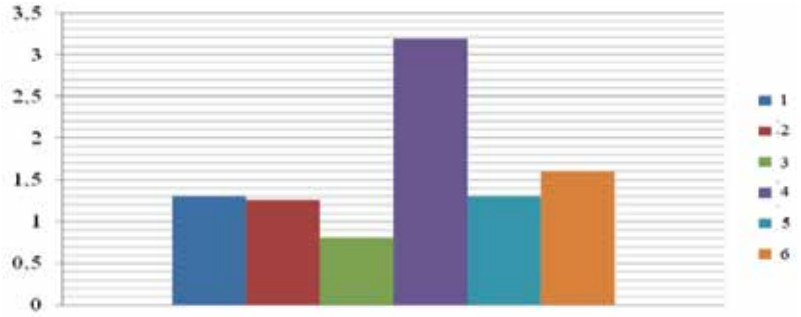


Рис. 2. Средние многолетние данные по сухому остатку в воде притоков Тобола (г/л)
Примечание: 1 – Уй, 2 – Куртамыш, 3 – Утяк, 4 – Чёрная, 4 – Ик, 6 – Суерь

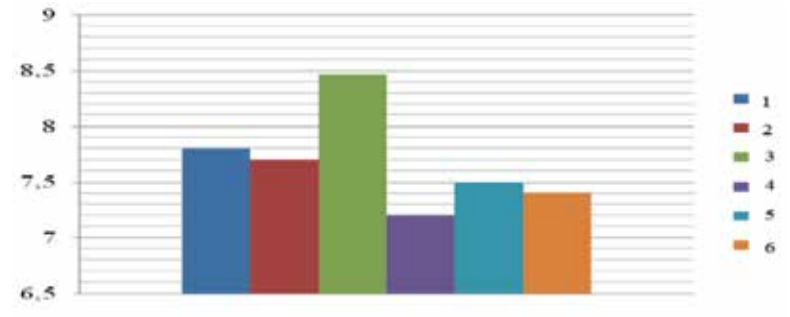


Рис. 3. Средние многолетние данные по водородному показателю вод исследуемых рек (отрицательный десятичный логарифм концентраций ионов водорода)
Примечание: 1 – Уй, 2 – Куртамыш, 3 – Утяк, 4 – Чёрная, 4 – Ик, 6 – Суерь

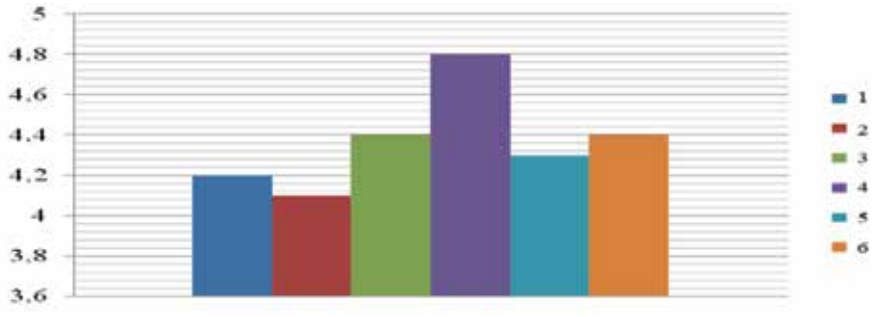


Рис. 4. Средние многолетние данные по содержанию кислорода в воде притоков реки Тобол (мг/л)
Примечание: 1 – Уй, 2 – Куртамыш, 3 – Утяк, 4 – Чёрная, 4 – Ик, 6 – Суерь

Величина pH воды влияет на процессы трансформации различных форм биогенных элементов, изменяет токсичность загрязняющих веществ.

Легкое изменение концентрации ионов водорода может наблюдаться в воде реки Чёрная за счет сброса сточных вод, но такие концентрации ионов водорода незначительно влияют на обитающих в ней гидробионтов (рис. 3).

Содержание в воде растворенного кислорода. В насыщенности воды кислородом также обнаруживается динамика.

Концентрация кислорода в речной воде зависит от температуры воздуха и воды, парциального давления.

В результате исследования выявлено, что степень насыщенности воды кислородом в теплый период в притоках реки Тобол в среднем составляет около 60 %. При такой концентрации кислорода вода относится к классу «загрязненная» (рис. 4).

Результаты перманганатометрии. Показатель перманганатной окисляемости превышает ПДК в водах всех притоков реки Тобол. Этот показатель подвержен небольшим

колебаниям: в 1,33 раза превышает ПДК в воде реки Суерь и в 1,36 раза – в воде реки Утяк (рис. 5).

Если учесть, что данный метод основан на окислении органических соединений, то можно предположить, что органическими остатками насыщены воды всех исследуемых водотоков.

В воде этих водотоков содержатся повышенные концентрации органических веществ как антропогенного, так и естественного происхождения, например растительные остатки и органические вещества почвы, смытой с прибрежной территории (рис. 5).

Содержание токсинов в воде притоков Тобола. Из всех выявленных в период исследования токсинов, содержащихся в водах притоков реки Тобол, необходимо в первую очередь остановиться на азоте нитратном. Азот как элемент питания абсолютно необходим водным обитателям, в первую очередь растительному миру как биоген. Однако его количество в рамках любой среды имеет предел, при превышении которого азот переходит в группу токсинов, загрязняющих водную среду (рис. 6).

Высокие концентрации нитратного азота в водах рек выявлены в летние и осенние месяцы. Это связано с двумя процессами – накоплением биомассы в теплое время года (конец весны и лето) и отмиранием биомассы в осенне-зимние месяцы, замедлением процессов самоочищения зимой. В весенне-летние месяцы азот включается в жизнедеятельность фотоавтотрофных организмов и трансформируется в окисленные формы азота в процессе нитрификации.

В осенне-зимние месяцы при понижении температуры, содержания растворенного кислорода наблюдаются массовая гибель бионтов и накопление продуктов их распада.

Комбинаторный индекс загрязненности воды. На качество воды Тобола оказывают влияние воды рек Чёрная и Уй. Воды рек Убаган и Куртамыш влиять на качество будут в меньшей степени, так как они менее загрязнены.

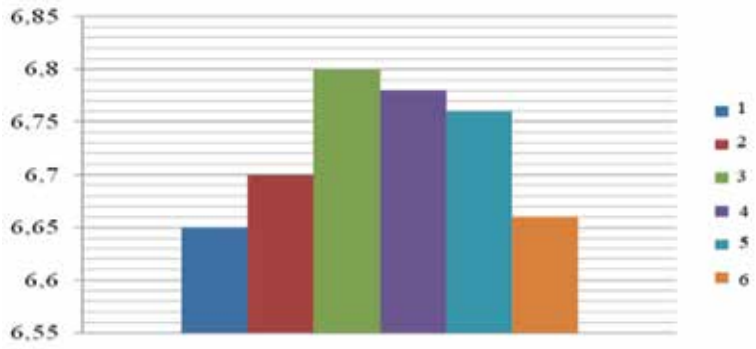


Рис. 5. Средние многолетние данные пермангонатной окисляемости в воде притоков Тобола (мг/л)
Примечание: 1 – Уй, 2 – Куртамыш, 3 – Утяк, 4 – Чёрная, 4 – Ик, 6 – Суерь

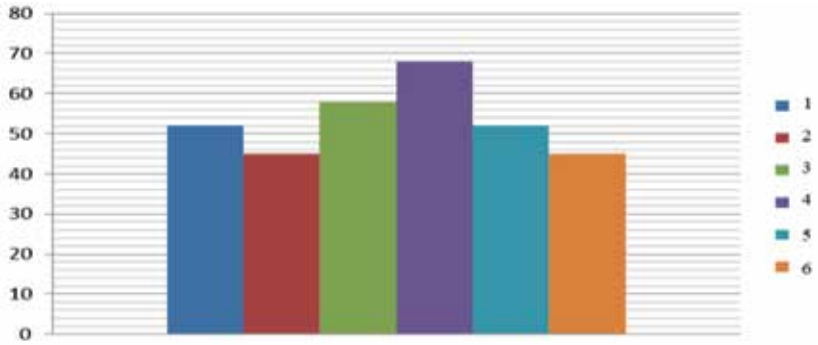


Рис. 6. Средние многолетние данные по содержанию нитратного азота в притоках Тобола (мг/л)
Примечание: 1 – Уй, 2 – Куртамыш, 3 – Утяк, 4 – Чёрная, 4 – Ик, 6 – Суерь

Вода реки Уй по значению УКИЗВ соответствует 4-му классу качества воды и характеризуется как «грязная».

Наибольшее значение в общей оценке степени загрязненности воды имеет марганец. Это обусловлено в первую очередь вымыванием марганца из *залегающих горных пород* в Казахстане. При попадании вод Уя в воды Тобола происходит их смешение.

От границы с Казахстаном до города Кургана сброс сточных вод не осуществляется.

Река Чёрная является притоком Тобола. Предприятия города Кургана осуществляют спуск сточных вод в нее. Река Чёрная полностью сформирована прямыми сбросами сточных вод предприятий города и жилищно-коммунальными стоками от населения. По этой причине качество воды Тобола ниже впадения реки Чёрной ухудшается, в том числе и по содержанию марганца.

Таким образом, с одной стороны, притоки реки Тобол до города Кургана увеличивают смешение вод и долю разбавления веществ, а с другой – привносят дополнительные загрязняющие вещества в достаточно высоких концентрациях (рис. 7).

Водорослевый состав рек. В притоках реки Тобол выявлено 107 видов водорослей, относящихся к 9 отделам (Cyanophyta, Euglenophyta, Dinophyta, Chrysophyta, Cryptophyta, Charophyta, Chlorophyta, Xanthophyta, Bacillariophyta).

Выявлены 45 видов (Anphora proteus, Diatoma sp., Pinnularia intemedia, Navicula mutica) в отделе Bacillariophyta. В отделе Chlorophyta входят 26 видов (*Enteromorpha intestinalis, Chlorococcum infusionum, Chlorella vulgaris, Chlorella planctonica, Spirogyra sp., Chlamydomonas sp., Cladophora rivularis*). Отделы Cyanophyta и Euglenophyta представлены 12 видами каждый (*Microcystis aeruginosa, Oscillatoria tenuis, Anabena variabilis* и др.). В рамках отдела Xanthophyta идентифицировано два вида (*Tribonema viride, Botrydiopsis srhiza*). Отдел Charophyta представлен одним видом (*Chara contraria*) (рис. 8).

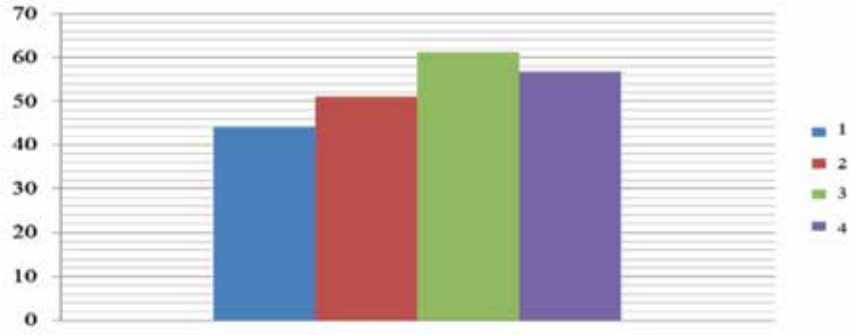


Рис. 7. Средний удельный комбинаторный индекс загрязнѐнности воды по результатам многолетних наблюдений (%)
Примечание: 1 – на входе в область, 2 – выше г. Кургана, 3 – ниже г. Кургана, 4 – на выходе из Курганской области

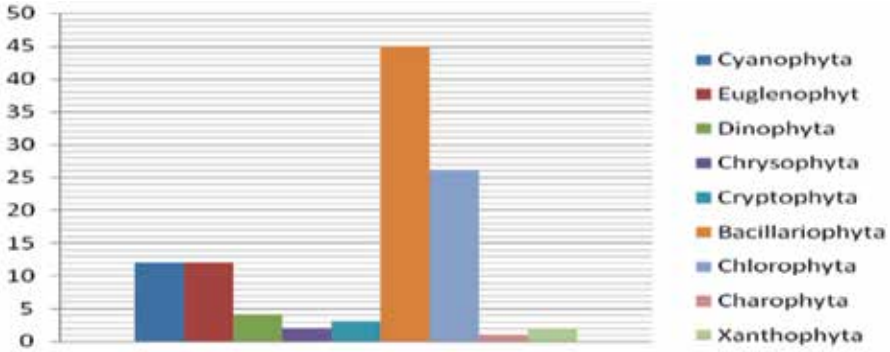


Рис. 8. Многолетние данные распределения таксонов водорослей по отделам в притоках рек (количество видов)

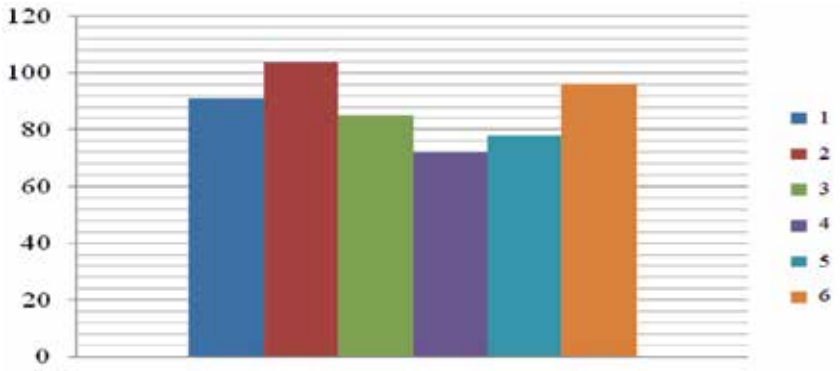


Рис. 9. Многолетние данные по числу выявленных видов водорослей в притоках реки Тобол (количество видов)
Примечание: 1 – Уй, 2 – Куртамыш, 3 – Утяк, 4 – Чёрная, 4 – Ик, 6 – Суерь

Сходство исследуемых альгоценозов по видовому составу (по коэффициенту Жаккара)

	р. Уй	р. Куртамыш	р. Утяк	р. Чёрная	р. Ик	р. Суерь
р. Уй	1	0,88	0,93	0,8	0,86	0,95
р. Куртамыш	0,88	1	0,85	0,69	0,75	0,92
р. Утяк	0,93	0,85	1	0,85	0,91	0,88
р. Чёрная	0,8	0,69	0,85	1	0,92	0,75
р. Ик	0,86	0,75	0,91	0,92	1	0,81
р. Суерь	0,95	0,92	0,88	0,75	0,81	1

Больше видов водорослей выявлено в реках Куртамыш, Суерь. При изучении альгоценозов рек Уй, Куртамыш, Утяк, Суерь выявлены виды водорослей, являющихся признанными индикаторами уровня сапробности. В эту группу относят индикаторы альфа-мезосапробности: *Oscillatoria tenuis, Chlorella vulgaris*, индикаторы бета-мезасопробности: *Microcystis aeruginosa, Enteromorpha intestinalis* (рис. 9).

Наиболее сходны между собой альгоценозы в реках Уй и Куртамыш, Уй и Суерь, Куртамыш и Суерь, Утяк и Ик, Чёрная и Ик. В меньшей степени сходны альгоценозы рек Куртамыш и Чёрной, Куртамыш и Ик.

В то же время в реке Тобол в границах Курганской области выявлено 152 вида водорослей, отнесенных к 9 отделам. Наиболее многочисленными отделами являются Chlorophyta (65 видов), Bacillariophyta (65 видов).

Следовательно, видовой состав альгоценозов в водах реки Тобол в 1,5–2 раза выше, чем в ее притоках. Данное явление можно объяснить тем, что при смешении вод из притоков привносятся новые виды (таблица).

Выявлено, что видовой состав водорослей зависит и от содержания кислорода, водородного показателя, биогенных элементов.

Заключение

1. Выявлено, что малые водотоки чувствительны к антропогенной нагрузке на водосборе. Они реагируют на вырубку лесов, распашку земель, причиной этого является загрязнение малых рек продуктами деятельности, а результатом – потеря способности к самоочищению.

2. Качество воды в притоках реки Тобол можно отнести к двум классам – к 3-му «умеренно загрязненный» и 4-му «грязный».

3. На качество воды реки Тобол оказывают влияние смешение вод притоков и главной реки при их впадении в Тобол, что способствует привнесению биогенов и зарастанию водоемов в теплое время года, а снижение содержания кислорода при понижении температур в зимнее время – массовой гибели биоты в осенне-зимней период.

4. Смешение вод способствует привнесению новых видов водорослей в экосистему реки Тобол.

5. Выявлено, что грязные воды притоков приносят дополнительные загрязнения в виде различных токсинов как катионного, так и анионного состава. Неравномерность стока в течение года влияет на гидрохимический режим реки Тобол.

Список литературы / References

1. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 г. № 74-ФЗ (редакция от 08.12.2020). [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/ (дата обращения: 28.05.2021).

The Water Code of the Russian Federation dated 03.06.2006 No. 74-FZ (as amended on 08.12.2020). [Electronic resource]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_60683/ (date of access: 28.05.2021) (in Russian).

2. Терновая Л.В., Скрипник А.В., Коломоец С.Ю. Экологический мониторинг малых водных объектов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 8 (130). С. 53–57.

Ternovaya L.V., Skripnik A.V., Kolomoets S.Yu. Ecological monitoring of small water bodies // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. № 8 (130). P. 53–57 (in Russian).

3. Ларин С.И. Физико-географические условия формирования качества поверхностных вод Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. 2011. № 12. С. 70–77.

Larin S.I. Physico-geographical conditions for the formation of surface water quality in Western Siberia // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. № 12. P. 70–77 (in Russian).

4. Константинова Т.Г., Васильева Л.В. Экологический мониторинг состояния малой реки Кукшум в условиях антропогенного воздействия // Вестник Чувашского университета. 2013. № 3. С. 114–122.

Konstantinova T.G., Vasilieva L.V. Environmental monitoring of the state of the small river Kukshum under anthropogenic impact // Vestnik Chuvashskogo universiteta. 2013. № 3. P. 114–122 (in Russian).

5. Краснова Т.В. Экологическая оптимизация и мониторинг бассейнов малых рек Оренбургской области // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. 2014. № 13. С. 46–49.

Krasnova T.V. Environmental optimization and monitoring of small river basins in the Orenburg region // Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya: problemy i rezul'taty. 2014. № 13. P. 46–49 (in Russian).

6. Мельникова Т.Н. Мониторинг влияния антропогенных факторов на сток малых рек Республики Адыгея // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2012. № 11. С. 8–9.

Melnikova T.N. Monitoring of the influence of anthropogenic factors on the runoff of small rivers in the Republic of Adygea // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy. 2012. № 11. P. 8–9 (in Russian).

7. Бухтояров О.И., Несговорова Н.П., Савельев В.Г., Иванцова Г.В., Богданова Е.П. Методы экологического мониторинга качества сред жизни и оценки их экологической безопасности. Курган, 2015. 239 с.

Bukhtoyarov O.I., Nesgovorova N.P., Savelyev V.G., Ivantsova G.V., Bogdanova E.P. Methods of environmental monitoring of the quality of living environments and assessment of their environmental safety. Kurgan, 2015.239 p. (in Russian).

8. Несговорова Н.П., Иванцова Г.В., Неумывакина Н.А., Савельев В.Г. Организация научно-исследовательской деятельности студентов: теоретико-прикладной аспект. Курган, 2017. 352 с.

Nesgovorova N.P., Ivantsova G.V., Neumyvakina N.A., Savelyev V.G. Organization of students' research activities: theoretical and applied aspect. Kurgan, 2017. 352 p. (in Russian).

9. Несговорова Н.П., Савельев В.Г. Основы системного анализа и моделирования экологических систем. Курган, 2014. 234 с.

Nesgovorova N.P., Saveliev V.G. Fundamentals of systems analysis and modeling of ecological systems. Kurgan, 2014.234 p. (in Russian).

10. Голлербах М.М., Полянский В.И. Определитель пресноводных водорослей СССР. М.: Советская наука, 1951. 200 с.

Hollerbach M.M., Polyansky V.I. Keys to freshwater algae of the USSR. M.: Sovetskaya nauka, 1951. 200 p. (in Russian).

11. Снитько Л.В. Водные ООПТ: сравнение состояния фитопланктона озер Увильды и Тургояк в конце современного многоводного гидрологического // Вестник Челябинского государственного университета. 2011. № 5. С. 105–109.

Snitko L.V. Aquatic protected areas: comparison of the phytoplankton state of the Uvildy and Turgoyak lakes at the end of the modern hydrological high-water area // Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta. 2011. № 5. P. 105–109 (in Russian).

УДК 622.276.5:549.08

ЭКСПРЕССНЫЙ ПОЛУКОЛИЧЕСТВЕННЫЙ РЕНТГЕНОВСКИЙ АНАЛИЗ ГЛИНИСТЫХ МИНЕРАЛОВ

[1]Песков А.В., [1]Алекина Е.В., [2]Тарасова Е.Ю.

[1]Самарский государственный технический университет, Самара, e-mail: rednakel@yandex.ru;
[2]Самарский филиал Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Самара

В данной статье обсуждается применение полуколичественного рентгеновского анализа методом постоянных коэффициентов для исследования искусственных и природных глиносодержащих пород. Определены коэффициенты пропорциональности для пар мусковит-каолинит, хлорит-каолинит, хлорит-мусковит, каолинит-монтмориллонит. Показано, что в смесях каолинит-иллит с естественным и дефектным каолинитом коэффициенты пропорциональности значительно отличаются. Проведены расчеты параметров дефектности образцов каолинита. Найдены относительные погрешности содержания глинистых и неглинистых минералов: мусковита, каолинита, хлорита, монтмориллонита, кварца – в смесях разного состава. На ориентированных препаратах образца искусственной смеси каолинита и кварца определялись содержания каолинита и кварца по различным базальным отражениям каолинита и отражениям кварца, найдены погрешности определения каолинита и кварца. С использованием коэффициентов пропорциональности для глинистых минералов и предварительно определенных разновидностей иллитов и хлорита проведена экспрессная оценка содержаний минералов в природных образцах с примесями кварца. Определение содержаний минералов в природных образцах глиносодержащих пород, содержащих неглинистые компоненты: кварц, полевые шпаты, карбонатные минералы – возможно проводить в два этапа. Вначале определяется содержание неглинистых компонентов на неориентированных препаратах, а далее, после выделения глинистой составляющей, определяется содержание глинистых компонентов. Исследования с использованием двух отражений минералов показали меньшую погрешность в определении содержаний. Также исследовались искусственные смеси глинистых минералов методом добавки и определены погрешности этого метода. Экспрессный полуколичественный анализ глинистых минералов по методике постоянных коэффициентов может применяться при массовых исследованиях терригенных пород коллекторов нефти и газа.

Ключевые слова: дифракционный пик, интенсивность, метод внутреннего стандарта, метод постоянных коэффициентов, метод добавки

EXPRESS SEMI-QUANTITATIVE X-RAY ANALYSIS OF CLAY MINERALS

[1]Peskov A.V., [1]Alekina E.V., [2]Tarasova E.Yu.

[1]Samara State Technical University, Samara, e-mail: rednakel@yandex.ru;
[2]Samara Branch of the Lebedev Physical Institute, Samara

This article discusses the application of semi-quantitative X-ray analysi s by the reference intensity ratio (RIR) method for the study of artificial and natural clay-containing rocks. The proportionality coefficients for the combinations muscovite-kaolinite, chlorite-kaolinite, chlorite-muscovite, and kaolinite-montmorillonite are determined. It is shown that the proportionality coefficients in the mixtures of kaolinite-illite with original and imperfect kaolinite differ significantly. The parameters of the defect rate of kaolinite samples are calculated. Relative errors in the content of clay and non-clay minerals:muscovite, kaolinite, chlorite, montmorillonite, quartz i in mixtures of different compositions are found. On oriented samples of an artificial mixture of kaolinite and quartz, the contents of kaolinite and quartz are determined from various basal reflections of kaolinite and quartz reflections, and errors in the concentration of kaolinite and quartz are found. Using the proportionality coefficients for clay minerals and pre-determined varieties of illite and chlorite, an express analysis of the mineral content in natural samples with quartz admixtures is performed. Determination of mineral content in natural samples of clay-bearing rocks containing non-clay components: quartz, feldspar, and carbonate minerals can be carried out in 2 stages. First, the content of non-clay components on undirected preparations is determined, and then, after the separation of the clay composition, the content of clay components is determined. Studies using two mineral reflections showed a lower error in determining the mineral content. Artificial mixtures of clay minerals were also studied by the additive method and the errors of this method were determined. Express semi-quantitative analysis of clay minerals by the method of constant coefficients can be used in mass studies of terrigenous rocks of oil and gas reservoirs.

Keywords: diffraction peak, intensity, internal standard method, constant coefficient method, additive method

Количественный анализ глинистых минералов является важной задачей изучения пород коллекторов нефти и газа. Проведение количественного анализа глинистых минералов является трудной задачей в связи с тем, что эти минералы обладают широкими вариациями изоморфных замещений, структурными дефектами и большим разнообразием политипных модификаций. Наиболее распространенным способом определения количественного состава глин является метод рентгеновской дифракции. Количественный анализ возможен лишь для относительных концентраций глинистых фракций, при определении же абсолютных концентраций глинистых фракций в почвах или песчаниках результат в лучшем случае полуколичественный. Проблему можно ре-

шить, дополняя рентгеновский анализ другими аналитическими методиками – термогравиметрией, или ИК-спектроскопией, но это значительно усложняет анализ и не гарантирует однозначного результата. Большинство трудностей проистекает из самой природы глинистых минералов, для которых сложно как определить интегральные интенсивности дифракционных пиков, так и подобрать эталоны. Что касается природных грунтов, то трудности усугубляются тем, что общее содержание глинистых минералов зачастую очень невелико, а преобладают другие минеральные группы. Тем не менее был разработан целый ряд методов для количественной оценки содержания фаз глинистых минералов – метод MIF (mineral intensity factor), метод внешнего стандарта, метод без использования стандарта, метод Ритвельда [1] и метод полнопрофильной подгонки [2]. Все методы можно разделить на две группы – использующие для анализа отдельные рефлексы или полную картину дифракции. Точность методов первой группы зависит от выбора конкретного дифракционного пика в качестве количественного отражения процентного содержания определяемой фазы в природном образце; вторая группа методов основана на сопоставлении всей дифрактограммы образца с дифрактограммой стандартной смеси и качество анализа определяется выбором стандарта – природных минералов или теоретической численной модели. Хотя авторы всех методов делают некоторые общие утверждения о точности предложенных методик, существует сравнительно мало работ, посвященных изучению точности количественных и полуколичественных методов, выполненных непосредственно на геологических образцах глинистых минералов. В работе [3] проведено сравнение методов Ритвельда и внутреннего стандарта и показано, что точность обоих методов примерно одинакова. Концентрации отдельных фаз могут быть определены с точностью до 3 мас. %. Особо отмечается, что точность анализа гораздо сильнее зависит от качества приготовления образцов, чем от выбора метода анализа.. В работе [4] использовался метод внутреннего стандарта для анализа геологических образцов с построением калибровочных кривых по смесям эталонных фаз и было показано, что точность анализа сильно зависит от концентрации фаз: для основной минеральной составляющей погрешность составляла ±5 %, а для второстепенных фаз с низкой концентрацией возрастала до ±15 %.

Цель исследования – на образцах искусственных смесей глинистых минералов, природных образцах глин с использованием методики постоянных коэффициентов для экспрессного рентгеновского полуколичественного анализа [5] определить погрешности и содержания минералов. Для массового изучения образцов может быть использован экспрессный рентгенографический анализ на основе метода постоянных коэффициентов.

Материалы и методы исследования

На бинарных смесях эталонов глинистых минералов и в поликомпонентных смесях ставилась задача определить содержание и погрешности определения содержаний минералов. Бинарные смеси были состава 50 % + 50 % и 25 % + 75 %, а поликомпонентные смеси имели состав 25 % + 25 % + + 25 % + 25 % и 33,3 % + 33 % + 33,3 %. Кроме глинистых фаз имелись смеси кварца и каолинита. В качестве компонентов использовались украинский каолинит, клинохлор, монтмориллонит и мусковит из коллекции минералогического музея. Рентгенографический анализ выполнен на установке Thermo scientific ARL XtrA.В методике полуколичественного рентгенографического определения минералов глин созданная Ю.С. Дьяконовым определение содержаний проводится по зависимостям [5]:

$$I_j = \sum_{i=1}^{n} a_{ij} x_i, \qquad (1)$$

где $j = 1\ldots, N$ $x_i = \beta_i C_i^{'}$.

Систему уравнений (7) решают по методу наименьших квадратов и находят среднее значение x_i. При расчетах используют некоторое среднее значение

$$C_i^{'} = \frac{\overline{x_i} * \varepsilon}{\overline{\beta_i}}, \qquad (2)$$

$$\overline{c_i^{'}} = \frac{c_i^{'}}{\sum_{i=1}^{n} c_i^{'}}, \qquad (3)$$

где I_i – интегральная интенсивность j-го пика; j – номер пика; i – номер кристаллической фазы в образце; n – число фаз в образце;

a_{ij} – отношение интенсивностей j-го пика к максимальному пику; β_i – величина пропорциональная интенсивности макси-

мального пика на дифрактограмме чистой i-й фазы; c_i' – величина, пропорциональная содержанию i-й фазы; $\overline{x_i}$ – среднее значение x_i; $\overline{c_i}$ – среднее значение c_i;

$\overline{\beta_i}$ – коэффициент пропорциональности, среднее значение β_i базальных отражений конкретного минерала (табл. 1).

При расчете содержаний по нескольким базальным отражениям находится средневзвешенное $\overline{x_i}$ по зависимости:

$$\overline{x_i} = \sum_j P_j x_j, \qquad (4)$$

где P_j – веса определенных интенсивностей

$$P_j = \frac{1/\sigma_j^2}{\sum_j 1/\sigma_j^2}, \qquad (5)$$

где $\sigma_{I_j} = 0{,}1 I_j$.

Для уточнения разновидности гидрослюды (иллита) по содержанию калия и железа в слюдах и определения разновидности хлорита в работе [6] приводится метод расчета исходя из соотношения базальных рефлексов с различными индексами hkl.

Результаты исследования и их обсуждение

При исследовании смеси 35 % каолинита и 65 % мусковита по 001 и 002 мусковита и 001 и 002 каолинита найденные содержания близки к истинным содержаниям, а погрешности для смеси № 1 и № 2 не превышают 15,5 %. При исследовании по 001 мусковита и 001 каолинита и по 002 мусковита и 002 каолинита максимальная погрешность может достигать 46 % (табл. 1).

Пересчетные коэффициенты, найденные на бинарных смесях для минералов мусковит-хлорит, показали близость значения k = 0,34, найденного из эксперимента и рассчитанного из работы [5], для пары хлорит-каолинит значение k = 1,06 найденное из эксперимента и рассчитанное из работы [5] k = 0,85, различаются на 20 %. Для пары мусковит-каолинит $К_{i\text{-}к}$ измеренное отличается от $k_{i,к}$, рассчитанное в 2 раза. Для монтмориллонита различия между $К_{i\text{-}к}$ измеренное и $k_{i,к}$ рассчитанное более значительно – в 10 раз (табл. 2).

Таблица 1

Найденные содержания и погрешности смеси каолинита и мусковита и погрешность $\varepsilon = \Delta X / X_{ист} \cdot 100\,\%$ (ΔX – абсолютная погрешность содержания, $X_{ист}$ – истинное содержание минерала)

Смесь каолинита и мусковита	Отражения hkl		содержания, %		$\varepsilon = \Delta X / X_{ист} \cdot 100\%$	
	мусковит	каолинит	каолинит	мусковит	каолинит	мусковит
№ 1	По 001 и 002	001 и 002	31,9	68,1	9	4,8
	По 001	001	20,6	79,4	41	22
	По 002	002	20,8	79,2	41	21
№ 2	По 001 и 002	001 и 002	29,5	70,5	15,5	8,3
	По 001	001	19	81	46	24,5
	По 002	002	19,3	80,7	45	24

Таблица 2

Пересчетные коэффициенты $k_{i\text{-}к}$, найденные при исследовании бинарных смесей хлорит-каолинит, мусковит-каолинит, мусковит-хлорит, монтмориллонит-каолинит и коэффициенты $k_{i\text{-}к}$ по методике Дьяконова, относительная погрешность $\varepsilon = \Delta X / X_{ист} \cdot 100\,\%$

Смесь, 1:1	минерал	hkl	$К_{i\text{-}к}$ измеренное	$\varepsilon = \Delta X / X_{ист} \cdot 100\%$	$К_{i\text{-}к}$ [8]
Хлорит-каолинит	хлорит	002	1,06	26	0,85
	каолинит	001			
Мусковит-каолинит	мусковит	001	0,604	94	0,31
	каолинит	001			
Мусковит-хлорит	мусковит	001	0,34	5	0,36
	хлорит	001			
Монтмориллонит-каолинит	монтмориллонит	001	5,48-1,22	52-89,4	11,425
	каолинит	001			

Таблица 3

Найденные содержания глинистых минералов: каолинита, мусковита, хлорита, монтмориллонита – в бинарных смесях при равных исходных содержаниях и относительная погрешность найденных содержаний

Смесь	Истинное содержание, %				Найденное содержание, %				Относительная погрешность $\varepsilon = \Delta X/X_{ист} \cdot 100\%$			
	Хму	Хмо	Хх	Хк	Хму	Хмо	Хх	Хк	Хму	Хмо	Хх	Хк
Хлорит-каолинит	–		50	50	–		63	37	–		28	26
Мусковит-каолинит	50	–		50	64	–		36	26	–		26
Мусковит-хлорит	50	–	50	–	42	–	58	–	16	–	16	–
Монтмориллонит-каолинит	–	50	–	50	–	13	–	87	–	74	–	74

Таблица 4

Найденное содержание глинистых минералов в природном образце, содержащем глинистые компоненты, кварц, кальцит, альбит

Местонахождение	Найденное содержание глинистых минералов				
	каолинит	гидрослюда	кварц	кальцит	альбит
Свердловская область	31	33,7	23	4,4	7,9

Используя коэффициенты пропорциональности минералов β_i и интегральные интесивности дифракционных пиков минералов, в бинарных смесях определялись содержания минералов и относительная погрешность содержаний минералов. Для минералов хлорит, мусковит, каолинит в бинарных смесях при равных исходных содержаниях относительная погрешность составила не более 28%. Для монтмориллонита погрешность составила 74% (табл. 3). Для минералов хлорит, мусковит, каолинит в бинарных смесях при неравных исходных содержаниях относительная погрешность возрастает при содержании мусковита 25% в паре мусковит-каолинит имеет максимальное значение – 68%, а для пары мусковит-хлорит – 39%. Для каолинита, содержание которого 75%, погрешность не более 23%. Относительные погрешности определения содержания минералов в смесях из трех компонентов составила не более 40% для монтмориллонита, а в смесях, состоящих из трех компонентов, погрешность не более 73%. Таким образом расчет содержаний минералов в смесях разного состава по методике Дьяконова показывает вариации погрешности от 3 до 73%. Максимальные погрешности определения содержаний характерны для монтмориллонита. Для определения содержаний методом добавки в бинарные смеси каолинит-хлорит, мусковит-каолинит и мусковит-хлорит в исходную смесь, составленную в равных пропорциях, производилась добавка каолинита (или хлорита) так, чтобы конечная смесь составила 75% каолинита и 25% второго минерала. Для третьей смеси мусковит-хлорит производилась добавка хлорита. Относительные погрешности определения содержания, определенные методом добавки, варьируют 18–52%, и максимальное значение имеет место для хлорита. Полученный средний коэффициент пропорциональности, полученный при исследовании 6 смесей состава мусковит-каолинит, составил 0,604, вариации от 0,540 до 0,731, а среднеквадратичное отклонение 0,07.

Для уточнения количественной оценки влияния дефектности каолинита на значение коэффициента пропорциональности для бинарной смеси каолинита-мусковита, были приготовлены 2 смеси истертого в агатовой ступке каолинита и мусковита. Для образцов каолинита, истертого в ступке в течение 5 мин и 20 мин, определялись блоки когерентного рассеяния и величина микроискажений, используя метод аппроксимации по Гауссу и Коши В качестве эталона использовался природный естественный каолинит. Размер о.к.р. при увеличении времени истирания от 5 мин до 20 мин снизился от 196 нм. до 132 нм. Коэффициент пропорциональности мусковит-каолинит возрастает от значения 0,603 для смеси с естественным каолинитом до 1,63 с каолинитом истертым 5 мин.

Определение глинистых и неглинистых компонентов в образце глины из Свердловской области проводилось в два этапа. Вначале первым этапом подмешивался стандарт корунда 25%, и после сьемки неориентированных препаратов измерялись интенсивности пиков стандарта d = 0,208 нм и 0,348 нм и аналитические пики кварца d = 0,334 нм, кальцита 0,303 нм и альбита 0,318 нм и рассчитывались содержания неглинистых компонентов. Исходя из суммы

содержаний минералов кварца, кальцита и альбита далее определялась сумма содержаний глинистых минералов. Во втором этапе по дифрактограмме ориентированного препарата определялись содержания каолинита и гидрослюды. Однако в образцах могут быть и неуточненные рентгеноаморфные фазы, и в связи с этим содержание полученных компонентов, возможно, получено с некоторой погрешностью (табл. 4). На образцах природных глиносодержащих пород Сокского месторождения, Челябинской области и Резяпкино были определены содержания каолинита, иллита, монтмориллонита и неглинистых компонентов кварца и кальцита. При исследовании образца природной глины Челябинского месторождения, найденное соотношение отражений 002/001 показало, что иллит по составу может быть одной из трех разновидностей $K_{0,85}Al_2(Si,Al)_4O_{10}(OH0)_2$, $K_{0,65}Al_2(Si,Al)_4O_{10}(OH0)_2$ или $K_{0,75}Al_2(Si,Al)_4O_{10}(OH0)_2$ с разными коэффициентами β_i. Рассчет содержаний проводился по двум отражениям иллита и одному отражению каолинита или по одному отражению иллита и одному каолинита. При использовании двух отражений иллита вариация содержания иллита составила 74,5–80 %, а каолинита 20–25,5 %. Расчет содержаний по одному отражению иллита показал большую вариацию найденного содержания иллита 72–79,5 % и каолинита 19,5–28 %. При исследовании иллита, который интерпретируется либо серицитом либо иллитом $K_{0,65}Al_2(Si,Al)_4O_{10}(OH0)_2$, был взят средний коэффициент пропорциональности, соответствующий иллиту $K_{0,75}Al_2(Si,Al)_4O_{10}(OH0)$.

На ориентированных препаратах образца искусственной смеси каолинита и кварца (63 % + 37 %) определялись содержания каолинита и кварца по отражениям с hkl 001 и 002 каолинита и hkl 101 и 100 кварца, по отражениям с hkl 001 каолинита и hkl 101 кварца и по отражениям с hkl 002 каолинита и hkl 100 кварца. Минимальная погрешность определения каолинита имеет место для расчета по двум отражениям каолинита и кварца. Расчет содержаний кварца показал максимальную погрешность в 20,7 % по отражениям hkl 001 каолинита и hkl 101 кварца и минимальную по 2 отражениям: по каолиниту 3 %, по кварцу 7,6 %.

Заключение

С использованием рентгенографического анализа образцов искусственных смесей глинистых минералов: мусковита, каолинита, магнезиального хлорита и монтмориллонита на ориентированных препаратах найдены содержания минералов и относительные погрешности содержаний. Исследования с использованием двух отражений минералов показали меньшую погрешность в определении содержаний минералов, в частности не более 16 % для смеси каолинит-иллит. Для пар мусковит-хлорит и каолинит-хлорит коэффициенты пропорциональности рассчитанные в настоящем исследовании и в работе [5] близки. Для каолинита-хлорита коэффициент пропорциональности, рассчитанный в настоящем исследовании, различается вдвое, по-видимому, из-за кристаллохимических особенностей эталонов. Коэффициенты пропорциональности для пары минералов иллит-каолинит для естественной разности каолинита и дефектной за счет процесса истирания различаются более чем в 2 раза. Для смеси каолинит-кварц на ориентированных препаратах найдены содержание кварца и каолинита и их погрешности. С использованием коэффициентов пропорциональности для глинистых минералов и предварительного уточнения разновидности иллитов и хлорита возможно проводить экспрессную оценку содержаний минералов в природных образцах с примесями кварца и других неглинистых составляющих.

Список литературы / References

1. Михалкина О.Г. Применение метода рентгеновской дифракции для исследования керна и техногенных продуктов // Научно-технический сборник «Вести газовой науки». 2016. С. 96–107.

Mikhalkina O.G. Application of the X-ray diffraction method for the study of core and technogenic products // Nauchno-Tekhnicheskiy sbornik Vesti gazovoy nauki. 2016. P. 96–107 (in Russian).

2. Chipera S.J., Bish D.L. Fitting full x-ray diffraction patterns for quantitative analysis: a method for readily quantifying crystalline and disordered phases. Adv. Mater. Phys. Chem. 2013. V. 3. P. 47–53.

3. Hillier S. Accurate quantitative analysis of clay and other minerals in sandstones by XRD: comparison of a Rietveld and a reference intensity ratio (RIR) method and the importance of sample preparation. Clay Minerals. 2000. V. 35. P. 291–302.

4. Jozanikohan G., Sahabi F., Norouzi G.H., Memarian H., Moshiri B. Quantitative analysis of the clay minerals in the Shurijeh Reservoir Formation using combined X-ray analytical techniques. Russian Geology and Geophysics. 2016. V. 57. P. 1048–1063.

5. Дьяконов Ю.С. Полуколичественное рентгенографическое определение минералов глин. Методические указания. Всесоюзный научно-исследовательский институт минерального сырья (ВИМС). М., 1984. С. 1–25.

6. Dyakonov Yu.S. Semi-quantitative radiographic determination of clay minerals. Metodicheskiye ukazaniya. Vsesoyuznyy nauchno-issledovatel'skiy institut mineral'nogo syr'ya (VIMS). M., 1984. P. 1–25 (in Russian).

7. Песков А.В., Степанова И.А. Оценка содержаний глинистых минералов в терригенных породах с уточнением содержания калия и железа в гидрослюдах // Ашировские чтения. 2017. Т. 1. № 1–3 (9). С. 335–342.

Peskov A.V., Stepanova I.A. Assessment of the content of clay minerals in terrigenous rocks with clarification of the content of potassium and iron in hydrosludes // Ashirovskiye chteniya. 2017. V. 1. No. 1–3 (9). P. 335–342 (in Russian).

УДК 628.161.2(571.12)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КАТИОНИТА СФ-5 В ПРАКТИКЕ ОЧИСТКИ ПРИРОДНЫХ ВОД ЮГА ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Пимнева Л.А., Загорская А.А., Решетова А.А.

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, e-mail: pimnevala@tyuiu.ru

Статья посвящена проблемам загрязнения поверхностных водоемов юга Тюменской области ионами тяжелых металлов. Устойчивое загрязнение водотоков на юге региона приводит к ухудшению качества питьевой воды в системах централизованного водоснабжения крупных и средних населенных пунктов. Тюменская область является эндемиком по наличию ионов меди, марганца и железа в природной воде, что обусловлено структурой и химическим составом подстилающих грунтов. Эффективные и экономичные методы извлечения ионов меди, марганца и железа из природных и сточных вод позволили бы снизить накопление их в биоте и стагнировать передачу по пищевой цепи, что, несомненно, благотворным образом сказалось бы на здоровье населения. Целью работы стало исследование возможности использования промышленного катионита СФ-5 для снижения концентраций ионов меди, марганца и железа. Для решения поставленной задачи исследовалась сорбция в динамических условиях и кинетика сорбции ионов металлов на модельных растворах при изменении температур в диапазоне от 298 до 333 градусов Кельвина. Определена сорбционная ёмкость промышленного катионита по отношению к ионам меди, марганца и железа, проведено сравнение сорбционной емкости сорбента СФ-5 в H^+ и NH_4^+-формах. Рассмотрено влияние постороннего электролита (соляной кислоты) на сорбцию исследуемых ионов металлов. Исследована кинетика сорбции ионов меди, марганца и железа. Установлен внутридиффузионный характер кинетики. Рассчитаны коэффициенты диффузии и значения энергии активации. При выборе и оптимизации условий извлечения, концентрирования и разделения ионов катионитом использовали полученные результаты исследования. Кроме этого, полученные результаты по кинетике ионного обмена используются при расчете и проектировании технологического оборудования с целью интегрирования технологии в существующие в регионе схемы очистки природных и сточных вод.

Ключевые слова: сорбция, катионит, ионы меди, марганца, железа, кинетика сорбции, энергия активации, коэффициенты взаимодиффузии

THE USE OF INDUSTRIAL CATIONITESF-5 IN THE PRACTICE OF PURIFICATION OF NATURAL WATERS IN THE SOUTH OF THE TYUMEN REGION

Pimneva L.A., Zagorskaya A.A., Reshetova A.A.

Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: pimnevala@tyuiu.ru

The article deals with the problems of pollution of surface waters of the south of the Tyumen region with heavy metal ions. Persistent pollution of watercourses in the south of the region leads to a deterioration in the quality of drinking water in the centralized water supply systems of large and medium-sized settlements. The Tyumen region is endemic for the presence of copper, manganese and iron ions in natural water, which is due to the structure and chemical composition of the underlying soils. Effective and economical methods of extracting copper ions, manganese and iron from natural and wastewater would reduce their accumulation in biota and stagnate transmission through the food chain, which undoubtedly beneficially impact on public health. The aim of the work was to investigate the possibility of using industrial cationit SF-5 in order to reduce the concentration of ions of copper, manganese and iron. To solve the problem, the kinetics of sorption of metal ions was investigated under dynamic conditions on model solutions with temperature variations in the range from 298 to 303 Kelvin. The sorption capacity of industrial cationite with respect to copper, manganese, and iron ions was determined, and the sorption capacity of SF-5 sorbent in H^+ – and NH_4^+ – forms was compared. The influence of an extraneous electrolyte (hydrochloric acid) on the sorption of the metal ions under study is considered. The kinetics of sorption of copper, manganese, and iron ions is studied. The intradiffusion character of the kinetics is established. The diffusion coefficients and activation energy values are calculated. When selecting and optimizing the conditions for the extraction, concentration and separation of ions with cationite, the results of the study were used. In addition, the obtained results on the kinetics of ion exchange are used in the calculation and design of technological equipment in order to integrate the technology into the existing schemes of natural and wastewater treatment in the region.

Keywords: sorption, cationite, copper, manganese, iron ions, sorption kinetics, activation energy, mutual diffusion coefficients

Ежегодный мониторинг состояния поверхностных вод водотоков Тюменской области демонстрирует стабильное ухудшение качества природных вод [1]. Поступление загрязняющих веществ происходит от соседних областей (Свердловской, Курганской, Омской области и Республики Казахстан) в результате миграции веществ [2]. На территории Тюменской области действуют около 130 промышленных предприятий и сельскохозяйственных объектов с общим объемом потребления 315,4 млн т воды в год. Стоки поступают в реки и озера, очищенные только на 69,4 %. Данные факторы влияют на качество питьевых вод в централизованных системах водоснабжения. Накопление ионов тяжелых металлов приводит к риску возникновения целого ряда

заболеваний [3]. В связи с этим снижение концентрации ионов металлов в природных и сточных водах Тюменского региона является важной экологической задачей. Концентрация ионов тяжелых металлов в водных объектах представлена на рис. 1.

Для обезвреживания сточных вод используют сорбционный метод с применением промышленных сорбентов. Этот метод позволяет очищать загрязненные воды до любой остаточной концентрации [4, 5]. Промышленные сорбенты представляют собой органические смолы, имеющие в своем составе ионообменные или комплексообразующие функциональные группы.

Целью данной работы является исследование сорбционных характеристик катионита СФ-5 по отношению к ионам меди, марганца и железа, изучение кинетики сорбции.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на макропористом катионите СФ-5 с обменной емкостью 7,92 мг-экв/г и размером зерен в воздушно-сухом состоянии 0,25–0,5 мм. Кислотные свойства катионита СФ-5 характеризуются показателями кажущихся констант ионизации $pK_1 = 3,1$ и $pK_2 = 8,4$. Изучали сорбцию меди (II), марганца (II) и железа (III) из модельных растворов в динамических условиях в колонках сечением 1,4 см^3. Масса катионита в колонке была 6 г. Скорость фильтрации всех растворов при сорбции равнялась 1 мл/см^3·мин. Фильтрат растворов отбирался по 25 мл.

Кинетику ионного обмена изучали методом ограниченного объема индивидуальных растворов меди, марганца и железа (III). В водяной термостат помещали емкость с раствором при соотношении жидкой и твердой фаз Ж:Т = 1:1000 и температурах 298, 313 и 333 К. Перемешивание раствора осуществлялось механической мешалкой со скоростью 150 об/мин. Суммарный объем отобранных проб от исходного объема раствора не превышал 3 %.

Результаты исследования и их обсуждение

Сточные воды имеют pH 2–5, поэтому использовали подкисленные соляной кислотой растворы. Зависимость величины емкости обмена меди (II), марганца (II) и железа (III) от концентрации соляной кислоты при сорбции катионитом СФ-5 в водородной и солевой формах показана на рис. 2. Емкость обмена с увеличением концентрации соляной кислоты уменьшается. При этом количество сорбируемых ионов для солевой (аммонийной) формы катионита выше по отношению к водородной форме. При этом сорбция ионов железа превышает обменную емкость катионита.

Результаты, представленные на рис. 3, свидетельствуют о параллельном переносе фронта сорбции. Скорость движения стационарного фронта является постоянной.

Полученные результаты исследования сорбции ионов меди, марганца и железа (III) использовали для выбора условий их извлечения, концентрирования и разделения с помощью катионита СФ-5. Разделение ионов меди и железа (III), марганца и железа (III) происходит уже на стадии совместной сорбции, что наглядно показано на рис. 4. В эксперименте использовали навеску катионита 6 г, количество сорбированных ионов по 5 мг-экв и скорость фильтрации раствора 1 мл/см^2·мин.

Рис. 1. Концентрация тяжелых металлов в водных объектах Тюменской области

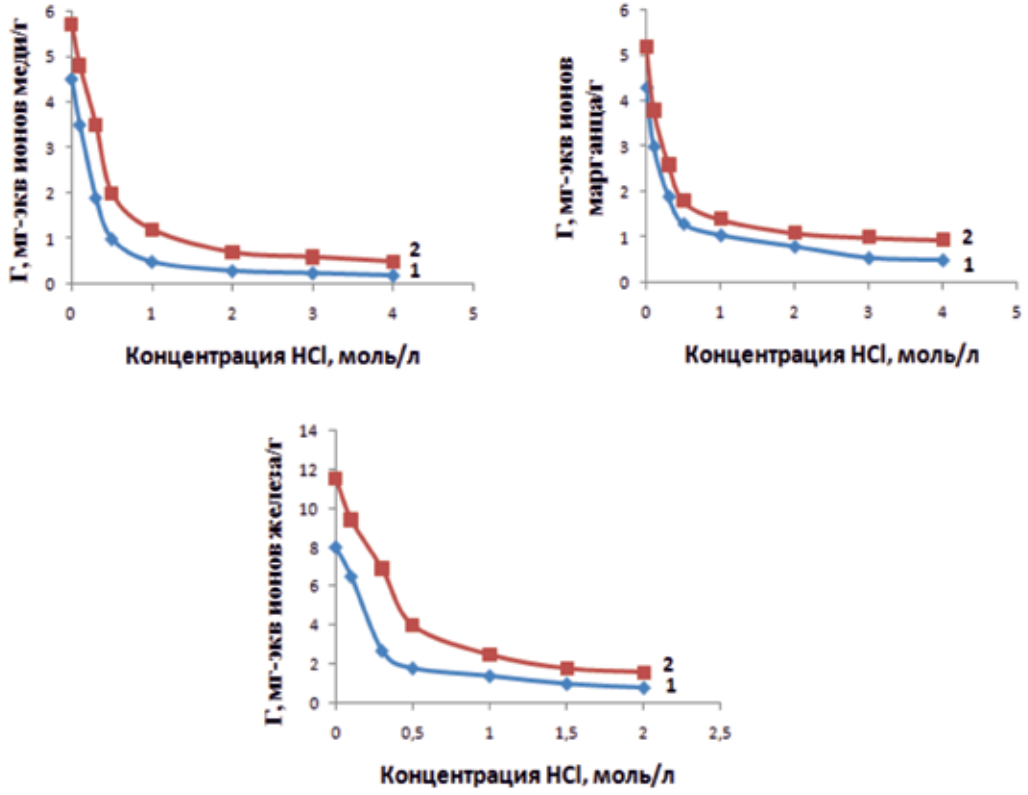


Рис. 2. Влияние концентрации соляной кислоты на величину сорбции

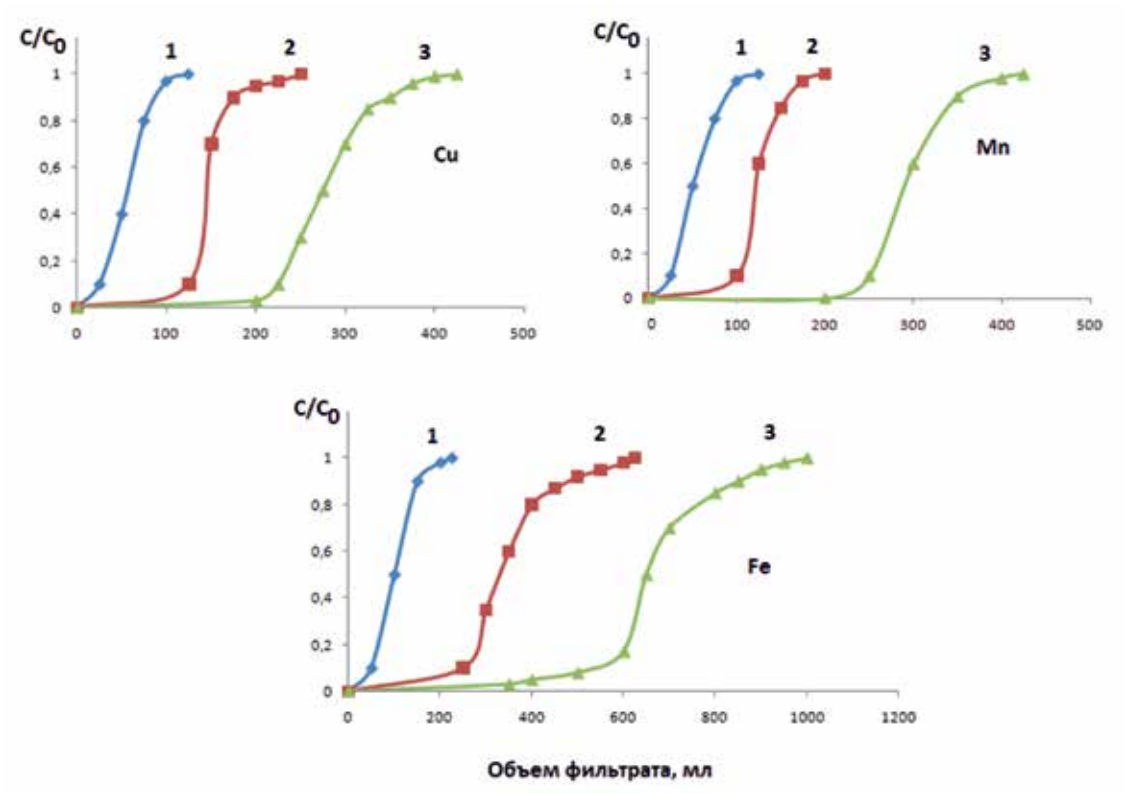


Рис. 3. Кривые сорбции исследованных металлов на 1,0 (1), 3,0 (2), 6,0 (3) г катионитом СФ-5

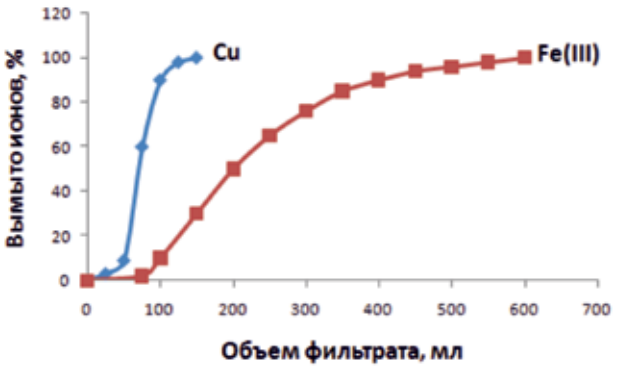


Рис. 4. Разделение ионов меди и железа после совместной сорбции на катионите СФ-5

Выбор технологического режима при извлечении загрязняющих веществ процесса сорбции характеризуется кинетическими параметрами. Полученные экспериментальные данные обрабатывали с использованием уравнения [6]:

$$F = 1 - \frac{6}{\pi}\sum_{n=1}^{\infty} 1/n^2 \exp\left(-\frac{D\cdot\pi^2\cdot n^2\cdot t}{r^2}\right), \quad (1)$$

где F – степень достижения равновесия; D – коэффициент диффузии, см^2/с; r – радиус зерна катионита, мм; t – время, с; $F = \frac{D\cdot\pi^2\cdot t}{r^2} = Bt$ – безразмерный параметр или критерий гомохронности Фурье.

Кинетические кривые сорбции ионов металлов приведены на рис. 5. На примере ионов меди показано увеличение скорости сорбции ионов при повышении температуры. Зависимость $Bt = f(t)$ имеет линейный вид, что подтверждает лимитирующую стадию диффузии в фазе сорбента [6].

Зависимость коэффициента внутренней диффузии от температуры выражается уравнением

$$\lg \bar{D} = \lg \bar{D}_0 - \Delta E / RT, \quad (2)$$

где ΔE – энергия активации суммарного диффузионного процесса, $\bar{D}_0$ – предэкспоненциальный множитель.

Скорость диффузии ионов металлов в фазе катионита будет зависеть от следующих факторов: размеров гидратированных ионов, их зарядов и подвижности. Радиусы гидратированных ионов увеличиваются от меди к железу

$$Cu^{2+}(4{,}19) > Mn^{2+}(4{,}38) > Fe^{3+}(4{,}57).$$

Скорость внутренней диффузии по значениям коэффициента диффузии возрастает от железа к меди.

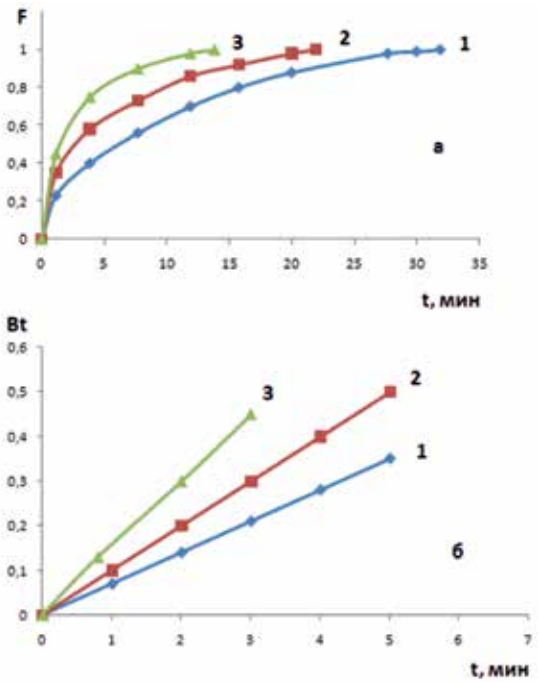


Рис. 5. Кинетические зависимости (а) и зависимость Bt от t при сорбции ионов меди катионитом СФ-5 в H^+-форме

Энергия активации для исследованных ионов не превышает значений, характерных для диффузионных процессов.

Заключение

Проведение сравнительных сорбционных данных в динамических условиях показывает, что катионит СФ-5 позволяет эффективно очищать раствор от исследованных ионов.

Значения коэффициентов внутренней диффузии и энергии активации процесса сорбции

Катион	$\bar{D}\cdot 10^8\left(\frac{см^2}{с}\right)$ при температуре (К)			ΔE, кДж/моль
	298	318	333	
H^+-форма				
Cu^{2+}	9,2	11,8	22,1	16,0
Mn^{2+}	8,9	11,8	19,7	17,6
Fe^{3+}	1,2	3,3	5,9	32,8
$NH4^+$-форма				
Cu^{2+}	11,8	18,5	36,9	16,1
Mn^{2+}	7,4	9,8	22,1	22,8
Fe^{3+}	2,7	5,0	9,9	26,4

Скорость определяющей стадией процесса сорбции ионов меди, марганца и железа является внутренняя диффузия. По значениям коэффициентов внутренней диффузии скорость сорбции уменьшается от меди к железу:

$$Cu^{2+} < Mn^{2+} < Fe^{3+}.$$

При выборе и оптимизации условий извлечения и разделения ионов можно использовать полученные кинетические параметры.

Список литературы / References

1. Жиляков Е.В., Монахова З.Н., Гузеева С.А., Брюханова Р.Я., Томус И.Ю. Анализ геоэкологической ситуации в водных объектах Тюменской области и города Тюмени // Успехи современного естествознания. 2019. № 5. С. 47–52.

Zhilyakov E.V., Monakhova Z.N., Guzeeva S.A., Bryukhanova R.Ya., Tomus I.Yu. Analysis of the geoecological situation in the water bodies of the Tyumen region and the city of Tyumen // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2019. No. 5. P. 47–52 (in Russian).

2. Отчет об экологической ситуации в Тюменской области в 2018–2019 гг. Правительство Тюменской области. Тюмень, 2020. 211 с.

Report on the environmental situation in the Tyumen region in 2018. 2019. Government of the Tyumen region. Tyumen, 2020. 211 p. (in Russian).

3. Доклад о состоянии здоровья населения и организации здравоохранения в Тюменской области по итогам деятельности за 2019 год. ГАУТО «Медицинский информационно-аналитический центр», 2020. 79 с.

Report on the state of health of the population and the organization of health care in the Tyumen region based on the results of activities for 2019. GAU TO «Medical Information and Analytical Center», 2020. 79 p. (in Russian).

4. Скороходов В.Ф., Месяц С.П., Остапенко С.П. Решение проблемы очистки сточных вод промышленных предприятий от многокомпонентных загрязнений // Горный журнал. 2010. № 9. С. 106–108.

Skorokhodov V.F., Monet S.P., Ostapenko S.P. Solution of the problem of industrial wastewater treatment from multicomponent pollution // Gornyy zhurnal. 2010. No. 9. P. 106–108 (in Russian).

5. Николаева Л.А., Исхакова Р.Я. Ресурсосбережение в технологии очистки сточных вод промышленных предприятий // Энергоресурсоэффективность и энергосбережение: сб. науч. трудов. Казань: ТаГраф, 2014. С. 102–106.

Nikolaeva L.A., Iskhakova R.Ya. Resource saving in the technology of wastewater treatment of industrial enterprises // Energoresurso-effektivnost' i energosberezheniye: sb. nauch. Tr. Kazan': TaGraf, 2014. P. 102–106 (in Russian).

6. Тимофеев К.Л., Усольцев А.В., Краюхин С.А., Мальцев Г.И. Кинетика сорбции ионов индия, железа и цинка слабокислотными катионитами // Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. Т. 15. Вып. 5. С. 720–729.

Timofeev K.L. Usoltsev A.V., Krayukhin S.A., Maltsev G.I. Kinetics of sorption of indium, iron, and zinc ions by weakly acidic cationites // Sorbtsionnyye i khromatograficheskiye protsessy. 2015. Vol. 15. Is. 5. P. 720–729 (in Russian).

УДК 504.54

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНУЮ ЭКОСИСТЕМУ И ЕЕ ЭМЕРДЖЕНТНЫЕ СВОЙСТВА НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПОСТРОЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ ИНДЕКСОВ

Седова С.А., Дмитриев В.В., Третьяков В.Ю., Глушко А.А., Пленкина А.К.

ФГБОУ «Санкт-Петербургский государственный университет», Институт наук о Земле, Санкт-Петербург, e-mail: vasiliy-dmitriev@rambler.ru, svet.sv0627@gmail.com

Рассматривается возможность использования композитных индексов для 1 – оценки воздействия на водный объект по результатам имитационного моделирования; 2 – проверки адекватности результатов системного моделирования по данным натурных наблюдений и имитационного моделирования; 3 – выявления способности системы сохранить класс состояния после оказанного на водную экосистему воздействия на основе статистических критериев оценки близости рядов. На двух авторских многокомпонентных имитационных моделях, описывающих биогеохимические циклы углерода, азота, фосфора и других элементов и динамику кислорода в водной экосистеме, выполнена серия из восьми экспериментов, позволяющих оценить допустимое воздействие и сезонные эффекты его проявления на основе изменения системой: 1 – способности продуцировать органическое вещество; 2 – изменять качество и токсическое загрязнение после оказанного воздействия. В экспериментах с воздействием рассматриваются особенности среднегодового и сезонного изменения значений субиндексов эмерджентных свойств модельной системы. На основе статистических критериев близости рядов для компонентов модели до и после воздействия по величинам субиндексов делается вывод о возможности сохранения системой класса, в котором она пребывала до воздействия или перехода системы после воздействия в другой класс в определенный временной интервал и инвариантности некоторых компонентов водной экосистемы по отношению к оказанному воздействию. В результате анализа полученных значений традиционных статистических индексов, которые были использованы для выявления изменений в поведении компонентов системы и системных свойств после оказанного воздействия, получено, что некоторые компоненты можно охарактеризовать как более чувствительные или наоборот – инвариантные, часто остающиеся неизменными по отношению к воздействию определенного типа на водную экосистему. Во всех случаях это зависит от величины и специфики воздействия на экосистему. Разные системные трансформации проявляются с разной скоростью или требуют разного времени для формирования отклика на воздействие.

Ключевые слова: водный объект, имитационное моделирование, композитный индекс, интегральная оценка, интегральный показатель биопродуктивности, интегральный показатель качества воды

EVALUATION OF EFFECTS ON THE AQUATIC ECOSYSTEM AND ITS EMERGENT PROPERTIES BASED ON THE RESULTS OF SIMULATION MODELING AND CONSTRUCTION OF COMPOSITE INDEXES

Sedova S.A., Dmitriev V.V., Tretyakov V.Yu., Glushko A.A., Plenkina A.K.

St. Petersburg State University, Institute of Earth Sciences, St. Petersburg, e-mail: vasiliy-dmitriev@rambler.ru, svet.sv0627@gmail.com

The possibility of using composite indices is being considered for: 1 – assessing the impact on a water body based on the results of simulation; 2 – checking the adequacy of results of system modeling according to field observations and simulation modeling; 3 – revealing ability of a system to maintain the class of state after impact on aquatic ecosystem based on statistical criteria for assessing the proximity of series. On two author's simulation models a series of 8 experiments were performed to assess the permissible impact and seasonal effects of its manifestation based on changes: 1 – ability to produce organic matter; 2 – change quality and toxic pollution after exposure. In experiments with exposure, features of average annual and seasonal changes in the values of subindices of emergent properties of the model system are considered. Based on statistical criteria of the model before and after the impact by the values of the subindices, it is concluded the system can retain class in which it was before impact or transition of the system after impact to another class in a certain time interval and invariance of some components of the aquatic ecosystem for impact. As a result of analysis of obtained values of traditional statistical indices was obtained, some components can be characterized as more sensitive or vice versa – invariant. In all cases, it depends on the magnitude and specificity of the impact on the ecosystem. Different systemic transformations manifest themselves taking different times to form a response to impact.

Keywords: water body, simulation modeling, composite index, integral assessment, integral indicator of bio-productivity, integral indicator of water quality

Необходимость исследования скоростей массообмена между компонентами водных экосистем с учетом антропогенных воздействий, изменяющих естественный ход обменных процессов, выделение антропогенных эффектов на фоне естественных изменений скоростей процессов и исследование ответных реакций экосистем на внешние воздействия, которые не поддаются непосредственному наблюдению, обуславливают необходимость развития новых подходов к изучению водных эко-

систем. Существующие в настоящее время когнитивные и пространственно-однородные, боксовые (блочные, резервуарные), непрерывные имитационные модели позволяют решать широкий спектр задач: исследовать влияния химического и биологического состава и физических свойств среды на первичную продуктивность экосистем [1, 2], её изменение при различных сценариях формирования внешней и внутренней биогенной нагрузки [3], изучать влияние антропогенного эвтрофирования и воздействие токсикантов на водные экосистемы [4], воспроизводить на моделях биогеохимические циклы химических элементов [5] и др.

Развитие методов имитационного моделирования водных экосистем [4] и методов построения композитных индексов химического и биологического состава; простых и сложных (присущих системе в целом) свойств водных объектов [6], определило возможность сочетания этих подходов для решения ряда научных задач.

В первую очередь к таким задачам можно отнести количественную оценку результата воздействия на водную экосистему и оценку допустимости/недопустимости для экосистемы рассмотренного воздействия или действия многих факторов и их сочетаний [7]. При этом допустимость воздействия оценивается не по воздействию на некоторый компонент или «слабое звено» водной экосистемы, а на основе интегральных показателей состояния системы в целом до и после воздействия. Если система после оказанного воздействия по совокупности параметров и иерархий переходит в более старший класс состояния (качества и токсического загрязнения, трофности, трофосапробности, трофотоксобности и др.), то такое воздействие может рассматриваться как недопустимое при условии выявления его отрицательной значимости на человека и/или на биоту водоемов. Выявление такой возможности и критических концентраций компонентов реализуется в экспериментах с имитационной моделью, а подтверждение перехода системы в новый класс состояния (трофности, качества, токсического загрязнения, экологического благополучия/неблагополучия и др.) подтверждается на основе использования композитных индексов и субиндексов. В сложных случаях, когда временное изменение параметров состояния системы охватывает два и более класса, можно отдельно рассматривать сезонную изменчивость параметров или выполнять оценку только по отдельным субиндексам, а не по вектору состояния системы в целом. Антропоцентризм и биоцентризм исследования обусловливают выбор параметров и приоритетов в задании весовых коэффициентов учитываемых параметров при построении интегральных показателей. Возможно сочетание подходов или введение еще одного уровня свертки, агрегирующего оба подхода при равновесомом их учете или с выделением основного приоритета в прогнозировании сбалансированного, бескризисного (устойчивого) развития.

Во вторую очередь в перечень исследовательских задач можно включить дополнительные возможности проверки адекватности результатов имитационного моделирования на основе построения композитных индексов по результатам натурных наблюдений и имитационного моделирования. Для этого можно рассчитывать интегральные показатели для полного набора компонентов имитационной модели водной экосистемы, или формировать субиндексы оцениваемых свойств водного объекта. В перечень субиндексов целесообразно включить рекомендуемые нами [7–9]: интегральный показатель трофности, интегральный показатель качества и токсического загрязнения воды (и грунтов, если в модели имеется блок донных отложений), интегральные показатели устойчивости (уязвимости, самоочищения) водоема и др. Для более сложных ситуаций (оценка геоэкологического статуса), при моделировании систем «водоем + водосбор» или «водоток + водосбор» необходим учет экологического статуса ландшафтов водосборной территории (и/или локальных береговых экосистем). Для этого необходимо рассчитывать субиндексы интегративных свойств для доминирующих ландшафтов (береговых экосистем).

Степень адекватности модели реальному пространственно-временному изменению компонентов водной экосистемы в этом случае можно характеризовать на основе традиционных для классической статистики индексов Нэша – Сатклифа и его модификаций [10, 11], индекса Тейла (Тила), средней относительной ошибки прогноза, индексам S/σ и ρ [12]. Для этих целей можно также актуализировать применение классических статистических критериев выявления аномальных значений рядов по критериям Ирвина, Смирнова – Граббса, Титьена – Мура, Томпсона (Рошера), Хоглина – Иглевича, Шовене и др. [13, 14]. Выявление адекват-

ности моделей реализуется на основе сочетания нескольких подходов: 1 – сравнения интегральных показателей компонентного состава всех моделируемых и наблюдаемых компонентов. Близость наблюденных и полученных по модели компонентов водной экосистемы устанавливается на основе сравнения рядов по традиционно применяемым индексам; 2 – сравнения интегральных показателей (индексов) и субиндексов неаддитивных свойств исследуемой системы (продуктивности, качества и токсического загрязнения воды и др.) по результатам наблюдений и модельных сценариев. В этом случае изменение класса продуктивности, качества, благополучия системы и др., выявленное на основе применения композитных индексов, потребует акцентированного подтверждения на основе натурных данных.

В третью очередь на основе сравнения модельных сценариев до и после воздействия, применяя классические индексы, упомянутые выше, или их модификации, можно оценить, насколько сильным оказалось воздействие для экосистемы в целом, а также сможет ли система вернуться в прежнее состояние или воздействие оказалось необратимым. На первом этапе важным здесь является установление фактической возможности перехода системы в другой класс по величине композитного показателя или того, что оказанное воздействие на экосистему способно при определенных условиях вывести систему за пределы того класса, в котором она находилась до воздействия.

Целью исследования является доказательство возможности использования композитных индексов для: 1 – проверки адекватности результатов системного моделирования на основе построения композитных индексов по результатам натурных наблюдений и имитационного моделирования; 2 – оценки воздействия на водный объект по результатам имитационного моделирования; 3 – выявление способности системы после оказанного воздействия сохранить класс состояния или интегративного свойства, в котором она пребывала до воздействия, или перейти в другой класс (временно или безвозвратно) на основе статистических критериев оценки близости рядов. Задачи экспериментальных исследований приведены в таблице.

Материалы и методы исследования

Для выполнения поставленных целей и задач использовались две авторские имитационные модели пространственно-однородной водной экосистемы: «CNPXO-модель», далее модель «M1» [15] и модель «ВОДЭКО», далее модель «M2» [4]. На моделях были реализованы эксперименты, представленные в таблице.

Выполнение оценочных исследований эмерджентных свойств водных экосистем, а также построение композитных индексов рассматривалось во многих наших публикациях [7, 8, 15]. С учетом рассмотренных ранее особенностей интегральной оценки сложных систем акцентируем основное внимание на этапах формирования композитных индексов и построения композитных (интегральных) показателей по результатам экспериментов, проведенных на моделях M1 и M2. При этом процесс получения интегральных показателей реализуется в ходе выполнения нескольких этапов: 1 – отбор параметров для интегральной оценки, разработка и обобщение авторских классификаций и оценочных шкал для оценивания продукционной способности, качества и токсического загрязнения водной экосистемы; 2 – выбор нормирующей функции; 3 – выбор вида синтезирующей функции для композитного индекса; 4 – выбор весовых множителей для учета приоритетов в интегральной оценке; 5 – выполнение нескольких уровней обобщения информации для субиндексов и разработанных для них классификаций; 6 – получение оценочных шкал для субиндексов и композитных индексов для оценки системных свойств в целом; 7 – интегральная оценка системных свойств и эффектов для ключевых объектов и их временных или пространственных трансформаций.

Результаты исследования и их обсуждение

Ниже приведены результаты анализа экспериментов и основные выводы, полученные на основе анализа.

Эксперимент Э1М1. По мере увеличения фона мутности с 2 мг/л до 40 мг/л поведение компонентов экосистемы претерпевает значительные изменения. Изменение мутности оказывает негативное влияние на водную экосистему – происходит увеличение содержания «невостребованных» биогенных веществ в воде в связи со снижением продукционных способностей экосистемы. Отмечен сдвиг максимума цветения фитопланктона на более поздние сроки и высокое содержание фитопланктона в воде летом. Это приводит к росту абсолютных

значений биомассы фитопланктона летом и незначительного увеличения среднегодового значения интегрального показателя трофности (ИПТ, шкала 1 в таблице) в пределах одного класса (мезотрофный, ближе к правой границе класса, первые проценты).

Перечень экспериментов с моделями водных экосистем и их специфика

<table>
<tr><th>Эксперименты для оценки воздействия на водную экосистему</th><th>M1
CNPXO-модель</th><th>M2
Модель ВОДЭКО</th></tr>
<tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Э1. Оценка допустимого воздействия на основе изменения системой способности продуцировать органическое вещество</td><td colspan="2">Задачи: 1 – оценить использование выбранных имитационных моделей для оценки допустимости воздействия на экосистему; 2 – на основе построения композитного индекса по результатам моделирования воздействий выявить изменение способности системы продуцировать органическое вещество; 3 – на основе традиционных статистических индексов выявить изменение компонентов систем и системных свойств после оказанного воздействия</td></tr>
<tr><td>Содержание эксперимента Э1M1</td><td>Содержание эксперимента Э1M2</td></tr>
<tr><td>Сравнивались результаты двух модельных экспериментов с разным фоном мутности воды (2 и 40 мг/л) на годовом этапе развития экосистемы [15]. На основе параметров, используемых для оценки трофического статуса водоема, рассчитывался композитный индекс продуктивности (ИПТ) и выявлялось изменение класса трофности после оказанного воздействия.
Для построения композитного индекса продуктивности использовались 6 компонентов:
1. Биомасса фитопланктона, мг/л.
2. Отношение биомассы зоопланктона к биомассе фитопланктона.
3. Концентрация общего фосфора, $P_{общ}$, мг/л.
4. Концентрация общего азота, $N_{общ}$, мг/л.
5. Отношение концентраций N:P.
6. Концентрация растворенного кислорода, % насыщения.
Индекс ИПТ = ИПТ(q, w) =
$= ИПТ(q_1,\ldots,q_6; w_1,\ldots,w_6) = \sum_{i=1}^{6} q_i w_i$,
где q_i – нормированное значение характеристики, w_i – вес параметра в сводной оценке. Для w_i использовалось:
$0{,}0 \le w_i \le 1{,}0$ и $\sum_{i=1}^{m} w_i = 1{,}0$.
Шкала ИПТ получена для 4 классов трофности при равновесомости выбранных индикаторов: О – олиготрофия; М – мезотрофия; Э – эвтрофия; Г – гипер(эв)трофия.
<table><tr><td>О</td><td>М</td><td>Э</td><td>ГЭ</td></tr><tr><td>0,000–0,221</td><td>0,221–0,426</td><td>0,426–0,754</td><td>0,754–1,000</td></tr></table>(1)</td><td>Сравнивались результаты модельных экспериментов на годовом этапе развития транзитной экосистемы по изменению продукционной способности речных вод при постоянном содержании условного токсиканта в воде. Внутригодовой ход содержания токсиканта задан на основе анализа внутригодовых динамик различных токсических элементов в речных водах [4]. При этом в модели учитывались типы воздействия токсиканта: 1 тип – стимуляция первичной продукции низкими концентрациями токсиканта или 2 тип – ингибирование продукционных возможностей высокими концентрациями токсиканта.
На основе параметров оценки трофического статуса водоема рассчитывался субиндекс продуктивности (ИПТ) и выявлялось изменение класса трофности после оказанного воздействия.
Для построения композитного индекса продуктивности водного объекта использовались 9 компонентов:
1. Биомасса фитопланктона, мг/л.
2. Отношение биомассы зоопланктона к биомассе фитопланктона.
3. Концентрация общего фосфора, $P_{общ}$, мг/л.
4. Концентрация общего азота, $N_{общ}$, мг/л.
5. Отношение концентраций N:P.
6. Чистая первичная продукция, мгС/м^2·сут.
7. Продукция фитопланктона, мгС/л·сут.
8. Скорость фотосинтеза, мгО/л·сут.
9. БПК$_5$, мгО$_2$/л.
Индекс ИПТ = ИПТ(q, w) =
$= ИПТ(q_1,\ldots,q_9; w_1,\ldots,w_9) = \sum_{i=1}^{9} q_i w_i$
Шкала ИПТ получена для 4 классов трофности при равновесомости выбранных индикаторов: О – олиготрофия; М – мезотрофия; Э – эвтрофия; Г – гипер(эв)трофия.
<table><tr><td>О</td><td>М</td><td>Э</td><td>ГЭ</td></tr><tr><td>0,000–0,173</td><td>0,173–0,331</td><td>0,331–0,669</td><td>0,669–1,000</td></tr></table>(2)</td></tr>
</table>

Продолжение таблицы

1	2	3
Э2. Выявление сезонных изменений способности системы продуцировать живое вещество после воздействия	Задачи: 1 – оценить возможность использования имитационных моделей для оценки допустимости воздействия на экосистему; 2 – на основе построения композитного индекса по результатам моделирования воздействия выявить особенности сезонного изменения продуцирования органического вещества в системе	
	Содержание эксперимента **Э2М1**	Содержание эксперимента **Э2М2**
	Рассматривались сезонные изменения способности системы продуцировать живое органическое вещество по результатам двух модельных экспериментов с разным фоном мутности воды (2 и 40 мг/л). На основе параметров, используемых для оценки трофического статуса водоема, рассчитывался композитный индекс продуктивности (трофности) и выявлялось изменение класса трофности после оказанного воздействия. Параметры и шкала для построения композитного индекса продуктивности водного объекта выбраны аналогично эксперименту Э1М1	Рассматривались сезонные изменения способности системы продуцировать живое органическое вещество по результатам модельных экспериментов годового цикла развития экосистемы с учетом типа воздействия токсиканта на первичные продуценты (1 тип – стимуляция первичной продукции низкими концентрациями токсиканта или 2 тип – ингибирование продукционных возможностей высокими концентрациями токсиканта). На основе параметров, используемых для оценки трофического статуса водоема, рассчитывался композитный индекс продуктивности (трофности) и выявлялось изменение класса трофности после оказанного воздействия. Параметры и шкала для построения композитного индекса продуктивности водного объекта выбраны аналогично эксперименту Э1М2
Э3. Оценка допустимого воздействия на систему на основе изменения качества и токсического загрязнения воды	Задачи: 1 – оценить возможность использования имитационных моделей для оценки допустимости воздействия на экосистему; 2 – на основе построения композитного индекса качества и токсического загрязнения по результатам моделирования воздействия выявить изменение качества и токсического загрязнения воды в рассматриваемых экспериментах; 3 – на основе традиционных статистических индексов выявить изменение поведения компонентов систем и системных свойств после оказываемого воздействия	
	Содержание эксперимента **Э3М1**	Содержание эксперимента **Э3М2**
	Сравнивались результаты двух модельных экспериментов с разным фоном мутности воды (2 и 40 мг/л) на годовом этапе развития экосистемы. На основе параметров, используемых для оценки качества и токсического загрязнения воды, рассчитывался композитный индекс качества вод и выявлялось изменение класса качества после оказанного воздействия. Для построения композитного индекса качества воды использовались 7 компонентов: 1. Аммонийный азот NH_4, мг/л. 2. Нитратный азот NO_3, мг/л. 3. Концентрация растворенного кислорода, % насыщения. 4. Фосфор фосфатный PO_4, мг/л. 5. Нитритный азот NO_2, мг/л. 6. Концентрация общего фосфора, $P_{общ}$, мг Р/л. 7. Концентрация общего азота, $N_{общ}$, мгN/л. Индекс ИПК = ИПК(q, w) = $= \text{ИПК}(q_1,\ldots,q_7; w_1,\ldots,w_7) = \sum_{i=1}^{7} q_i w_i,$ где q_i – нормированное значение характеристики, w_i – вес параметра в сводной оценке. Для w_i использовалось: $0{,}0 \le w_i \le 1{,}0$ и $\sum_{i=1}^{m} w_i = 1{,}0$.	Сравнивались результаты модельных экспериментов на годовом этапе развития экосистемы по изменению качества и токсического загрязнения речных вод при постоянном содержании условного токсиканта в воде с учетом типа его воздействия на первичные продуценты (1 тип – стимуляция первичной продукции низкими концентрациями токсиканта или 2 тип – ингибирование продукционных возможностей высокими концентрациями токсиканта). На основе параметров, используемых для оценки качества воды, рассчитывался композитный индекс качества вод и выявлялось изменение класса качества после оказанного воздействия. Для построения композитного индекса продуктивности водного объекта использовались 15 компонентов: 1. Аммонийный азот NH_4, мг/л. 2. Нитратный азот NO_3, мг/л. 3. Растворенный кислород, мг/л. 4. Фосфор фосфатный PO_4, мг/л. 5. Нитритный азот NO_2, мг/л. 6. Концентрация общего фосфора, $P_{общ}$, мг/л. 7. Концентрация общего азота, $N_{общ}$, мг/л. 8. Взвешенные вещества, мг/л. 9. ХПК, мгО/л. 10. $БПК_5$, мгO_2/л. 11. $БПК_{20}$, мгO_2/л. 12. Растворенный органический углерод, мг С/л. 13. Биомасса фитопланктона, мг/л. 14. Разряды трофности в предположении однонаправленного изменения трофности и качества воды, балл. 15. Растворенный органический азот, мг N/л.

Окончание таблицы

<table>
<tr><th>1</th><th>2</th><th>3</th></tr>
<tr>
<td></td>
<td>Шкала ИПК получена для 6 классов качества воды при равновесомости выбранных индикаторов: I ОЧ – очень чистые; II Ч – чистые; III УЗ – умеренно загрязненные; IV З – загрязненные; V Г – грязные; VI ОГ – очень грязные
<table>
<tr><th>I ОЧ</th><th>II Ч</th><th>III УЗ</th><th>IV З</th><th>V Г</th><th>VI ОГ</th></tr>
<tr><td>0,000–0,016</td><td>0,016–0,062</td><td>0,062–0,136</td><td>0,136–0,348</td><td>0,348–0,686</td><td>0,686–1,000</td></tr>
</table>
(3)</td>
<td>Индекс ИПК = ИПК(q, w) =
$= \text{ИПК}(q_1,\ldots,q_{15}; w_1,\ldots,w_{15}) = \sum_{i=1}^{15} q_i w_i$.
Шкала ИПК получена для 6 классов качества воды при равновесомости выбранных индикаторов: I ОЧ – очень чистые; II Ч – чистые; III УЗ – умеренно загрязненные; IV З – загрязненные; V Г – грязные; VI ОГ – очень грязные.
<table>
<tr><th>I ОЧ</th><th>II Ч</th><th>III УЗ</th><th>IV З</th><th>V Г</th><th>VI ОГ</th></tr>
<tr><td>0,000–0,073</td><td>0,073–0,143</td><td>0,143–0,226</td><td>0,226–0,432</td><td>0,432–0,720</td><td>0,720–1,000</td></tr>
</table>
(4)</td>
</tr>
<tr>
<td rowspan="3">**Э4**. Выявление сезонных изменений качества и токсического загрязнения вод после оказанного на систему воздействия</td>
<td colspan="2">Задачи: 1 – оценить возможность использования имитационных моделей для оценки допустимости воздействия на экосистему; 2 – на основе построения композитного индекса качества и загрязнения по результатам моделирования воздействия выявить особенности сезонного изменения качества и токсического загрязнения вод</td>
</tr>
<tr>
<td>Содержание эксперимента **Э4М1**</td>
<td>Содержание эксперимента **Э4М2**</td>
</tr>
<tr>
<td>Рассматривались сезонные изменения качества и токсического загрязнения воды по результатам двух модельных экспериментов с разным фоном мутности воды (2 и 40 мг/л). На основе параметров, используемых для оценки качества и токсического загрязнения вод водоема, рассчитывался композитный индекс качества воды и выявлялось изменение класса качества после оказанного воздействия на разных временных масштабах.
Параметры и шкала для построения композитного индекса качества воды выбраны аналогично эксперименту Э3М1</td>
<td>Рассматривались сезонные изменения качества и токсического загрязнения речных вод по результатам модельных экспериментов развития экосистемы с учетом типа воздействия токсиканта на первичные продуценты (1 тип – стимуляция первичной продукции низкими концентрациями токсиканта или 2 тип – ингибирование продукционных возможностей высокими концентрациями токсиканта). На основе параметров, используемых для оценки качества вод, рассчитывался композитный индекс качества и выявлялось изменение класса качества после оказанного воздействия на разных временных масштабах.
Параметры и шкала для построения композитного индекса качества и токсического загрязнения выбраны аналогично эксперименту Э3М2</td>
</tr>
</table>

По рассчитанному критерию Нэша – Сатклиффа (классический вид [10]), использованному для выявления отрицательной значимости близости рядов, отмечается «неудовлетворительная» сходимость рядов для всех компонентов водной экосистемы, что свидетельствует о наличии серьезных различий в поведении компонентов модели в двух сравниваемых экспериментах. По рассчитанному критерию Тейла, согласно которому «0» соответствует полному совпадению рядов, а близость к «1» – отрицательной пропорциональности рядов, отмечается хорошая сходимость рядов для таких компонентов, как процентное содержание кислорода (0,035), общий азот (0,058), свидетельствующая о незначительном различии в поведении этих компонентов модели в сравниваемых экспериментах. Для остальных компонентов водной экосистемы индекс Тейла изменяется от (0,250 до 1), что подтверждает наличие различий в поведении этих компонентов.

Эксперимент Э1М2. На основе полученных значений ИПТ (шкала 2 в таблице) для речных вод получено, что при отсутствии поступления токсиканта и отсутствии антропогенного воздействия речные воды изначально относятся к классу высокопродуктивных (ИПТ = 0,378 – эвтрофия, левая граница класса). При постоянном содержании токсиканта в речных водах по 1-му типу воздействия (воздействие на первичные продуценты стимулирует жизненные функции при низких концентрациях и подавляет при высоких концентрациях), ИПТ остается в том же классе, сдвигаясь ближе к середине класса (ИПТ = 0,408) относительно эксперимента без воздействия токсиканта. При постоянном содержании токсиканта в речных водах, воздействие которого приводит только к подавлению жизненных функций

(2-й тип воздействия), система также остается в эвтрофном классе, как и в предыдущем эксперименте (ИПТ = 0,408). Это объясняется докритическими значениями концентраций токсиканта в экспериментах, не изменяющими естественный ход процессов массообмена. Таким образом, экспериментально доказан постепенный переход водной экосистемы внутри одного класса от левой границы класса к его середине (отмечается рост ИПТ на 7,9 %).

В паре экспериментов «без имитации токсиканта – 1-й тип воздействия токсиканта» согласно рассчитанному критерию Нэша – Сатклиффа, отмечается хорошая сходимость рядов практически для всех компонентов системы, что подтверждает незначительные различия в поведении компонентов модели в экспериментах. Исключением являются: концентрации общего азота, общего фосфора, а также отношение их концентраций – отмечается неудовлетворительная сходимость рядов, указывающая на наличие изменений в динамике данных компонентов после оказанного воздействия. Согласно критерию Тейла отмечается хорошая сходимость рядов для таких компонентов, как скорость фотосинтеза (0,089), чистая первичная продукция (0,094), общий азот (0,096), свидетельствующая о незначительном различии в поведении этих компонентов модели в сравниваемых экспериментах. Для остальных компонентов водной экосистемы значения индекса Тейла указывают на наличие различий в поведении компонентов модели. В паре экспериментов «без имитации токсиканта – 2-й тип воздействия токсиканта» согласно рассчитанным критериям Нэша – Сатклиффа и Тейла, отмечается ситуация идентичная первой паре экспериментов.

Эксперимент Э2М1. Для выявления сезонных изменений продукционной способности водной экосистемы рассматривалось изменение значений композитных индексов продуктивности при повышении фона мутности. Так, для зимнего периода отмечается практически полное совпадение ИПТ (шкала 1) с 0,392 до 0,397 (мезотрофный, ближе к правой границе класса). Для весеннего периода ИПТ не изменяется (ИПТ = 0,390). В летний период наблюдается изменение композитного показателя ИПТ с 0,374 (мезотрофный, правая граница класса) до 0,403 (эвтрофный, левая граница класса). Для осеннего периода, напротив, отмечается снижение ИПТ в пределах одного класса с 0,425 (эвтрофный, левая граница класса) до 0,387 (мезотрофный, ближе к правой границе класса). Для вегетационного периода (май – октябрь) прослеживается незначительное увеличения значения ИПТ с 0,387 до 0,403 (4,1 %). Для летнего периода отмечается рост ИПТ (до 7,8 %). Основной результат эксперимента – сдвиг максимума цветения фитопланктона и высокое содержание фитопланктона летом приводят к росту ИПТ в весенне-летний период.

Эксперимент Э2М2. При выявлении сезонных изменений значения композитного индекса ИПТ (шкала 2, таблица) речных вод получено, что в зимний период при отсутствии поступления токсиканта и отсутствии антропогенного воздействия, система изначально относится к мезотрофному классу, ближе к его правой границе (ИПТ = 0,315); при постоянном содержании токсиканта в речных водах по 1-му типу воздействия отмечается переход системы в эвтрофный класс (ИПТ = 0,377, ближе к левой границе класса); при 2-м типе воздействия также отмечается переход системы в класс эвтрофных вод (ИПТ = 0,377, ближе к левой границе). Для весеннего периода при отсутствии поступления токсиканта в воду отмечается рост композитного индекса с 0,375 (эвтрофный класс, ближе к левой границе класса) до 0,442 (эвтрофный класс, ближе к левой границе класса) при 1-м типе воздействия и до 0,442 при 2-м типе воздействия. В летний период при отсутствии воздействия наблюдается ИПТ = 0,431 (эвтрофный, ближе к правой границе класса), а затем его рост до 0,456 внутри класса при 1-м типе воздействия и до 0,451 (эвтрофный класс, ближе к правой границе класса) при 2-м типе воздействия. В осенний период отмечается уменьшение значения интегрального показателя трофности с 0,392 (эвтрофный, ближе к правой границе класса) при отсутствии поступления токсиканта в воду до 0,359 (эвтрофный, ближе к правой границе класса) при 1-м типе воздействия токсиканта, и до 0,360 (при 2-м типе воздействия). В целом за вегетационный период (май – октябрь) отмечается рост ИПТ, но в рамках одного класса продуктивных (эвтрофных) вод, значения ИПТ близки для 1 и 2 типов воздействия токсиканта (с 0,420 до 0,436 при 1-м типе и до 0,434 при 2-м типе воздействия).

В итоге в зимний период отмечается переход речных вод из второго класса в третий при воздействии токсиканта при увеличении ИПТ (на 19,7 %). Для весны отмечается значительный рост ИПТ (на 17,9 %) (рис. 1).

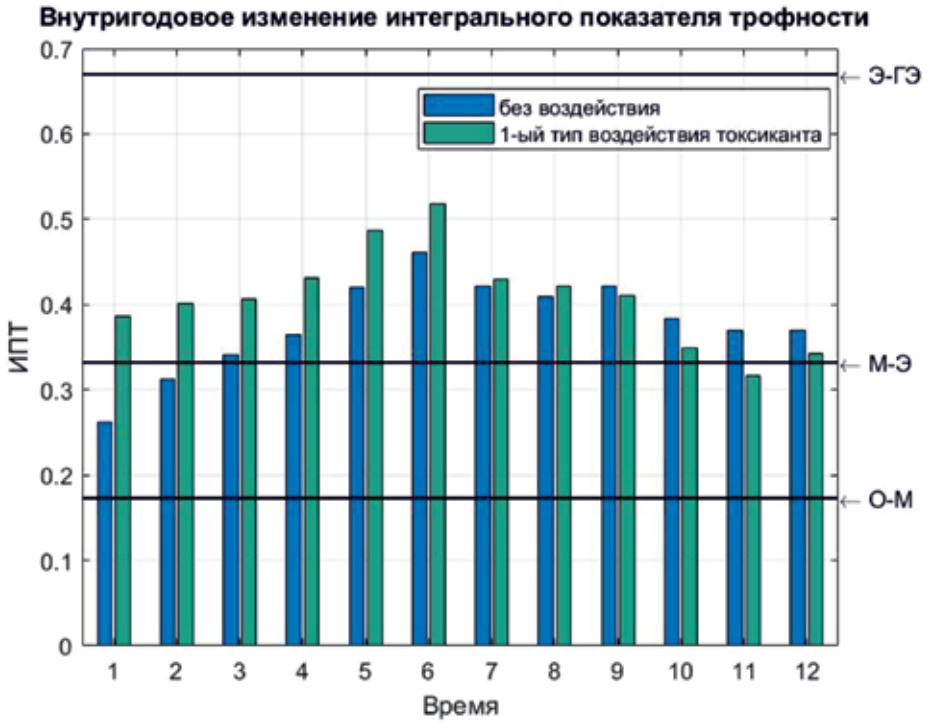


Рис. 1. Внутригодовое изменение интегрального показателя продуктивности (трофности) ИПТ в эксперименте Э2М2

Эксперимент Э3М1. По мере увеличения мутности поведение компонентов претерпевает изменения, что приводит к росту (на 31,2 %) среднегодового значения интегрального показателя качества и токсического загрязнения воды (ИПК, шкала 3). Он изменяется от 0,032 (чистые, ближе к левой границе класса) до 0,042 (чистые, ближе к правой границе класса).

По рассчитанному критерию Нэша – Сатклиффа отмечается «неудовлетворительная» сходимость рядов для всех компонентов водной экосистемы, что свидетельствует о наличии серьезных различий в поведении компонентов модели в двух сравниваемых экспериментах. Согласно рассчитанному критерию Тейла для всех компонентов отмечается хорошее совпадение рядов для таких компонентов, как процентное содержание кислорода (0,035), общий азот (0,058), нитратный азот (0,053). Это свидетельствует о незначительном различии в поведении этих компонентов модели в сравниваемых экспериментах. Для остальных компонентов водной экосистемы индекс Тейла изменяется от (0,330 до 1), что подтверждает наличие различий в поведении этих компонентов в сравниваемых модельных экспериментах.

Эксперимент Э3М2. На основе полученных значений композитных показателей ИПК (шкала 4, таблица) речных вод получено, что при отсутствии поступления токсиканта и отсутствии других антропогенного воздействия речные воды изначально относятся к III классу умеренно загрязненных вод (ИПК = 0,214, правая граница класса). При постоянном содержании токсиканта в речных водах по 1-му типу воздействия, система остается в том же классе (ИПК = 0,216) относительно эксперимента без воздействия токсиканта. При постоянном содержании токсиканта в речных водах, воздействие которого приводит только к подавлению жизненных функций («2-й тип воздействия»), система остается в умеренно-загрязненном классе, как и в предыдущем эксперименте (ИПК = 0,216). Таким образом, ИПК практически не изменяется (на 1,2 %).

В паре экспериментов «без имитации токсиканта – 1-й тип воздействия токсиканта» согласно рассчитанному критерию Нэша – Сатклиффа, отмечается хорошая

сходимость рядов практически для всех компонентов системы, что также говорит о незначительных различиях в поведении компонентов модели в рассматриваемых экспериментах. Исключением являются концентрации общего азота, общего фосфора, аммонийного азота, азота нитратов, азота нитритов, фосфора фосфатов, растворенного органического углерода. Для них отмечается неудовлетворительная сходимость рядов, указывающая на наличие кардинальных изменений в динамике данных компонентов после оказанного воздействия. Согласно критерию Тейла, для данной пары экспериментов наблюдается хорошая сходимость рядов для таких компонентов системы, как взвешенное органическое вещество (0,0), органический азот (0,05), свидетельствующая о крайне незначительном различии в поведении компонентов модели. Для остальных компонентов отмечается неудовлетворительная или полная несходимость рядов, свидетельствующая о наличии серьезных изменений в поведении компонентов модели. В паре экспериментов «без имитации токсиканта – 2-й тип воздействия токсиканта» согласно рассчитанным критериям Нэша – Сатклиффа (классический) и Тейла, отмечается абсолютно идентичная первой паре экспериментов ситуация.

Эксперимент Э4М1. Для выявления сезонных изменений качества и токсического загрязнения вод рассматривалось изменение значений ИПК (шкала 3, таблица) при повышении фона мутности с 2 мг/л до 40 мг/л. Для зимнего периода отмечается увеличение ИПК в пределах II класса с 0,043 (чистые, правая половина класса) до 0,050. Для весеннего периода характерно увеличение значения ИПК с 0,033 (чистые, ближе к левой границе класса) при фоне мутности = 2 мг/л до 0,041 (чистые, ближе к правой границе класса) при фоне мутности = 40 мг/л. В летний период наблюдаются изменения ИПК в пределах класса с 0,019 (чистые, ближе к левой границе класса) до 0,032. Для осеннего периода отмечается увеличение ИПК с 0,034 (чистые, ближе к левой границе класса) до 0,042 (чистые, ближе к правой границе класса). В целом для вегетационного периода (май – октябрь) прослеживается увеличение значения ИПК на 52% с 0,023 (чистые, ближе к левой границе класса) до 0,035. Но переход в III класс не выявлен. Таким образом, изменение качества воды происходит в рамках II класса «чистые» воды, при этом эффект сильнее выражен в летний период (увеличение ИПК на 68,4%) (рис. 2).

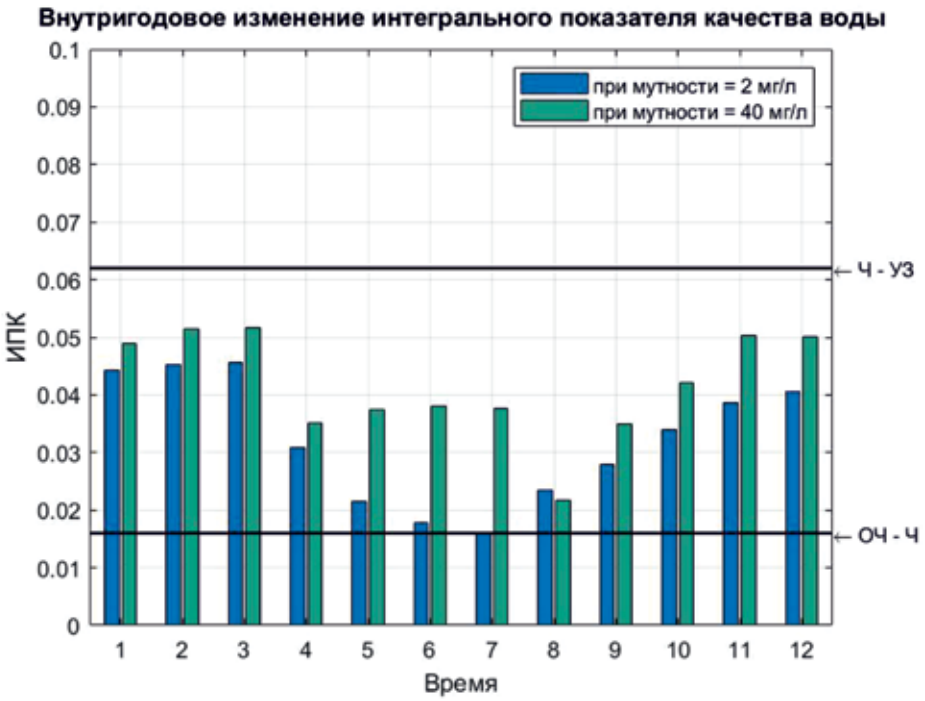


Рис. 2. Внутригодовое изменение интегрального показателя качества воды (ИПК) в эксперименте Э4М1

Эксперимент Э4М2. При прослеживании сезонных изменений значения ИПК речных вод не отмечается сильных изменений ИПК (шкала 4, таблица). В экспериментах получено, что в зимний период при отсутствии поступления токсиканта и отсутствии других антропогенных воздействий вóды изначально относятся к умеренно загрязненному классу, ближе к левой границе класса (ИПК = 0,185); при постоянном содержании токсиканта в речных водах по 1-му и 2-му типам воздействия» отмечается рост ИПК на 14% (до 0,211). Для весеннего (ИПК = 0,216) и летнего (ИПК = 0,221) периодов значения интегрального показателя не изменяются. В осенний период отмечается уменьшение значения интегрального показателя качества с 0,236 (умеренно загрязненные, ближе к правой границе класса) при отсутствии поступления токсиканта в воды до 0,217 (умеренно загрязненные, ближе к левой границе класса) при «1-м типе воздействия» и при «2-м типе воздействия» токсиканта.

Заключение

Оценена реакция водной экосистемы на оказанное воздействие на основе построенных субиндексов продуктивности и качества воды, характеризующих экологический статус водного объекта. По результатам имитационного моделирования воздействий на двух разных имитационных моделях выявлено изменение среднегодовых и сезонных значений интегральных показателей продукционной способности, качества и токсического загрязнения вод. Важным результатом явилось выявление сезонных и пространственных особенностей рассмотренных системных эффектов. Показано увеличение интегральных показателей продукционной способности вод на 17,9% (модель М2) в весенне-летний период при имитации антропогенного эвтрофирования и поступления токсиканта, а также рост интегрального показателя качества воды в летний период на 68,4% (модель М1) в эксперименте с увеличением фона мутности до 40 мг/л.

Экспериментально доказан переход системы в другой класс трофности (из мезотрофного в эвтрофный) в летний период при увеличении фона мутности (М1); в эксперименте с имитацией антропогенного эвтрофирования и поступления токсиканта (М2) – в зимний период. Переход системы в другой класс качества вод (из загрязненных в умеренно загрязненные) отмечен в эксперименте с М2 в осенний период. Этими экспериментами доказан сезонный эффект изменения классов продуктивности и качества воды в водоеме и в проточной водной экосистеме.

В результате анализа полученных значений традиционных статистических индексов (индекса Нэша – Сатклиффа, индекса Тейла), которые были использованы для выявления изменения поведения компонентов системы и системных свойств после оказанного воздействия, было получено, что некоторые подсистемы (или компоненты) можно охарактеризовать как более чувствительные или наоборот – инвариантные, т.е. часто остающиеся неизменными по отношению к воздействию определенного типа на водную экосистему. В экспериментах к инвариантным компонентам (в которых отмечены минимальные изменения), согласно критерию Тейла, можно отнести: $N_{общ}$, $N\text{-}NO_3$ по модели М1.

При имитации поступления докритических концентраций токсиканта в речные воды (М2), согласно критериям Нэша – Сатклиффа и Тейла, такими компонентами являются: первичное звено трофической цепи – фитопланктон, компоненты РОВ ($N\text{-}N_{орг}$), взвешенное органическое вещество (детрит). Но во всех случаях это зависит от величины и специфики воздействия на экосистему. По-видимому, некоторые системные параметры являются более чувствительными к внешним воздействиям, чем другие. Показано, что разные системные трансформации проявляются с разной скоростью или требуют разного времени для формирования отклика на воздействие.

Следующими шагами исследования допустимости/недопустимости антропогенного воздействия на водную экосистему и выявления значений параметров, характеризующих необратимость процесса на основе имитационного моделирования и построения композитных индексов системных свойств будет выявление критических значений факторов, при которых системы при заданных климатических условиях и внешних воздействиях на длительное время или безвозвратно переходят в соседние классы состояния (продуктивности, качества и токсического загрязнения воды), а также других эмерджентных свойств системы. Для этого необходима реализация вариантов моделирования водных экосистем, соответствующих выбранным климатическим условиям и сценариям внешнего воздействия.

Исследования выполнялись при поддержке грантов РФФИ № 19-05-00683А; 18-05-60291 «Арктика».

Список литературы / References

1. Владимирова О.М., Еремина Т.Р., Исаева А.В., Рябченко В.А., Савчук О.П. Исследование влияния растворенного органического вещества на первичную продукцию на основе модели SPBEM-2 // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ: сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета, 2020. С. 316–317.

Vladimirova O.M., Eremina T.R., Isaev A.V., Ryabchenko V.A., Savchuk O.P. Study of the influence of dissolved organic matter on primary production based on the SPBEM-2 model // Modern problems of hydrometeorology and environmental monitoring in the CIS: sbornik tezisov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta, 2020. P. 316–317 (in Russian).

2. Meier H.E.M., Placke M., Neumann T., Brunnabend S.E., Frauen C., Friedland R., Kniebusch M., Edman M.K., Eilola K.J., Andersson H.C., Dieterich C., Gröger M., Gustafsson B.G., Gustafsson E., Müller-Karulis B., Savchuk O.P., Isaev A., Ryabchenko V., Kuznetsov I., Omstedt A., Saraiva S. Assessment of eutrophication abatement scenarios the Baltic Sea by multi-model ensemble simulations. Frontiers in marine science. 2018. № 5. 440 p. DOI: 10.3389/fmars.2018.00440.

3. Филатов Н.Н. Диагноз и прогноз термогидродинамики и экосистем великих озер России. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2019. 251 с.

Filatov N.N. Diagnosis and forecast of thermohydrodynamics and ecosystems of the great lakes of Russia. Petrozavodsk: KarNTS RAN, 2019. 251 p. (in Russian).

4. Третьяков В.Ю., Свердлова О.А. Моделирование динамики токсиканта в биоценозе экосистемы проточного водоема // Метеорологический вестник. 2016. № 2. С. 42.

Tretyakov V.Yu., Sverdlova O.A. Simulation of toxicant dynamics in biocenosis of an abstract flowing water reservoir ecosystem // Meteorologicheskiy vestnik. 2016. № 2. P. 42 (in Russian).

5. Цхай А.А., Агейков В.Ю. Моделирование изменения уровня эвтрофирования водохранилища на основе воспроизведения биохимических циклов // Водные ресурсы. 2020. С. 105–113. DOI: 10.31857/S0321059620010149.

Tskhai A.A., Ageikov V.Yu. Simulating variations in reservoir eutrophication level by reproducing biogeochemical cycles // Vodnyye resursy. 2020. P. 105–113 (in Russian). DOI: 10.31857/S0321059620010149.

6. Brousmichea D., Occellia F., Geninb M., Cunya D., Derama A., Lanier C. Spatialized composite indices to evaluate environmental health inequalities: Meeting the challenge of selecting relevant variables. Ecological Indicators. 2020. № 111. P. 16. DOI: 10.1016/j.ecolind.2019.106023.

7. Седова С.А., Дмитриев В.В. Разработка методики интегральной оценки экологического статуса водоемов на примере малых озер северо-западного Приладожья // European journal of natural history. 2020. № 1. С. 37–44.

Sedova S.A., Dmitriev V.V. Development of a methodology for the integrated assessment of the ecological status of water bodies on the example of small lakes in the northwestern Ladoga // European journal of natural history. 2020. № 1. P. 37–44 (in Russian).

8. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Седова С.А., Алексеева А.А., Байжанова К.К., Грига С.А., Кислина А.Е. Интегральная оценка устойчивости наземных ландшафтов от балльных оценок к композитным индексам на основе территориальных детерминант // Успехи современного естествознания. 2020. № 2. С. 45–53. DOI: 10.17513/use.37330.

Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N., Sedova S.A., Alekseeva A.A., Bayzhanova K.K., Griga S.A., Kislina A.E. Integral assessment of the stability of ground landscapes: from score assessments to composite indices based on territorial determinants // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2020. № 2. P. 45–53 (in Russian). DOI: 10.17513/use.37330.

9. Lausch A., Blaschke T., Haase D., Herzog F., Syrbe R.-U., Tischendorf L., et al. Understanding and quantifying landscape structure – A review on relevant process characteristics, data models and landscape metrics Ecological Modelling. 2015. № 295. P. 31–41. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.08.018.

10. Nash J., Sutcliffe J. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. Journal of hydrology. 1970. P. 282–290. DOI: 10.1016/0022-1694(70)90255-6.

11. Krause P., Boyle D.P., Bäse F. Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. Advances in Geosciences. 2005. P. 89–97. DOI: 10.5194/ADGEO-5-89-2005.

12. Булдовская О.Р. Трансформация соединений фосфора в пресноводных экосистемах: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Москва, 1998. 29 с.

Buldovskaya O.R. Transformation of phosphorus compounds in freshwater ecosystems: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. Moskva, 1998. 29 p. (in Russian).

13. Измайлова А.В., Расулова А.М., Шмакова В.Ю. Выделение озер, обладающих уникальными свойствами, статистическими методами // Гидрометеорология и экология. 2021. № 62. С. 27–51. DOI: 10.33933/2074-2762-2021-62-27-51.

Izmailova A.V., Rasulova A.M., Shmakova V.Yu. Identification of lakes with unique properties using statistical methods // Gidrometeorologiya i ekologiya. 2021. № 62. P. 27–51 (in Russian). DOI: 10.33933/2074-2762-2021-62-27-51.

14. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б. Расширение области применения критериев типа Граббса, используемых при отбраковке аномальных измерений // Измерительная техника. 2005. № 6. С. 13–19.

Lemeshko B.Yu., Lemeshko S.B. Extending the application of grubbs-type tests in rejecting anomalous measurements // Izmeritel'naya tekhnika. 2005. № 6. P. 13–19 (in Russian).

15. Седова С.А., Дмитриев В.В. Использование композитных индексов для исследования адекватности моделей водных экосистем и оценки воздействия на них // European journal of natural history. 2020. № 5. С. 12–19.

Sedova S.A., Dmitriev V.V. Using composite indices to study the adequacy of aquatic ecosystem models and assess the impact on them // European journal of natural history. 2020. № 5. P. 12–19 (in Russian).

УДК 622.24:658.3:621.646

АНАЛИЗ ТЕПЛОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НЕФТЕПРОВОДА НА ГРУНТЫ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Томарева И.А., Омаров Т.О., Голубитченко К.В.

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», Институт архитектуры и строительства, Волгоград, e-mail: inestom@bk.ru

Обеспечение надежности нефтепроводов, проложенных в зоне Арктического шельфа, требует комплексного подхода, в том числе и на этапе их проектирования. Особого внимания заслуживает тепловое воздействие на мерзлый грунт, оказываемое трубопроводом во время его эксплуатации. Определение возникающих напряжений при изменении пространственного положения нефтепроводов является задачей актуальной, позволяющей еще на проектной стадии с достаточной точностью оценить напряженно-деформированное состояние морских трубопроводов. В данной работе проведен анализ напряженно-деформированного состояния трубопровода на примере нефтепровода, эксплуатируемого на шельфе Печорского моря. Для моделирования изменений пространственного положения нефтепровода вследствие теплового воздействия на мерзлый грунт было выбрано программное обеспечение от компании Itasca Consulting Group, Inc. – FLAC 3D. Это позволило наглядно продемонстрировать взаимодействие грунта и трубопровода в заданных условиях и получить численное значение ореола протаивания грунта. В качестве критерия оценки напряженно-деформированного состояния стенки трубопровода рассматривалась величина эквивалентного напряжения по четвертой теории прочности. Эквивалентные напряжения рассчитывались с учетом изменения высотного положения нефтепровода под влиянием изменения температуры перекачиваемого продукта от 5 °C до 20 °C. Были получены графические зависимости изменения эквивалентных напряжений по верхней и нижней образующей трубопровода от изменения температуры перекачиваемого продукта, что позволило сделать вывод о преобладании сжимающих напряжений над растягивающими. Полученные результаты позволяют рекомендовать данную методику определения возникающих напряжений при изменении пространственного положения нефтепроводов вследствие их теплового взаимодействия с мерзлым грунтом Арктического шельфа на проектной стадии. В свою очередь, это поможет принять правильные конструктивные решения во избежание возможных деформаций трубопроводов.

Ключевые слова: надежность, морской трубопровод, арктический шельф, методы оценки напряженно-деформированного состояния, тепловое воздействие, напряжение, мерзлый грунт, протаивание

THERMAL IMPACT ANALYSIS OF THE PIPELINE ON ARCTIC SHELF SOILS

Tomareva I.A., Omarov T.O., Golubitchenko K.V.

Volgograd State Technical University, Institute of architecture and construction, Volgograd, e-mail: inestom@bk.ru

Ensuring the reliability of oil pipelines laid in the Arctic Shelf zone requires an integrated approach, including at the design stage. Of particular note is the thermal impact on the frozen soil exerted by the pipeline during its operation. Determination of arising stresses at change of spatial position of oil pipelines is an actual task, which allows to estimate stress-strain state of offshore pipelines with sufficient accuracy at the design stage. In this work, the stress-strain state of the pipeline was analyzed using the example of an oil pipeline operated on the shelf of the Pechora Sea. Software from Itasca Consulting Group, Inc. – FLAC 3D was selected to simulate changes in the pipeline's spatial position due to thermal effects on frozen soil. This made it possible to clearly demonstrate the interaction of soil and pipeline under the specified conditions and obtain a numerical value of the soil pouring halo. As a criterion for evaluating the stress-strain state of the pipeline wall, the value of equivalent stress according to the fourth theory of strength was considered. Equivalent voltages were calculated taking into account the change in the height position of the pipeline under the influence of a change in the temperature of the pumped product from 5 °C to 20 °C. Graphical dependencies were obtained on the change of equivalent stresses along the upper and lower generatrix of the pipeline from the change in the temperature of the pumped product, which made it possible to conclude that compressive stresses prevail over tensile ones. The obtained results make it possible to recommend this method of determining the arising stresses when the spatial position of oil pipelines changes due to their thermal interaction with the frozen soil of the Arctic Shelf at the design stage. In turn, this will help to make the right design decisions to avoid possible deformation of pipelines.

Keywords: reliability, offshore pipeline, arctic shelf, methods of stress-strain state estimation, thermal impact, stress, frozen soil, thawing

Развитие мировой энергетики, в том числе российской, немыслимо без освоения северных морей, Арктического шельфа. Транспортировка добытых углеводородов в условиях сложных гидрологических, геологических, климатических условий – одна из важнейших задач, стоящих перед нефтегазодобывающими компаниями. Для реализации этих планов необходимо создание инфраструктуры, включающей подводные трубопроводы.

Во время эксплуатации морских нефтепроводов, уложенных на шельфе северных морей, возникает проблема в обеспечении их надежности, которая состоит в том, что трубопроводы теряют свою устойчивость вследствие теплового воздействия на окружающие грунты. В субаквальных много-

летнемерзлых породах (СММП) происходят изменения в характере протекания процессов «протаивание – промерзание», что приводит к продольным и поперечным перемещениям нефтепроводов. Изменение положения нефтепровода приводит к увеличению напряжений, возникающих в стенке трубы. А это, в свою очередь, может привести к деформации трубопровода [1].

Целью исследования является анализ напряжений в стенке нефтепровода вследствие изменения его высотного положения под влиянием температурного фактора.

Материалы и методы исследования

В настоящее время определение остаточного ресурса трубопровода производят по предельному уровню напряжений в его стенке, равному пределу текучести материала трубы [2, 3]. Согласно четвертой теории прочности, для оценки напряженно-деформированного состояния стенки трубопровода предлагаем рассмотреть величину эквивалентного напряжения $\sigma_{экв}$ [4, 5]:

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_{кц}^2 + \sigma_{пр}^2 - \sigma_{кц} \cdot \sigma_{пр}}, \qquad (1)$$

приняв во внимание, что при определении величины продольных напряжений в стенке трубы будем учитывать не только температурные изменения, но и изменение положения трубопровода по высоте [5]:

$$\sigma_{пр} = \nu \cdot \sigma_{кц} - E\alpha\Delta t \pm \frac{ED}{2} \cdot \frac{\partial^2 W(x;\tau)}{\partial x^2}, \qquad (2)$$

где $W(x; \tau)$ – изменение высотного положения трубопровода в сечении x в момент времени τ.

Максимальное кольцевое напряжение, вызванное давлением продукта, не должно превышать меньшего из двух значений:

$$\sigma_{кц} = F_T \cdot \sigma_T;$$

$$\sigma_{кц} = F_B \cdot \sigma_B, \qquad (3)$$

где σ_T – нормативный минимальный предел текучести (НМПТ); σ_B – нормативный минимальный предел прочности (НМПП); F_T и F_B – расчетные коэффициенты для кольцевого напряжения по НМПТ.

В работе используется метод моделирования условий и анализ полученных результатов.

Для определения величины ореола протаивания в заданных условиях предлагается применить программное обеспечение от компании Itasca Consulting Group, Inc. – FLAC 3D. Задача моделирования состоит в наглядной демонстрации взаимодействия грунта и трубопровода при эксплуатации последнего в условиях Арктического шельфа.

Согласно СП 25.13330.2012 «Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах», СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы» в качестве расчетной схемы принята модель трубопровода подземного способа прокладки без использования анкеров с хомутами и термоохладителей [2] (рис. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве объекта исследования рассматривается морской нефтепровод на шельфе Печорского моря. Характеристики нефтепровода и исходные данные для расчета его напряженно-деформированного состояния представлены в табл. 1.

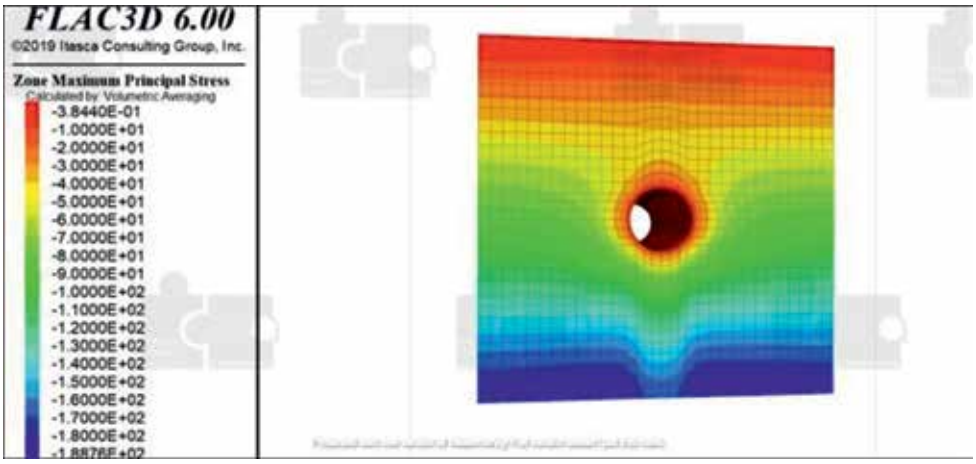


Рис. 1. Расчетная схема трубопровода

Таблица 1

Исходные данные для расчета напряженного состояния и устойчивости нефтепровода

Наименование	Обозначение	Значение	Размерные ед.
1.1. Диаметр трубопровода	$D_н$	1000	мм
1.2. Толщина стенки трубопровода	δ	10	мм
2. Рабочее давление в трубопроводе	P	4	МПа
3. Предел прочности стали (временное сопротивление разрыву)	$σ_{вр}$	510	МПа
4. Предел текучести стали	$σ_т$	400	МПа
5. Коэффициент надежности по нагрузке	y_f	1.2	
6. Коэффициент условий работы трубопровода	$y_с$	0.75	
7. Коэффициент надежности по материалу	y_m	1.34	
8. Коэффициент надежности по назначению трубопровода	y_n	1	
9. Коэффициент несущей способности трубопровода	η	1	
10. Коэффициент надежности по нагрузке от веса давления грунта	$y_{гр}$	0.8	
11. Среднегодовая температура перекачиваемого продукта в процессе эксплуатации	$t_э$	5	°C
12. Минимальная температура, при которой фиксируется расчетная схема трубопровода (захлест)	$t_{захл–}$	-30	°C
13. Максимальная температура, при которой фиксируется расчетная схема трубопровода (захлест)	$t_{захл+}$	40	°C
14. Плотность стали	$ρ_{ст}$	7850	кг/м^3
15. Модуль упругости стали	E	206000	МПа
16. Коэффициент линейного расширения металла трубы (сталь)	α	0.000012	град$^{-1}$
17. Коэффициент Пуассона	μ	0.4	
18. Плотность перекачиваемого продукта	$ρ_{прод}$	860	кг/м^3

Таблица 2

Характеристики грунта

Физико-механические свойства грунтов (по материалам инженерных изысканий):	Обозначение	Значение	Размерные ед.
1. Плотность грунта, кг/м^3	$ρ_{гр}$	2000	кг/м^3
2. Угол внутреннего трения грунта, град	$w_{гр}$	16	град
3. Сцепление грунта, Па	$c_{гр}$	48000	Па
4. Коэффициент постели грунта при сжатии, МН/м^3	k_0	5	МН/м^3

На дне Печорского моря в ходе инженерно-геологических изысканий, включая геокриологические исследования, были обнаружены современные и реликтовые горизонты мерзлых пород, преимущественно это грунт дисперсный, связный, осадочный, минеральный (табл. 2). Мощность СММП составляет 20–30 м и более [6].

Ниже представлены результаты расчета нефтепровода для двух случаев: при температуре грунта -2 °C и при температуре грунта -8 °C. На рис. 2 и 3 изображены зоны протаивания грунта вследствие теплового воздействия нефтепровода на него.

Анализируя полученные результаты, можем сделать вывод, что при среднегодовой температуре перекачиваемого продукта в процессе эксплуатации ($t_э$ = 5 °C), ореол протаивания при температуре грунта -2 °C составляет около 14 м, а при температуре грунта -8 °C – около 4 м. Так как изменение высотного положения при температуре грунта -8 °C незначительно вли-

яет на напряжения, возникающие в стенке трубы, то для дальнейших расчетов будем рассматривать грунт с температурой -2 °С.

Далее были произведены расчеты напряжений, возникающих в стенке подводного трубопровода вследствие изменения его высотного положения, под влиянием изменения температуры перекачиваемого продукта от 5 °С до 20 °С. Полученные результаты отражены в табл. 3 и на рис. 4 и 5.

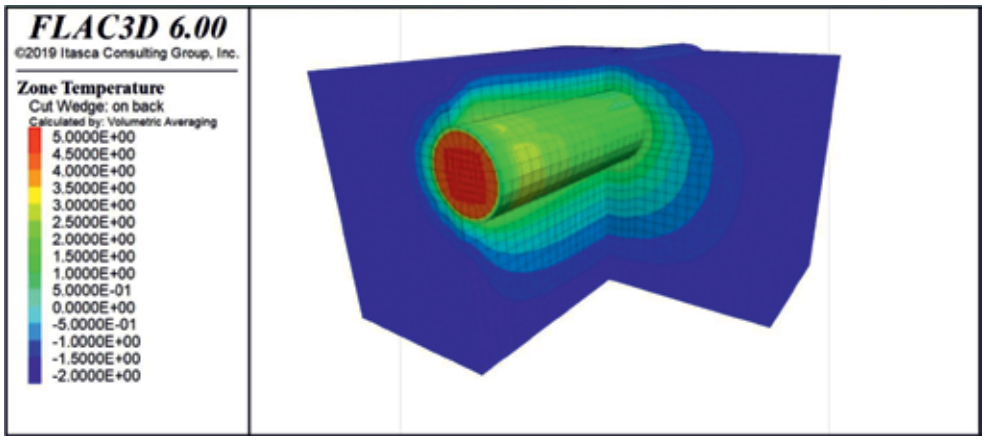


Рис. 2. Зоны протаивания при температуре грунта -2 °С, температуры нефтепровода 5 °С

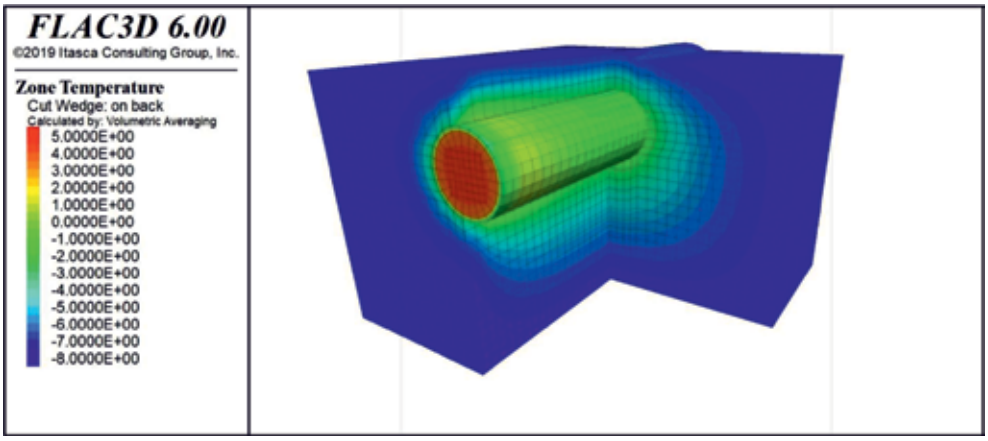


Рис. 3. Зоны протаивания при температуре грунта -8 °С, температуры нефтепровода 5 °С

Таблица 3

Напряжения в стенке нефтепровода при изменении температуры перекачиваемого продукта

Температура T, °C/K	Продольное напряжение по верхней образующей $\sigma_{пр}$, МПа	Эквивалентное напряжение по верхней образующей $\sigma_{эк}$, МПа	Продольное напряжение по нижней образующей $\sigma_{пр}$, МПа	Эквивалентное напряжение по нижней образующей $\sigma_{экв}$, МПа
5/278	170,23	347,27	-141,00	224,50
10/283	174,48	350,61	-145,33	225,46
15/288	178,73	353,93	-149,59	226,39
20/293	182,99	357,27	-153,85	227,40

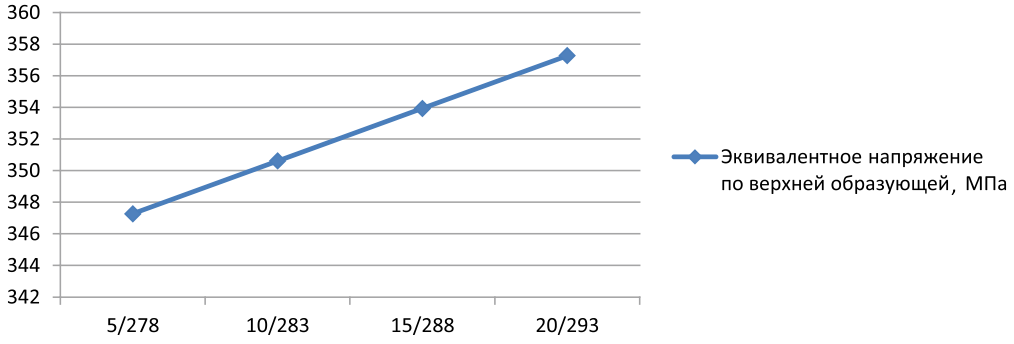


Рис. 4. Изменение эквивалентного напряжения по верхней образующей нефтепровода

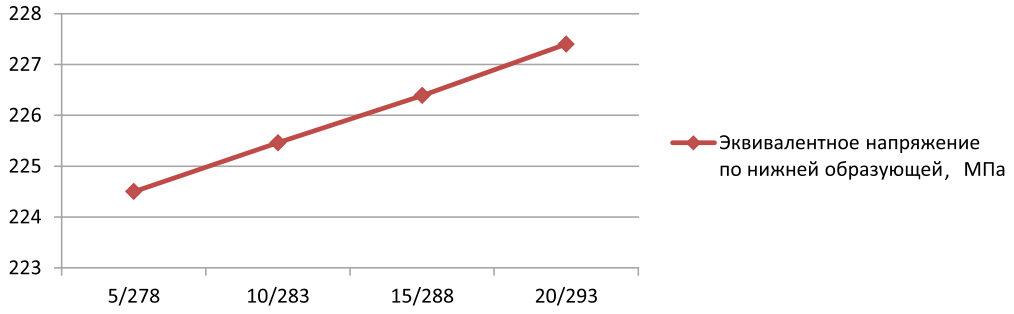


Рис. 5. Изменение эквивалентного напряжения по нижней образующей нефтепровода

Заключение

Согласно произведенным расчетам наблюдаются изменения эквивалентных напряжений: по нижней образующей изменения незначительны ($\Delta\sigma_{экв} = 2{,}9$ МПа), по верхней образующей изменения происходят с большей амплитудой ($\Delta\sigma_{экв} = 10{,}27$ МПа). Следовательно, можно сделать следующие выводы: в нефтепроводе, эксплуатируемом на Арктическом шельфе, при изменении его высотного положения вследствие температурного воздействия на СММП (протаивание), преобладают сжимающие напряжения.

Полученные результаты позволяют рекомендовать применение данной методики определения возникающих напряжений в нефтепроводе на проектной стадии, что поможет принять необходимые конструктивные решения при проектировании и строительстве трубопроводов и избежать возможных деформаций в процессе их эксплуатации.

Список литературы / References

1. Долганов В.А., Адамия Д.Д., Томарева И.А. Инновационные технологии строительства нефте- и газопроводов в вечномерзлых грунтах // Инженерный вестник Дона. 2021. № 5. [Электронный ресурс]. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6958. pdf (дата обращения: 10.05.2021).

Dolganov V.A., Adamia D.D., Tomareva I.A. Innovative technologies for the construction of oil and gas pipelines in permafrost soils // Inzhenernyy vestnik Dona. 2021. № 5. [Electronic Resource]. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2021/6958. pdf (date of access: 10.05.2021) (in Russian).

2. Идрисова Я.Р. Обеспечение безопасной эксплуатации магистральных нефте- и нефтепродуктопроводов на участках многолетнемерзлых грунтов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2015. 22 с.

Idrisova Y.R. Ensuring safe operation of main oil and oil product pipelines in areas of permafrost soils: avtoref. dis.... cand. tekhn. nauk. Ufa, 2015. 22 p. (in Russian).

3. Димов Л.А., Димов И.Л. О выборе способа прокладки нефтепроводов при строительстве на многолетнемерзлых грунтах // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2014. № 5. С. 29–32.

Dimov L.A., Dimov I.L. On the choice of the method of laying oil pipelines during construction on permafrost soils // Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov. 2014. № 5. P. 29–32 (in Russian).

4. Мансуров М.Н., Лаптева Т.И., Никитин Б.А. Эксплуатационная надежность морских трубопроводов в транзитной зоне арктического шельфа // Деловой журнал Neftegaz.ru. 2017. № 5. С. 14–20.

Mansurov M.N., Lapteva T.I., Nikitin B.A. Operational reliability of offshore pipelines in the transit zone of the Arctic shelf // Delovoy zhurnal Neftegaz.ru. 2017. № 5. P. 14–20 (in Russian).

5. Лаптева Т.И. Разработка методов обеспечения работоспособности морских нефтегазопроводов в сложных инженерно-геологических условиях Арктического шельфа: дис. … докт. техн. наук. Москва, 2019. 257 с.

Lapteva T.I. Development of methods for ensuring the operability of offshore oil and gas pipelines in complex engineering and geological conditions of the Arctic shelf: dis. ... dokt. tekh. nauk. Moskva, 2019. 257 p. (in Russian).

6. Погребицкий Ю.Е. Геологическая природа Арктики // Арктика на пороге третьего тысячелетия. СПб.: Наука, 2000. С. 91–104.

Pogrebitsky Yu.E. Geological nature of the Arctic // Arktika na poroge tret'yego tysyacheletiya. SPb.: Nauka, 2000. P. 91–104 (in Russian).

УДК 553.3:550.343

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМОСВЯЗИ ГЕОМАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ, ПОЛУЧЕННЫХ ПО ДАННЫМ СПУТНИКА MAGSAT, С ГИПОЦЕНТРАМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Харитонов А.Л.

ФГБУН «Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова» Российской академии наук, Москва, e-mail: ahariton@izmiran.ru

Наблюдаемое на низкоорбитальном искусственном спутнике Земли MAGSAT геомагнитное поле является суммарным отражением различных детерминированных и случайных физических процессов и природных явлений, происходящих в различных геофизических слоях Земли (магнитосфера, ионосфера, мантия, внешнее ядро). Цель данной статьи – показать наличие определенной взаимосвязи геомагнитных аномалий, измеренных на низкоорбитальном искусственном спутнике Земли, и гипоцентров землетрясений. Наличие такой связи может позволить разработать методику прогноза землетрясений. Для разработки методики прогноза землетрясений и связанных с ними электромагнитных эффектов, возникающих в пределах сейсмоактивных тектонических разломов земной коры, по данным искусственных спутников Земли, необходимо разделить влияние различных физических процессов, отражающихся в измеряемом на спутнике геомагнитном поле. Тектонические напряжения возникают при относительных перемещениях соседних тектонических блоков земной коры. Часть этих относительных напряжений тектонических блоков возникает не внезапно, в момент разрыва, а нарастает постепенно в течение длительного периода времени. Это явление и дает возможность проследить во времени влияние накопления упругих напряжений во временных измерениях аномального магнитного поля, измеренного на низкоорбитальном искусственном спутнике Земли, так как накопление упругих напряжений – часть общего относительного перемещения крупных тектонических блоков земной коры и верхней мантии. В результате использования спутниковых геомагнитных данных выявлены субвертикальные электромагнитные неоднородности, которые коррелируют с географическим расположением разломных тектонических сейсмоактивных структур. Разрабатываемая технология с использованием спутникового мониторинга ортогональных составляющих геомагнитного поля может быть применена для прогнозирования аварийных ситуаций на важных технических объектах (железнодорожные линии, гидроэлектростанции) для предотвращения экологических катастроф.

Ключевые слова: геомагнитное поле, искусственный спутник Земли, тектонические разломы, землетрясения

RESULTS OF STUDYING THE RELATIONSHIP OF GEOMAGNETIC ANOMALIES OBTAINED FROM THE MAGSAT SATELLITE DATA WITH EARTHQUAKE HYPOCENTERS

Kharitonov A.L.

Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: ahariton@izmiran.ru

The geomagnetic field observed on the “MAGSAT” low-orbit artificial satellite of the Earth is a total reflection of various deterministic and random physical processes and natural phenomena occurring in various layers of the Earth (magnetosphere, ionosphere, mantle, outer core). The purpose of this article is to show the presence of a certain relationship between geomagnetic anomalies measured on a low – orbit artificial satellite of the Earth and earthquake hypocenters. The presence of such a link may allow us to develop a methodology for predicting earthquakes. To develop a methodology for predicting earthquakes and related electromagnetic effects that occur within seismically active tectonic faults of the earth’s crust, according to artificial earth satellites, it is necessary to separate the influence of various physical processes reflected in the geomagnetic field measured on the satellite. Tectonic stresses arise from the relative movements of neighboring tectonic blocks of the earth’s crust. Part of these relative stresses of tectonic blocks does not occur suddenly, at the moment of rupture, but increases gradually over a long period of time. This phenomenon makes it possible to trace in time the influence of the accumulation of elastic stresses in time measurements of the anomalous magnetic field on the low-orbit artificial satellite of the Earth, since the accumulation of elastic stresses is part of the total relative movement of large tectonic blocks of the Earth’s crust and upper mantle. As a result of the use of satellite geomagnetic data, subvertical electromagnetic inhomogeneities have been identified, which correlate with the geographical location of fault tectonic seismically active structures. The developed technology using satellite monitoring of orthogonal components of the geomagnetic field can be used to predict emergency situations at important technical facilities (railway lines, hydroelectric power plants) to prevent environmental disasters.

Keywords: geomagnetic field, artificial satellite of the Earth, tectonic faults, earthquakes

Для выделения по спутниковым геомагнитным данным очагов сейсмической активности, сейсмоактивных разломных структур на момент полета низкоорбитального искусственного спутника Земли MAGSAT, для прогноза возможных тектонических деформаций и движений земной коры требуется предварительное, последовательное исключение составляющих этого поля, связанных с более глубокими

электромагнитными процессами во внешнем ядре и мантии Земли с помощью сферического гармонического [1, с. 852; 2, с. 4] и вейвлет-анализа [3, с. 382] или источников, расположенных на больших расстояниях вне поверхности геоида Земли, а именно в магнитосфере, ионосфере, атмосфере (влияние электромагнитных эффектов суббурь) [4, с. 61; 5, с. 8], с помощью метода естественных ортогональных составляющих [1, с. 853]. Поэтому анализ компонент Za, Xa, Ya аномального магнитного поля, измеренных нами по спутниковым данным MAGSAT, выполнялся после удаления значений главного магнитного поля, значений магнитосферного кольцевого тока и значений ионосферного тренда по специальной методике [3, с. 383; 4, с. 61; 5, с. 9]. Основные физические процессы, с которыми в настоящее время найдены в спутниковом геомагнитном поле определенные зависимости: физические процессы во внешнем ядре Земли [1, с. 854], в магнитосфере, в межпланетном магнитном поле (ММП) [4, с. 62], случайные во времени и пространстве физические явления типа сильных землетрясений [6, с. 718; 7, с. 125], суммарная энергия которых экспоненциально возрастала за последние 300 лет (рис. 1), а также процессы активизации сети тектонических разломов в земной коре [8, с. 123; 9, с. 51], тонкие локальные процессы в ионосфере и магнитосфере Земли [4, с. 62; 5, с. 11].

Для того чтобы разработать методику прогноза землетрясений (и выделения связанных с ними сейсмоактивных тектонических разломов) с использованием низкоорбитальных космических аппаратов, необходимо к анализу спутникового геомагнитного поля подойти с позиций общей классификации физических процессов и сначала разделить измеренное геомагнитное поле на две основные части: детерминированную и случайную [3, с. 382]. К детерминированной периодической части спутникового геомагнитного поля можно отнести составляющую, связанную с глобальными процессами, происходящими в ядре Земли, и которые могут быть представлены с помощью сферического гармонического ряда (рис. 2).

Другая детерминированная периодическая часть спутникового геомагнитного поля связана с периодическими физическими процессами, происходящими в магнитосферном кольцевом слое [4, с. 63].

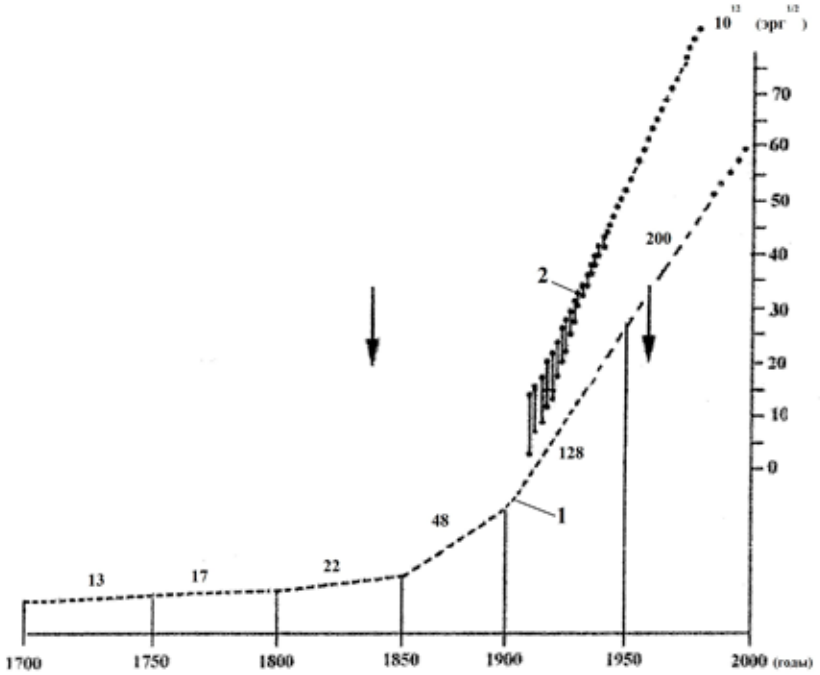


Рис. 1. 1 – количество сильных землетрясений, произошедших в каждом 50-летнем временном интервале, начиная с 1700 и до 2000 года; 2 – график экспоненциального роста суммарной энергии сильных землетрясений. Стрелками отмечены временные периоды вулканической активизации земных недр

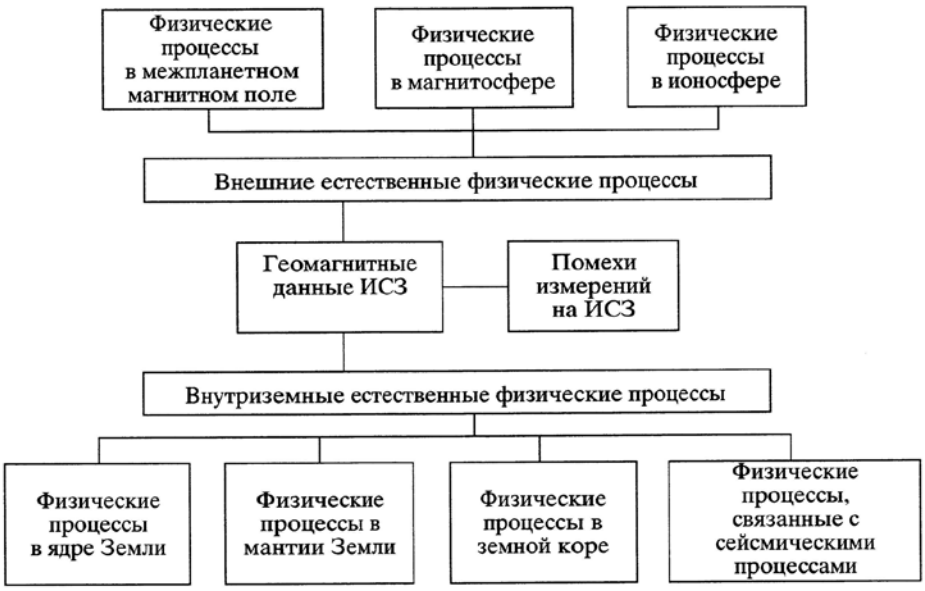


Рис. 2. Схема классификации физических процессов и природных явлений, вызывающих эффекты в измеряемом геомагнитном поле на низкоорбитальном искусственном спутнике Земли

Материал и методы исследования

Современное представление о разломной тектонике основано на теории новой глобальной тектоники и кинематических движениях литосферных плит [9, с. 51], в результате чего на стыке этих плит возникают механические и электромагнитные [10, с. 57] напряжения, приводящие к резким сбросо-сдвиговым подвижкам земной коры, вызывающим землетрясения. Причем большинство геофизиков интересует не просто выделение крупных тектонических разломов, уже частично нанесенных на геологические карты во многих развитых странах и даже частично на дне океанов (рис. 3).

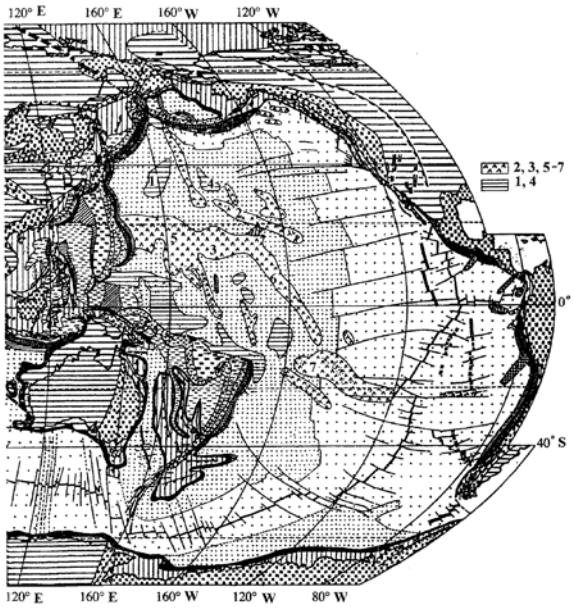


Рис. 3. Карта тектонического строения Тихоокеанского региона с субширотными региональными тектоническими разломами. Тихоокеанские поднятия: 1 – Шатского, 2 – Гавайское, 3 – Срединно-океаническое, 4 – Хесса, 5 – Маркуса, 6 – Линии-15, 7 – Туамоту, 8 – субширотные региональные тектонические разломы (Молокаи, Мендосино, Пионер и др.)

Всех, кто занимается прогнозом землетрясений с использованием спутниковых геомагнитных данных, в первую очередь интересуют, конечно же, сейсмоактивные разломы земной коры, проявляющие себя в момент проведения спутниковой магнитной съемки, как это показано на рисунке 4.

При сильных подвижках верхнего слоя земной коры тектонические разломы могут привести к некоторым разрушениям техногенных сооружений в результате землетрясений (рис. 5), подобно тому, как это произошло на территории Бурятии (M=5.5).

На основании положений теории упругости можно сделать вывод, что поиск способов выделения таких сейсмоактивных зон связан с разработкой методов обнаружения и выделения упругих напряжений земной коры или других физических процессов, корреляционно с ними связанных [10, с. 62]. Один из путей – использование измерений полей напряжений земной коры, предваряющих тектонические подвижки почвы. В случае измерения геомагнитного поля это часто бывает связано с анизотропией магнитной восприимчивости горных пород за счет возникновения пьезомагнитного эффекта. При напряжениях, возникающих накануне землетрясения, около 100 бар и при обычной намагниченности горных пород 10^{-3} СГС могут возникать локальные изменения намагниченности 10^{-5} СГС. Это создает на поверхности Земли сейсмомагнитные аномалии амплитудой 10-20 нТл и даже подводные электромагнитные аномалии [10, с. 67], а также электромагнитные аномалии в высокопроводящем ионосферном слое [5, с. 11].

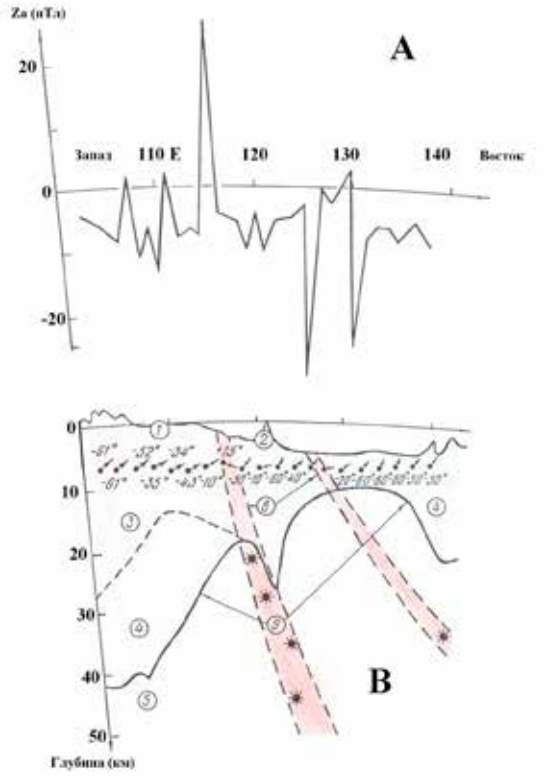


Рис. 4. Корреляционная связь спутниковых аномалий геомагнитного поля с сейсмоактивными тектоническими разломами земной коры (пунктирные линии) и связанных с ними гипоцентров землетрясений, проявляющаяся на широтном профиле, построенном по данным ИСЗ «MAGSAT». A: аномальное геомагнитное поле – Za, измеренное (в нанотеслах) над сейсмоактивными тектоническими разломами; B: 1 – поверхность Земли; 2 – расположение островной вулканической зоны, отделяющей глубоководную часть Тихого океана от его шельфовых морей; 3 – «гранитный» слой земной коры; 4 – «базальтовый» слой земной коры; 5 – верхнемантийный слой; 7 – стрелками показано направление аномального геомагнитного наклонения; 8 – тектонические разломы с расположенными в их пределах гипоцентрами землетрясений; 9 – расположение глубинной границы Мохоровичича; звездочками отмечено положение гипоцентров землетрясений в период работы на орбите спутника MAGSAT

Рис. 5. Пример повреждения железнодорожных путей после сильного землетрясения

Результаты исследования и их обсуждение

Для выделения сейсмоактивных разломов с нарушением стратиграфических границ внутри литосферных плит были построены по спутниковым геомагнитным данным (MAGSAT) цифровые карты сейсмоактивных тектонических структур с секторной структурой 1 x 1 градус. Был проведен сравнительный анализ построенной спутниковой цифровой карты электромагнитных линиаментов – линейных электромагнитных структур (рис. 6) с графическими схемами сейсмоактивных тектонических разломов (рис. 7) и некоторых других тектонических границ этого региона Тихого океана, выделенных по гидромагнитным и наземным геологическим данным [3, с. 383].

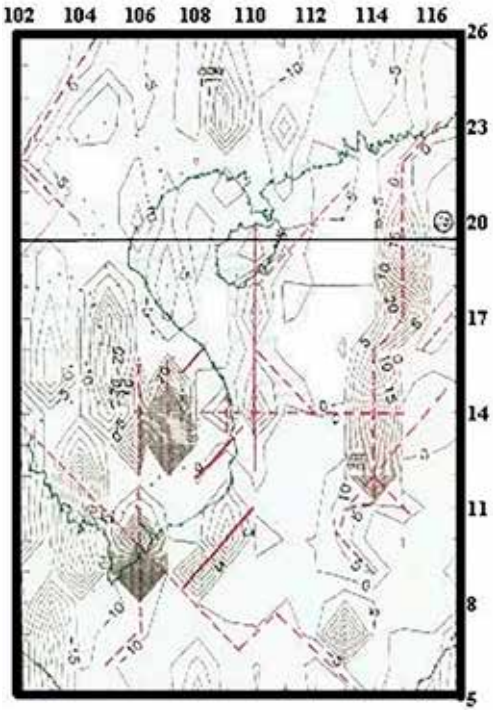


Рис. 6. Карта спутниковых электромагнитных линиаментов (линейных электромагнитных структур), ассоциируемых с сейсмоактивными тектоническими разломами, по данным спутника MAGSAT, построенная для юго-западной части Тихоокеанского региона. Горизонтальная ось – значения восточной долготы (в градусах); вертикальная ось – значения северной широты (в градусах)

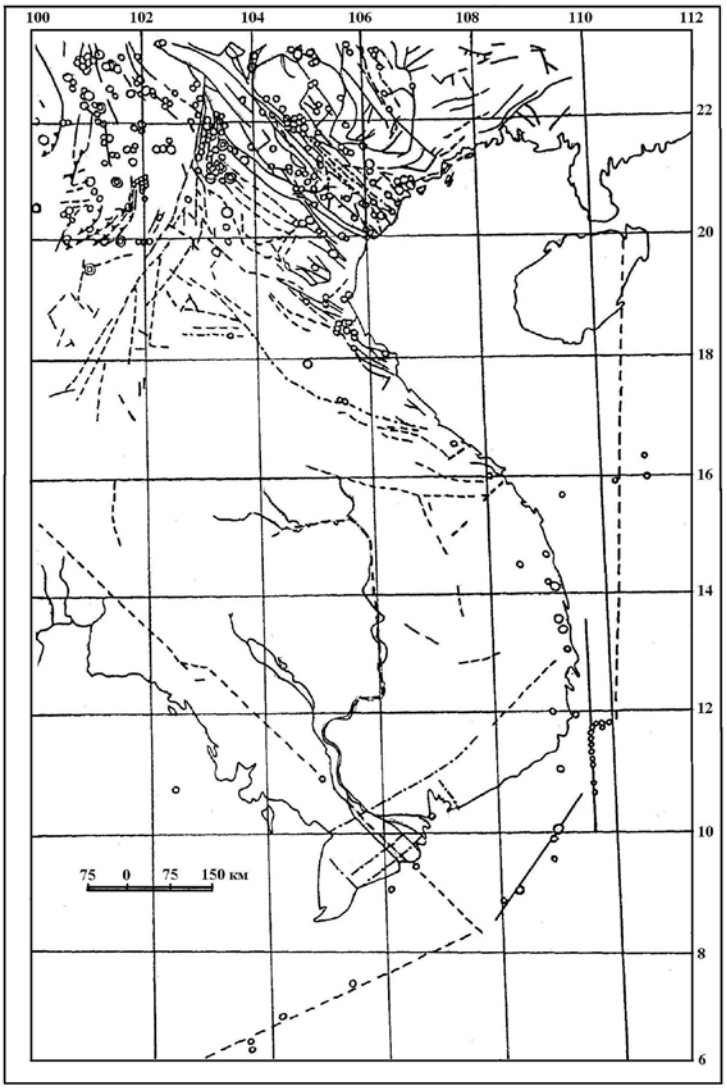


Рис. 7. Карта сейсмоактивных разломных тектонических структур по наземным геолого-геофизическим данным (сплошные линии – по геологическим данным, пунктирные линии – по геомагнитным и гравитационным данным). Окружностями обозначены эпицентры землетрясений, произошедшие в период проведения геомагнитной съемки ИСЗ MAGSAT, которые в основном привязаны к сейсмоактивным разломным тектоническим структурам

Известно, что все тектонические разломы являются каналами для постоянно текущих электрических токов между блоками земной коры различной эффективной намагниченности (и соответственно диэлектрической проницаемости) слагающих их горных пород. Поэтому линейные участки построенной нами цифровой спутниковой карты линейных электромагнитных структур в юго-западной части Тихоокеанского региона можно считать сейсмоактивными частями тектонических разломов, проявивших себя в период проведения съемки геомагнитного поля с помощью низкоорбитального искусственного спутника Земли MAGSAT.

Заключение

Хорошее соответствие результатов геофизической интерпретации данных спутниковой карты аномального геомагнитного поля (ИСЗ MAGSAT) с наземными сейсмологическими и тектоническими данными позволяет указать на имеющуюся отчетливую связь аномального геомагнитного поля, измеренного на ИСЗ MAGSAT, с гипоцентрами землетрясений и сейсмоактивными разломными структурами литосферы.

Список литературы / Reference

1. Оганесян А.С., Симонян А.О. Шахпаронян С.Р. Моделирование земного магнитного поля с учетом существования геомагнитных джерков // Геомагнетизм и аэрономия. 2014. Т. 44. № 6. С. 849-856.

Oganesyan A S., Simonyan A.O. Shakhparonyan S.R. Modeling of the Earth's magnetic field taking into account the existence of geomagnetic jerks // Geomagnetizm i aeronomiya. 2014. Vol. 44. № 6. P. 849-856. (in Russian).

2. Харшиладзе А.Ф., Иванов К.Г. Секторный сферический гармонический анализ магнитного поля // Геомагнетизм и аэрономия. 2013. Т. 43. №. 1. С. 3-7.

Kharshiladze A.F., Ivanov K.G. Sector spherical harmonic analysis of the Solar magnetic field // Geomagnetizm i aeronomiya. 2013. Vol. 43. № 1. P. 3-7. (in Russian).

3. Харитонов А.Л. Результаты математической обработки геомагнитных данных, измеренных со спутников «MAGSAT», «CHAMP» над регионом Восточно-Европейской платформы // Структура, вещественный состав, свойства, современная геодинамика и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов: материалы XXII Всероссийской с международным участием научно-практической Щукинской конференции. Воронеж, 2020. С. 381-385.

Kharitonov A.L. Results of mathematical processing of geomagnetic data measured from the «MAGSAT» and «CHAMP» satellites over the Eastern European Platform region // Structure, material composition, properties, modern geodynamics and seismicity of platform territories and adjacent regions: materials of the XXII All-Russian Scientific and Practical Shchukin Conference with International Participation. Voronezh, 2020. P. 381-385. (in Russian).

4. Левитин А.Е., Громова Л.И., Громов С.В., Дремухина Л.А. Геомагнитная активность в полярной шапке при значительной северной вертикальной компоненте ММП // "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XXXV Annual Seminar, Appatity, 2012. С. 59-63.

Levitin A.E., Gromova L.I., Gromov S.V., Dremukhina L.A. Geomagnetic activity in the polar cap with a significant northern vertical component of the IMP // "Physics of Auroral Phenomena", Proc. XXXV Annual Seminar, Apatity, 2012. P. 59-63. (in Russian).

5. Ружин Ю.Я. Эффекты в ионосфере вызванные восходом Солнца в магнитосопряженном полушарии // Всероссийские открытые Армандовские чтения. Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн: материалы Всероссийской открытой научной конференции. Муромский институт ФГБОУ ВО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых». Муром, 2020. С. 7-12.

Ruzhin Y.Y. Effects in the ionosphere caused by sunrise in the magnetically coupled hemisphere // All-Russian Open Armand readings. Modern problems of remote sensing, radar, wave propagation and diffraction. Materials of the All-Russian Open Scientific Conference. Murom Institute of the Vladimir State University named after A.G. and N.G. Stoletov. Murom. 2020. P. 7-12. (in Russian).

6. Труонг К.Х., Во Т.С., Михайлов Ю.М., Харитонов А.Л., Капустина О.В. ОНЧ – электромагнитный фон в сейсмоактивном регионе Северного Вьетнама // Геомагнетизм и аэрономия. 2010. Т. 50. № 5. С. 717-720.

Truong K.K., Vo T.S., Mikhailov Y.M., Kharitonov A.L., Kapustina O.V. VLF – electromagnetic background in the seismoactive area of Northern Vietnam // Geomagnetizm i aeronomiya. 2010. vol. 50. № 5. P. 717-720. (in Russian).

7. Сывороткин В.Л. Землетрясения // Пространство и время. 2011. Т. 2. № 4. С. 124-130.

Syvorotkin V.L. Earthquakes // Space and time. 2011. Vol. 2. № 4. P. 124-130. (in Russian).

8. Стогний В.В., Стогний Г.А., Любимова Т.В. Геоэкологические риски территории Краснодарского края: проблема интегральной оценки степени геологических опасностей // Геология и геофизика юга России. 2021. Т. 11. № 1. С. 121-133.

Stogniy V.V., Stogniy G.A., Lyubimova T.V. Geoecological risks of the territory of the Krasnodar territory: the problem of integral assessment of the degree of geological hazards // Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 11. No.1. P. 121-133. (in Russian).

9. Гаврилов С.В. Волны в вязком течении глинки трения в разломе как механизм квазипрерывистого режима послеледникового поднятия // Геофизические исследования. 2011. Т. 12. № 3. С. 49-54.

Gavrilov S.V. Waves in the viscous flow of the frictional clay in the fault as a mechanism of the rupture-like regime of postglacial rebound // Geofizicheskie issledovaniya. 2011. Vol. 12. № 3. P. 49-54. (in Russian).

10. Коротаев С.М., Буднев Н.М., Сердюк В.О., Киктенко Е.О., Орехова Д.А. Новые результаты Байкальского эксперимента по прогностическому эффекту макроскопических нелокальных корреляций // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2019. № 4(85). С. 56-72.

Korotaev S.M., Budnev N.M., Serdyuk V.O., Kiktenko E.O., Orekhova D.A. New results of the Baikal experiment on the prognostic effect of macroscopic nonlocal correlations // Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. 2019. № 4(85). P. 56-72. (in Russian).