УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 11 2021

ISSN 1681-7494

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380 **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 – 0,791.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380.

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 – 30.11.2021
Дата выхода номера – 30.12.2021

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. 19,5
Тираж – 1000 экз.
Заказ. УСЕ/11-2021
Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)

СТАТЬИ

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ С ОТКРЫТОЙ И ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИИ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Гладинов А.Н., Коновалова Е.В., Содбоева С.Ч. *7*

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИДЕЙ И ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПОЧВОЗАЩИТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Грошева О.А. *13*

БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖЁЛТОСЕМЯННЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОГО РАПСА BRASSICA NAPUS L.

Маркелова Н.Г., Карпачев В.В. *19*

РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО УНИЧТОЖЕНИЮ КУСТАРНИКОВ КАРАГАНЫ

Уманова Н.Д., Давлятов У.Р., Омуров Ж.М. *26*

Науки о Земле (25.00.00)

СТАТЬИ

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА УРАВНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВТОРНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ, ВЫПОЛНЯЕМОГО НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ

Волков В.И., Волков Н.В., Волкова Т.Н. *32*

РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ ОТТАИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Галкин А.Ф. *38*

ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ LANDSAT-8 ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛАНДШАФТОВ В ПРЕДЕЛАХ БАХЧИСАРАЙСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ КРЫМ (НА ПРИМЕРЕ РАСЧЕТА ЗНАЧЕНИЙ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI И ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ (LST))

Горбунов Р.В., Табунщик В.А., Андрончик Я.О. *43*

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ И ФИТОМАССЫ ФАЦИЙ ЦАГАН-ЧОЛОТУЙСКОГО ПОЛИГОН-ТРАНСЕКТА ОНОН-АРГУНСКОЙ СТЕПИ

Дубынина С.С. *51*

ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕБЕРДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ БИОСФЕРНЫЙ ЗАПОВЕДНИК

Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Окрут С.В., Безгина Ю.А., Халикова В.А. *58*

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}CS И ^{90}SR В КОМПОНЕНТАХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Кайгородов Р.В. *64*

СОДЕРЖАНИЕ ГЛАВНЫХ ИОНОВ В РЕКЕ ЧЕРЕК ОТ ЕГО ИСТОКА ДО ВЫХОДА В ПРЕДГОРНУЮ ЗОНУ (КБР)

Керимов А.М., Курашева О.А. *70*

БИОГЕОХИМИЯ СЕРЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО УРОЧИЩА ПЫМВАШОР

Кокрятская Н.М., Титова К.В., Вахрамеева Е.А., Попов С.С. *75*

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ТОРФЯНИКЕ НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Лукошкова А.А., Яковлев Е.Ю., Орлов А.С., Кудрявцева А.А., Дружинин С.В. 83

РАНГОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ СУБЪЕКТОВ УРАЛА И СИБИРИ

Мазуркин П.М. 89

АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ НИЗКООМНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ПОМОЩЬЮ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ ОТЛОЖЕНИЙ СУРГУТСКОГО СВОДА

Никитин И.А. 96

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕР ГОРОДА ЯКУТСКА ДЛЯ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Николаев А.А., Архипов И.В. 106

РОЛЬ И МЕСТО МУНИЦИПАЛИТЕТОВ В СИСТЕМЕ МЕСТНЫХ ОРГАНОВ САМОУПРАВЛЕНИЯ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Османова Х.М. 114

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Поморцев О.А., Поморцева А.А. 119

ТИПОЛОГИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ ПО СТЕПЕНИ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОЦЕССА ГЛОБАЛЬНОЙ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Сафиуллин Р.Г. 126

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УЛИЧНОЙ ПЫЛИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА С РАЗМЕЩЕНИЕМ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. МЕЖДУРЕЧЕНСКА, КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛ.)

Таловская А.В., Осипова Н.А., Язиков Е.Г., Осипов К.Ю., Сапрунова И.А., Чурина С.С. 132

КВАНТИЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСТРЕМУМОВ ОСАДКОВ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Ташилова А.А. 138

ГАЛОФИТ АСТРА СОЛОНЧАКОВАЯ (*ASTER TRIPOLIUM* L.) – ГИПЕРАККУМУЛЯТОР FE, NI, PB НА ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ (П. РАБОЧЕОСТРОВСК)

Теребова Е.Н., Павлова М.А. 144

АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ И АССОЦИАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРСПЕКТИВНОЙ БЕРЕЗОВСКОЙ ПЛОЩАДИ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ (КЕМСКИЙ ТЕРРЕЙН, СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС)

Шевырев С.Л., Горобейко Е.В. 151

CONTENTS

Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)

ARTICLES

RESULTS OF A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF SCOTTAL PINE SEEDLINGS WITH OPEN AND CLOSED ROOT SYSTEM UNDER ARTIFICIAL FOREST RECOVERY IN THE CONDITIONS OF WESTERN TRANSBAIKALIE

Gladinov A.N., Konovalova E.V., Sodboeva S.Ch. 7

DEVELOPMENT OF THEORETICAL IDEAS AND PRACTICAL METHODS OF SOIL-PROTECTIVE AGRICULTURE: DOMESTIC AND FOREIGN EXPERIENCE

Grosheva O.A. 13

BIOCHEMICAL ASSESSMENT OF YELLOW SPRING RAPE BRASSICA NAPUS L. SEED LINES

Markelova N.G., Karpachev V.V. 19

THE RESULTS OF THE CHEMICAL METHOD DURING EXPERIMENTAL WORK ON THE DESTRUCTION OF CARAGAN SHRUBS

Umanova N.D., Davlyatov U.R., Omurov J.M. 26

Earth sciences (25.00.00)

ARTICLES

SEARCH FOR THE OPTIMAL WAY OF MATHEMATICAL COMPENSATION THE RESULTS OF RE-LEVELING PERFORMED ON GEODYNAMIC POLYGONS

Volkov V.I., Volkov N.V., Volkova T.N. 32

CALCULATION OF THE DEPTH OF THAWING OF ROCKS IN UNDERGROUND STRUCTURES OF THE CRYOLITHOZONE

Galkin A.F. 38

APPLICATION OF LANDSAT-8 SATELLITE IMAGES FOR MONITORING LANDSCAPES WITHIN THE BAKHCHISARAI DISTRICT OF THE REPUBLIC OF CRIMEA (USING THE EXAMPLE OF CALCULATING NDVI AND LST)

Gorbunov R.V., Tabunschik V.A., Andronchik Ya.O. 43

TRACE ELEMENT COMPOSITION OF CHESTNUT SOILS AND PHYTOMASS FACIES OF THE TSAGAN-CHOLOTUYSKY POLYGON-TRANSECT OF THE ONON-ARGUN STEPPE

Dubynina S.S. 51

ASSESSMENT OF RECREATION LOAD ON THE TEBERDIN STATE NATURAL BIOSPHERE RESERVE

Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Okrut S.V., Bezgina Yu.A., Khalikova V.A. 58

DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES ^{137}CS AND ^{90}SR IN COMPONENTS OF AQUATIC ECOSYSTEMS IN THE TYUMEN REGION

Kaygorodov R.V. 64

CONTENT OF THE MAIN IONS IN THE CHEREK RIVER FROM ITS SOURCE TO THE EXIT TO THE FOOTHILL ZONE (KBR)

Kerimov A.M., Kurasheva O.A. 70

BIOGEOCHEMISTRY OF SULFUR IN WATER BODIES OF THE PYMVASHOR HYDROTHERMAL TREATMENT

Kokryatskaya N.M., Titova K.V., Vakhrameeva E.A., Popov S.S. 75

VERTICAL DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES AND PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS IN THE PEAT OF THE NENETS AUTONOMOUS OKRUG

Lukoshkova A.A., Yakovlev E.Yu., Orlov A.S., Kudryavtseva A.A., Druzhinin S.V. 83

RANK DISTRIBUTIONS AND RELATIONS BETWEEN THE PARAMETERS OF POPULATION LIFE IN THE URALS AND SIBERIA

Mazurkin P.M. 89

ANALYSIS OF GEOPHYSICAL DATA OF LOW RESISTIVITY RESERVOIRS USING THE STATISTICAL PARAMETER OF THE DOUBLE ELECTRIC LAYER OF DEPOSITS OF THE SURGUT ARCH

Nikitin I.A. 96

ECOLOGICAL CONDITION OF YAKUTSK LAKES FOR TOURIST AND RECREATIONAL USE

Nikolaev A.A., Arkhipov I.V. 106

THE ROLE AND PLACE OF MUNICIPALITIES IN THE SYSTEM OF LOCAL SELF-GOVERNMENT BODIES IN AZERBAIJAN

Osmanova Kh.M. 114

NUMERICAL MODELING THE CLIMATE CENTRAL YAKUTIA

Pomortsev O.A., Pomortseva A.A. 119

TYPOLOGY OF RUSSIAN REGIONS ACCORDING TO THE DEGREE OF DEPENDENCE ON THE PROCESS OF GLOBAL DECARBONIZATION OF THE ECONOMY

Safiullin R.G. 126

DISTRIBUTION OF RARE AND RARE-EARTH ELEMENTS IN STREET DUST WITHIN TOWN IMPACTED BY COAL PRODUCER INDUSTRY (AS AN EXAMPLE OF MEZHDURECHENSK, KEMEROVO REGION)

Talovskaya A.V., Osipova N.A., Yazikov E.G., Osipov K.Yu., Saprunova I.A., Churina S.S. 132

QUANTILE ANALYSIS OF PRECIPITATION EXTREMES IN THE SOUTH OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

Tashilova A.A. 138

THE HALOPHYTE *ASTER TRIPOLIUM* L. IS A HYPERACCUMULATOR OF FE, NI, PB ON THE LITTORAL OF THE WHITE SEA

Terebova E.N., Pavlova M.A. 144

ANALYSIS OF GEOCHEMICAL DATA AND CHEMICAL ELEMENTS ASSOCIATIONS OF PROSPECTIVE BEREZOVSKY AREA (KEMA TERRAIN, SIKHOTE-ALIN FOLDED BELT)

Shevyrev S.L., Gorobeyko E.V. 151

СТАТЬИ

УДК 630*232.22

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ С ОТКРЫТОЙ И ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ ПРИ ИСКУССТВЕННОМ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИИ В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Гладинов А.Н., Коновалова Е.В., Содбоева С.Ч.

ФГБОУ ВО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р. Филиппова», Улан-Удэ, e-mail: gladinov@mail.ru

В статье рассматриваются результаты исследования особенностей использования сеянцев сосны обыкновенной с закрытой (ЗКС) и открытой корневой системой (ОКС) при искусственном лесовосстановлении в природных условиях Западного Забайкалья. Актуальность темы обусловлена необходимостью перехода от использования посадочного материала с ОКС к посадочному материалу с ЗКС. Переход к использованию посадочного материала с ЗКС подразумевает решение многих вопросов, связанных как с выращиванием сеянцев, так и с отработкой технологии их посадки, которая должна быть приближена к особенностям природных условий района посадок. Несоответствие технологий выращивания и посадки сеянцев местным природным условиям может привести к отрицательным результатам. В ходе исследования проведена оценка приживаемости лесных культур, созданных разными видами сеянцев, а также определены их биометрические показатели. Результаты исследования показали, что согласно проценту приживаемости лесные культуры, созданные обоими видами сеянцев, нуждаются в дополнении. При этом приживаемость у сеянцев с ЗКС оказалась выше, чем у сеянцев с ОКС. Приживаемость сеянцев с ЗКС составляет 69%, приживаемость с ОКС – 59,8%. Хотя, по сведениям некоторых авторов, приживаемость сеянцев с ЗКС может достигать 100%. Визуальный осмотр сеянцев в рядах на лесокультурной площади показал отсутствие годового прироста у сеянцев с ЗКС и закручивание главного корня из-за его неправильного развития в ячейке кассеты. По биометрическим показателям (высота, масса, диаметр шейки ствола) сеянцы с ОКС значительно опережают сеянцы с ЗКС. Все это указывает на необходимость проведения дальнейших исследований особенностей применения сеянцев с ЗКС при искусственном лесовосстановлении в условиях Западного Забайкалья.

Ключевые слова: искусственное лесовосстановление, сеянцы сосны обыкновенной, закрытая и открытая корневая система, сравнительные результаты, Западное Забайкалье

RESULTS OF A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF SCOTTAL PINE SEEDLINGS WITH OPEN AND CLOSED ROOT SYSTEM UNDER ARTIFICIAL FOREST RECOVERY IN THE CONDITIONS OF WESTERN TRANSBAIKALIE

Gladinov A.N., Konovalova E.V., Sodboeva S.Ch.

Buryat State Akademy of Agriculture named V.R. Filippov, Ulan-Ude, e-mail: gladinov@mail.ru

The article discusses the results of a study of the peculiarities of using Scots pine seedlings with closed (CRS) and open root systems (ORS) during artificial reforestation in the natural conditions of Western Transbaikalie. The relevance of the topic is due to the need to switch from using planting material with ORS to planting material with CRS. The transition to the use of planting material with CRS implies the solution of many issues related to both the cultivation of seedlings and the development of their planting technology, which should be close to the peculiarities of the natural conditions of the planting area. Inconsistency of technologies for growing and planting seedlings to local natural conditions can lead to negative results. In the course of the study, an assessment of the survival rate of forest cultures created by different types of seedlings was carried out, as well as their biometric indicators were determined. The results of the study showed that, according to the survival rate, forest cultures created by both types of seedlings need to be supplemented. At the same time, the survival rate in seedlings with CRS was higher than in seedlings with ORS. The survival rate of seedlings with CRS is 69%, the survival rate of seedlings with ORS is 59.8%. Although, according to some authors, the survival rate of seedlings with CRS can reach 100%. Visual inspection of seedlings in rows on a silvicultural area showed the absence of annual growth in seedlings with CRS and twisting of the main root due to its abnormal development in the cell of the cassette. In terms of biometric parameters (height, weight, trunk neck diameter), seedlings with ORS are significantly ahead of seedlings with CRS. All this indicates the need for further research on the features of the use of seedlings with CRS in artificial reforestation in the conditions of Western Transbaikalie.

Keywords: artificial reforestation, Scots pine seedlings, closed and open root system, comparative results, Western Transbaikalie

Традиционно искусственное лесовосстановление сеянцами сосны обыкновенной в условиях Западного Забайкалья проводится посадочным материалом с открытой корневой системой. В данном случае технология лесовосстановления отработана годами. Сеянцы выращиваются в питомниках и высаживаются под меч Колесова по нарезанным плугом ПКЛ-70 бороздам. Приживаемость, за редким исключением, достаточно высока. Однако процесс посадки сеянцев с ОКС ограничен по времени – это весна сразу после схода снега и до наступления раннелетней засухи, а также осень. Если

не уложиться в оптимальные по климатическим условиям сроки посадки сеянцев, результат приживаемости культур может оказаться низким. В отличие от ОКС сеянцы с ЗКС можно высаживать в течение всего вегетационного периода. Это увеличивает потенциальные площади, на которых может быть проведено лесовосстановление в течение одного сезона [1, 2].

Согласно новым требованиям с 1 января 2022 г. 20% посадочного материала, используемого при лесовосстановлении, должно быть с закрытой корневой системой (ЗКС) [3]. Это требует, во-первых, отработки технологии выращивания сеянцев с ЗКС кассетным способом в условиях закрытого грунта. Во-вторых, отработки посадки сеянцев с ЗКС, с обеспечением высокой приживаемости и сохранности в разнообразных и достаточно суровых почвенно-климатических условиях районов Западного Забайкалья. Исследований по определению эффективности лесовосстановления с использованием сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС в условиях Западного Забайкалья еще не проводилось.

Теоретически применение ЗКС должно дать лучшие результаты по приживаемости, чем ОКС, так как корни сеянца в данном случае заключены в ком плодородной земли, защищающей их от иссушения и обеспечивающей элементами питания. Однако на практике результаты могут оказаться неоднозначными. Согласно отзывам многочисленных авторов, технология выращивания и посадки сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой имеет ряд особенностей, которые необходимо учитывать. Это и размер ячейки кассеты (в первую очередь высота ячейки, которая влияет на правильность формирования корня), и состав применяемого почвогрунта, и своевременность подкормки удобрениями. Большое значение имеют природно-климатические условия и особенности посадки сеянца [4, 5]. Все это напрямую влияет на приживаемость и дальнейшую сохранность сеянцев с ЗКС. Простой перенос западных технологий посадки сеянцев с ЗКС может не дать положительных результатов [6, с. 15]. При несоответствии технологии производства лесных культур сеянцами с ЗКС местным природным условиям результат может оказаться хуже, чем с традиционным использованием сеянцев с ОКС, о чем имеются сообщения ряда авторов. Это делает актуальным проведение сравнительного исследования использования сеянцев с ЗКС и ОКС при искусственном лесовосстановлении.

Цель исследования – определить эффективность и особенности использования сеянцев сосны обыкновенной с открытой и закрытой корневой системой при искусственном лесовосстановлении в условиях Западного Забайкалья.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являются лесные культуры сосны обыкновенной, созданные сеянцами с ОКС и ЗКС, выращенными в условиях закрытого грунта. Сеянцы с ОКС выращивались в грядках с ручным десятистрочным посевом. Сеянцы с ЗКС выращивались в кассетах с высотой ячейки 8 см. В теплицах обеспечивался соответствующий микроклимат.

Посадки проводились в сентябре 2020 г. на площади 40,2 га в квартале 189 Илькинского участкового лесничества Заиграевского лесничества Республики Бурятия. Территория лесничества относится к Байкальскому горному лесному району Южно-Сибирской горной лесорастительной зоны. Главная порода – сосна обыкновенная, лесные культуры – сплошные. Лесокультурная площадь представлена гарями десятилетней давности. Подготовка почвы (нарезка борозд) проводилась тракторами ТЛ-5АЛМ-01 и МТЗ-82 с плугом ПКЛ-70. Размещение борозд равномерное с расстоянием между бороздами 3,5 м, шаг посадки с ОКС – 0,7 м., с ЗКС – 1 м. Сеянцы с ОКС высаживались под меч Колесова, с ЗКС – при помощи посадочной трубы.

Климат района исследования резко континентальный, с суровой и продолжительной зимой, большой среднегодовой и среднесуточной амплитудой колебания температур. Средняя температура января -25 °С (абс. мин. -46,8 °С). Устойчивый снежный покров образуется во второй половине ноября и местами достигает 15–20 см. Таяние снежного покрова происходит во второй половине марта – начале апреля. Весенний период (апрель – май) характеризуется сильными ветрами, малооблачной погодой с положительными температурами днем и возможными заморозками ночью. В конце мая – июне наблюдается самая низкая относительная влажность воздуха в течение года и минимальное количество осадков. Высокие дневные температуры, наличие в это время года сильных ветров в сочетании с недостаточным количеством осадков приводит к сильному иссушению почвы. Лето теплое, в первой половине засушливое, во второй – дождливое. Средняя температура июля выше +18 °С (абс. макс.

+36,8 °С). Наибольшее количество осадков выпадает в летнее время (август). Годовое количество осадков – 241 мм [7, с. 3]. Осень сухая, с малооблачной погодой, днем тепло, в ночное время возможны ранние заморозки (конец августа – начало сентября).

Почвы в районе исследования супесчаные, легкого мехсостава, подверженные ветровой и водной эрозии, с маломощным гумусовым горизонтом. Дно борозд представлено легкими суглинками.

Результаты исследования и их обсуждение

В течение первых двух лет критерием оценки успешности проведенного тем или иным способом процесса лесовосстановления является приживаемость, определяемая как отношение числа посадочных мест с живыми растениями к общему числу посадочных мест на лесокультурной площади. Оценка приживаемости проводилась согласно ГОСТ с заложением учетных отрезков.

Приживаемость сеянцев определялась закладкой учетных отрезков общей площадью 0,84 га на лесокультурных участках с сеянцами ЗКС и ОКС. Анализ результатов показал, что приживаемость сеянцев с ЗКС составляет 69 %, приживаемость с ОКС – 59,8 %. Исходя из полученных значений приживаемости, данные посадки требуют дополнения. В то же время по некоторым литературным источникам приживаемость сеянцев с ЗКС может достигать 100 %.

Рис. 1. Сеянец сосны обыкновенной с ЗКС

Внешний осмотр показывает неудовлетворительные результаты. У сеянцев с ЗКС не наблюдается годового прироста (рис. 1), при этом верхушечная почка заложена. На момент исследования они имеют почти такие же размеры, как и при посадке. Кроме того, визуальный осмотр показал, что у сеянцев не наблюдается роста главного корня.

При выкопке сеянцев, после разрушения прикорневого кома торфяного субстрата было обнаружено закручивание главного корня (рис. 2). Несмотря на то, что приживаемость у сеянцев с ЗКС выше, чем у сеянцев с ОКС, дальнейшее развитие данных растений находится под вопросом.

Рис. 2. Корневая система сеянца сосны обыкновенной с ЗКС

Первоначально торфяной субстрат обеспечивает хорошую приживаемость, но, находясь в верхнем пересохшем слое почвы, при высыхании он может перестать пропускать капиллярную влагу. Этому способствует недостаточное количество осадков в момент высаживания сеянцев. Кроме того, закрученный главный корень остается в верхнем (20 см) слое почвы и не достигает глубоко расположенных влагообеспеченных слоев. Плохая влагообеспеченность в дальнейшем может увеличить отпад сеянцев.

В отличие от сеянцев с ЗКС сеянцы с ОКС имеют хорошо развитый главный корень, обеспечивающий растения влагой из более глубоко расположенных влажных суглинистых слоев почвы (рис. 3). В перспективе это обеспечит хорошую сохранность растений, однако в первый год у сеянцев с ОКС наблюдался большой отпад.

Рис. 3. Корневая система сеянцев сосны обыкновенной с ОКС

Наличие отдельных рядов с большим количеством погибших растений может указывать на нарушение технологии посадки. Кроме того, наблюдается замывание дна посадочных борозд слоем песка, который несут потоки воды, так как земли на лесокультурных площадях склоновые, эрозионно опасные. Соответственно, выше по склону наблюдается размывание дна борозд (рис. 4). Большой отпад сеянцев с ОКС зафиксирован именно в таких рядах.

Также в ходе исследования определялись биометрические показатели сеянцев: масса сеянца, диаметр прикорневой шейки ствола, высота сеянца, длина хвои и воздушно-сухой вес сеянцев (таблица).

Такие показатели, как масса и диаметр прикорневой шейки ствола, у сеянцев с ОКС в 2 раза превышают такие же показатели у сеянцев с ЗКС. Высота сеянцев с ОКС также почти в два раза превышает высоту сеянцев с ЗКС. Это различие было заложено изначально, так как сеянцы с ОКС в теплице росли в условиях конкуренции, что приводило к их вытягиванию. Сеянцы с ЗКС росли одиночно в ячейках кассеты, не испытывая конкуренции. В дальнейшем это различие усугубляется нормальным развитием корневой системы у сеянцев с ОКС, чего нельзя сказать о сеянцах с ЗКС. При этом длина хвои почти одинаковая, с превышением у ЗКС: 3,6 (ОКС) и 4,1 (ЗКС) см.

Биометрические показатели сеянцев с ОКС и ЗКС

Показатели	Сеянец с ОКС	Сеянец с ЗКС
Масса	2,48 ± 0,51 г	1,04 ± 0,48 г
Диаметр шейки	3,3 ± 0,06 мм	1,5 ± 0,03 мм
Высота	20,3 ± 0,18 см	11,5 ± 0,12 см
Длина хвои	3,6 ± 0,02 см	4,1 ± 0,03 см

Рис. 4. Последствия водной эрозии. Ряды сеянцев с ОКС

Таким образом, при гораздо более высоких показателях приживаемости сеянцы с ЗКС по биометрическим показателям значительно уступают сеянцам с ОКС. В дальнейшем сеянцы с ОКС могут показать более высокие темпы прироста, выдерживая конкуренцию с травянистой растительностью. Этому будет способствовать и нормально сформировавшаяся корневая система. Сеянцы с ЗКС, вероятно, будут отставать в своем развитии и в последующий год могут увеличить процент отпада из-за неправильно сформировавшейся корневой системы, так как закрученный главный корень не достигнет влагообеспеченных слоев почвы. Это требует дополнительных наблюдений с целью установления особенностей дальнейшего развития сеянцев с ЗКС в условиях Западного Забайкалья.

По результатам данного исследования можно указать на необходимость обеспечения правильного формирования главного корня у сеянцев с ЗКС, для чего следует использовать кассеты с более высокой ячейкой – до 11 см (при условии обеспечения нормального заглубления при посадке посадочной трубой). Следует также избегать высаживать сеянцы с ЗКС в засушливые периоды года (май – июнь), в противном случае пересохший ком торфяного субстрата не будет пропускать влагу. С целью устранения данного недостатка торфяной ком следует засыпать слоем почвы толщиной 1–2 см и плотно обжимать. У сеянцев с ОКС основной причиной отпада чаще всего бывает несоблюдение технологии посадки (образование воздушного кармана в прикорневой зоне и изгиб главного корня) наряду с использованием неодревеснев шего посадочного материала, на что также следует обращать особое внимание.

Заключение

Проведенные исследования показали, что приживаемость сеянцев сосны обыкновенной, как с ОКС, так и с ЗКС, на искусственно восстанавливаемой лесокультурной площади попадает в интервал 25–85 %, т.е. лесные культуры требуют дополнения. При этом приживаемость у сеянцев с ЗКС на 9,2 % выше, чем у сеянцев с ОКС. В данном случае более высокая приживаемость у сеянцев с ЗКС обеспечена наличием торфяного субстрата, богатого питательными элементами. В то же время большой отпад сеянцев с ОКС может быть обусловлен нарушением технологии посадки, а также последствиями водной эрозии почв.

Почти по всем биометрическим показателям (кроме длины хвои) сеянцы с ОКС опережают сеянцы с ЗКС примерно в два раза. По визуальным наблюдениям у сеянцев с ЗКС отсутствует годовой прирост, хотя верхушечная почка сформирована. Осмотр корней показал, что у сеянцев с ЗКС главный корень закручен из-за неправильного развития в ограниченном пространстве ячейки кассеты. В дальнейшем это может привести к увеличению отпада сеянцев с ЗКС, так как главный корень не растет вниз, а остается в поверхностном слое, где ощущается недостаток почвенной влаги. Это требует дальнейшего проведения исследований по установлению особенностей использования сеянцев сосны обыкновенной с ЗКС в условиях Западного Забайкалья, а также корректировке технологии их выращивания в условиях закрытого грунта и посадки на лесокультурных площадях.

Список литературы / References

1. Гоф А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В. Причины низкой приживаемости сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой в ленточных борах Алтая // Успехи современного естествознания. 2019. № 12–1. С. 9–13.

Gof A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V. The reasons for the low survival rate of Scots pine seedlings with a closed root system in the ribbon forests of Altai // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2019. № 12–1. P. 9–13 (in Russian).

2. Носников В.В. ЗКС: за и против // Лесное и охотничье хозяйство. 2008. № 4. [Электронный ресурс]. URL: https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/25497/1/Nosnikov_ZKS.pdf (дата обращения: 16.10.2021).

Nosnikov V.V. ZKS: pros and cons // Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo. 2008. № 4. [Electronic resource]. URL: https://elib.belstu.by/bitstream/123456789/25497/1/Nosnikov_ZKS.pdf (date of access: 16.10.2021) (in Russian).

3. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 4 декабря 2020 года № 1014 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений». [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/573123762 (дата обращения: 14.10.2021).

Order Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation dated December 4, 2020 No. 1014 «On approval of the Rules for reforestation, the composition of the reforestation project, the procedure for the development of the reforestation project and amendments to it». [Electronic resource]. URL: https://docs.cntd.ru/document/573123762 (date of access: 14.10.2021). (in Russian).

4. Бобринев В.П., Пак Л.Н. Эффективность выращивания лесных культур крупномерным посадочным материалом в Восточном Забайкалье // Известия ОГАУ. 2016. № 2 (58). С. 40–42.

Bobrinev V.P., Pak L.N. The efficiency of growing forest crops with large-sized planting material in eastern Transbaikalie // Izvestiya OGAU. 2016. № 2 (58). P. 40–42 (in Russian).

5. Гоф А.А., Жигулин Е.В., Залесов С.В., Оплетаев А.С. Опыт создания лесных культур сеянцами с закрытой корневой системой на гарях Алтайского края // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12 (90). Ч. 2. [Электронный ресурс]. URL: http://research-journal.org/agriculture/opyt-sozdaniya-lesnyx-kultur-seyancami-s-zakrytoj-kornevoj-sistemoj-na-garyax-altajskogo-kraya/ (дата обращения: 16.10.2021).

Gouf A.A., Zhigulin E.V., Zalesov S.V., Opletaev A.S. Experience in the creation of forest cultures by seedlings with a closed root system in the burnt-out areas of the Altai Territory // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2019. № 12 (90). Part 2 [Electronic resource]. URL: http://research-journal.org/agriculture/opyt-sozdaniya-lesnyx-kultur-seyancami-s-zakrytoj-kornevoj-sistemoj-na-garyax-altajskogo-kraya/ (date of access: 16.10.2021) (in Russian).

6. Грибов С.Е., Ганжа Н.В. Лесоводственно-экономическая оценка лесных культур, созданных различным видом посадочного материала // Молочнохозяйственный вестник. 2015. № 1 (17). [Электронный ресурс]. URL: https://molochnoe.ru/journal/sites/molochnoe.ru.journal/files/jrnl_publication/17-1-book-v1.pdf (дата обращения: 16.10.2021).

Gribov S.E., Ganzha N.V. Silvicultural and economic assessment of forest cultures created by various types of planting material // Molochnokhozyaystvennyy vestnik. 2015. № 1 (17). [Electronic resource]. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/lesovodstvenno-ekonomicheskaya-otsenka-lesnyh-kultur-sozdannyh-razlichnym-vidom-posadochnogo-materiala (date of access: 16.10.2021) (in Russian).

7. Заиграевский район. Схема территориального планирования. Том IV. Мероприятия по сохранению равновесия экологической среды. Пояснительная записка. Улан-Удэ, 2008. [Электронный ресурс]. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/ais/of1?id=3AE7E0F5FF7E3C4D99A6E4E575837F05 (дата обращения: 14.10.2021).

Zaigraevsky area. Spatial planning scheme. Volume IV. Measures to maintain the balance of the ecological environment. Explanatory note. Ulan-Ude, 2008. [Electronic resource]. URL: https://fgistp.economy.gov.ru/ais/of1?id=3AE7E0F5FF7E3C4D99A6E4E575837F05 (date of access: 14.10.2021) (in Russian).

УДК 631.5

РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИДЕЙ И ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПОЧВОЗАЩИТНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ: ОТЕЧЕСТВЕННЫЙ И ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ

Грошева О.А.

Институт степи Уральского отделения Российской академии наук – обособленное структурное подразделение ОФИЦ УрО РАН, Оренбург, e-mail: Groshev06@yandex.ru

В статье анализируется сложная эволюция теоретических идей и практических приемов основной обработки почвы под посев сельскохозяйственных культур с конца XVIII века до наших дней. Мировая практика показывает, что ученые-аграрии искали пути решения задачи обеспечения человечества продовольствием при условии нанесения природе минимального ущерба. Совершенствованием земледельческих технологий в России занимались ученые агрономы, почвоведы: А.Т. Болотов, И.А. Советов, В.В. Докучаев, П.А. Костычев, И.А. Стебут, В.Р. Вильямс, Н.М. Тулайков и многие другие. Революционный прорыв в земледелии связан с разработкой и применением на практике вспашки без оборота пласта. Пионером этого приема почвозащитной системы земледелия стал отечественный агроном И.Е. Овсинский. В дальнейшем работы по безотвальному рыхлению почвы были продолжены в США Э. Фолкнером, в России – Т.С. Мальцевым, А.И. Бараевым, А.И. Каштановым, В.И. Кирюшиным и др. Компоненты природосберегающего земледелия после катастрофических пыльных бурь на Великих равнинах североамериканского континента были детально изучены и внедрены в практику основной обработки почв пахотных угодий США, Канады, а с середины 90-х годов XX столетия успешно применялись в фермерских хозяйствах Аргентины, Бразилии, Перу, Австралии. В России процесс внедрения технологий mini-till и no-till идет более низкими темпами, чем за рубежом. Современные тенденции развития новых агротехнологий в мире связаны со снижением затрат энергии и труда на производство единицы продукции, уменьшением потерь влаги, гумуса и питательных веществ, увеличением микробиологической активности верхнего слоя почвы и повышением урожайности сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: почвозащитная система земледелия, И. Овсинский, Э. Фолкнер, минимальная обработка почвы, мировой опыт

DEVELOPMENT OF THEORETICAL IDEAS AND PRACTICAL METHODS OF SOIL-PROTECTIVE AGRICULTURE: DOMESTIC AND FOREIGN EXPERIENCE

Grosheva O.A.

Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences OFRC UB RAS, Orenburg, e-mail: Groshev06@yandex.ru

The article analyzes the complex evolution of theoretical ideas and practical methods of basic tillage for sowing agricultural crops from the end of the 18th century to the present day. World practice shows that agricultural scientists were looking for ways to solve the problem of providing mankind with food, subject to causing minimal damage to nature. The improvement of agricultural technologies in Russia was carried out by scientists agronomists, soil scientists: A.T. Bolotov, I.A. Soviets, V.V. Dokuchaev, P.A. Kostychev, I.A. Stebut, V.R. Williams, N.M. Tulaykov and many others. A revolutionary breakthrough in agriculture is associated with the development and practical application of plowing without seam turnover. The pioneer of this method of soil protection system of agriculture was the Russian agronomist I.E. Ovsinsky. Subsequently, work on loosening the soil without moldboard was continued in the USA by E. Faulkner, in Russia – by T.S. Maltsev, A.I. Baraev, A.I. Kashtanov, V.I. Kiryushin et al. After catastrophic dust storms in the Great Plains of the North American continent, the components of conservation agriculture were studied in detail and introduced into the practice of basic soil cultivation on arable lands in the USA and Canada, and since the mid-90s of the 20th century they have been successfully used in farms in Argentina and Brazil. Peru, Australia. In Russia, the process of introducing mini-till and no-till technologies is proceeding at a slower pace than abroad. Modern trends in the development of new agricultural technologies in the world are associated with a decrease in energy and labor costs for the production of a unit of production, a decrease in the loss of moisture, humus and nutrients, an increase in the microbiological activity of the upper soil layer and an increase in crop yields.

Keywords: soil protection system of agriculture, I. Ovsinsky, E. Faulkner, minimal tillage, world experience

Ресурсосбережение в настоящее время является одним из приоритетных направлений в развитии и функционировании всех отраслей современного сельскохозяйственного производства. В мировой практике земледелия уже не первое десятилетие разрабатываются и применяются различные почвозащитные приемы обработки почвы при возделывании и уборке сельскохозяйственных культур, однако до сих пор не создано универсальных технологий. Каждая из технологий (традиционная, минимальная, нулевая обработки и их комбинации) должна быть апробирована и адаптирована к местным региональным почвенно-климатическим условиям и биологическим особенностям, с включением мероприятий по защите природы.

Целью исследования является выявление особенностей эволюционного развития теории и практики отечественного и зарубежного почвозащитного земледелия.

Материалы и методы исследования

В качестве материала для исследования были использованы опубликованные научные работы отечественных и зарубежных естествоиспытателей, почвоведов, агрономов XIX–XX вв., а также современные источники, посвящённые развитию приёмов и методов почвозащитного земледелия. Основой для анализа стали труды российских и американских учёных и практиков. Анализ развития теоретических идей и практических приёмов почвозащитного земледелия проведён на основе сравнительно-исторического метода.

Результаты исследования и их обсуждение

История развития земледелия – это эволюционный процесс поиска решения главной проблемы человечества – обеспечение продовольствием. На протяжении столетий учёные-новаторы, энтузиасты, практики постоянно занимались усовершенствованием отвальной, безотвальной, минимальной и нулевой обработки под выращивание сельскохозяйственных культур. Однако развитие аграрных технологий не обеспечивало потребностей населения в продуктах питания. К началу XVIII века выход был найден. Британская сельскохозяйственная революция, на фоне развития капиталистических отношений, обеспечила к 1700–1870 годам прирост сельскохозяйственного производства в 2,7 раза.

Дальнейшее развитие европейской земледельческой традиции (Англия, Германия, Голландия) шло по пути совершенствования технологий использования отвального плуга с предплужником с последующим применением многократных обработок почвы. Усовершенствование конструкции плуга и введение других сельскохозяйственных орудий (сеялок) позволило на рубеже XVIII–XIX вв. получать стабильные урожаи и обеспечивать продовольствием население городов, тем самым поддерживая высокие темпы развития капиталистических отношений в ведущих странах Европы. Далее эта система земледелия была экспортирована «белыми» переселенцами на просторы Америки, Азии и Африки и также применялась российскими крестьянами для распашки степных пространств Украины, Поволжья, Сибири.

В целом эта система земледелия была трудо- и энергозатратна, но она оказалась идеальной для распашки целинных земель и позволяла получать максимальные урожаи в первые годы освоения земельного участка. При истощении участков русские крестьяне переходили на новые целинные площади, постепенно продвигаясь на юг и восток.

Несмотря на разработанные первыми отечественными учёными-агрономами – А.Т. Болотовым, М.И. Афониным, И.М. Комовым, М.Г. Павловым, М.Е. Ливановым В.А. Левшиным, В.Я. Ломиковским, Д.М. Полторацким, И.И. Самариным – практические рекомендации по внедрению ресурсосберегающих систем земледелия, прогресс в сельскохозяйственном производстве России «приживался» очень низкими темпами. Техническая отсталость крестьянских хозяйств, консервативность мышления не позволяли в полной мере использовать достижения науки того времени.

Сельское хозяйство России после отмены крепостного права и перевода сельскохозяйственного производства на капиталистические «рельсы» продолжало развиваться по экстенсивному пути за счёт увеличения площадей, хищнического отношения крестьян-переселенцев к земле и применения примитивных орудий обработки почвы. К этим факторам прибавились часто повторяющиеся засухи, что привело к экологическому кризису степной зоны конца XIX века: потере урожайности зерновых культур и почвенного плодородия, развитию эрозионных процессов и в конечном итоге к голоду в степных регионах России. Эти обстоятельства подталкивали к поиску нестандартных, новаторских решений по организации почвозащитного земледелия.

На рубеже XIX–XX веков целая плеяда отечественных учёных (А.В. Советов, В.В. Докучаев, И.А Стебут, П.А. Костычев, Н.М. Тулайков, В.Р. Вильямс и др.) занималась разработкой мероприятий, направленных на преодоление экологического кризиса степного природопользования, вопросами рационального «вписывания» хозяйствования в окружающий ландшафт, сохранения почвенных ресурсов и совершенствования способов обработки почвы. Их теоретические идеи и практические предложения были апробированы на полях НИИСХ, опытных станций, передовых совхозов и колхозов и реализованы в сталинском плане преобразования природы (1948–1953 гг.).

Так, профессор Тимирязевской сельскохозяйственной академии И.А. Стебут отмечал важность решения вопросов сохранения влаги в поверхностном слое почвы и необходимость поверхностного рыхления почвы для степных регионов России. Н.М. Тулайков разработал для Поволжья комплекс агротехнических мероприятий, включающий замену отвальной вспашки дискованием, с дальнейшим использованием стерни для снегозадержания, внесение органических, минеральных и зеленых удобрений, выведение засухоустойчивых сортов.

Необходимо отметить, что в это время в США на государственном уровне (Мичиганской земельной экономической службой) предпринимались первые попытки апробации ландшафтного и экономического подходов к организации землепользования. Отличительной особенностью этого подхода был междисциплинарный характер оценки, инвентаризации и прогнозирования землепользования, основанный на представлении об однородных территориальных ассоциациях с одинаковыми природными условиями. Проводился поиск корреляционных зависимостей между экономическими характеристиками и типами природных районов.

Основоположником почвозащитной системы земледелия стал отечественный учёный-агроном И.Е. Овсинский, разработавший в конце XIX столетия новаторский подход к обработке почвы. Иван Евгеньевич обрабатывал почву на ножевом культиваторе собственной конструкции на глубину не более 5–7 см, что позволяло получать высокие урожаи пшеницы в условиях засухи, сохраняя при этом почвенное плодородие. Автор «новой системы земледелия» считал, что в создаваемом рыхлом поверхностном слое уничтожаются сорные растения, хорошо сохраняется влага в почве, происходит «биологическое саморыхление, обусловленное повышением биогенности почвы, развитием мезофауны» [1]. Его книга «Новая система земледелия», изданная в 1899 году, переиздавалась трижды (1902, 1905, 1909). К сожалению, почвозащитная система земледелия Ивана Евгеньевича Овсинского не получила распространения в России. Применяясь на полях степной Украины, система Овсинского была возрождена позднее эмигрировавшими в Канаду и США крестьянами.

В СССР, так же как и во всем мире, вёлся поиск технологий обработки почвы, позволявших получать стабильные урожаи и защищать почву от эрозии. В начале 30-х годов XX в. на государственном уровне была принята травопольная система земледелия. Теоретические основы её применения были заложены В.Р. Вильямсом и заключались в создании зернистой мелкокомковатой водопрочной структуры в верхнем корнеобитаемом горизонте почвы за счёт посева бобовых и злаковых трав. Глубокая зяблевая отвальная вспашка перемещала нижний слой с восстановленной структурой на поверхность, а бесструктурный, верхний, с растительными остатками – на дно борозды [2]. Повсеместное шаблонное применение основной обработки почвы, которая состояла из лущения стерни и последующей вспашки, помноженное на внедрение тракторов и сельскохозяйственных орудий к ним, особенно в степных регионах страны, отрицательно сказалось на почвенном плодородии.

С резкой критикой применения травопольной системы земледелия выступали академики Д.Н. Прянишников, К.К. Гедройц и создатель системы «сухого земледелия» Н.М. Тулайков. Основатель агрохимии – Д.Н. Прянишников, в частности, критиковал В.Р. Вильямса за отказ от применения в травопольной системе минеральных удобрений. Николай Максимович Тулайков, основательно проанализировав учение В.Р. Вильямса, в категоричной форме требовал отказаться от универсальных приёмов в полеводстве и тщательно учитывать местные факторы.

В дальнейшем мощным импульсом для активизации теоретических и практических работ по созданию отечественного почвозащитного земледелия стали негативные последствия применения единой системы земледелия на огромном пространстве страны (паровая, травопольная, пропашная), а также крупномасштабного освоения целинных и залежных земель в Северном Казахстане, Южном Урале, Западной Сибири в 1954–1969 гг. (всего было распахано 42 млн га). Ветровая эрозия почв, разразившаяся в этих регионах в конце 50-х – начале 60-х годов XX века (особенно сильные пыльные бури отмечались в 1960, 1965, 1969 гг.), заставила учёных и практиков по-новому взглянуть на применявшиеся системы земледелия (травопольную и пропашную) и начать активную разработку почвозащитных систем на принципиально новой научно-технической основе.

Глобальное экологическое бедствие удалось предотвратить благодаря почвозащит-

ной системе земледелия, разработанной, апробированной и внедренной в производство академиком А.И. Бараевым и представителями его научной школы. Теоретической основой почвозащитной системы послужили идеи и практический опыт канадских фермеров и полевода-новатора Т.С. Мальцева. Терентий Семёнович предлагал заменить отвальную вспашку поверхностной обработкой почвы лущильниками на 7–8 см, а для разрушения уплотненного слоя периодически (1 раз в 4–5 лет) проводить глубокое безотвальное рыхление на глубину 35–40 см [3].

Основным принципом почвозащитной системы Мальцева – Бараева является не оборот пласта, а лишь разноглубинное рыхление с оставлением на поверхности почвы большей части стерни (до 70–80%), обязательное снегозадержание, оптимально поздние сроки посева зерновых культур, полосное размещение сельскохозяйственных культур. Появление данной системы земледелия сопровождалось созданием целого комплекса противоэрозионных машин: плоскорезов-глубокорыхлителей, противоэрозионных культиваторов, стерневых сеялок, игольчатых борон [4]. Важным элементом было внедрение 3–5-летних зернопаровых севооборотов короткой ротации вместо 8–10-летних зернотравянопропашных длинной ротации.

Бараевская почвозащитная система земледелия получила широкое распространение на Украине, в Северном Казахстане, на Алтае, в Сибири, на Южном Урале, в Поволжье и других регионах страны на площади более 50 млн га. Это дало мощный толчок для развития системного подхода к решению экологических проблем земледелия, позволило уйти от шаблонов в обработке почвы и возделывании сельскохозяйственных культур, заложило основы формирования зональных, а позднее – адаптивно-ландшафтных систем земледелия.

В 70-х годах XX века в отечественном научном земледелии появились новые оригинальные направления: контурно-мелиоративные, ландшафтно-адаптивные зональные системы земледелия склоновых земель Алтая (А.Н. Каштанов), Поволжья (А.И. Шабаев), Центрально-Черноземной зоны (О.Г. Котлярова, В.И. Кирюшин), Северного Кавказа (Е.И. Полуэктов), Украины (Ф.Т. Моргун, Н.К. Шикула, В.Ф. Сайко, А.С. Скородумов, С.С. Антонец), Молдавии (М.Н. Заславский) и других регионов с расчлененным рельефом и активным проявлением водной эрозии.

Вопросы «сберегающего земледелия» не менее глубоко и детально изучаются в зарубежных странах, особенно в США и Канаде. Начало этим исследованиям, а также оставление на полях стерни и мульчи, применение чизельного плуга было положено на Великих равнинах США в 30-х годах XX века после появления катастрофических пыльных бурь.

Американские фермеры и учёные, учитывая опыты обработки почвы дисковыми орудиями пропагандиста почвоохранного земледелия, фермера из штата Огайо Эдварда Фолкнера [5], приходят к выводу, что глубокая вспашка с тщательным предпосевным рыхлением губительна для агрозёмов засушливых прерий. Создание в почве аэробных условий при вспашке вызывает негативные последствия в засушливой зоне, повышенная аэрация ускоряет разложение гумуса. Многочисленные обработки способствуют потере почвой водопрочной структуры. Постепенно фермеры США и Канады стали применять почвозащитную обработку, включающую рыхление почвы на глубину 12–25 см без оборачивания пласта с оставлением на поверхности стерни и соломенной мульчи и внесение в корнеобитаемый слой минеральных удобрений.

Со второй половины XX века американские исследователи активно изучают роль мульчи, посев в стерню и мульчирующую обработку (технология mulch-till) [6]. Подтвердив положительную роль стерни в увеличении урожая, учёные разрабатывают технологические приёмы полосной механической обработки стерневого фона и посева семян в обработанные полосы (технология strip-till) и гребни (технология reduced-till). Постоянная мелкая обработка почвы, как и прямой посев, как показывает практика, образуют непроницаемые барьеры для развития корневой системы, т.к. корни располагаются в верхних (до 30–40 см) слоях почвы. С целью формирования условий для проникновения корневой системы в более глубокие слои почвы необходимо проводить чизелевание, щелевание или глубокое рыхление под гребнем (рядком) возделываемой культуры.

При этом современными исследованиями установлено, что минимальные обработки способствуют созданию устойчивого структурно-агрегатного состава почвы, увеличению накоплению влаги и количества почвенной биоты в верхнем продуктив-

ном слое почвы, снижению интенсивности минерализации гумуса и потери такого важного элемента питания растений, как азот, т.е. обеспечивают ресурсосбережение, приближая процессы, происходящие в верхнем гумусовом горизонте, к природным [7].

В 90-х годах XX столетия широкое распространение в мировой практике (особенно в Аргентине, Бразилии, Австралии) получили приёмы нулевой обработки почвы (no-till). Перспективы этой системы земледелия научное сообщество связывает, в первую очередь, с созданием со временем достаточно «мощного» мульчирующего слоя из растительных остатков предшественников, что значительно уменьшает испарение влаги из почвы при активной весенней инсоляции, особенно в засушливых регионах страны, снижает интенсивность процессов минерализации гумуса, защищает от проявлений водной и ветровой эрозии, при этом повышаются биологическая активность почв и темпы прироста органического вещества, уменьшается эмиссия парниковых газов (особенно CO_2), увеличивается урожайность сельскохозяйственных культур [8–10].

Повышенный интерес аграриев США, Канады, Аргентины, Бразилии и Австралии к применению минимальных и нулевых обработок обусловлен уменьшением затрат энергии и труда, экономией времени на операциях и увеличением урожайности [11]. Этот опыт был быстро распространён на южноамериканских полях и позволил получать фермерам Аргентины и Бразилии стабильные урожаи.

Многолетние исследования американских учёных показывают, что практика нулевой обработки восстанавливает и защищает здоровье почвы и считается важной для достижения устойчивости сельского хозяйства [12]. При этом отмечается необходимость сочетания комплексного севооборота с нулевой обработкой почвы для снижения всхожести сорняков, увеличения пористости почвы, улучшения круговорота питательных веществ и восстановления почвенного плодородия. Этот процесс организации почвозащитного земледелия схож с творчеством или искусством и должен постоянно совершенствоваться [11].

Важным преимуществом минимальной и нулевой обработок почвы в настоящее время является проведение их комбинированными агрегатами, которые позволяют осуществлять одновременное лущение и безотвальное рыхление, прикатывание, выравнивание поверхности почвы, а также тщательную разделку посевного слоя и качественное смешивание растительных остатков с почвой, сокращение затрат времени для подготовки почвы под посев зерновых культур. В современных условиях при широком использовании комбинированных агрегатов важным преимуществом земледельца будет применение «точного земледелия», которое заключается в дифференциации технологического воздействия на отдельных участках поля с учётом внутриполевой гетерогенности [13].

Среди недостатков минимальных обработок и прямого посева американские исследователи [14], аналогично российским [15], выделяют резкое увеличение засорённости посевов, повышенное поражение растений болезнями и вредителями, необходимость внесения достаточных доз элементов питания растений (NPK), снижение интенсивности процессов минерализации азота, а также увеличение опасности загрязнения среды.

Необходимо отметить, что отличительной особенностью решения вопроса внедрения почвозащитных систем в США от аналогичных технологических решений учёных-аграриев в России является более высокая степень внедрения достижений американской науки в производство. Подтверждением этому является то, что уже в 1980-е годы в США площади под минимальную систему обработки почвы возросли с 21,2 до 32,9 млн га, нулевую – находились на уровне 2,9–3,0 млн га. К 2017 г. под no-till в США было занято 23,74 млн га, в Бразилии – 21,9 млн га, в Аргентине – 16,0 млн га, а в России – менее 1,0 млн га.

Российская академическая и отраслевая наука, аграрии весьма осторожно относятся к использованию нулевой обработки почвы, т.к. она не подтверждает заявленных преимуществ [7]. Поэтому предлагается использовать её как отдельный способ в рамках комбинированной системы обработки почвы. В целом проблема применения минимальной обработки почвы и прямого посева на фоне острых научных дискуссий требует серьёзной проработки по всем позициям, начиная от плотности и структурного состояния почв, решения проблемы обеспечения сельскохозяйственных растений минеральными удобрениями и до уровня пестицидной нагрузки на почвенный и растительный покров.

Заключение

Сравнительный анализ развития научных исследований отечественных и зарубежных

учёных (на примере США и Канады) по развитию теории и практики традиционного и почвозащитного земледелия показал наличие ряда одинаковых и отличительных черт. Основным схожим признаком является то, что активизация исследований и качественные «скачки» в применении почвозащитных технологий наблюдались после крупных экологических кризисов в природопользовании засушливых регионов этих стран. Главное различие видится в том, что в России раньше появилась идея минимальной обработки почвы (Овсинский), а в США наблюдаются более высокие темпы апробации и внедрения новых технологий, повышенный уровень технического оснащения сельскохозяйственного производства, заинтересованность государства в реализации научно-технических разработок по внедрению no-till.

Несмотря на широкое распространение в Аргентине, Бразилии, США, технология no-till крайне осторожно принята аграриями России. Среди причин слабого распространения нулевой обработки почвы в России – консерватизм и отсутствие опыта у сельхозпроизводителей, слабая интеграция между научно-исследовательскими институтами и вузами, с одной стороны, и сельскохозяйственными предприятиями и фермерами – с другой.

Что целесообразнее – отвальная или ресурсосберегающая обработка почвы, как составить схему севооборота, какие удобрения и средства защиты растений применять, чтобы получить максимальный урожай выращиваемых сельскохозяйственных культур и нанести минимальный ущерб природной среде – все эти вопросы надо решать на каждом конкретном поле. Развитие устойчивого степного землепользования в мире определяется рядом основополагающих принципов: ресурсо- и энергосбережением, экономичностью и высокой эффективностью, повышением плодородия почв и сохранением экологических функций в биосфере.

Статья подготовлена по теме НИР Института степи УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1.

Список литературы / References

1. Овсинский И.Е. Новая система земледелия. Киев-Харьков, 1899. 138 с.

Ovsinsky I.E. New farming system. Kiev-Har'kov, 1899. 138 p. (in Russian).

2. Вильямс В.Р. Почвоведение. Земледелие с основами почвоведения. М.: ОГИЗ Сельхозгиз, 1938. 447 с.

Williams V.R. Soil Science. Farming with the basics of soil science. M.: OGIZ Sel'hozgiz, 1938. 447 p. (in Russian).

3. Мальцев Т.С. Вопросы земледелия. М.: Колос, 1971. 391 с.

Maltsev T.S. Agriculture issues. M.: Kolos, 1971. 391 p. (in Russian).

4. Бараев А.И. Теоретические основы почвозащитного земледелия. М.: Колос, 1975. 304 с.

Baraev A.I. Theoretical foundations of soil conservation agriculture. M.: Kolos, 1975. 304 p. (in Russian).

5. Фолкнер Э.Х. Безумие пахаря. М.: Госиздат с.-х. литературы, 1959. 276 с.

Faulkner E.H. The plowman's madness. M.: Gosizdat s.-h. literatury, 1959. 276 p. (in Russian).

6. Ranaivoson L., Naudin K., Affholder F., Rabeharisoa L., Corbeels M. Agro-ecological functions of crop residues under conservation agriculture. Agronomy for sustainable development. 2017. Vol. 37. Is. 4. P. 26–30.

7. Пыхтин И.Г., Гостев А.В., Нитченко Л.Б., Плотников В.А. Теоретические основы эффективного применения современных ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур // Земледелие. 2016. № 6. С. 16–19.

Pykhtin I.G., Gostev A.V., Nitchenko L.B., Plotnikov V.A. Theoretical foundations of the effective use of modern resource-saving technologies for the cultivation of grain crops // Zemledelie. 2016. № 6. P. 16–19 (in Russian).

8. Сулемейнов М.К. Сберегающее плодосменное земледелие Северного Казахстана // Новости науки Казахстана. 2013. Вып. 4 (118). С. 9–27.

Sulemeinov M.K. Saving fruit-changing agriculture in Northern Kazakhstan // Novosti nauki Kazahstana. 2013. Vyp. 4 (118). P. 9–27 (in Russian).

9. Соколов М.С., Глинушкин А.П., Спиридонов Ю.Я., Торопова Е.Ю., Филипчук О.Д. Технологические особенности почвозащитного ресурсосберегающего земледелия (в развитие концепции ФАО) // Агрохимия. 2019. № 5. С. 3–20.

Sokolov M.S., Glinushkin A.P., Spiridonov Yu.Ya., Toropova E.Yu., Filipchuk O.D. Technological features of conservation conservation agriculture (in the development of the FAO concept) // Agrohimiya. 2019. № 5. P. 3–20 (in Russian).

10. Андреева О.В., Лобковский В.А., Куст Г.С., Зонн И.С. Современное состояние концепции и разработка типологии моделей устойчивого землепользования // Аридные экосистемы. 2021. Т. 27. № 1 (86). С. 3–14.

Andreeva O.V., Lobkovsky V.A., Kust G.S., Zonn I.S. The current state of the concept and development of a typology of sustainable land use models // Aridnye ekosistemy. 2021. T. 27. № 1 (86). P. 3–14 (in Russian).

11. Fridrich T., Kassam A., Derpsch R., Overview of the Global Spread of Conservation Agriculture. Field actions science reports. 2012. Special Is. 6. P. 1–7.

12. Anderson R.L. Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming. A review. Agronomy for sustainable development. 2015. Vol. 25. Is. 3. P. 967–974.

13. Гулянов Ю.А., Чибилёв А.А. Перспективы интеграции «цифрового землепользования» в ландшафтно-адаптивное земледелие степной зоны // Проблемы региональной экологии. 2019. № 2. С. 32–37.

Gulyanov Yu.A., Chibilev A.A. Prospects for the integration of «Digital Land Use» in the landscape-adaptive farming of the steppe zone. Problemy regional'noj ekologii. 2019. № 2. P. 32–37 (in Russian).

14. Tilman D., Balzer C., Hill J., Befort B.L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the national academy of sciences of the United States of America. 2011. Vol. 108. Is. 50. P. 20260–20264.

15. Кирюшин В.И. Проблема экологизации земледелия в России (Белгородская модель) // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 12. С. 3–9.

Kiryushin V.I. The problem of greening agriculture in Russia (Belgorod model) // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2012. № 12. P. 3–9 (in Russian).

УДК 633.853.494:581.19

БИОХИМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЖЁЛТОСЕМЯННЫХ ЛИНИЙ ЯРОВОГО РАПСА BRASSICA NAPUS L.

Маркелова Н.Г., Карпачев В.В.

Липецкий научно-исследовательский институт рапса – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», Липецк, e-mail: vniirapsa@mail.ru

Изучение жирнокислотного состава масла жёлтосемянных линий рапса – основа эффективной селекционной работы, направленной на создание жёлтосемянных сортов со стабильно экспрессируемой оптимальной композицией всех жирных кислот в масле для различных направлений использования. Исследования проводились в полевых и лабораторных условиях на базе ЛНИИР, г. Липецк, в 2018–2020 гг. Объектом исследований послужили 10 жёлтосемянных линий ярового рапса (ЯРЛ). Определение жирнокислотного состава масла семян рапса выполнялось в лаборатории биохимии с использованием метода газожидкостной хроматографии метиловых эфиров жирных кислот на хроматографе «Chrom 5». Все светлоокрашенные классы характеризуются пониженным содержанием олеиновой кислоты на 1,96–7,42 %, повышенным содержанием линолевой на 2,27–4,82 % с одновременным снижением содержания линоленовой на 0,26–2,08 %. Линии ЯРЛ 4, 5, 7 и 10 отличаются высокими средними значениями содержания линолевой кислоты (24,0–25,1 %), узкими доверительными интервалами данных и почти полным отсутствием эруковой кислоты. Низкие средние значения содержания линоленовой кислоты (7,7–9,4 %) выявлены в семьях линий ЯРЛ 3, 4, 5, 7, 8 и 9, при этом ЯРЛ 7 выделяется самым высоким содержанием линолевой кислоты 24,5 % и низким линоленовой 7,7 %. Полученные ранговые коэффициенты корреляции выявили высокую отрицательную корреляционную зависимость между содержанием олеиновой и линолевой кислот в линиях ЯРЛ 2, 5, 6, 7, 8 и 9 (Corr = -0,815 … -0,967) и значительную отрицательную корреляцию для линий ЯРЛ 1, 4, 10. Линии ЯРЛ 4, 5 и 7 обнаружили увеличенные средние значения содержания линолевой кислоты (24,0–25,1 %), низкие значения линоленовой кислоты (7,8–9,2 %) и отрицательное (ЯРЛ 4, Corr = -0,378) и слабое положительное (ЯРЛ 5, Corr = 0,158) корреляционное взаимодействием между линолевой и линоленовой кислотами.

Ключевые слова: рапс яровой, желтая окраска семенной оболочки, жирнокислотный состав, корреляция, олеиновая кислота, линолевая кислота, линоленовая кислота, эруковая кислота

BIOCHEMICAL ASSESSMENT OF YELLOW SPRING RAPE BRASSICA NAPUS L. SEED LINES

Markelova N.G., Karpachev V.V.

Lipetsk Rapeseed Research Institute, the branch of Federal State Budgetary Scientific Institution «Federal Scientific Center V.S. Pustovoyt All-Russian Research Institute of Oil crops», Lipetsk, e-mail: vniirapsa@mail.ru

Studying the fatty acid composition of the oil of yellow rapeseed lines is the basis of efficient selective breeding work, aimed at creating yellow-seed varieties with steadily expressed optimal composition of all fatty acids in oil for various purposes. The studies have been carried out in field and laboratory conditions at the premises of Lipetsk rapeseed research institute, in Lipetsk in the period of 2018 – 2020 years. The object of research was 10 yellow-seeded lines of spring rapeseed (YRL). Determination of rapeseed oil fatty acid composition has been carried out in the biochemical laboratory using the method of gas-liquid chromatography of fatty acid methyl esters on «Chrom 5» chromatograph. All light-colored samples were characterized by an increased content of oleic acid by 1.96 – 7.42 %, an increased content of linoleic acid by 2.27–4.82 % with a corresponding decrease in the content of linolenic acid by 0.26–2.08 %. YRL lines 4, 5, 7 and 10 were distinguished by high average values of linoleic acid content (24.0-25.1 %), narrow confidence ranges of the data, and almost complete absence of erucic acid. Low average values of linolenic acid content (7.7 – 9.4 %) were found in the samples of YRL lines 3, 4, 5, 7, 8, and 9, with YRL 7 having the highest linoleic acid content of 24.5 % and low linolenic content of 7,7 %. The obtained rank correlation parameters revealed a high negative correlation between the content of oleic and linoleic acids in the samples of YRL lines 2, 5, 6, 7, 8 and 9 (Corr = -0.815 ... -0.967) and demonstrated a significant negative correlation for YRL lines 1, 4, 10. YRL lines 4, 5 and 7 have shown increased mean values of linoleic acid (24.0–25.1 %), low values of linolenic acid (7.8–9.2 %) and negative (YRL 4, Corr = -0.378) and a weak positive (YRL 5, Corr = 0.158) correlation interaction between linoleic and linolenic acids.

Keywords: spring rape, yellow seed coat, fatty acid composition, correlation, oleic acid, linoleic acid, linolenic acid, erucic acid

Одним из перспективных направлений селекционной работы по рапсу является создание так называемых трёхнулевых сортов («000»), которые, в отличие от современных двухнулевых («00») безэруковых и низкоглюкозинолатных, сочетают в себе оба этих качества с жёлтой окраской семенной оболочки. Это один из путей увеличения выхода масла как за счёт снижения содержания сырой клетчатки в семенах, так и вследствие упрощения технологии производства и очистки масла [1].

Первый отечественный жёлтосемянный сорт Кенар выведен в 2000–2017 гг. во ВНИММК методом многократного индивидуального отбора и самоопыления из вну-

тривидового гибрида линий Л 3649-100 и сорта Ярвэлон [2].

В ЛНИИР исследования по получению жёлтосемянных форм начаты с 1987 г. с применением методов мутагенеза, межвидовой гибридизации и ресинтеза рапса. Так, в результате многократного индивидуально-семейного отбора на жёлтосемянность в конце девяностых годов был получен селекционный материал с полностью жёлтоокрашенной семенной оболочкой [3].

Появление и накопление селекционного материала с жёлтой окраской семенной оболочки привело к необходимости исследования изменений в биохимическом составе масла, вызванных отбором, направленным на увеличение выраженности признака желтосемянности.

В целях улучшения качественных показателей рапсового масла жёлтосемянных линий ставилась задача не просто отбора по максимуму или минимуму содержания какой-то одной жирной кислоты, а создание линий со стабильно экспрессируемой оптимальной композицией всех жирных кислот в масле для различных направлений использования.

Известно, что содержание жирных кислот в масле взаимообусловлено, изменение содержания одной кислоты вызывает противоположное изменение в содержании другой, а возможно, и нескольких кислот, и не обязательно последующих в цепи биосинтеза [4].

Эруковая и линоленовая кислоты – конечные продукты биосинтеза и нежелательны для пищевого производства. Высокое содержание эруковой кислоты отрицательно коррелирует с низким уровнем пальмитиновой, олеиновой, линолевой и линоленовой кислотами. Селекция на безэруковость привела к генетическому блокированию удлинения цепи $C_{18:1} \rightarrow C_{20:1} \rightarrow C_{22:1}$ у растений современных сортов масличного рапса, изменило содержание олеиновой кислоты, которое в среднем возросло на 1/6 часть (33 %), удвоилось содержание линолевой [5].

В результате исследований жирнокислотного состава (ЖКС) отдалённых гибридов рапса (одного из источников получения жёлтоокрашенных семян), проведённых в ЛНИИР в 1990-е гг., выявлена высокая положительная корреляция между содержанием эйкозеновой и эруковой кислот; средняя между олеиновой и линоленовой, пальмитиновой и линоленовой и отрицательная корреляция между олеиновой и остальными кислотами [3].

Цель исследования – биохимическая оценка желтосемянных линий ярового рапса (*Brassica napus* L.), выделившихся по стабильности и интенсивности проявления жёлтой окраски семян**,** статистический анализ жирнокислотного состава и выбор генотипов для селекции желтосемянных сортов и гибридов.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в полевых и лабораторных условиях на базе ЛНИИР, г. Липецк, в 2018–2020 гг.

Объектом исследований послужили 10 жёлтосемянных линий ярового рапса с процентным содержанием светлоокрашенных семян от 50 до 100 %, для удобства в работе они получили индекс ЯРЛ (Яровой Рапс Липецкий) и порядковый номер, в качестве стандарта проанализирован жирнокислотный состав ярового рапса сорта Риф, селекции ЛНИИР. Линии получены методом многократного индивидуального отбора и самоопыления из внутривидовых гибридов сортов отечественной и зарубежной селекции, ресинтезированного рапса и регенерантов каллусной культуры [3].

Выращивание и принудительное самоопыление растений осуществлялось по общепринятой методике [6].

Определение жирнокислотного состава масла семян рапса выполнялось в лаборатории биохимии с использованием метода газожидкостной хроматографии метиловых эфиров жирных кислот по ГОСТ 30089-93 на хроматографе «Chrom 5». Для оценки образцов по жирнокислотному составу масла использовали урожай семян, собранный с делянки свободноцветущих растений.

Статистическую обработку данных (корреляционный анализ, построение диаграмм и визуализацию результатов) осуществляли при помощи языка программирования R (версии 4.0.5), в редакторе RStudio [7].

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ жирнокислотного состава масла 140 образцов совокупности линий ЯРЛ в сравнении со стандартом показал отклонение (варьирование) средних значений содержания всех важнейших жирных кислот: пальмитиновой на 0,15 %, олеиновой 4,44 %, линоленовой на 3,92 %, линолевой на 1,20 %, эйкозеновой 0,57 % от их среднего содержания в стандарте и появления достаточно существенных количеств эруковой кислоты в семенах отдельных линий потомков безэруковых донорных сортов (табл. 1).

Таблица 1

Сравнение среднего содержания жирных кислот в стандарте и образцах линий ЯРЛ

Популяция	Содержание, %					
	$C_{16:0}$ pal	$C_{18:1}$ ole	$C_{18:2}$ lin	$C_{18:3}$ lil	$C_{20:1}$ eic	$C_{22:1}$ eru
St. Риф (black)	3,71	64,98	19,75	10,16	1,39	0,00
ЯРЛ	3,86	60,54	23,67	8,96	1,96	1,00
yellow	3,92	60,39	24,57	8,56	1,78	0,77
brown	3,60	63,02	22,02	9,90	1,44	0,01
multicolor	4,03	57,56	23,11	8,92	3,26	3,10

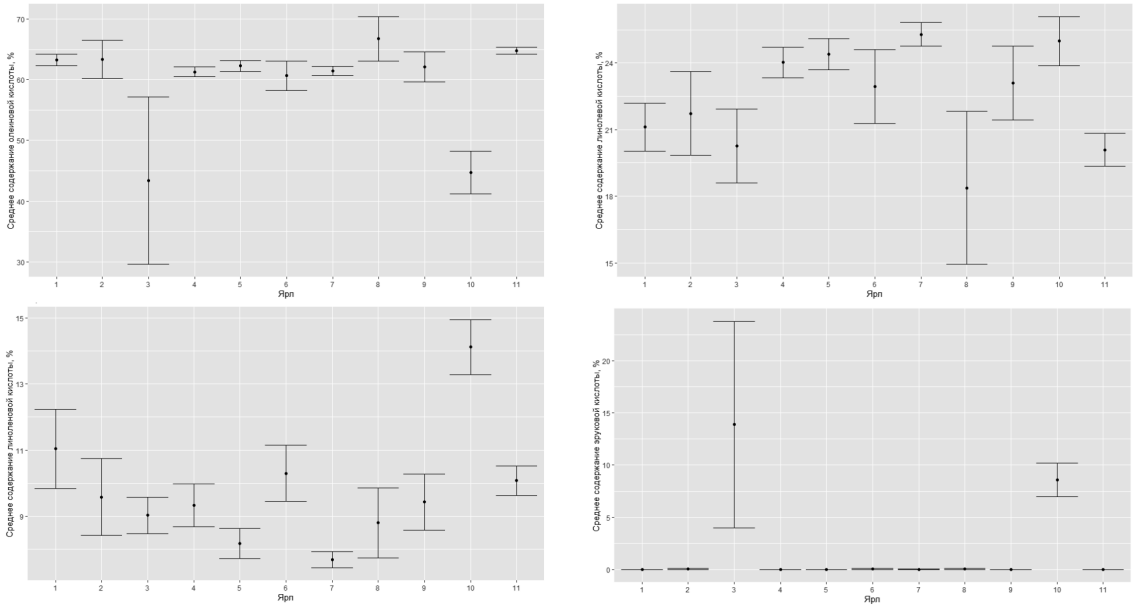


Рис. 1. Среднее содержание олеиновой, линолевой, линоленовой и эруковой кислот в линиях ЯРЛ (1–10) и стандарте (11)

Все исследуемые образцы ЯРЛ были разделены на три класса по окраске семян: коричневые (brown), желто-коричневые (multicolor) и желтые (yellow), тем самым в статистический анализ генеральной совокупности введена факторная переменная цвета семян. Следует упомянуть, что в составе каждой из 10 изученных линий ЯРЛ были семьи, принадлежащие ко всем трем классам окраски. Образцы стандартного сорта Риф отнесены к четвертому классу – темноокрашенные (black). Исходя из полученных средних значений содержаний жирных кислот в четырех цветовых классах прослеживается корреляция между изменениями в окраске семенной оболочки и процентным соотношением кислот в масле (табл. 1). Все светлоокрашенные классы характеризуются пониженным содержанием олеиновой кислоты на 1,96–7,42 % от общего ЖКС, повышенным содержанием линолевой на 2,27–4,82 % с одновременным снижением содержания линоленовой на 0,26–2,08 %, содержание эйкозеновой кислоты увеличилось на 0,05–1,87 %. Не все полученные линии ЯРЛ сохранили безэруковость.

Линии ЯРЛ показали широкое варьирование содержания олеиновой, линолевой, линоленовой и эруковой кислот, как средних значений, так и величин разброса (изменчивости) данных внутри конкретного генотипа (рис. 1). Линии ЯРЛ 4, 5, 7 и 10 выделяются высокими средними значениями содержания линолевой кислоты (24,0–25,1 %), узкими доверительными интервалами данных и почти полным от-

сутствием эруковой кислоты, могут быть использованы для дальнейшей селекции желтосемянных сортов с повышенным содержанием линолевой кислоты. Линии ЯРЛ 3 и ЯРЛ 10 значительно отличаются от остальных по наличию высоких содержаний эруковой кислоты, при этом широкий фенотипический ранг ее процентного содержания (4,8–27,5 %) свидетельствует о нестабильности экспрессии признака в семьях линии ЯРЛ 3. Этим же линиям свойственны и самые низкие средние значения содержания олеиновой кислоты 44,2–45,0 % так же с широкой вариабельностью ее процентного содержания у линии ЯРЛ 3 от 30,0 до 57,52 %. В этом случае предположительно биосинтез жирных кислот преимущественно идет по пути пролонгации цепи $C_{18:1} \rightarrow C_{20:1} \rightarrow C_{22:1}$, что согласуется с данными других исследователей [4].

Линии ЯРЛ 1, 2 и 8 отличаются по высоким средним значениям содержания олеиновой кислоты (64,5–66,5 %), что в целом несвойственно другим светлоокрашенным линиям. Линии ЯРЛ 1, 4, 5, 7 и 9 сохранили безэруковость. Низкие средние значения содержания линоленовой кислоты (7,7–9,4 %) выявлены в семьях линий ЯРЛ 3, 4, 5, 7, 8 и 9, при этом ЯРЛ 7 выделяется как самым высоким содержанием линолевой кислоты и низким линоленовой, так и малыми величинами разброса данных, что указывает на стабильность проявления признака.

Семьи, принадлежащие по окраске семенной оболочки к классу «yellow», отмечены самым высоким средним содержанием линолевой кислоты (24,5 %) и достаточно узким доверительным интервалом (24,0–25,1 %), что свидетельствует о том, что при отборе на желтосемянность процентное содержание линолевой кислоты увеличивается у всех линий ЯРЛ независимо от генотипа (рис. 2). При движении в ряду black – brown – multicolor – yellow уменьшаются значения среднего содержания олеиновой (от 64,9 до 60,4 %) и линоленовой (от 10,2 до 8,6 %) кислот, чем больше желтосемянных семей среди потомства линий, тем меньшим содержанием олеиновой и линоленовой кислот они характеризуются.

Высокие средние значения содержания эруковой кислоты (3,1 %), ее доверительный интервал данных (0–6,7 %) указывают на большую экспрессию выраженности признака и широкие фенотипические ранги содержания эруковой кислоты в семьях, которые были отнесены к классу «multicolor», что, по-видимому, обусловлено различной активацией ферментных систем, контролирующих синтез $C_{20:1}$ и $C_{22:1}$.

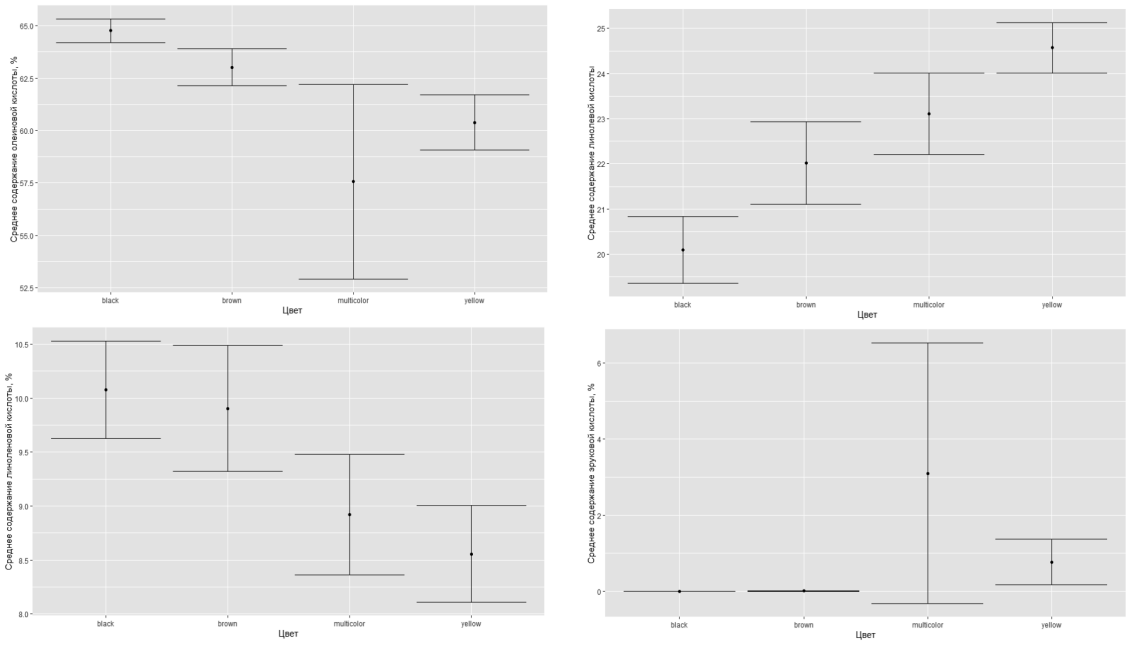


Рис. 2. Среднее содержание олеиновой, линолевой, линоленовой и эруковой кислот в классах по окраске семенной оболочки

Для измерения степени и направления связи между процентным содержанием важнейших жирных кислот в масле линий ЯРЛ и стандарта выполнен корреляционный анализ по методу Спирмена [7], значения коэффициента ранговой корреляции Спирмена представлены наглядно на тепловых диаграммах и скаттерплот-матрицах, которые отражают корреляцию пар всех переменных на рис. 3, а также в табл. 2. Выбор ранговой корреляции обусловлен ее устойчивостью к выбросам (выпадающим данным) и отсутствием привязки к нормальности распределения данных.

Полученные ранговые коэффициенты корреляции выявили высокую отрицательную корреляционную зависимость между содержанием олеиновой и линолевой кислот в линиях ЯРЛ 2, 5, 6, 7, 8 и 9 (Corr = -0,815 до -0,967) и значительную отрицательную корреляцию для линий ЯРЛ 1, 4, 10, что объясняет трудоемкость отборов среди семей светлосемянных линий, направленных на увеличение содержания олеиновой кислоты с сохранением процента светлых семян в потомстве. Отрицательное корреляционное взаимодействие различной силы между олеиновой и всеми остальными кислотами наблюдалось во всех линиях ЯРЛ. Значительная и высокая положительная корреляция (Corr = 0,418 до 0,965) между содержанием эйкозеновой и эруковой кислот характерна для всех желтосемянных линий, кроме, совершенно безэруковых ЯРЛ 1 и ЯРЛ 5.

Жирнокислотный состав стандарта характеризуется заметной отрицательной корреляцией между олеиновой и линолевой кислотами с коэффициентом ранговой корреляции Corr = -0,594, линоленовой и линолевой кислотами (Corr = -0,645), умеренной положительной корреляцией между пальмитиновой и линоленовой (Corr = 0,424) и слабой отрицательной корреляцией между олеиновой и всеми остальными кислотами.

Ранговые коэффициенты корреляции для связи между линолевой и линоленовой кислотами указывают на различную силу их взаимодействия, так линии ЯРЛ 2, 6, 8 и 9 отличает высокая положительная корреляция (Corr = 0,713 … 0,788) между этими двумя кислотами, семей линий ЯРЛ 1, 3, 4, 10 – умеренная отрицательная (Corr = -0,207 … -0,656), для ЯРЛ 5 – слабая положительная с ранговым коэффициентом равным 0,158.

Анализ скаттерплот-матриц и тепловых диаграмм, построенных по данным корреляционного анализа линий ЯРЛ 4, 5 и 7 (рис. 3), показал их большую селекционную ценность. Помимо увеличенных средних значений содержания линолевой кислоты (24,0–25,1 %), низких содержаний линоленовой кислоты (7,8–9,2 %) они обладают отрицательным (ЯРЛ 4, Corr = -0,378) и слабым положительным (ЯРЛ 5, Corr = 0,158) корреляционным взаимодействием между линолевой и линоленовой кислотами. В этом случае синтез линоленовой кислоты преимущественно идет по пути удлинения цепи от $C_{16:3} \rightarrow C_{18:3}$, тогда как для линии ЯРЛ 7 более значим путь ее синтеза посредством десатурации $C_{18:2}$, на что указывает умеренная положительная корреляция этих двух кислот (Corr = 0,446) [4].

Таблица 2

Ранговый коэффициент корреляции между жирными кислотами масла линий ЯРЛ

Корреляционные пары	ЯРЛ 1	ЯРЛ 2	ЯРЛ 3	ЯРЛ 4	ЯРЛ 5	ЯРЛ 6	ЯРЛ 7	ЯРЛ 8	ЯРЛ 9	ЯРЛ10	St Риф
pal-ole	-0,230	-0,365	0,612	-0,414	-0,146	-0,287	-0,558	-0,365	-0,653	-0,750	-0,197
pal-lin	-0,124	-0,026	0,809	0,041	-0,176	-0,098	0,460	-0,026	0,617	0,752	-0,451
pal-lil	0,130	0,565	-0,489	0,048	0,047	-0,208	0,191	0,568	0,512	0,032	0,424
pal-eic	0,304	0,796	-0,609	0,632	0,565	0,880	0,219	0,796	-0,009	0,551	0,142
pal-eru	–	-0,182	-0,689	-0,095	–	0,752	0,260	-0,182	-0,082	0,589	–
ole-lin	-0,267	-0,920	0,557	-0,546	-0,815	-0,893	-0,934	-0,920	-0,967	-0,761	-0,594
ole-lil	-0,534	-0,962	-0,295	-0,498	-0,642	-0,752	-0,698	-0,962	-0,864	0,000	-0,150
ole-eic	0,348	-0,797	-0,972	-0,381	-0,212	-0,243	0,016	-0,797	-0,248	-0,938	-0,149
ole-eru	–	-0,581	-0,987	0,116	–	-0,286	-0,131	-0,581	-0,222	-0,948	–
lin-lil	-0,656	0,788	-0,207	-0,378	0,158	0,722	0,446	0,788	0,713	-0,521	-0,645
lin-eic	-0,259	0,537	-0,618	-0,051	0,045	-0,126	-0,160	0,537	0,231	0,514	-0,096
lin-eru	–	0,735	-0,646	-0,123	–	-0,057	0,000	0,735	0,292	0,771	–
lil-eic	-0,149	0,853	0,212	0,180	0,010	-0,236	-0,044	0,853	0,192	0,155	0,175
lil-eru	–	0,359	0,302	-0,050	–	-0,127	0,048	0,359	0,029	-0,237	–
eic-eru	–	0,418	0,948	0,389	–	0,965	0,853	0,418	0,618	0,915	–

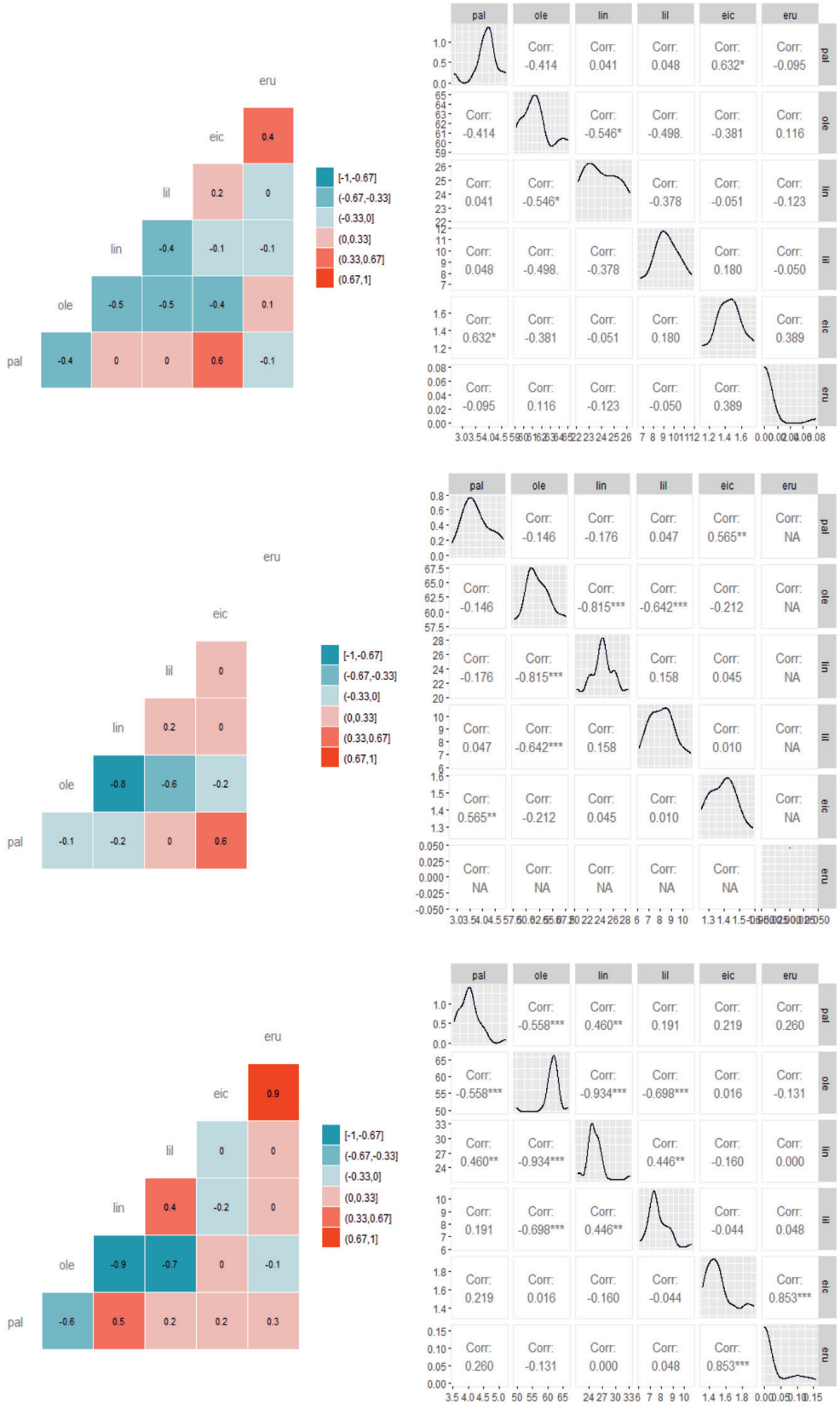


Рис. 3. Тепловая диаграмма (слева) и корреляционная матрица взаимодействий (справа) жирных кислот масла семян линии (сверху вниз) ЯРЛ 4, ЯРЛ 5 и ЯРЛ 7, где Corr – коэффициент ранговой корреляции Спирмена

Таблица 3

Результаты дисперсионного анализа моделей корреляционного взаимодействия линолевой и линоленовой кислот у желтосемянных линий ЯРЛ

Статистический критерий	ЯРЛ 4	ЯРЛ 5	ЯРЛ 7
p-уровень значимости	$2.2 \cdot 10^{-16}$	$2.2 \cdot 10^{-16}$	$2.2 \cdot 10^{-16}$
t-критерий Стьюдента	25.88	40.961	73.419
Multiple R-squared (коэффициент детерминации)	0.1429	0.0250	0.1992
Adjusted R-squared (скорректированный коэффициент детерминации)	0.0714	-0.0213	0.1787
F-критерий Фишера	1.9999	0.5400	1.9999
Df (число степеней свободы)	12	21	39

Статистическая значимость полученных результатов доказана при помощи дисперсионного анализа моделей (табл. 3).

Как видно из результатов анализа, показаний t-критерия Стьюдента, значения R-квадрата (как прямого, так и исправленного), F- и p-критерия, данные результаты являются статистически значимыми. Они наглядно показывают, что образцы линии ЯРЛ 4, 5, 7 имеют качественно отличный от стандарта жирнокислотный состав.

Заключение

В результате трехлетней оценки жирнокислотного состава селекционных номеров желтосемянных линий ярового рапса были выделены три перспективные линии ЯРЛ 4, ЯРЛ 5, ЯРЛ 7, сочетающие повышенное содержание линолевой кислоты с низким содержанием линоленовой и различной теснотой корреляционного взаимодействия, от умеренно отрицательной до умеренно положительной, между ними.

Выделенные линии будут включены в селекционные программы, направленные на создание желтосемянных сортов, масло которых будет соответствовать стандартам пищевого салатного, т.е. будет безэруковым, высоколинолевым и низколиноленовым.

Список литературы / References

1. Theodoridou K., Yu P. Effect of processing conditions on the nutritive value of canola meal and presscake. Comparison of the yellow and broun-seeded canola meal with the broun-seeded canola presscake. J. Sci. Food Agricult. 2013. Vol. 93. № 8. P. 1986–1995.

2. Горлова Л.А., Бочкарёва Э.Б., Сердюк В.В., Стрельников Е.А., Поморова Ю.Ю. Первый отечественный жёлтосемянный сорт рапса ярового Кенар // Масличные культуры. 2019. № 3 (179). С. 168–170.

Gorlova L.A., Bochkareva E.B., Serdyuk V.V., Strelnikov E.A., Pomorova Y.Y. The first domestic yellow-seed variety of spring rape Kenar // Maslichnyye kul'tury. 2019. No. 3 (179). P. 168–170 (in Russian).

3. Жидкова Е.Н. Отдаленная гибридизация в селекции рапса (*Brassica napus* L.): монография. Липецк: ЛГПУ, 2008. 163 с.

Zhidkova E.N. Remote hybridization in rapeseed breeding (*Brassica napus* L.): monograph. Lipetsk: LGPU. 2008. 163 p. (in Russian).

4. Денисова Э.В., Мазяркина Т.В. Генетические основы селекции рапса (*Brassica napus* L.) на улучшение биохимических качеств семян. Новосибирск: ИЦиГ Со РАН, 2010. 253 с.

Denisova E.V., Mazyarkina T.V. Genetic bases of rapeseed (*Brassica napus* L.) breeding to improve the biochemical qualities of seeds. Novosibirsk: ITsiG So RAN, 2010. 253 p. (in Russian).

5. Abbadi A., Leckband G. Rapeseed breeding for oil content, quality, and sustainability. European J. of Lipid Science and Technology. 2011. Vol. 113. № 10. P. 1198–1206.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.

Dospexov B.A. Technique of field experiment (with bases of statistical processing of results of researches). M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. 352 p. (in Russian).

7. Кабаков Р.И. R в действии. Анализ и визуализация данных в программе R. М.: ДМК Пресс, 2014. 588 с.

Kabakov R.I. R in action. Analysis and visualization of data using R program. M.: DMK Press, 2014. 588 p. (in Russian).

УДК 632.521:621.182.475

РЕЗУЛЬТАТЫ ХИМИЧЕСКОГО МЕТОДА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО УНИЧТОЖЕНИЮ КУСТАРНИКОВ КАРАГАНЫ

Уманова Н.Д., Давлятов У.Р., Омуров Ж.М.

КГТУ им. И. Раззакова, Бишкек, e-mail: umanova.nurgiz@mail.ru, uluk-2000@mail.ru, omurov66@mail.ru

Для развития животноводства естественные пастбища как источники кормов играют большую роль. Однако вследствие постоянного роста поголовья скота и несоблюдения нормальной нагрузки скотом и бессистемного использования состояние пастбищ с каждым годом ухудшается. Чрезмерный выпас животных ухудшает аэрацию почвы, водный режим, замедляет рост корней растений, приводит к значительным морфологическим нарушениям как подземной, так и наземной части растений и ведет к деградации пастбищ, сокращается количество кормовых трав и ухудшается качество кормов. Следовательно, чтобы исключить неорганизованное и бессистемное использование пастбищ, необходимо создать правильную нагрузку, а также использовать методы выпаса скота. Бессистемный и нерегулируемый выпас приводит к потере ценных кормовых растений и снижению урожайности. Также одно из негативных последствий вытаптывания – вымирание ценных видов трав. Ценные кормовые растения постепенно выпадают из травостоя, а их место занимают непоедаемые и ядовитые сорные растения. Правильные пути борьбы с вредоносными растениями позволят увеличить производительность кормовых растений и приведут к улучшению состояния пастбищ. Как известно, есть несколько методов борьбы с вредными растениями, и самым распространенным на сегодняшний день является химический метод с использованием глифосатсодержащих гербицидов, таких как раундап, торнадо, ураган, граунд, алаз, вихрь, дефолт, напалм, тайфун, доминатор, фозат и некоторые другие. Настоящая статья посвящена анализу применения глифосатсодержащего гербицида «Ураган» для борьбы с дикорастущим кустарником караганой. Основой применения данного гербицида стало опрыскивание с помощью ручных приборов–распылителей в реальных полевых условиях.

Ключевые слова: гербицид, глифосат, жесткость воды, гидрокарбонаты, карагана, ионы кальция, хелат металла, «Ураган», кислотность, разбрызгивание, ингибиторы аминокислот

THE RESULTS OF THE CHEMICAL METHOD DURING EXPERIMENTAL WORK ON THE DESTRUCTION OF CARAGAN SHRUBS

Umanova N.D., Davlyatov U.R., Omurov J.M.

KSTU named after I.Razzakov, Bishkek, e-mail: umanova.nurgiz@mail.ru, uluk-2000@mail.ru, omurov66@mail.ru

For the development of animal husbandry, the role of natural pastures as a source of feed plays an important role. However, due to the constant growth of livestock and non-compliance with the normal load of livestock and unsystematic use, the condition of the pasture is deteriorating every year. Excessive grazing of animals worsens soil aeration, water regime, slows down the growth of plant roots, leads to significant morphological disorders of both underground and terrestrial vegetation, reduces the number of forage grasses and worsens the quality of feed and leads to the degradation of pastures. Therefore, in order to eliminate unorganized and unsystematic use of pastures, it is necessary to create the right load, as well as use grazing methods. Unsystematic and unregulated pasture leads to the loss of valuable forage plants and a decrease in yield. Also, one of the negative consequences of trampling is the extinction of valuable grass species. Valuable forage plants gradually fall out of the herbage, and their place is taken by non-edible and poisonous weeds. The right ways to combat harmful plants will increase the productivity of forage plants and leads to an improvement in the condition of pastures. As it is known, there are several methods of combating harmful plants, and the most common today is a chemical method using glyphosate-containing herbicides, such as roundup, tornado, hurricane, ground, alaz, vortex, default, napalm, typhoon, dominator, fozat and some others. This article discusses the fight against a wild-growing shrub of a caragan using the chemical method. This method is carried out in the field using a hand-held device and the technology of using the glyphosate-containing herbicide «Hurricane» by spraying methods.

Keywords: herbicide, glyphosate, water hardness, bicarbonates, karagana, calcium ions, metal chelate, hurricane, acidity, spray, amino acid inhibitors

Ежегодный рост поголовья и бессистемный выпас скота на пастбищах приводят к потере и снижению продуктивности растений. Как следствие, вредные и бесполезные растения занимают места полезных кормовых растений. Особенно широко распространен на пастбищах в Суусамырской долине колючий кустарник карагана. С каждым годом засорение пастбищ этим кустарником усиливается. Кустарник карагана *(Caragana aurantiaca Kochne)* относится к вредным и несъедобным животными растениям. Карагана меняет форму роста в зависимости от разных условий существования на абсолютных высотах от 2100 до 2700 м. Цветение и плодоношение начинается с 4–5 лет. Цветки двусемянные, одиночные или группами по 2–5,

желтые или золотисто-желтые. Цветение начинается в конце мая – начале июня, и продолжается этот процесс 1,5–2 недели. В Суусамырской долине достигает высоты 100–120 см, а на степных лугах – 50–60 см, растет в виде прямого компактного куста на склонах [1, с. 446]. Так как карагана имеет мощную корневую систему, уничтожение караганы гербицидами позволяет улучшить водный режим травянистых растений, а также образуется благоприятный пищевой и световой режимы для роста и развития кормовых растений, что способствует быстрому зарастанию очищенных от караганы участков травянистой растительностью. Поэтому в целях уничтожения караганы применялся химический метод, и в данном химическом эксперименте использовался эффективный и простой в приобретении глифосатсодержащий гербицид [2; 3].

Широкое распространение среди гербицидов получил глифосат. Этот неселективный гербицид используется для обработки сорных растений после прорастания. Глифосат (ТУ-(фосфонометил) глицин) имеет следующую структурную формулу (рис. 1).

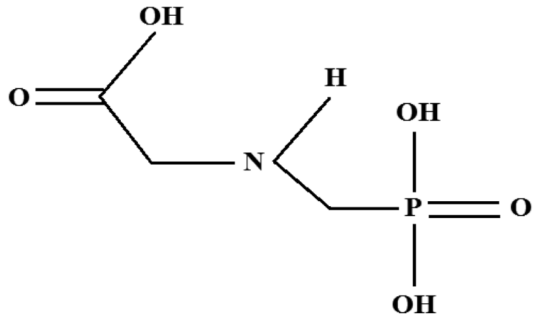


Рис. 1. Структурная формула глифосата

5-энолпирувилшикимат-3-фосфат (EPSP), катализирует в химической реакции: фосфоенолпируват (PEP) + 3-фосфошикимат (S3P) ⇌ фосфат + 5-енолпирувилшикимат-3-фосфат (EPSP)), который производит ароматические аминокислоты фенилаланин, тирозин и триптофан в растениях и микроорганизмах, – но не существует в геноме млекопитающих, включая человека. Он блокирует этот путь путем ингибирования фермента 5-енолпирувилшикимат-3-фосфат-синтаза (EPSPS), показан на рис. 2, который катализирует реакцию шикимат-3-фосфат (S3P) и фосфоенолпируват с образованием 5-енолпирувилшикиматом-3-фосфата (EPSPS) [3–5].

EPSPS-синтаза является биологической мишенью для гербицида глифосата. Глифосат абсорбируется через листву и минимально через корни, а это означает, что он эффективен только на активно растущих растениях. После применения глифосат легко транспортируется вокруг растущих корней и листьев растения, и эта системная активность очень важна для его эффективности [6, с. 6]. Глифосат является конкурентным ингибитором PEP, действуя как аналог переходного состояния, который более плотно связывается с комплексом EPSPS-S3P, чем PEP, и ингибирует путь шикимата. Это связывание приводит к ингибированию катализа фермента и закрывает путь. Ингибирование фермента вызывает накопление шикимата в тканях растений и отвлекает энергию и ресурсы от других процессов, убивая растение. В конечном итоге это приводит к гибели организма из-за недостатка ароматических аминокислот, необходимых организму для выживания. В то время как рост прекращается через несколько часов после применения, требуется несколько дней для листьев, чтобы они начали желтеть. Эффективность гербицидов зависит от нескольких факторов: объема и срока использования, погодных условий, мест расположения растений и других факторов [6–8].

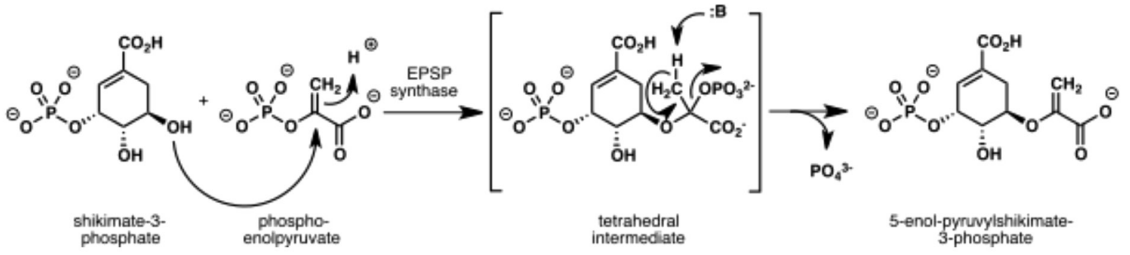


Рис. 2. Ингибирование EPSPS

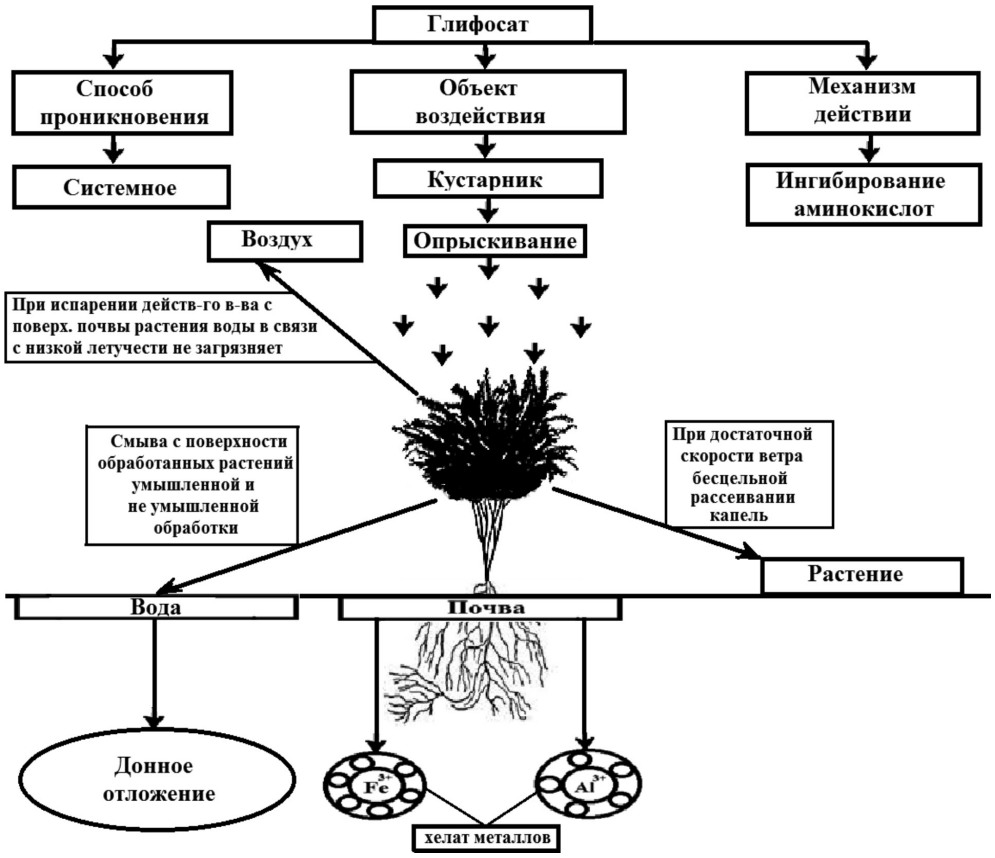


Рис. 3. Поступление глифосата в окружающую среду

Глифосат обладает высокой растворимостью в воде (12 г/л при 25 °С) и очень низким коэффициентом распределения в системе н-октанол-вода (logP < -3,2 при pH 2–5; 20 °С). Глифосат имеет системное воздействие и возможность поглощения от поверхности земли через растение до его корней. Период полураспада глифосата в почве, в зависимости от типа почв, находится в диапазоне от 3 до 130 дней. Остатки глифосата из обработанных сорняков, поступающие в почву, не проникают в другие растения [8, с. 88].

В результате парообразования от поверхности земли, растений и воды в связи с плохой способностью к летучести препарат не загрязняет атмосферный воздух. Во время использования гербицида при достаточной скорости ветра происходит бесцельное рассеивание капель гербицида, и в результате это приводит к разрушению и исчезновению других растений [8, с. 91].

Применение глифосатсодержащего гербицида способами опрыскивания кажется самым простым в использовании, и практически все современные гербициды малотоксичны, но, учитывая высокую интенсивность гербицидов, важно помнить, что любое несоблюдение технических правил использования химикатов может привести не только к экономическим и экологическим нежелательным последствиям, но и нанести непоправимый урон здоровью людей и сельскохозяйственным животным (рис. 3). Поэтому при применении гербицидов крайне важно знать состав основных компонентов и строго выполнять правила техники безопасности [9, с. 27].

Цель исследования: применение глифосатсодержащих гербицидов способом опрыскивания и определение наиболее эффективной дозы глифосатсодержащего гербицида «Ураган» для уничтожения кустарника караганы.

Материалы и методы исследования

Проведено мероприятие по уничтожению караганы, т.е. обработка путем опрыскивания кустарника глифосатсодержащим гербицидом. Для достижения наи-

лучших результатов экспериментальные работы в полевых условиях проводились в определенном месте с использованием ручного опрыскивателя *(Pressure Sprayer, ID#1030967818, 10 л)*. Опыт по влиянию гербицида «Ураган» на развитие кустарника карагана проводился в июне 2019 г., когда данный кустарник активно растет. Для проведения экспериментального опыта выбраны 4 участка с площадями по 1х1 м в Сусамырской долине на 167-168 км трассы перевала Тюа-Ашу, на территории Чуйской области Киргизской Республики.

В эксперименте для приготовления рабочего раствора использован кристалический порошок глифосатсодержащего гербицида «Ураган», испытывали четыре различные концентрации гербицида: А – 100 г/10 л, Б – 200 г/10 л, В – 300 г/10 л, Г – 400 г/10 л. Следует учитывать, что рабочий раствор глифосатсодержащего гербицида необходимо подготавливать и разбавлять в воде только перед самым применением. Рабочий раствор наносили методом распыления из ручного опрыскивателя в условиях ясной погоды, параметры климата составляли следующие данные: Р = 595 мм рт. ст., t = 22–24 °С, φ = 46–58 %. Активная интенсивность поглощения глифосатсодержащих гербицидов зависит от анотомо-морфологического строения растений. Необходимо знать время поглощения гербицида от начала его разбрызгивания до максимального поглощения растением. Для кустарников время впитывания гербицида считается от 3 до 7 дней. Поэтому полный результат действия гербицида на растения можем получить через 10 дней. Проводили наблюдения за состоянием растений через 5, 10 и 20 дней.

Результаты исследования и их обсуждение

Во всех опытных участках через 5 дней после обработки караганы глифосатсодержащим гербицидом наблюдались изменения окраски листьев на желто–зеленый цвет. Через 10 дней после обработки окраска листьев на участках А и Б сменилась на зеленовато-серый, на участках В и Г – на коричневато-серый цвет. При наблюдении через 20 дней процесс роста растений был подавлен, особенно обработанных рабочими растворами 300 г/10 л и 400 г/10 л на участках В и Г. Окраска листьев во всех опытных участках сменилась на серую, а также наблюдалось полное засыхание листьев, а именно, на участке В и Г некоторые стебли характеризовались почернением и отмиранием тканей (таблица, рис. 4–8).

Результаты проведенного эксперимента

Глифосатсодержащий гербицид («Ураган»), г/10 л воды	Окраска и состояние листьев		
	через 5 дней	через 10 дней	через 20 дней
100	желто-зеленая	зеленовато-серая	серая, полное засыхание листьев
200	желто-зеленая	зеленовато-серая	серая, полное засыхание листьев
300	желто-зеленая	коричневато-серая	серая, полное засыхание листьев
400	желто-зеленая	коричневато-серая	серая, полное засыхание листьев

участок А *участок Б* *участок В* *участок Г*

Рис. 4. Состояние растений караганы во время обработки гербицидом: А – 100 г/10 л, Б – 200 г/10 л, В – 300 г/10 л, Г – 400 г/10 л, июнь, 2019 г.

участок А *участок Б* *участок В* *участок Г*

Рис. 5. Состояние растений караганы через 5 дней после обработки гербицидом: А – 100 г/10 л, Б – 200 г/10 л, В – 300 г/10 л, Г – 400 г/10 л, 2019 г.

участок А *участок Б* *участок В* *участок Г*

Рис. 6. Состояние растений караганы через 10 дней после обработки гербицидом: А – 100 г/10 л, Б – 200 г/10 л, В – 300 г/10 л, Г – 400 г/10 л, 2019 г.

участок А *участок Б* *участок В* *участок Г*

Рис. 7. Состояние растений караганы через 20 дней после обработки гербицидом: А – 100 г/10 л, Б – 200 г/10 л, В – 300 г/10 л, Г – 400 г/10 л, 2019 г.

участок А *участок Б* *участок В* *участок Г*

Рис. 8. Состояние растений караганы через год после обработки гербицидом: А – 100 г/10 л, Б – 200 г/10 л, В – 300 г/10 л, Г – 400 г/10 л, 2020 г.

Заключение

При определении оптимальных по эффективности воздействия гербицида концентраций, применяемых в различных соотношениях, пришли к выводу, что во всех соотношениях получили почти одинаковые результаты. Но при наблюдении в следующем году на участке, где обработка проводилась жидкостным соединением глифосатсодержащего гербицида в соотношениях 100–200 г/10 л – 330 м^2, можно было отметить, что данная концентрация плохо воздействовала на стебли растения, и на некоторых стеблях караганы наблюдалось прорастание побега – значит, сохранилась ростовая активность. Поэтому гербицидное соединение в соотношениях 100-200 г /10 л – 330 м^2 не может считаться эффективным.

После обработки соединением глифосатсодержащего гербицида в соотношениях 300–400 г/10 л при наблюдении в следующем году обнаружили, что кустарник караганы был полностью высохшим и мертвым. Поэтому самым оптимальным и эффективным соотношением соединения гербицида является 300 г/10 л. Соединение в соотношении 400 г/10 л является экономически не выгодным и приводит к излишним расходам. На основе проведенных экспериментов можно рекомендовать использование глифосатсодержащего гербицида «Ураган» в соотношении 300 г/10 л в густорастущих кустарниках караганы. Для достижения хороших результатов необходимо обработать кустарники караганы 2–3 раза.

Список литературы / References

1. Уманова Н.Д., Омуров Ж.М., Кожобаев К.А. Особенности и сегодняшние проблемы пастбищных угодий Суусамырской долины // Известия КГТУ. 2019. № 2 (50). С. 442–448.

Umanova N.D. Omarov Zh. M. Kozhobaev K. A. Features and modern problems of pasture lands of the Suusamyr valley // Izvestiya KSTU. 2019. № 2 (50). P. 442–448 (in Kyrgyzstan).

2. Носников В.В., Юреня А.В., Майсеенок А.П. Опыты применения гербицидов при химическом уходе в лесных культурах // Лесное хозяйство. 2016. № 1. С. 119–123.

Nosnikov V.V., Yurenya A.V., Maiseenok A.P. Experiments in the use of herbicides in chemical care in forest cultures // Lesnoye khozyaystvo. 2016. № 1. P. 119–123 (in Russian).

3. Куликова Н.А., Лебедева Г.Ф. Гербициды и экологические аспекты их применения: учебное пособие. М., 2010. 152 с.

Kulikova N.A., Lebedeva G.F. Herbicides and ecological aspects of their application: uchebnoye posobiye. M., 2010. 152 p. (in Russian).

4. Наукович Е.А., Носников В.В., Доморонок П.А. Оценка возможности применения различных гербицидов при выращивании посадочного материала сосны обыкновенной и ели Европейской // Лесное хохяйство. 2012. № 1. С. 196–200.

Naukovich E.A., Nosnikov V.V., Domoronok P.A. Assessment of the possibility of using various herbicides in the cultivation of planting material for Scots pine and European spruce // Lesnoye khozyaystvo. 2012. № 1. P. 196–200 (in Russian).

5. Мирошникова В.А., Кирюшин Т.В., Моталова Д.И. Вопросы применения гербицидов на основе глифосата // Наука молодых (EruditioJuvenium). 2018. № 2. С. 318–325.

Miroshnikova V.A., Kiryushin T.V., Motalova D.I. Issues of the use of herbicides based on glyphosate // Nauka molodykh (Eruditiojuvenium). 2018. № 2. P. 318–325 (in Russian).

6. Спиридонов Ю.Я., Жемчужин С.Г., Клейменова И.Ю., Босак Г.С. современное состояние проблемы изучения применения гербицидов // Агрохимия. 2019. № 6. С. 81–91.

Spiridonov Yu.Ya., Zhemchuzhin S.G., Kleimenova I.Yu., Bosak G.S. the current state of the problem of studying the use of herbicides // Agrohimiya. 2019. № 6. P. 81–91 (in Russian).

7. Спиридонов Ю.Я., Никитин Н.В. Глифосатсодержащие гербициды – особенности технологических применения в широкой практике растениеводства // Вестник защиты растений. 2015. № 4 (86). С. 5–11.

Spiridonov Yu.Ya., Nikitin N.V. Glyphosate-containing herbicides – features of technological applications in the wide practice of plant growing // Vestnik zashchity rasteniy. 2015. № 4 (86). P. 5–11 (in Russian).

8. Кузнецова Е.М., Чмиль В.Д., Глифосат: Поведение в окружающей среде и уровни остатков // Институт экогигиены и токсикологии им. Л.И. Медведя. 2010. № 1 (48). С. 87–95.

Kuznetsova E.M., Chmil V.D., Glyphosate: Behavior in the environment and levels of residues // Institut ekogigiyeny i toksikologii im. L.I. Medvedya. 2010. № 1 (48). P. 87–95 (in Russian).

9. Шихотов В.М., Шмидт Я.Я., Кучин В.В. Сорные и ядовитые растения пастбищь Киргизии и меры борьбы с ними. Ф., 1985. 84 с.

Shikhotov V.M., Schmidt Ya.Ya., Kuchin V.V. Weed and poisonous plants of Kyrgyz pastures and measures to combat them. F., 1985. 84 p. (in Russian).

СТАТЬИ

УДК 528.11:528.06:519.65:519.2

ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО СПОСОБА УРАВНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВТОРНОГО НИВЕЛИРОВАНИЯ, ВЫПОЛНЯЕМОГО НА ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПОЛИГОНАХ

Волков В.И., Волков Н.В., Волкова Т.Н.

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, e-mail: volkov.nikita@yahoo.com

В рамках научной статьи представлена реализация способа уравнивания результатов повторного высокоточного нивелирования, отличная от традиционных подходов, применяемых в геодезии. Описанный в статье метод основан на использовании, в дополнение к классическим методам математической обработки геодезических измерений, метода наименьших модулей. Выбор метода наименьших модулей в качестве инструмента для уравнивания результатов геодезических измерений обусловлен исключением влияния грубых ошибок на интерпретацию результатов наблюдений. Для решения регистрационных задач применяют метод максимального правдоподобия, однако для нормального распределения помех, метод максимального правдоподобия совпадает с методом наименьших квадратов. Теорема Гаусса – Маркова, в основе которой лежит метод наименьших квадратов, утверждает, что оценка искомых неизвестных в методе наименьших квадратов обладает наименьшей среди всех линейных несмещенных оценок матрицей ковариаций независимо от закона распределения помехи. Однако для других (отличных от нормального) законов распределения оценка методом наименьших квадратов не является эффективной. Следовательно, метод наименьших квадратов является асимптотически эффективным лишь в случае нормального закона распределения помехи, когда полученные оценки являются оценками максимального правдоподобия. «Страховка» от влияния грубых ошибок является чрезвычайно актуальным результатом исследования, позволяющим повысить качество, надежность и репрезентативность результатов сложно организуемого повторного высокоточного нивелирования. Приведенный в статье метод может быть адаптирован и к другим геодезическим наблюдениям. В статье представлены результаты и обоснование применения метода в рамках обработки результатов повторного высокоточного нивелирования на геодинамическом полигоне. Авторами показана более высокая эффективность и научная обоснованность использования метода наименьших модулей в соответствии с описанной в статье методикой по отношению к традиционно используемым в геодезии подходам к математической обработке результатов измерений.

Ключевые слова: метод наименьших модулей, уравнивание высокоточных геодезических измерений, повышение качества и репрезентативности результатов геодезических измерений

SEARCH FOR THE OPTIMAL WAY OF MATHEMATICAL COMPENSATION THE RESULTS OF RE-LEVELING PERFORMED ON GEODYNAMIC POLYGONS

Volkov V.I., Volkov N.V., Volkova T.N.

Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint Petersburg, e-mail: volkov.nikita@yahoo.com

Within the framework of the scientific article, the implementation of a method for equalizing the results of repeated high-precision leveling, different from traditional approaches used in geodesy, is presented. The described method is based on the use of the method of least modules. This method can be used in addition to the classical methods of mathematical compensation of geodetic measurements. The choice of the method as a tool for adjusting the results of geodetic measurements is made for the elimination of the influence of gross errors on the interpretation of the results of observations. To solve registration problems, the maximum likelihood method is used, but for normal distributed interference, the maximum likelihood method coincides with the least squares method. The Gauss-Markov theorem, which is based on the least squares method, states that the estimation of the desired unknowns in the least squares method has the smallest covariance matrix among all linear unbiased estimates, regardless of the interference distribution law. However, for other (non-normal) distribution laws, the least squares estimation is not effective. Consequently, the least squares method is asymptotically effective only in the case of the normal law of the interference distribution, when the estimates obtained are maximum likelihood estimates. «Insurance» against the influence of gross errors is an extremely relevant research result, which makes it possible to improve the quality, reliability and representativeness of the results of complicated repeated high-precision leveling. The method presented in the article can be adapted to other geodetic observations. The article presents the results and justification of the application of the method in the framework of processing the results of repeated high precision leveling at the geodynamic test site. The authors have shown a higher efficiency and scientific validity of using the method of least modules in accordance with the method described in the article in relation to the approaches traditionally used in geodesy to the mathematical processing of measurement results.

Keywords: method of least modules, adjustment of high-precision geodetic measurements, improving the quality and representativeness of the results of geodetic measurements

Решение многих практических и научно-технических задач, связанных с изучением современных движений земной коры и поверхности, оценкой техногенных деформационных процессов и устойчивостью прецизионных сооружений, основано на использовании значимых и репрезентативных результатов повторных геодезических из-

мерений. Успешное решение таких задач на современном этапе осложняется наличием в результатах повторных высокоточных нивелирований грубых погрешностей, которые часто соизмеримы с определяемыми значениями величин смещений и их скоростей. Особо следует отметить, что грубые погрешности, присутствующие в результатах повторного нивелирования, не только резко снижают эффективность их использования при мониторинге деформационных процессов, но и способствуют принятию ошибочных решений по управлению контролируемых негативных последствий, обусловленных развитием этих процессов. К причинам возникновения в результатах повторного высокоточного нивелирования следует отнести быстроизменяющиеся, нерегулярные изменения внешних условий, в которых выполняется нивелирование, нарушения методики нивелирования исполнителями и допущенные ими ошибки.

Выполненные исследования на геодинамических полигонах разрабатываемых месторождений показали, что результаты повторного нивелирования в соответствии с соответствующими нормативными документами и инструкциями отягощены в суровых климатических условиях Крайнего Севера по объективным и субъективным причинам грубыми погрешностями, обусловленными следующими основными факторами:

– сдвижениями переходных точек при различных затратах времени на прокладку прямых и обратных нивелирных ходов на фоне развития гидротермических движений земной поверхности и морозного пучения высокодисперсных грунтов;

– смещения штативов на нивелирных станциях;

случайными наклонами нивелирных реек;

– нивелирной рефракцией, порождаемой неустойчивой температурной стратификацией;

– ошибочным выбором места постановки нивелирной рейки при использовании в качестве нивелирного пункта скважин нефтегазовых промыслов или конструктивных элементов инженерных объектов;

– различия в освещении нивелирных реек и температурных деформациях разных частей нивелирных реек.

Традиционно влияние таких грубых ошибок на результаты повторного нивелирования ослаблялось на основе анализа этих результатов исполнителем в соответствии с традиционными рекомендациями, приведенными в «инструкции по нивелированию I, II, III и IV классов».

На современном этапе применения автоматизированных систем геодезических измерений и математической обработки их результатов проблема оценки влияния и исключения грубых погрешностей нивелирования обострилась. Так при выполнении измерений электронными нивелирами к традиционным грубым ошибкам добавляются грубые ошибки наведения на нивелирную рейку, фиксации отсчетов по нивелирной рейке, искаженная нумерация мест постановки нивелирных реек и другие [1].

Полученная информация с помощью электронного нивелира, отягощенная грубыми погрешностями, предварительно не обрабатываемая и не анализируемая исполнителем, поступает в массив данных, подтверждающийся математической обработкой, основанной на классических способах уравнивания методом наименьших квадратов. В традиционной теории математической обработки геодезических измерений, в том числе результатов повторного нивелирования, проблеме установления наличия грубых ошибок и их исключения отводилась незначительная роль [1–3]. Поэтому необходимо дальнейшее совершенствование в геодезическом производстве процедуры поиска и исключения грубых ошибок из результатов геодезических измерений и, в частности, повторного высокоточного нивелирования. Одним из прогрессивных путей решения такой проблемы является поиск и исключение грубых ошибок в процессе уравнительных вычислений.

Целью исследования является внедрение нетрадиционного подхода к уравниванию результатов высокоточных геодезических измерений с позиций метода наименьших модулей (МНМ) [4, 5]. В рамках решаемой задачи требуется определить k значений неизвестных величин из n ($n > k$) линейных уравнений:

$$(a^i, x) = b_i,\ i = 1,...,n;\ x \in R_k. \qquad (1)$$

Метод позволяет исключить влияние грубой ошибки в измерениях на результат уравнивания, что позволит увеличить надежность и репрезентативность интерпретации результатов измерений.

Материалы и методы исследования

Уравнивание выполняется традиционно по методу наименьших квадратов (МНК), согласно которому измеренные величины

получают поправки v_i, удовлетворяющие условию $[pv^2] = min$, где p_i – вес результата измерений. При этом применяют параметрический и коррелатный способы уравнивания. Коррелатный способ предусматривает составление r ($r = n - k$) условных уравнений на n неизвестных истинных значений измеренных величин. То есть составляются уравнения не на k ($k > n$) неизвестных параметров, а на n неизвестных истинных значений измеренных величин, представляющих собой собственно линейные комбинации k неизвестных параметров.

Параметрический способ базируется на системе уравнений n поправок. Основные уравнения коррелатного способа уравнивания можно представить как $(n - 2)$ линейных комбинаций из n уравнений поправок параметрического способа. Таким образом, коррелатный способ уравнивания, так же как и параметрический, сводится к нахождению k неизвестных параметров.

Различие параметрического и коррелатного способов уравнивания состоит в том, что в параметрическом способе определяются k неизвестных значений из n уравнений ($n > k$), а в коррелатном эти же k неизвестных параметров определяются из $r = n - k$ уравнений, рассматриваемых как условные уравнения при минимизации некоторой функции от n переменных, что делает ее функцией от k неизвестных. Следовательно, оба способа уравнивания являются эквивалентными и сводятся к поиску k неизвестных из n при ($n > k$) соотношений, что и составляет задачу уравнивания.

Результаты исследования и их обсуждение

Система уравнений поправок (1) является переопределенной и чаще всего не имеет решения (традиционно), поэтому ставится задача минимизации какой-либо формы от невязки (несоответствие измеренных величин известному математическому условию).

При параметрическом способе уравнивания поправки v_i представлены как реализация помех геодезических измерений в их результатах. В соответствии помех при измерениях $n - k$ уравнения поправок системы (1) являются линейными комбинациями из k независимых уравнений этой же системы.

Эту же задачу можно свести к задаче линейной регрессии типа

$$y_i = (u^i, x^*) + \xi_i, \; i = 1,...,n; \; x^* \in R_k, \quad (2)$$

где по y_i (искаженные помехой x_i) и известным входным величинам u^i оценивается вектор x^*. Как известно [6], для решения регистрационных задач применяют метод максимального правдоподобия, здесь укажем лишь, что для нормального распределения помех метод максимального правдоподобия совпадает с методом наименьших квадратов. Известная [7] теорема Гаусса – Маркова, в основе которой лежит метод наименьших квадратов, утверждает, что оценка искомых неизвестных МНК обладает наименьшей среди всех линейных несмещенных оценок матрицей ковариаций независимо от закона распределения помехи. Однако для других (отличных от нормального) законов распределения оценка МНК не является эффективной. Следовательно, МНК является асимптотически эффективным лишь в случае нормального закона распределения помехи, когда оценки МНК являются оценками максимального правдоподобия.

Согласно [7], оценки максимального правдоподобия, как и МНК при нормальном распределении помехи, не являются устойчивыми к отклонениям закона распределения помехи от предполагаемого.

Рассмотрим последние утверждения на примере. Оценкой максимального правдоподобия скалярной величины x^0 по m измерениям $z_i = x^0 + E_i$, где E_i – независимые случайные величины, нормально распределенные со средним 0 и дисперсией 1, является среднее арифметическое $x_m^0 = \dfrac{\sum_{i=1}^{m} z_i}{m}$.

Представленная оценка имеет наименьший второй момент среди любых несмещенных оценок для случая нормального распределения помех. Пусть одно измерение z_i из m измерений z_m распределено иначе. Тогда и у оценки x_m^0 дисперсия будет значительной по величине. Такие ситуации сопровождает высокоточное повторное нивелирование, выполненное в циклах наблюдений на геодинамических полигонах (отказ нивелира, смещение костыля и нивелирного знака, ошибочное наблюдение нивелирной рейки и т.д.). Такие события встречаются при строгом соблюдении программы нивелирования редко, но оказывают решающее влияние на оценку x_m.

Швейцарский статистик Хубер [8] предложил путь исключения таких осложнений. Считая, что истинная плотность помехи p неизвестна (известным является лишь класс, которому она принадлежит), Хубер указал оценки, работоспособные для всех p из этого класса. При естественных предпо-

ложениях такие оценки являются асимптотически мини-максными на класс, то есть в известном смысле [6] оптимальными. Приведем Хуберовские оценки для двух наиболее важных классов. Если p_m – класс всех нивелирных распределений, то

$$x_m^u = \arg\min f_m(x),$$

где

$$f_m(x) = \sum_{i=1}^{m} \left(y_i - (u_i, x)\right).$$

То есть поскольку о распределении ничего не известно, то следует применять метод наименьших модулей. Если p – класс «приближенно нормальных» распределений, то

$$x_m^u = \arg\min f_m(x) = \sum_{i=1}^{m} F\left(y_i - (u_i, x)\right),$$

$$F(z) = \begin{cases} \dfrac{z^2}{r}, |z| \le d \\ |z| \cdot d - \dfrac{d^2}{r}, |z| > d \end{cases}. \qquad (3)$$

Параметр d в математических выражениях (3) зависит от «уровня загрязнения» основного (нормального распределения). Следовательно, если распределение близко к нормальному, то необходимо пользоваться «промежуточным» между МНК и МНМ методом. Следовательно, использование МНМ предоставляет возможности «застраховаться» от влияния грубой ошибки измерений, когда о распределении помехи ничего не известно. Следует учитывать, что МНК в этой ситуации может дать оценку неизвестного вектора параметров, непригодную для научно-практического использования в геодинамической и геомеханической интерпретации результатов повторного нивелирования [9].

Рассмотрим результаты уравнивания элементов нивелирной сети, представленной на рисунке.

При параметрическом способе уравнивания система уравнений поправок (1) имеет следующий вид

$$v_i = a_i \delta x_1 + b_i \delta x_2 + ... + g_i \delta x_k + l_i,$$

$$l_i = f_i(x_1^0, x_2^0, ..., x_k^0) - y_i,$$

где x_i^0 – близкие (приближенные) к точным значениям измеряемых параметров.

В таблице представлены значения поправок dx, полученных по рекуррентным схемам МНК и МНМ при трех рядах значений невязок l_{kj} (k = 1, … ,6; j = 1, 2, 3) и соответствующих им дисперсиям невязок d_i. Представленные результаты показывают, что при уменьшении «дисперсии невязок» значения поправок dx_1, dx_2, dx_3, полученных по рекуррентным схемам МНК и МНМ, сближаются, а при увеличении «дисперсии невязок» в значениях поправок наблюдаются значительные расхождения. Так как о распределении погрешностей в рассматриваемом примере ничего не известно, то для уравнивания, с позиций научной корректности и эффективности результатов уравнивания, целесообразно применить рекуррентный метод наименьших модулей [9, 10].

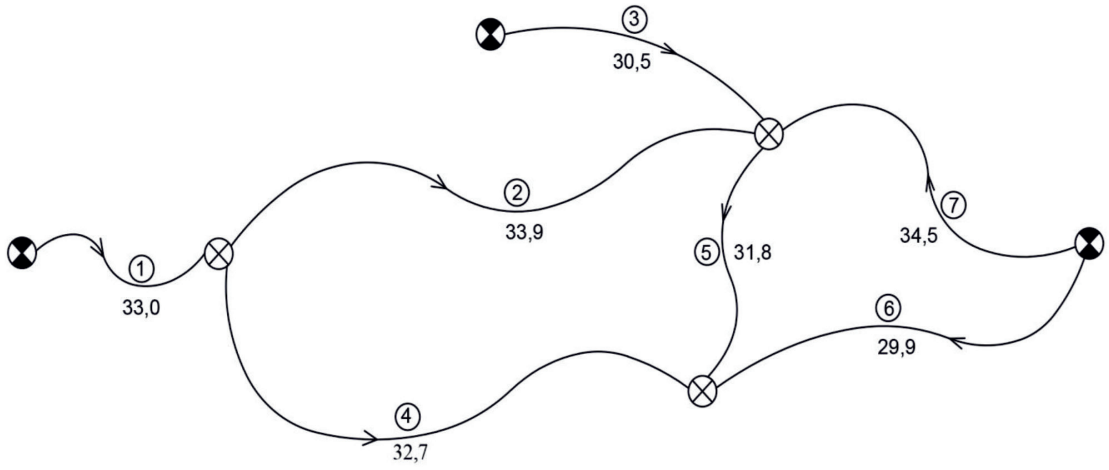


Схема сети нивелирных ходов

Результаты уравнивания

Ряд невязок l_i, мм	Метод уравнивания и значения поправок δ_x	
	МНК	МНМ
Дисперсии невязок δ_i, мм	δx_1, δx_2, δx_3	δx_1, δx_2, δx_3
0,0; 1,7; 0,0; 8,5; 4,9; 0,0; -0,9 12,37 Критерий МНК = 25,56 Критерий МНМ = 9,40	-2,57 -0,82 3,30	-2,00 -0,30 4,50
-1,0; 1,2; -1,3; 1,4; 1,1; -1,2; 1,5 1,41 Критерий МНК = 1,81 Критерий МНМ = 2,79	-1,48 -1,30 -0,62	-2,13 -1,33 -0,72
0,0; 1,65; 0,0; 8,5; 4,8; 0,0; 0,9 12,35 Критерий МНК = 25,56 Критерий МНМ = 9,42	-2,56 -0,82 3,31	-1,97 -0,32 4,48

Справедливость данной рекомендации по выбору метода для уравнивания результатов нивелирования также подтверждается следующими обстоятельствами. В рассматриваемой нивелирной сети геодинамического полигона при равных длинах ходов и периметров полигонов нивелирования получены значительные расхождения в невязках от 0,9 до 8,5 мм, что позволяет предположить наличие отклоненной от нормального закона распределения ошибок нивелирования. Это частично подтверждается данными уравнивания, полученными по МНК и МНМ.

Заключение

Таким образом, применение традиционно используемых для решения подобного рода задач методов, относящихся к математической обработке результатов повторных высокоточных геодезических наблюдений, в основе которых лежит метод наименьших квадратов, не является полностью обоснованным и единственным безальтернативным подходом. Приведенные результаты и требования нормативных материалов, накладываемые на методику проведения повторного высокоточного нивелирования, показывают, что применение метода наименьших модулей, в дополнение к методу наименьших квадратов, позволяет повысить качество, репрезентативность и релевантность результатов повторного высокоточного нивелирования, за счет снижения влияния систематических ошибок повторного высокоточного нивелирования и позволяя исключить их или учесть на стадии обработки его результатов.

Список литературы / References

1. Герасименко М.Д., Каморный В.М. О методах поиска и отбраковки грубых ошибок геодезических измерений // Вестник инженерной школы ДВФУ. 2018. № 3. С. 128–133.

Gerasimenko M.D., Kamornyy V.M. On methods of searching and rejecting gross errors of geodetic measurements // Vestnik inzhenernoj shkoly DVFU. 2018. No. 3. P. 128–133 (in Russian).

2. Зубарев А.Э., Федосеев Ю.В. Особенности методики математической обработки результатов высокоточного нивелирования с использованием электронных нивелиров // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2011. № 4. С. 76–81.

Zubarev A.E., Fedossev Yu.V. Features of the methodology for mathematical processing of the results of high-precision leveling using electronic levels // Avtomatizirovannye tekhnologii izyskanij i proektirovaniya. 2011. No. 4. P. 76–81 (in Russian).

3. Беликов А.Б., Симонян В.В. Математическая обработка результатов геодезических измерений. НИС МГСУ. 2016. 432 с.

Belikov A.B., Simonyan V.V. Mathematical processing of the results of geodetic measurements. NIS MGSU. 2016. 432 p. (in Russian).

4. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний: национальный стандарт Российской Федерации: издание официальное: утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 октября 2012 г. № 597-ст: дата введения 2013 07-01. М.: Стандартинформ, 2012. 16 с.

GOST 20522-2012. Soils. Methods of statistical processing of test results: national standard of the Russian Federation: official edition: approved and put into effect by the Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology dated October 29, 2012. No. 597-st: date of introduction 2013-07-01. Standartinform, 2012. 16 p.

5. Пантелеев А.В., Летова Т.А. Методы оптимизации в примерах и задачах. М.: Высшая школа, 2015. 544 с.

Panteleev A.V., Letova T.A. Optimization methods in examples and problems. M.: Vysshaya shkola, 2015. 544 p.

6. Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию. М.: Наука, 1983. 384 с.

Polyak B.T. Introduction to optimization. M.: Nauka, 1983. 384 p.

7. Большаков В.Д., Маркузе Ю.И., Голубев В.В. Уравнивание геодезических построений. М.: Недра, 1989. 413 с.

Bol'shakov V.D., Markuze Yu.I., Golubev V.V. Adjustment of geodetic constructions. M.: Nedra, 1989. 413 p.

8. Peter Liver: Huber Eugen.ln: Neue Deutshe Biographie (NDB), Band 9, Duncker & Humblot, Berlin, 1977. 690 p.

9. Волков В.И., Митягин С.Д., Волкова Т.Н. Новый подход к математической обработке результатов повторных геодезических наблюдений, используемых в архитектурно-строительной практике // Вестник гражданских инженеров. 2015. № 6 (53). С. 216–221.

Volkov V.I., Volkova T.N., Mityagin S.D. A new approach to the mathematical processing of the results of repeated geodetic observations used in architectural and construction practice // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2015. № 6 (53). P. 216–221 (in Russian).

10. Герасименко М.Д., Каморный В.М. Уравнивание повторных геодезических измерений при наличии систематических ошибок // Геодезия и картография. 2014. № 9. С. 6–8.

Gerasimenko M.D., Kamornyy V.M. Adjustment of repeated geodetic measurements in the presence of systematic errors // Geodeziya i kartografiya. 2014. № 9. P. 6–8 (in Russian).

УДК 551.34:536.24

РАСЧЕТ ГЛУБИНЫ ОТТАИВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Галкин А.Ф.

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Якутск, e-mail: afgalkin@yandex.ru

Глубина оттаивания горных пород является важным техническим показателем, определяющим выбор надежных способов и средств крепления горных выработок при проектировании подземных сооружений в криолитозоне. Существующие в настоящее время аналитические зависимости не позволяют в явном виде определить глубину оттаивания за заданный период времени. Целью настоящей работы была оценка точности приближенной формулы для определения безразмерного радиуса оттаивания горных пород вокруг выработок цилиндрической симметрии в подземных сооружениях криолитозоны. Расчетная формула была получена путем аппроксимации функции в известной зависимости для определения длительности периода оттаивания пород вокруг выработок на заданную глубину. Все зависимости представлены в безразмерном виде как функции от критериев (чисел) Фурье и Стефана. Такой подход позволил выделить наиболее характерную область геокриологических и климатических условий эксплуатации подземных сооружений, когда возможно применение полученной приближенной формулы. Сделана оценка точности и возникающей относительной ошибки при замене одной формулы на другую. Показано, что при значениях безразмерного радиуса оттаивания больше 1,5 возникающая ошибка не превышает допустимого в инженерной практике значения. Причем возникающая ошибка зависит только от критерия Фурье и не зависит от критерия Стефана. Результаты вариантных расчетов представлены в виде 2D и 3D графиков, которые позволяют наглядно определить степень расхождения результатов расчетов по различным формулам для определения глубины оттаивания пород. Определена область рационального использования полученной формулы для определения безразмерного радиуса оттаивания горных пород вокруг выработок подземных сооружений криолитозоны.

Ключевые слова: оттаивание, прогноз, метод расчета, безразмерные критерии, точность, ошибка, криолитозона

CALCULATION OF THE DEPTH OF THAWING OF ROCKS IN UNDERGROUND STRUCTURES OF THE CRYOLITHOZONE

Galkin A.F.

Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk, e-mail: afgalkin@yandex.ru

The depth of thawing of rocks is an important technical indicator that determines the choice of reliable methods and means of fastening mine workings in the design of underground structures in the cryolithozone. Currently existing dependencies do not allow to explicitly determine the depth of thawing for a given period of time. The purpose of this work was to assess the accuracy of the approximate formula for determining the dimensionless radius of thawing of rocks around the workings of cylindrical symmetry in the underground structures of the cryolithozone. The calculation formula was obtained by approximation of the function in a certain dependence to determine the duration of the period of thawing of rocks around the workings to a given depth. All dependencies are presented in a dimensionless form, as functions from the criteria (numbers) of Fourier and Stéphane. This approach made it possible to identify the most characteristic area of geocryological and climatic conditions of operation of underground structures, when it is possible to apply the obtained approximate formula. An assessment of the accuracy of the accuracy of the and the relative error that occurs when replacing one formula with another. It is shown that at values of dimensionless thawing radius greater than 1.5, the error that occurs does not exceed the value allowed in engineering practice. Moreover, the resulting error depends only on the Fourier criterion and does not depend on the Stefan criterion. Presults of variant calculations are presented in the form of 2D and 3D graphs, which allow you to visually determine the degree of discrepancy between the results of calculations according to various formulas to determine the depth of thawing of rocks. The area of rational use of the obtained formula for determining the dimensionless radius of thawing of rocks around the workings of underground structures of the cryolithozone is determined.

Keywords: thawing, frozen rocks, cryolithozone, dimensionless variables, forecast, calculation method

Тепловой фактор во многих, практически интересных случаях оказывает существенное влияние на выбор обоснованных и надежных технических и технологических решений при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных и наземных сооружений криолитозоны различного назначения [1–3]. Главным образом это связано с зависимостью прочностных свойств дисперсных мерзлых пород от температуры. Известно, что при повышении температуры, даже в диапазоне отрицательных значений, прочность горных пород снижается. По данным многочисленных лабораторных исследований, выполненных в нашей стране и зарубежными учеными, эта зависимость близка к квадратичной. То есть, например, чтобы прочность пород на сжатие увеличить в два раза, надо понизить их температуру в четыре раза (в пределах отрицательных значений, естественно). Для снижения прочности нужно, наоборот, повышать температуру горных пород. Кроме того, известно, что при отта-

ивании отдельных видов дисперсных пород прочность может достигать нулевых значений [4–6]. Поэтому получение достоверной информации о процессах формирования теплового режима горных пород, окружающих выработки конкретного подземного сооружения, является важным элементом проектирования, позволяющим обоснованно выбрать параметры крепи, обеспечивающие заданную степень надежности эксплуатации горных выработок в течение всего нормативного срока существования подземного сооружения. Наиболее представительным показателем, который обычно используется при проектировании для выбора вида и параметров крепи, является глубина оттаивания (радиус оттаивания) горных пород вокруг выработок. Например, выбор параметров анкерной крепи для горных выработок рудников криолитозоны напрямую определяется глубиной оттаивания дисперсных пород [1, 7, 8]. Как правило, замок анкера должен размещаться в мерзлых породах. Если значение глубины оттаивания превышает длину анкеров, применяемых на руднике, то используют другой вид крепи, например арочную металлическую крепь. Естественно, что капитальные затраты при этом существенно увеличиваются. Этот пример показывает практическую важность реальной оценки глубины оттаивания пород вокруг выработок подземных сооружений криолитозоны. В настоящее время разработаны мощные программные комплексы для прогноза теплового режима горных пород и грунтовых оснований, при наличии процессов промерзания-оттаивания, которые используются при выборе проектных решений, например [9, 10]. Наиболее перспективными являются программные комплексы «FROST 3D» и «COMSOL Multiphysics», которые позволяют моделировать широкий круг прикладных задач строительной и горной теплофизики и постоянно совершенствуются. Однако они не всегда доступны обычным инженерным работникам горных и строительных предприятий, которым приходится принимать оперативные решения по обеспечению надежности конкретных подземных объектов в период эксплуатации. Поэтому получение простых аналитических зависимостей для прогноза температурного режима горных пород и, в частности, глубины оттаивания пород вокруг горных выработок, является актуальной задачей горной теплофизики, которой уделяется должное внимание в научном и инженерном сообществе [11–13].

Целью настоящей работы является оценка точности приближенной формулы для определения безразмерного радиуса оттаивания горных пород вокруг выработок цилиндрической симметрии в подземных сооружениях криолитозоны.

Материалы и методы исследования

Для достижения цели воспользуемся методологией, изложенной нами ранее в работах [13–15], которая основана на использовании безразмерных критериев для нахождения искомых параметров. Математически задача сводится к решению уравнения Фурье с соответствующими граничными условиями (1)–(2), из которого находится значение теплового потока на границе зоны оттаивании мерзлых пород.

Постановка задачи в безразмерном виде

$$\frac{\partial T}{\partial Fo} = \frac{1}{R}\frac{\partial}{\partial R}\left(R\frac{\partial T}{\partial R}\right),\ 1 \le R \le S \qquad (1)$$

$$T = to,\ R = 1. \qquad (2)$$

Исходным выражением для получения расчетных формул является условие Стефана, которое для однофазной задачи может быть записано в следующем безразмерном виде

$$St\frac{\partial S}{\partial Fo} = -\frac{\partial T}{\partial R},\ T = T_0.\ R = S. \qquad (3)$$

В выражениях (1)–(3) приняты следующие безразмерные переменные:

$$R = r/Ro;\ T = Tp/Te;\ to = t/\ Te;$$

$$S = S_h/R_0;\ S_h = h + R_0.$$

Так как горные выработки подземных сооружений редко имеют классическую круговую (цилиндрическую) симметрию, для их приведения к канонической форме воспользуемся понятием «эквивалентного радиуса», который определяется по простой формуле [1,15] $R_0 = \sqrt{S_0/\pi}$. Где S_0 – реальное сечение горной выработки любой формы, м^2. В таблице приведены значения эквивалентного радиуса для выработок различных сечений, характерных для подземных сооружений криолитозоны.

Соответствие сечения выработки эквивалентному радиусу

S_0, м^2	7,0	10,0	12,0	15,0	20,0	30,0	40,0	50,0
R_0, м	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	3,1	3,6	4,0

Остальные обозначения в формулах (1)–(3): *Fo* – число (критерий) Фурье, равное $a\tau / R_0^2$, где *a* – температуропроводность горных пород, м²/с. Температуропроводность горных пород (коэффициент температуропроводности) является комплексной величиной, определяется по формуле: $a = \lambda/(c\rho)$, где *c* – удельная теплоемкость горных пород, Дж/кг·К; ρ – плотность горных пород, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности горных пород, Вт/(м К). *St* – число (критерий) Стефана, равное *Lw*/*ct*, где *L* – скрытая теплота плавления льда, Дж/(кг К); *w* – льдистость горных пород, д.е.; *t* – температура воздуха в период оттаивания, °С; R_0 –характерный размер, который в данном случае примем равным эквивалентному радиусу, м; *h* – глубина оттаивания пород, м; *r* – координата, м.

Используя допущение о том, что профиль изменения температуры в талой зоне аналогичен стационарному профилю температуры в пределах талой зоны пород, в работе [1] было получено выражение для определения длительности периода оттаивания горных пород на заданную глубину, которое в безразмерном виде можно записать в компактной форме:

$$Fo = 0,25Stf(S), \qquad (4)$$

$$f(S) = \left(1 + S^2\left(lnS^2 - 1\right)\right). \qquad (5)$$

Данное уравнение является трансцендентным. То есть недостатком этого выражения является невозможность в явном виде выразить зависимость безразмерной глубины оттаивания пород от времени (критерия Фурье). В связи с этим путем аппроксимации функции (5) нами было получено простое выражение для определения параметра «*S*» в зависимости от значения чисел *Fo* и *St*.

$$S = 0,36\left(0,6 + \ln\left(\frac{Fo}{St}\right)\right). \qquad (6)$$

Выражение (6) действительно при выполнении условия $(Fo/St) \geq 0,16$. Это соответствует значению безразмерной глубины оттаивания $S \geq 1,5$. То есть выражение (4) для определения длительности периода оттаивания горных пород вокруг выработок подземного сооружения (при выполнении данного условия) с достаточной для инженерных расчетов точностью, может быть записано в виде

$$Fo = 0.0025St(\exp(2,775S)). \qquad (7)$$

Результаты исследования и их обсуждение

Диапазон изменения, который ограничивает применение упрощенной формулы, был обоснован анализом характерных условий эксплуатации капитальных подземных сооружений криолитозоны, эксплуатирующихся с естественным (нерегулируемым) тепловым режимом, либо с положительным тепловым режимом. В первом случае критерий Фурье, как правило, больше 3. А во втором – больше 10. Поскольку число Стефана для горных пород криолитозоны, как правило, не превышает 15, то минимальное соотношение (*Fo*/*St*) не будет ниже значения 0,2. Таким образом, определенная с запасом граница $(Fo/St) \geq 0,16$ является достаточно надежным условием применения упрощенной расчетной формулы (7). По полученным формулам были проведены вариантные расчеты, которые представлены в виде графиков на рисунках 1–4. На рис. 1 показана зависимость критерия Фурье от безразмерного радуса оттаивания горных пород вокруг выработки подземного сооружения, вычисленного по формуле (7) – кривая 1 и формуле (5) – кривая 2 для различных значений числа Стефана.

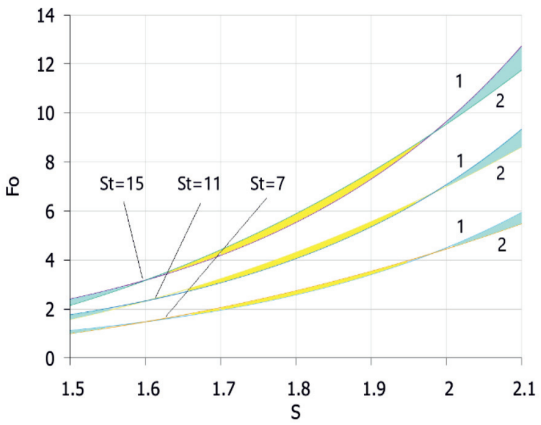


Рис. 1. Изменение числа Фурье в зависимости от безразмерного радиуса оттаивания пород при различных значениях числа Стефана: 1 – формула (7); 2 – формула (5)

Голубым цветом на рисунке выделены участки, где значения числа Фурье, определенные по формуле (7), больше, чем вычисленные по формуле (5). Желтым цветом – наоборот. Суммарная площадь участков различного цвета приблизительно одина-

кова. Как видно из рисунка, в рассматриваемом диапазоне изменения значений безразмерного радиуса оттаивания пород обе формулы дают приблизительно одинаковый результат в широком диапазоне изменений чисел Стефана (от 7 до 15). Что охватывает практически весь возможный диапазон климатических и геокриологических условий эксплуатации подземных сооружений в криолитозоне [7, 14, 15].

Для наглядности и сравнения на рис. 2 приведен 3D график, охватывающий диапазон изменения параметра *S* от 1 до 2 и числа Стефана от 5 до 15.

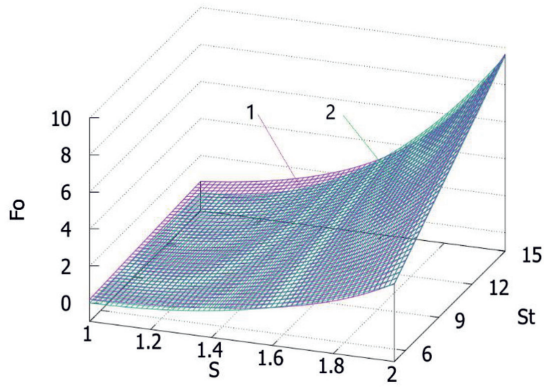


Рис. 2. Изменение числа Фурье в зависимости от числа Стефана при различных значениях безразмерного радиуса оттаивания пород: 1 – формула (7); 2 – формула (5)

Как видно из графиков, на участке изменения параметра S от 1 до 1,5 плоскости расходятся. А на участке, где S больше значения 1,5, практически сливаются. Это свидетельствует о неплохой точности результатов при использовании аппроксимирующей функции (7) в данном диапазоне для значений числа Стефана во всем возможном на практике интервале изменения от 5 до 15. Само понятие «неплохой точности» является условным. В технических науках принят не качественный, а количественный критерий оценки точности. Обычно считается, что достаточной для инженерных расчетов точностью является ошибка, не превышающая 10 % от значения искомой величины. В связи с этим была сделана количественная оценка точности расчетов при замене уравнения (5) на уравнение (7). На рис. 3 приведен график, характеризующий изменение относительной ошибки в диапазоне изменения безразмерного радиуса оттаивания от 1 до 2.

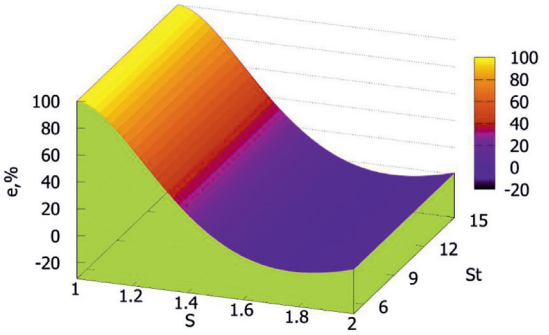


Рис. 3. Относительная ошибка в расчетах критерия Фурье при замене формулы (5) на формулу (7) при $1 \le S \le 2$

Из графика видно, что, чем меньше значение безразмерного радиуса оттаивания, тем относительная ошибка больше. Причем, как и следовало ожидать (это видно из простого сравнения расчетных формул), относительная ошибка не зависит от критерия Стефана: кривые на графике при *St* = 5 и *St* = 15 идентичны. В то же время из графика следует, что существует область (выделена синим цветом), где ошибка меньше допустимой в инженерной практике. Для наглядности эта область представлена отдельно на рис. 4.

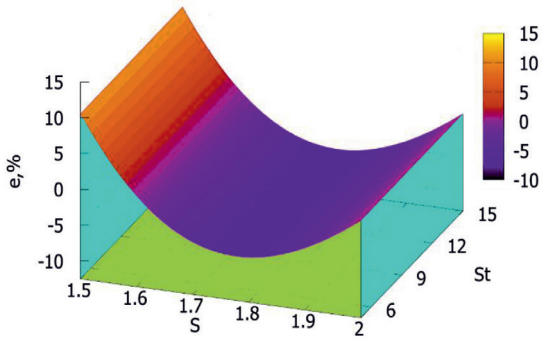


Рис. 4. Относительная ошибка в расчетах критерия Фурье при замене формулы (5) на формулу (7) при $2 \ge S \ge 1{,}5$

На рисунке отчетливо видно, что для случая, когда безразмерный радиус оттаивания изменяется в диапазоне $2 \ge S \ge 1{,}5$, относительная ошибка не превышает допустимого в инженерной практике значения. То есть применение формулы (7) для прогноза глубины оттаивания пород является допустимым в указанной области изменения исходных параметров: критерия Фурье и безразмерного радиуса.

Заключение

Обоснована актуальность исследований, направленных на прогноз и управление температурным режимом мерзлых пород вокруг подземных сооружений криолитозоны, эксплуатирующихся при положительном тепловом режиме, допускающем оттаивание горных пород на заданную глубину. Сформулирована и записана задача, подлежащая решению в безразмерном (критериальном) виде. Путем аппроксимации функции из известного решения однофазной задачи Стефана при граничных условиях первого рода для объектов цилиндрической симметрии получено выражение для определения безразмерного радиуса оттаивания в зависимости от критериев Фурье и Био. Проведено сравнение результатов расчетов по исходной и приближенной формулам в широком диапазоне изменения начальных данных, характерных для условий эксплуатации подземных сооружений криолитозоны. Установлено, что относительная ошибка расчетов не зависит от критерия Стефана и является только функцией критерия Фурье. Определена область возможного использования приближенной формулы, в которой относительная ошибка не превысит допустимой в инженерной практике величины. Показано, что для большинства практически интересных случаев возникающая при прогнозе глубины оттаивания ошибка может быть отнесена в расчетный запас.

Дальнейшие исследования в данной области должны быть направлены на получение простой формулы прогноза глубины оттаивания пород вокруг выработок цилиндрической и сферической симметрии для подземных сооружений криолитозоны с небольшим сроком эксплуатации. Необходимо также провести сравнение использованных аналитических формул с результатами численного моделирования соответствующих типовых теплофизических задач с помощью существующих программных комплексов.

Список литературы / References

1. Скуба В.Н. Исследование устойчивости горных выработок в условиях многолетней мерзлоты. Новосибирск: Наука, 1974. 118 с.

Scuba V.N. Research on the sustainability of mining in permafrost. Novosibirsk: Nauka, 1974. 118 p. (in Russian).

2. Воронов Е.Т., Бондарь И.А. Влияние температурного фактора на безопасность и эффективность ведения подземных горных работ в криолитозоне // Вестник ЧитГУ. 2010. № 5 (62). С. 85–93.

Voronov E.T., Bondar I.A. Influence of the temperature factor on the safety and efficiency of underground mining in the permafrost zone // Bulletin of ChitGU. 2010. No. 5 (62). P. 85–93 (in Russian).

3. Шерстов В.А. Повышение устойчивости выработок россыпных шахт Севера. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1980. 56 с.

Sherstov V.A. Increase in sustainability of the mining of the North. Novosibirsk: Nauka, 1980. 56 p. (in Russian).

4. Guo fang Xu, Jilin Qi, Wei Wu. Temperature Effect on the Compressive Strength of Frozen Soils: A Review. Recent Advances in Geotechnical Research, Springer Series in Geomechanics and Geoengineering. 2019. P. 227–236. DOI: 10.1007/978-3-319-89671-7_19.

5. Teng J., Shan F., He Z., Zhang S., Sheng D. Experimental study of ice accumulation in unsaturated clean sand. Géotechnique. 2018. P. 208–225. DOI: 10.1680/jgeot.17.P.208.

6. Ushakov G.S., Galkin A.F. Calculation of the stable room span when the rock mass is subjected to additional freezing // Soviet Mining. 1976. Vol. 12. Issue 4. P. 364–367.

7. Вернигор В.М., Морозов К.В., Бобровников В.Н. О подходах к проектированию теплового режима рудников в условиях многолетнемерзлых пород // Записки Горного института. 2013. Т. 205. С. 139–140.

Vernigor V.M., Morozov K.V., Bobrovnikov V.N. About approaches to designing the thermal regime of mines in permafrost // Zapiski Gornogo instituta. 2013. Vol. 205. P. 139–140 (in Russian).

8. Галкин А.Ф. Тепловой режим рудников криолитозоны // Записки Горного института. 2016. Т. 219. С. 377–381. DOI: 10.18454/pmi.2016.3.377.

Galkin A.F. Thermal regime of cryolithozone mines // Zapiski Gornogo instituta. 2016. Vol. 219. P. 377–381 (in Russian). DOI: 10.18454/pmi.2016.3.377.

9. Горелик Я.Б., Паздерин Д.С. Корректность постановки и решения теплотехнических задач по прогнозу динамики температурных полей в основании сооружений на многолетнемерзлых грунтах // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI. № 3. С. 49–59.

Gorelik Ya.B., Pazderin D.S. Correctness of formulation and solution of thermomechanical problems in forecasting temperature field dynamics in the foundations of constructions on permafrost // Kriosfera Zemli, 2017. V. XXI. No. 3. P. 49–59 (in Russian).

10. Permyakov P.P., Popov G.G., Zhirkov A.F., Varlamov S.P., Skryabin P.N. Numerical modeling of railway embankment deformations in permafrost regions, Central Yakutia. Lecture Notes In Civil Engineering. 2020. Vol. 50. P. 93–103.

11. Zeeshan Khalid M., Zubair M., Majid Ali. An analytical method for the solution of two phase Stefan problem in cylindrical geometry. Applied Mathematics and Computation. 2019. Vol. 342. P. 295–308.

12. McCord D., Crepeau J., Siahpush A., Brogin J. Analytical solutions to the Stefan problem with internal heat generation. Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 103. P. 443–451.

13. Galkin A.F. Calculation of parameters of cryolitic zone mine openings thermal protection coating. Metallurgical and Mining Industry. 2015. No 8. P. 64–69.

14. Галкин А.Ф. Расчет параметров теплозащитных покрытий подземных сооружений криолитозоны // «Известия ВУЗов. Горный журнал». 2008. № 6. С. 81–89.

Galkin A.F. Calculation of the parameters of heat-shielding coatings of underground structures of the permafrost zone // «Izvestiya VUZov. Gornyy zhurnal». 2008. No. 6. P. 81–89 (in Russian).

15. Галкин А.Ф., Курта И.В. Влияние температуры на глубину оттаивания мерзлых пород // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2020. № 2. С. 82–91. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-2-0-82-91.

Galkin A.F., Kurta I.V. Influence of temperature on the depth of thawing of frozen rocks // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskiy zhurnal). 2020. No. 2. P. 82–91 (in Russian). DOI: 10.25018 / 0236-1493-2020-2-0-82-91.

УДК 911.52(477.75)

ПРИМЕНЕНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ LANDSAT-8 ДЛЯ МОНИТОРИНГА ЛАНДШАФТОВ В ПРЕДЕЛАХ БАХЧИСАРАЙСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ КРЫМ (НА ПРИМЕРЕ РАСЧЕТА ЗНАЧЕНИЙ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI И ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ (LST))

Горбунов Р.В., Табунщик В.А., Андрончик Я.О.

ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, e-mail: tabunshchyk@ya.ru

На современном этапе развития науки и техники особенно актуальным становится всестороннее использование данных дистанционного зондирования Земли для решения различных народнохозяйственных задач. Космические снимки высокого разрешения являются одним из лучших инструментов для этих целей. Использование космических снимков позволяет осуществлять мониторинг различных явлений и процессов, происходящих в различных временных и пространственных масштабах, как на локальном, так и на региональном и глобальном уровнях. Особенно хорошо для этих целей подходят мультиспектральные космические снимки, в частности семейство космических снимков Landsat. Существует множество показателей, которые могут быть оценены с использованием космических снимков. В работе используются космические снимки для оценки двух показателей. Одним из показателей, который оценивается по мультиспектральным космическим снимкам, являются вегетационные индексы, среди которых наиболее распространенным является Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), который показывает активность зеленой фитомассы растений в период съемки и показывает нарушенность растительного покрова. Еще одним показателем, который рассчитывается по мультиспектральным космическим снимкам, является температура поверхности – Landsat Surface Temperature (LST). Вместе эти показатели показывают интенсивность освоения той или иной территории. Особенно это характерно для территорий, вовлеченных в хозяйственную деятельность. В работе на примере территории Бахчисарайского района Республики Крым показана динамика изменения за 2020 г. вегетационного индекса NDVI и изменение температуры поверхности LST. Установлено, что рассматриваемые показатели изменяются на территории Бахчисарайского района Республики Крым с северо-запада на юго-восток и коррелируют с изменением абсолютных высот на рассматриваемой территории.

Ключевые слова: мониторинг, ГИС, Крым, Крымский полуостров, Landsat, NDVI, LST

APPLICATION OF LANDSAT-8 SATELLITE IMAGES FOR MONITORING LANDSCAPES WITHIN THE BAKHCHISARAI DISTRICT OF THE REPUBLIC OF CRIMEA (USING THE EXAMPLE OF CALCULATING NDVI AND LST)

Gorbunov R.V., Tabunschik V.A., Andronchik Ya.O.

A.O. Kovalevskiy Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, e-mail: tabunshchyk@ya.ru

At the present stage of the development of science and technology, the comprehensive use of Earth remote sensing data for solving various national economic problems is becoming especially relevant. High-resolution satellite images are one of the best tools for these purposes. The use of satellite images makes it possible to monitor various phenomena and processes occurring at various time and spatial scales, both at the local, regional and global levels. Multispectral satellite images, in particular the Landsat family of satellite images, are particularly well suited for these purposes. There are many indicators that can be estimated using satellite images. The work uses satellite images to evaluate two indicators. One of the indicators that is evaluated by multispectral satellite images are vegetation indices, among which the most common is the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), which shows the activity of green phytomass of plants during the shooting period and shows the disturbance of vegetation cover. Another indicator that is calculated from multispectral satellite images is the surface temperature – Landsat Surface Temperature (LST). Together, these indicators show the intensity of development of a particular territory. This is especially true for territories involved in economic activity. Using the example of the territory of the Bakhchisarai district of the Republic of Crimea, the dynamics of changes in the vegetation index NDVI and the change in surface temperature LST for 2020 are shown in the work. It is established that the considered indicators change in the territory of the Bakhchisarai district of the Republic of Crimea from the northwest to the southeast and correlate with the change in absolute heights in the territory under consideration.

Keywords: monitoring, GIS, Crimea, the Crimean Peninsula, Landsat, NDVI, LST

Термин «мониторинг» со второй половины XX в. все активнее используется в научной литературе в связи с постоянным ростом хозяйственного освоения территорий и акваторий земного шара. Согласно [1, с. 6] под мониторингом понимается «система повторных целенаправленных наблюдений за исследуемыми объектами в пространстве и времени». Географические информационные системы (ГИС) и космические снимки высокого разрешения в последние годы стали все активнее использоваться в целях

оперативного мониторинга различных природных и антропогенных объектов [2–5]. Использование космических снимков для целей мониторинга представляет особенно актуальную задачу сейчас, при постоянно увеличивающихся потоках информации и необходимости принятия решений. Особенно остро это проявляется для территорий, которые активно используются и вовлекаются в хозяйственное развитие.

Крымский полуостров после 2014 г. испытывает особенно мощный процесс преобразования, развития и модернизации инфраструктуры, масштабы которого уже сложно оценивать традиционными методами. В связи с этим постоянно нарастает нагрузка на экосистемы и ландшафты Крымского полуострова.

Цель исследования – показать возможность применения мультиспектральных космических снимков для целей мониторинга ландшафтов в пределах Бахчисарайского района Республики Крым.

Материалы и методы исследования

Для мониторинга за вегетационным состоянием растений и определения температуры поверхности использованы космические снимки Landsat-8, которые имеют разрешение 30х30 м/пиксель, и содержат набор мультиспектральных каналов, которые являются хорошим средством для ведения мониторинга. Существенным недостатком, при высоком разрешении, является периодичность съемки, которая в среднем составляет два снимка в месяц. Однако с учетом того, что над территорией Крымского полуострова наблюдается значительная облачность, особенно в зимние месяцы, подобрать серию снимков за год не представляется возможным. В связи с этим в работе использованы выборочные космические снимки Landsat-8 за весну – осень 2020 г.

Для целей мониторинга по космическим снимкам возможно рассчитывать множество показателей, характеризующих ту или иную территорию [6, 7]. В работе анализируется вегетационный индекс NDVI и температура поверхности, рассчитанные на основе космических снимков Landsat-8. Методика исследования изложена в работах [8, 9].

Расчет вегетационного индекса NDVI происходит по формуле (1) [10]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где NIR – отражение в ближней инфракрасной области спектра, RED – отражение в красной области спектра.

Расчет температуры поверхности производится с использованием методики, описанной в работах [11–13], по формуле (2), с использованием 10-го канала мультиспектрального архива снимка Landsat-8, ввиду лучших результатов по сравнению с 11-м каналом, как показано в работе [14].

$$T = (1321.08 / (Ln ((774.89 / ((«B10.TIF» * *0.0003342) + 0.1)) + 1))) – 273.15, \quad (2)$$

где «B10.TIF» – 10-й канал мультиспектрального архива снимка Landsat-8 за определенную дату.

Обработка и расчеты произведены с использованием программного комплекса QGIS. Ландшафтная структура приводится по ландшафтно-типологической карте Г.Е. Гришанкова [15] (рис. 1).

Результаты исследования и их обсуждение

В результате исследования для территории Бахчисарайского района Республики Крым получены значения вегетационного индекса NDVI за 2020 г. (рис. 2) на выбранные даты, имеющие минимальное облачное покрытие.

Как видно из рис. 2, максимальные значения NDVI характерны для юго-восточной части Бахчисарайского района, где сосредоточены природные лесные экосистемы, в то время как минимальные – для северо-западной части, где активно ведется хозяйственная деятельность и на сельскохозяйственных полях еще не наступила активная фаза вегетации и центральной части, где проходят основные магистрали и расположены крупные населенные пункты. В то же время, если рассматривать сезонную динамику, то в летние месяцы наблюдаются максимальные значения NDVI, которые достигают в юго-восточной части Бахчисарайского района значений более 0,8. Анализ значений NDVI показывает, что максимальные значения наблюдаются в пределах групп местной с естественной непреобразованной растительностью.

Особый интерес представляет распределение значений NDVI в пределах групп местностей ландшафтов в пределах Бахчисарайского района Республики Крым. На рис. 3 представлена карта средних значений вегетационного индекса NDVI в пределах Бахчисарайского района Республики Крым для групп местностей.

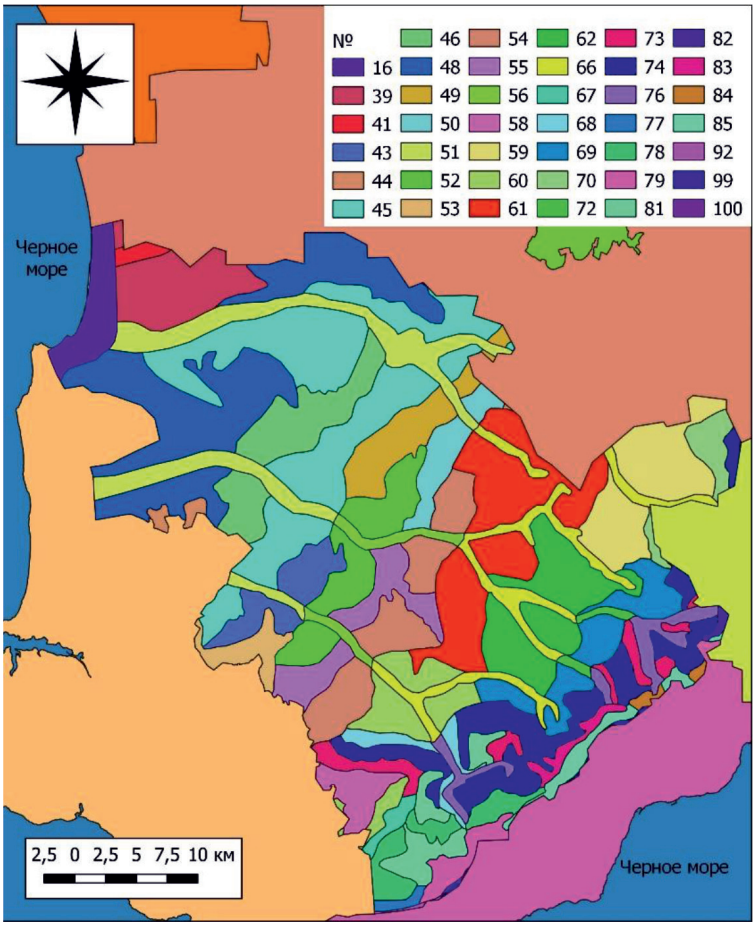


Рис. 1. Фрагмент ландшафтно-типологической карты Г.Е. Гришанкова на территорию Бахчисарайского района Республики Крым (номера ландшафтов приводятся согласно [15])

Как можно видеть из рис. 2, в пределах групп местностей наибольшие средние значения вегетационного индекса NDVI приходятся на группы местностей среднегорно-склонового пояса дубовых, можжевелово-дубовых и смешанных широколиственных лесов. Если рассматривать значение NDVI в пределах восстановленных ландшафтов, представленных на территории Бахчисарайского района, то этот вегетационный индекс косвенно показывает преобразованность ландшафтного контура, ввиду того, что значительно увеличивается неоднородность распределения NDVI. Например, группа местностей денудационно-останцовые равнины с разнотравными степями, зарослями типа «дубки» и колючекустарниковыми зарослями типа «шибляк» характеризуется средними значениями NDVI, которые меньше, чем в большинстве других групп местностей в пределах пояса лесостепи на останцово-денудационных, структурных денудационных и аккумулятивных равнинах, куэстовых возвышенностях, ввиду того что по ней проходит большая часть дорожной инфраструктуры, связывающая Симферополь и Севастополь, а также расположены населенные пункты. На рис. 4 представлен график изменения вегетационного индекса NDVI за рассматриваемый период, из которого видно, что максимальные значения присутствуют практически в течение всего года для контуров с лесной растительностью, а минимальные – для контуров, где активно идет хозяйственное использование территории и выращивают сельскохозяйственные культуры.

Мониторинг температуры поверхности, выполненный на основании космических снимков Landsat-8, представлен на рис. 5.

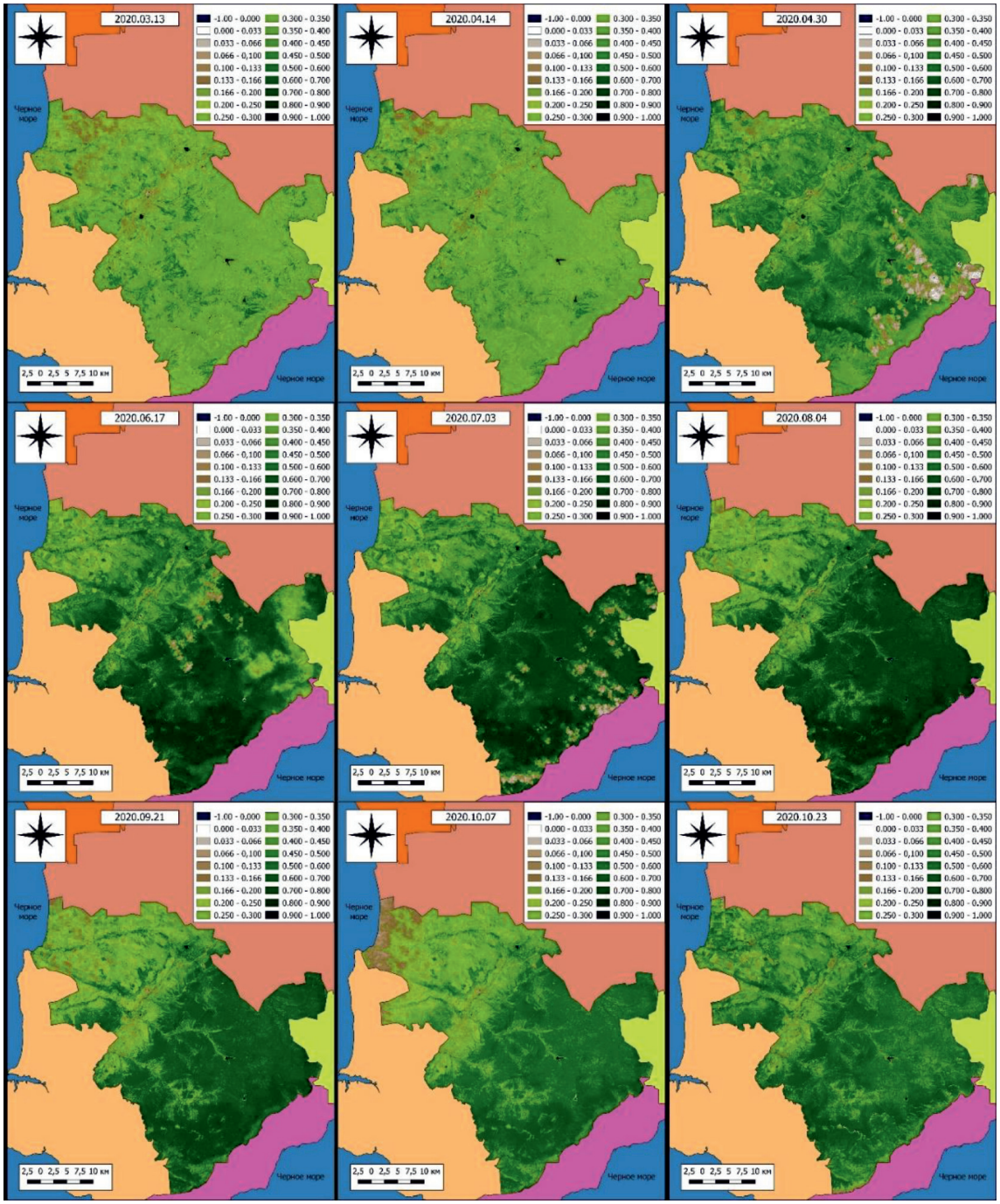


Рис. 2. Значение вегетационного индекса NDVI за 2020 г. в пределах Бахчисарайского района Республики Крым

Для анализа температуры поверхности, как и вегетационного индекса NDVI, снимки за 30 апреля 2020 г., 17 июня 2020 г., 03 июля 2020 г. и 07 октября 2020 г. подходят частично, так как имеют минимальное перекрытие облаками. Как видно из рис. 4, в пределах Бахчисарайского района Республики Крым максимальные температуры поверхности характерны для северо-запада, где имеется большое количество открытых участков, а минимальные – для юго-восточной части района, где преобладают леса.

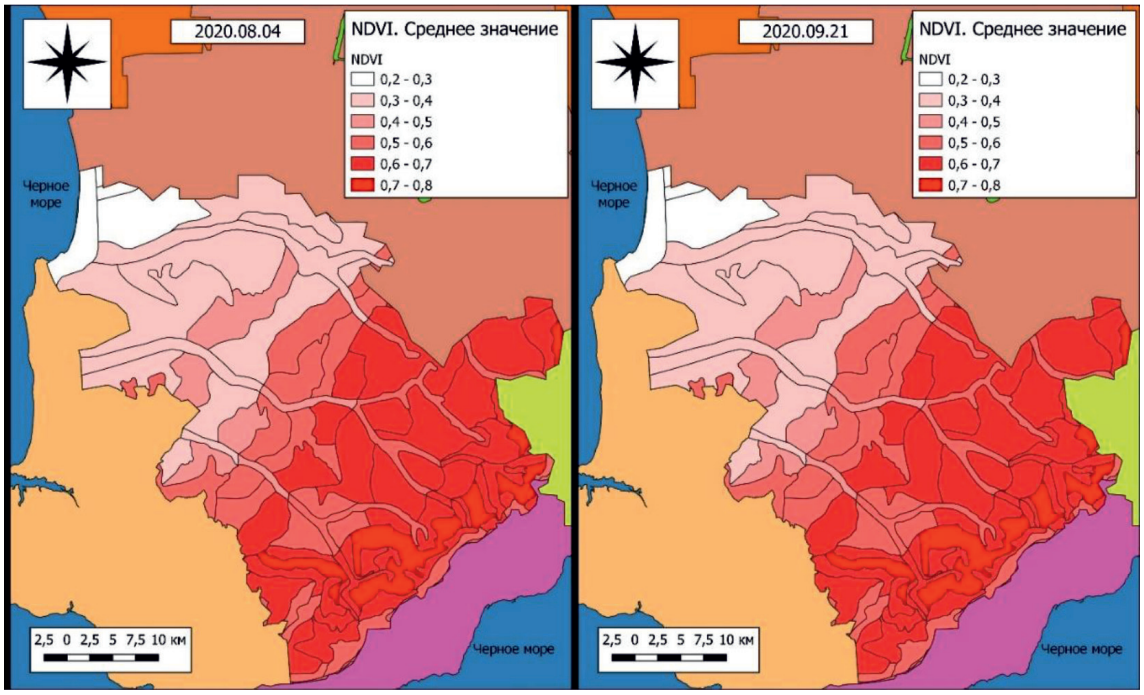


Рис. 3. Средние значения NDVI в пределах групп местностей на ландшафтно-типологической карте в пределах Бахчисарайского района Республики Крым

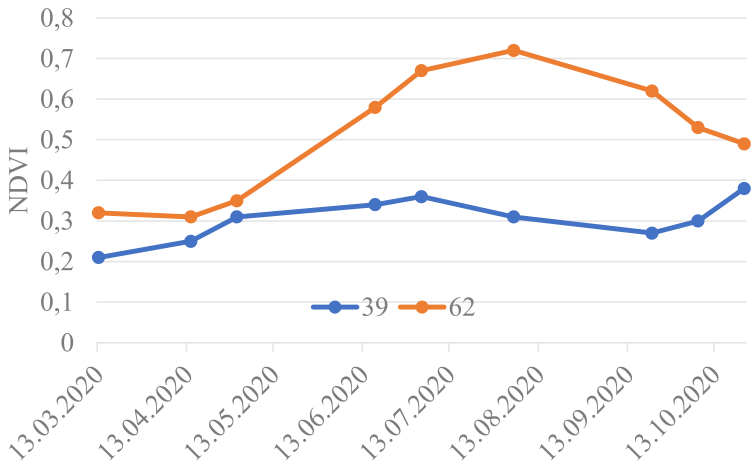


Рис. 4. Динамика изменения вегетационного индекса NDVI в пределах группы местностей № 39 (денудационно-останцовые и аккумулятивные равнины с ковыльно-типчаковыми степями) и № 62 (эрозионное овражно-балочное низкогорье с дубовыми лесами и лесокустарниковыми зарослями)

К тому же существенный вклад в уменьшение температуры поверхности с северо-востока на юго-запад вносит увеличение абсолютных высот. Наибольшую наглядность показывает рис. 6, где представлено распределение средних температур поверхности в пределах групп местностей, где вышеуказанная закономерность отчетливо видна. Расчет коэффициента корреляции между средними значениями абсолютной высоты и температуры поверхности в пределах групп местностей показал значения -0,85 для 04 августа 2020 г. и -0,82 для 21 сентября 2020 г., что свидетельствует

о наличии высокой отрицательной связи между абсолютной высотой и температурой поверхности.

В то же время корреляционный анализ показывает наличие очень высокой обратной отрицательной связи между средними значениями NDVI и температурой поверхности. Для 04 августа 2020 г. коэффициент корреляции составляет -0,92, а для 21 сентября 2020 г. составляет -0,91.

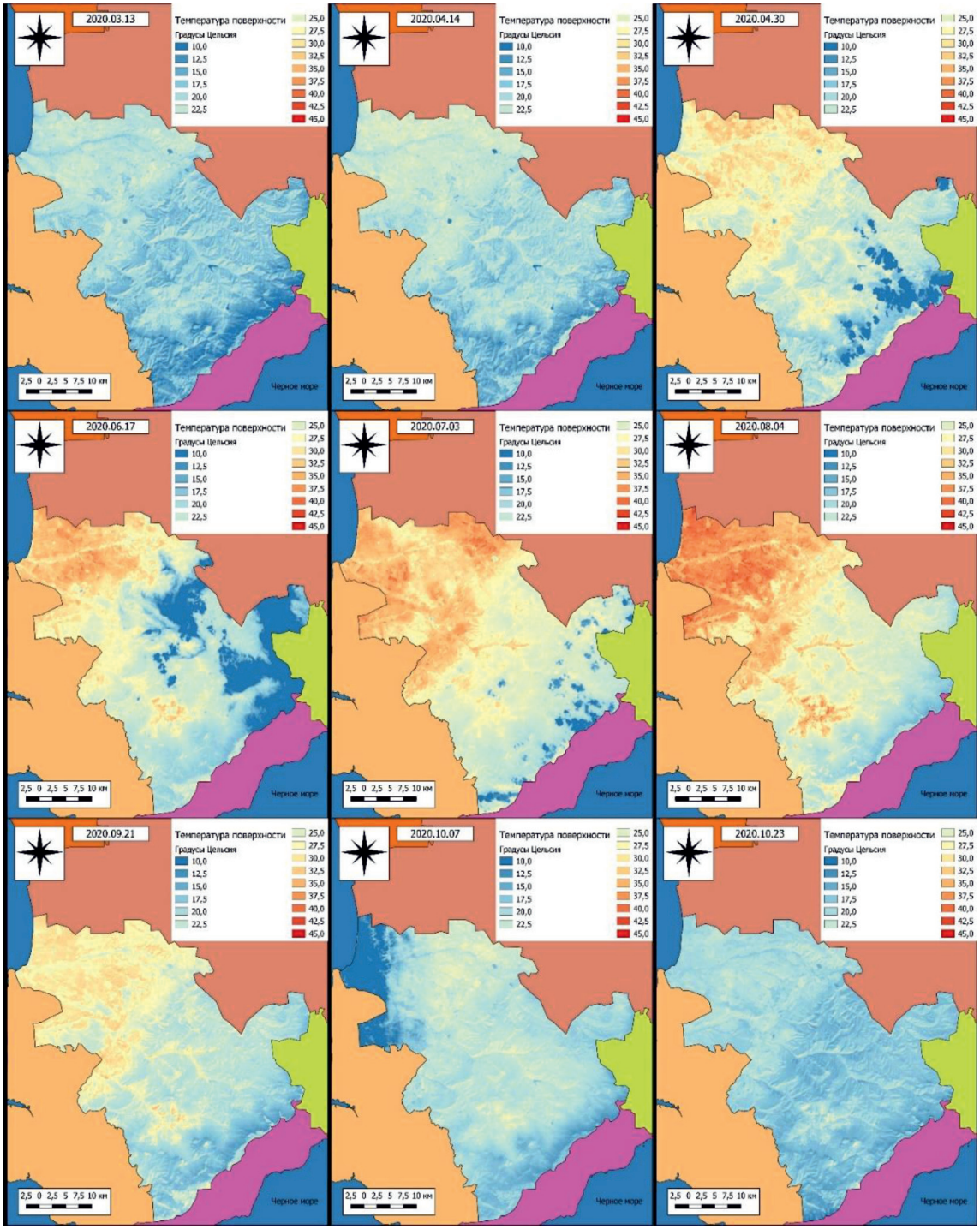


Рис. 5. Значение температуры поверхности (LST) за 2020 г. в пределах Бахчисарайского района Республики Крым

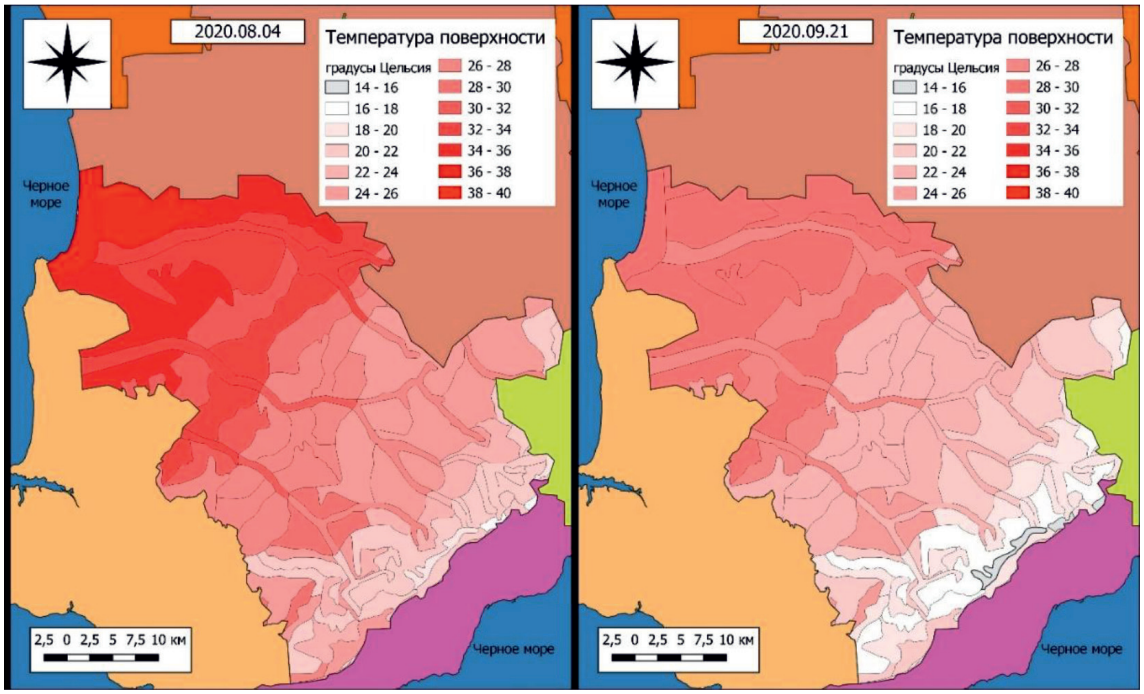


Рис. 6. Среднее значение температуры поверхности в пределах групп местностей на ландшафтно-типологической карте в пределах Бахчисарайского района Республики Крым

Таким образом можно говорить, что распределение вегетационного индекса NDVI и температуры поверхности (LST) носит квазизональный характер и нарушается только в пределах участков, где территория активно преобразована и используется в хозяйственной деятельности (населенные пункты, транспортная инфраструктура, земли сельскохозяйственного использования) и отчетливо выделяется при мониторинге.

Заключение

Использование космических снимков высокого разрешения позволяет вести мониторинг различных территорий, в том числе и ландшафтов и экосистем, при условии отсутствия данных полевых натурных исследований и слабом покрытии территории Крымского полуострова сетью метеостанций. Полученные данные репрезентативны и позволяют оценивать современное состояние и динамику различных показателей для исследуемых территорий. В результате исследования установлено, что на территории Бахчисарайского района Республики Крым значения вегетационного индекса NDVI увеличиваются, а температуры поверхности уменьшаются с северо-запада на юго-восток, что связано с увеличением абсолютных высот и уменьшением антропогенной преобразованности территории.

Исследование выполнено в рамках темы НИР «Изучение пространственно-временной организации водных и сухопутных экосистем с целью развития системы оперативного мониторинга на основе данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий. Регистрационный номер: 121040100327-3».

Список литературы / References

1. Каниболоцкая Ю.М., Толсужанова А.Т. Мониторинг окружающей среды и геоинформационные систем. Павлодар: Кереку, 2015. 137 с.

Kanibolotskaya Yu.M., Tolsuzhanova A.T. Environmental monitoring and geoinformation systems. Pavlodar: Kereku, 2015. 137 p. (in Russian).

2. Golubeva E.I., Kashirina E.S., Novikov A.A., Glukhova E.V. Using the NDVI index for geo-ecological estimation of specially protected natural territories by the example of Sevastopol. InterCarto, InterGIS. 2019. Vol. 25. № 1. P. 320–331. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-320-331.

3. Zeshan M.T., Mustafa M.R.U., Baig M.F. Monitoring Land Use Changes and Their Future Prospects Using GIS and ANN-CA for Perak River Basin, Malaysia. Water. 2021. Vol. 13. No. 16. P. 2286. DOI: 10.3390/w13162286.

4. Dzhalilova G., Mamatkulov, F., Mamatkulova Z., Igamberdieva D., Eshquvatov Q. Long-term monitoring of the vegetation cover of mountain territories in the GIS for soil and

landscape study of territories. E3S Web of Conferences. 2021. Vol. 264. P. 01004. DOI: 10.33619/2414-2948/64/03.

5. Солодков Н.Н., Молчанов О.М. Мониторинг зарастания неиспользуемых сельскохозяйственных земель на основе ГИС-технологий // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2019. № 4 (52). С. 48–53. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-52-4-48-54.

Solodkov N.N., Molchanov O.M. Monitoring overgrowth of unused agricultural lands based on GIS technologies // Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 4 (52). P. 48-53. DOI: 10.31563/1684-7628-2019-52-4-48-54 (in Russian).

6. Tabunschik V.A. The distribution of the values of the NDVI on the territory of the Razdolnensky district of the Republic of Crimea in January-June 2018. Geopolitics and ecogeodynamics of regions. 2019. № 2. P. 225–242.

7. Каширина Е.С., Новиков А.А., Голубева Е.И., Новикова А.М. Оценка уровня озеленения г. Севастополя по данным дистанционного зондирования Земли // Системы контроля окружающей среды. 2020. № 2 (40). С. 108–116. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-2-108-116.

Kashirina E.S., Novikov A.A., Golubeva E.I., Novikova A.M. Assessment of the level of landscaping in Sevastopol according to the data of remote sensing of the earth // Sistemy kontrolya okruzhayushchey sredy. 2020. № 2 (40). P. 108–116. DOI: 10.33075 / 2220-5861-2020-2-108-116 (in Russian).

8. Yuan F., Bauer M.E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. Remote Sensing of environment. 2007. Vol. 106. № 3. P. 375–386. DOI: 10.1016/j.rse.2006.09.003.

9. Chen J.M., Cihlar J. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using Landsat TM images. Remote sensing of Environment. 1996. Vol. 55. № 2. С. 153–162. DOI: 10.1016/0034-4257(95)00195-6.

10. Табунщик В.А., Петлюкова Е.А., Хитрин М.О. Применение спутниковых снимков Sentinel-2 для анализа земель, используемых в сельском хозяйстве (на примере Раздольненского района Республики Крым) // Труды Карадагской научной станции им. Т.И. Вяземского – Природного заповедника РАН. 2018. № 1 (5). С. 43–57.

Tabunschik V.A., Petlyukova E.A., Khitrin M.O. The use of satellite imagery Sentinel-2 for analysis of land used in agriculture (for example Razdolnensky district of the Republic of Crimea) // Trudy Karadagskoy nauchnoy stantsii im. T.I. Vyazemskogo – Prirodnogo zapovednika RAN. 2018. № 1 (5). P. 43–57 (in Russian).

11. Weng Q., Lu D., Schubrin J. Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. Remote Sensing of Environment. 2004. Vol. 89. P. 467–483.

12. Svidzinska D., Korohoda N. Study of spatiotemporal variations of summer land surface temperature in Kyiv, Ukraine using Landsat time series. Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects. 2020. Vol. 2020. № 1. P. 17376. DOI: 10.3997/2214-4609.2020geo106.

13. Jiang Y., Lin W. A Comparative Analysis of Retrieval Algorithms of Land Surface Temperature from Landsat-8 Data: A Case Study of Shanghai, China. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021. Vol. 18. № 11. P. 5659. DOI: 10.3390/ijerph18115659.

14. Shevchuk S.A., Vyshnevskyi V.I. Using of Landsat 8 Satellite Data for Determinination of Microclimatic Peculiarities of Kyiv. Ukrainian journal of remote sensing. 2016. Vol. 10. P. 4–9.

15. Позаченюк Е.А. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий. Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 672 с.

Pozachenyuk E.A. Modern landscapes of the Crimea and adjacent water areas. Simferopol: Biznes-Inform, 2009. 672 p. (in Russian).

УДК 911.2:504.06

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ КАШТАНОВЫХ ПОЧВ И ФИТОМАССЫ ФАЦИЙ ЦАГАН-ЧОЛОТУЙСКОГО ПОЛИГОН-ТРАНСЕКТА ОНОН-АРГУНСКОЙ СТЕПИ

Дубынина С.С.

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, e-mail sdubynina@yandex.ru

В работе представлены результаты анализа химических элементов каштановых почв и фитомассы в фациях Онон-Аргунской степи на Цаган-Чолотуйском полигон-трансекте. Выбор Цаган-Чолотуйского полигон-трансекта обусловлен особенностями ландшафтной структуры, образуя ландшафтно-экологический ряд, где фации сопряжены друг с другом. По ряду индикативных параметров, характеризующих условия среды, учитывались следующие показатели: состояние растительного покрова, видовой состав, проективное покрытие и микроэлементный состав. Сбор полевых материалов проводили в естественных условиях на пробных площадках полигон-трансекта. Количественный химический анализ почв и золы растений выполнен в химико-аналитическом центре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. На основе биогеохимических исследований полигон-трансекта установлено дифференцированное распределение микроэлементов, как по различным фациям, так и по компонентам – «почва – фитомасса». Для сравнительной характеристики химических особенностей почв и фитомассы, их способности к накоплению элементов в исследуемых объектах использовались кларки ($К_1$ и $К_2$). Установлено, что каштановые почвы луговых фаций речных долин характеризуются в сравнении с кларками литосферы ($К_1$) повышенным содержанием Sr в 1,03 раза и пониженным Ba в 0,66, Cu в 0,60, Ni в 0,59, Mn в 0,51 раза. Для фитомассы луговых фаций речных долин ($К_2$) повышенным содержанием – Ba в 2,10, Sr в 1,75, Cu в 1,04, Mn в 1,00 раза, пониженным Ni в 0,80 раза. Установлены коэффициенты биологического поглощения ($К_б$) в фациях Цаган-Чолотуйского полигон-трансекта. Микроэлементы по степени накопления в фитомассе выстраиваются в следующие ряды: фации вершинных останцев – Sr (2,68) > Ba (3,11) > Mn (1,49) > Cu (1,37) > Ni (0,63); склоновых – Cu (2,18) > Sr (1,74) > Mn (1,57) > Ba (1,44) >Ni (0,78); лугово-речных и приозерных террас – Cu (2, 39) > Mn (1,41) > Sr (0,89) > Ba (0,76) > Ni (0,73).

Ключевые слова: микроэлементы, степные фации, почвы, фитомасса, коэффициенты биологического поглощения, Онон-Аргунская степь

TRACE ELEMENT COMPOSITION OF CHESTNUT SOILS AND PHYTOMASS FACIES OF THE TSAGAN-CHOLOTUYSKY POLYGON-TRANSECT OF THE ONON-ARGUN STEPPE

Dubynina S.S.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: sdubynina@yandex.ru

The paper presents the results of the analysis of chemical elements of chestnut soils and phytomass in the facies of the Onon-Argun steppe on the Tsagan-Cholotuysky polygon-transect. The choice of the Tsagan-Cholotuysky polygon-transect is due to the features of the landscape structure, forming a landscape-ecological series where facies are interfaced with each other. According to a number of indicative parameters characterizing environmental conditions, the following indicators were taken into account: the state of vegetation cover, species composition, projective coating and trace element composition. The collection of field materials was carried out in natural conditions at the test sites of the polygon-transect. Quantitative chemical analysis of soils and plant ash was performed at the Chemical Analytical Center of the V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS. On the basis of biogeochemical studies of the polygon-transect, a differentiated distribution of trace elements has been established, both by various facies and by components – «soil – phytomass». Clarks (K_1 and K_2) were used to compare the chemical characteristics of soils and phytomass, their ability to accumulate elements in the studied objects. It was found that chestnut soils of meadow facies of river valleys are characterized in comparison with the clarks of the lithosphere (K_1) by an increased content of Sr by 1.03 times, and a reduced content of Ba by 0.66, Cu by o,60, Ni by 0.59, Mn by 0.51 times. For phytomass of meadow facies of river valleys (K_2) with an increased content – Ba by 2.10, Sr by 1.75, Cu by 1.04, Mn by 1.00 times, reduced Ni by 0.80 times. The coefficients of biological absorption (Kb) in the facies of the Tsagan-Cholotuysky polygon-transect are established. Trace elements in the degree of accumulation in the phytomass, arranged in the following series: facies outcrops vertex – Sr (2,68) > Ba (3,11) > Mn (1,49) > Cu (1,37) > Ni (0,63); slope – Cu (2,18) > Sr (1,74) > Mn (1,57) > Ba (1,44) >Ni (0,78); meadow-river and lake terraces – Cu (2, 39) > Mn (1,41) > Sr (0,89) > Ba (0,76) > Ni (0,73).

Keywords: trace elements, steppe facies, soils, phytomass, biological absorption coefficients, Onon-Argun steppe

Представлены результаты по изменению микроэлементного состава почв и фитомассы при ландшафтно-геохимических исследованиях в Онон-Аргунской степи.

Изучение микроэлементного состава (Ba, Sr, Mn, Ni и Cu) каштановых почв и фитомассы проводились в фациях Цаган-Чолотуйского полигон-трансекта, расположенного в 18 км от станции Харанор. Содержание химических элементов с пересчетом на фитомассу позволяет наиболее полно выявить роль растительности как одного из ведущих компонентов геосистем. Для выявления биогеохимических показа-

телей, где одним из таких направлений является *геохимия ландшафтов.* Это научное направление изучает поведение химических элементов и их соединений в элементарных ландшафтно-геохимических системах локальной и региональной размерности [1, 2]. По ряду индикативных параметров, характеризующих условия среды и ответных реакций геосистем на эти условия, учитывались следующие показатели: жизненное состояние растительного покрова, видовое его разнообразие, проективное покрытие, микроэлементный состав почв и фитомассы [3]. Для характеристики по содержанию микроэлементов почв и фитомассы применялись кларки литосферы ($К_1$) и кларки для растений суши ($К_2$) – по А.П. Виноградову (1954). Чтобы судить о коэффициенте поглощения элементов фитомассой, получили ряды биологического поглощения ($К_б$).

Цель исследования – выявить микроэлементный состав почвы и фитомассы и показать интенсивность биологического поглощения между почвой и фитомассой в фациях Цаган-Чолотуйского полигон-трансекта Онон-Аргунской степи.

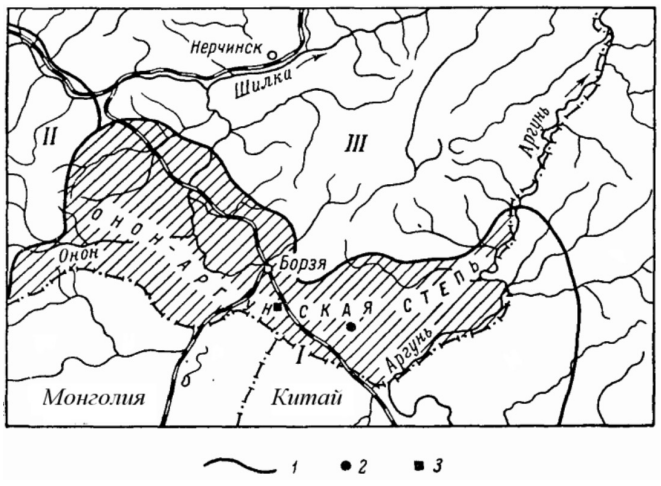
Материалы и методы исследования

На ландшафтной карте Онон-Аргунская степь не имеет аналогов и представляет собой один из видов центральноазиатских степных ландшафтов, вклинивающийся в сибирскую тайгу почти до 51 ° с.ш. (рис. 1). полосе между горными системами, относящимися к Северной и Центральной Азии. Низкогорный рельеф этой степи состоит из отдельных массивов, сопок и гряд, чередующихся с падями. Абсолютные высоты достигают 880–900 м. Стационарные наблюдения велись на Цаган-Чолотуйском полигон-трансекта с 1972 по 1980 г. сотрудниками Харанорского отряда. В 2015 г. были повторены исследования и полученные результаты приводятся в этой работе.

Объектом исследований послужили одиннадцать фаций (с XI по XXI). Профиль начинается на вершине г. Цаган-Чолотуй, проходит по склону северо-западной экспозиции, пересекает пойму и террасы р. Шарасун, проходит по склону юго-восточной экспозиции, древнему останцу и по склону северо-западной экспозиции спускается к оз. Большой Чиндант. Абсолютная высота фации на вершине г. Цаган-Чолотуй 801,6 м, ширина полигон-трансекта около 100 м, протяженность 5400 м (рис. 2).

Характеристика фаций Цаган-Чолотуйского полигон-трансекта.

Вершинные фации – *литоморфно-типчаковая* фация (XI) расположена на вершине г. Цаган-Чолотуй, на черноземных слаборазвитых глубокопромерзающих почвах на элювии конгломератов. Проглядывают щебнистые участки почвы. Для фации характерна усиленная ветровая деятель-



I–III – физико-географические области: I – Центрально-Азиатская, II – Южно-Сибирская, III – горная Байкало-Джугджурская; 1 – северная граница Центрально-Азиатской области: участки степного стационара Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН и годы мониторинга: 2 – Алкучанский Говин (1958–1960 гг.), 3 – ст. Харанор (1961–1980, 2001–2020 гг.)

Рис. 1. Географическое положение Онон-Аргунской степи (Сост. В.Б. Сочава, 1964)

Степи Юго-Восточного Забайкалья представляют самостоятельный Онон-Аргунский округ Монгольской степной провинции. Харанорская степь находится в переходной ность и минимальная мощность снегового покрова. Увлажнение только атмосферное. Травостой неоднороден с проективным покрытием 30–40 %. Доминируют типчак

(*Festuca lenensis*), хамеродос (*Chamaerhodos trifida*) и другие виды растений: мак оранжево-красный (*Papaver rubroaurantiacum*), горец тонкий (*Polygonum gracilis*), песчанка узколистная (*Arenaria graminifolia*) , прострел раскрытый (*Pulsatilla patens*). Вершина древнего останца фация – *хамеродосово-типчаковая* (XVIII). Коренные породы – граниты. Почва светло-каштановая мучнисто-карбонатная слаборазвитая легкосуглинистая поверхностно-защебенная. Растительность разрежена. Проективное покрытие 35%. Доминантами являются: хамеродос (*Chamaerhodos trifida*), типчак (*Festuca lenensis*), келерия (*Koeleria gracilis*). Преобладают виды: тырса (*Stipa baikalensis*), вострец ложнопырейный (*Aneurolepidium pseudoagropyrum*), пажитник русский (*Trigonella ruthenica*), полынь холодная (*Artemisia frigida*), лапчатка пижмолистная (*Potentilla tanacetifolia*).

Склоновые фации – *склоновая разнотравно-тырсовая* фация (XII) на черноземно-мучнисто-карбонатных глубоковскипающих почвах и переходящих к каштановой почве, расположена в верхней и средней денудационной части склона северо-западной экспозиции, *разнотравно-тырсовая* (XIII) и *тырсово-вострецовая* (XIV) фации на каштановых мучнисто-карбонатных почвах приурочены к нижней выположенной части склона северо-западной экспозиции.

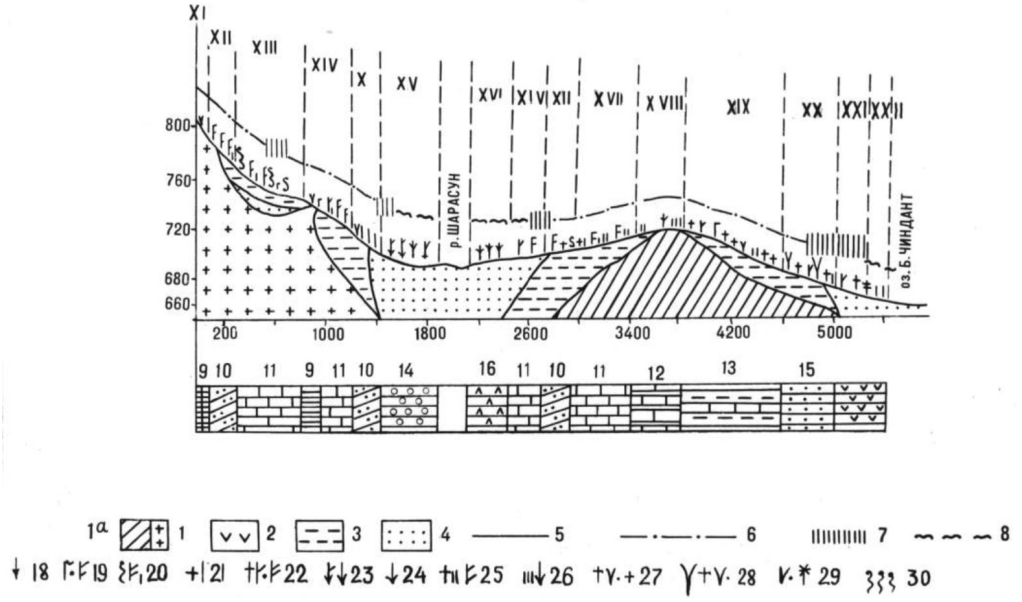


Рис. 2. Физико-географический профиль Цаган-Чолотуйского полигон-трансекта

Фации: *XI–XXI;* ***коренные породы:*** *1 – граниты палеогена, 1[а] – пермские конгломераты, 2 – мелкоземистый щебнистый элювий, 3 – средние и тяжелые суглинки, сменяющиеся вверх и вниз по разрезу легкими суглинками и супесями делювиального и пролювиально-делювиального генезиса, 4 – аллювиально-пролювиальные щебнисто-галечниковые отложения и озерные осадки;* ***элементы рельефа:*** *5 – денудационные останцы, 6 – верхние денудационные части долинного педимента, 7 – денудационно-аккумулятивные части долинного педимента, 8 – днище речной долины с аккумулятивными склонами и древняя аккумулятивная терраса;* ***почвы:*** *9 – поверхностно-защебненный среднесуглинистый, слаборазвитый глубокопромерзающий чернозем на элювии конгломератов, 10 – каштановая мучнистокарбонатная глубоковскипающая легкосуглинистая, 11 – каштановая мучнистокарбонатная обычносуглинистая, 12 – каштановая мучнистокарбонатная обычная слаборазвитая поверхностно-защебненная щебнисто-среднесуглинистая, 13 – каштановая мучнистокарбонатная глубоковскипающая среднесуглинистая, 14 – луговая аллювиальная карбонатная среднесуглинистая, 15 – каштановая темновато-луговая мучнистокарбонатная обычная среднесуглинистая, 16 – луговая аллювиальная карбонатная глубоко-солончаковатая легкосуглинистая, 17 – солончак луговой сульфатно-хлоридный натриевый среднесуглинистый;* ***растительность:*** *18 – хамеродосово-типчаковая, 19 – вострецово-тырсовая с типчаком, 20 – разнотравно-тырсовая с типчаком, 21 – келериевая с хамеродосом, 22 – тырсово-вострецовая с келерией, 23 – вострецовая с осокой, пикульником, 24 – пикульниковая с вострецом, 25 – тырсовая с келерией, змеевкой, типчаком, 26 – хамеродосовая с келерией, типчаком, 27 – вострецовая с келерией, типчаком, 28 – вострецовая с чием, келерией, 29 – вострецовая с осокой, пикульником, бескильницей, 30 – пятна солянок*

Рыхлые отложения представлены делювиальными суглинками среднего и легкого механического состава. Травостой неоднородный, разреженный. Проективное покрытие составляет от 50 до 70 %. Типчак (*Festuca lenensis*), тырса (*Stipa baikalensis*)., вострец (А*neurolepidium pseudoagropyrum*) и змеевка растопыренная (*Cleistogenes squarrosa*) являются доминатами. Из видов разнотравья доминируют: карагана мелколистная (*Caragana microphylla*), пажитник русский (*Trigonella ruthenica*), полынь холодная (*Artemisia frigida*), серпуха васильковидная (*Serratula centauroides*), стеллера карликовая (*Stellera chamaejasme*) и пижма сибирская (*Tanacetum sibiricum*). На склоне юго-восточной экспозиции *тырсово-типчаковая* фация (XVII), где рыхлые отложения представлены элювиально-делювиальными средними суглинками, почва каштановая. Травостой неоднородный. Проективное покрытие 30–35 %. Коренные виды растительности: тырса (*Stipa baikalensis*), типчак (*Festuca lenensis*), тонконог стройный (*Koeleria gracilis*). В травостое широко распространены виды разнотравья: лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis*), полынь холодная (*Artemisia frigida*), тимьян обыкновенный (*Thymus serpyllum)*, цимбария даурская (*Cymbria dahurica*). Склоновые: – *келериево-вострецово-чиевая* (XIX) и *вострецово-чиевая* (XX) трансаккумулятивные фации в нижней части северо-западного и северо-восточного склонов на каштановых мучнистокарбонатных глубоковскипающих почвах, направленных в сторону оз. Большой Чиндант. В микрорельефе выделяются отдельные бутаны, а в нижней части склона редкие куртины чия блестящего (*Lasiagrostis splendens*). Травостой сравнительно однородный, слаборазреженный. Проективное покрытие 50–60 %. На фации (XIX) доминируют келерия (*Koeleria gracilis*), вострец (А*neurolepidium pseudoagropyrum*), чий блестящий (*Lasiagrostis splendens*). На фации (XX) почва луговово-каштановая с солончаковато-остаточными признаками луговости. Доминируют чий блестящий (*Lasiagrostis splendens*) и вострец (А*neurolepidium pseudoagropyrum*). Из других видов для этих фаций следует отметить наличие караганы (*Caragana microphylla*), змеевки растопыренной (*Cleistogenes sqarrosa*), термопсиса ланцетного (*Thermopsis lanceolata*), житняка гребенчатого (*Agropyrum cristatum*), полыни холодной (*Artemisia frigida*).

Днище речной долины – *полугидроморфные пикульниковые* фации (XV–XVI) на луговых глубокосолончаковатых почвах на надпойменной террасе правого и левого берега р. Шарасун. Поверхность сложена рыхлыми отложениями мощностью до 2 м. Почвенно-грунтовые воды прослеживаются на глубине 125 см. Увлажнение атмосферное, за счет стока и близкого залегания грунтовых вод. Травостой однородный, сильно разреженный. Проективное покрытие 40 %. В травостое доминирует ирис мечевидный-пикульник (*Iris ensata*), вострец (А*neurolepidium pseudoagropyrum*). Распространены следующие виды: житняк гребенчатый (*Agropyrum cristatum*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*) и хвощ полевой (*Equisetum arvense*).

Прибрежная часть, фация (XXI) песчано-галечниковая почва на луговых солончаках расположена на первой озерной террасе оз. Большой Чиндант Травостой неоднородный с разреженным покровом солянок с проективным покрытием от 30 до 70 %. Часто встречаются пятна солончаков, почти целиком лишенные растительного покрова. В травостое доминируют вострец (А*neurolepidium pseudoagropyrum*), пикульник (*Iris ensata*), полынь замещенная (*Artemisia commutata*), солянка холмовая (*Salsola collina*).

Определение микроэлементного состава геосистем проводилось общепринятыми методами [4]. Полевой метод – образцы надземной массы с площадок размером 0,25 м^2 отбирались методом укосов в 3–5-кратной повторности. Почва отбиралась по горизонтам до глубины 150 см. Лабораторный метод – высушенные образцы растений, доведенные до абсолютно сухого состояния, взвешивались на электрических весах (ВЛТК-500). Образцы растений подвергнуты зольному анализу и образцы почв прокаливанию в муфельной печи при температуре 450 °С. Количественный химический анализ почв (60 образцов) и золы фитомассы (198 образцов) выполнен в лицензированном химико-аналитическом центре Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН на приборе атомно-эмиссионном спектрографе ДФС-8-2 с дифракционной решеткой, где концентрации микроэлементов определялись по абсолютным почернениям аналитических линий с учетом фона. Так же определялись на спектрометрах: атомно-эмиссионном с индуктивно-связанной плазмой Optima 2000 DV и атомно-абсорбционном с прямой элекротермической атомизацией проб Analyst 400 фирмы Perkin Elmer.

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание микроэлементов – Ba, Sr, Mn, Ni и Cu в фитомассе фаций полигон-трансекта, прежде всего, зависит от уровня содержания их в почве, от реакции почв, от деятельности микроорганизмов, от окислительно-восстановительного потенциала (табл. 1).

В табл. 1 даются сведения о среднем содержании химических элементов в фитомассе и почве, в фациях полигон-трансекта. Для характеристики химических особенностей фитомассы их способности к накоплению элементов судили (по отношению содержания элемента в почве к его кларку в литосфере $К_1$ и по отношению содержания элемента в фитомассе к среднему составу золы растений суши $К_2$. Содержание микроэлементов в черноземной почве, на вершине денудационных останцев фация (XI), отмечается повышенным содержанием Sr и Ba. Содержание Sr в 1,65 раза выше кларка. При описании почвенного разреза резкое содержание стронция отмечено на глубине 30–60 см в иллювиальном горизонте до 0,140 %, т.е. в 4 раза выше кларка. Стронций по химическим свойствам аналогичен барию. Но барий в степных условиях стабилен, а стронций более подвижен. Среднее содержание микроэлементов в черноземной почве по отношению к кларку имеют следующий вид: Sr (1,65), Cu (0,91), Ba (0,89), Ni (0,64), Mn (0,62). Элементы Cu, Ni, Mn являются деконцентраторами щелочных условий, Ba, Sr – щелочноземельных элементов [5, 6]. Каштановые почвы луговых фаций речных долин (XV–XVI) отличаются небольшим содержанием гумуса – 1,5–2,5 %, реакция почвенного раствора щелочная, при сравнении с кларками, все элементы ниже кларка, только повышенным содержанием характеризуется Sr (1,03), а пониженным Ba (0,66), Cu (0,60), Ni (0,59), Mn (0,51). Сравнивая ряды химических элементов каштановых почв Онон-Аргунской степи, с рядами каштановых почв экосистем Западного Забайкалья, наблюдаем аналогичную картину [7].

Выявлена значительная неоднородность содержания микроэлементов в фитомассе по отношению к среднему составу золы растений суши ($К_2$), обусловленная как биологическими особенностями фитомассы, так и эколого-геохимическими факторами биодоступности элементов по рельефу фаций. Для склоновых фаций с повышенным содержанием – Ba в 2,90, Sr в 1,75 и пониженным Cu в 0,88, Ni в 0,80, Mn в 0,71 раза. Для фаций долинно-русловых и прибрежных элементы фитомассы характеризуются в сравнении с ($К_2$) повышенным содержанием – Ba в 2,10, Sr в 1,75, Cu в 1,04, Mn в 1,00, а пониженным Ni в 0,80 раза. На основании выявленных различий в рядах можно сделать вывод, что фитомасса полигон-трансекта обеспечена микроэлементами, в значительно различающихся пределах – от дефицита для одних фаций и превышения уровня для других.

Таблица 1

Среднее содержание микроэлементов в почвах и в золе надземной фитомассы (% на абс. сух. вещество)

Элементы	Номера фаций Цаган-Чолотуйского полигон-трансекта									$К_1$
	XI	XII	XIII-XIV	XV-XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	
Содержание микроэлементов в слое почвы (0–100 см) фаций полигон-трансекта										
Барий	0,058	0,034	0,019	0,039	0,031	0,021	0,016	0,032	0,023	0,065
Стронций	0,056	0,029	0,021	0,034	0,032	0,015	0,015	0,016	0,016	0,034
Марганец	0,062	0,039	0,048	0,046	0,041	0,044	0,026	0,046	0,042	0,100
Никель	0,0037	0,0047	0,0059	0,0020	0,0023	0,0037	0,0043	0,0040	0,0038	0,0058
Медь	0,0043	0,0017	0,0021	0,0019	0,0023	0,0020	0,0020	0,0014	0,0015	0,0047
Элементы	Содержание микроэлементов в фитомассе фаций полигон-трансекта									$К_2$
Барий	0,034	0,022	0,020	0,019	0,012	0,073	0,065	0,040	0,024	0,010
Стронций	0,035	0,032	0,025	0,023	0,024	0,067	0,055	0,035	0,048	0,010
Марганец	0,020	0,017	0,065	0,091	0,084	0,086	0,065	0,065	0,105	0,100
Никель	0,0026	0,0026	0,0014	0,0017	0,0031	0,0021	0,0051	0,0011	0,0016	0,001
Медь	0,0046	0,0039	0,0035	0,0057	0,0042	0,0032	0,0073	0,0025	0,0047	0,005

Примечание. ($К_1$) кларк литосферы; ($К_2$) кларк – средний состав золы растений суши по Виноградову.

Таблица 2

Ряды биологического поглощения микроэлементов
на Цаган-Чолотуском полигон-трансекте

Местоположение фаций	Номера фаций	Элементы и значение ($К_б$) фитомассы				
		1	2	3	4	5
Вершинные денудационные останцы	XI XVIII	Sr (1,42) Sr (4,47)	Ba (1,38) Ba (3,45)	Cu (1,22) Mn (1,95)	Mn (1,02) Cu (1,52)	Ni (0,69) Ni (0,57)
Склоновые северо-западные фации	XIII XIV	Cu (2,09) Cu (1,50)	Mn (1,73) Mn (1,01)	Sr (1,67) Ni (0,95)	Ba (1,42) Sr (0,74)	Ni (0,66) Ba (0,47)
Склоновые юго-восточные фации	XVII, XIX,XX	Cu (2,24) Cu (2,81)	Sr (1,81) Sr (2,72)	Mn (1,73) Ba (2,21)	Ba (1,67) Mn (1,81)	Ni (0,76) Ni (0,74)
Днище речной доли-ны реч. Шарасун. Терраса оз. Большой Чиндант	XV XVI XXI	Cu (2,29) Cu (2,32) Cu (2,57)	Mn (1,51) Mn (1,19) Mn (1,54)	Sr (1,39) Ni (0,71) Ni (0,81)	Ba (1,38) Sr (0,63) Sr (0,66)	Ni (0,68) Ba (0,42) Ba (0,49)

Химические элементы по степени их накопления в золе растений составляют ряды, соответствующие рядам биологического поглощения ($К_б$) по А.И. Перельману:

1 – ряды сильного накопления ($К_б$ = 10–1) – Ca, Mg, Sr, Co, Cu;

2 – ряды среднего ($К_б$ = 1, 0–0,1) – Mn, Ba, Cr;

3 – ряды слабого накопления ($К_б$ = 0,8–0,02) – Na, Ni, Fe, Al.

Интенсивность биологического поглощения химических элементов характеризуется коэффициентом биологического поглощения ($К_б$) и представляет собой отношение среднего содержания данного элемента в золе фитомассы к содержанию элемента в почве, на котором обитает эта фитомасса (табл. 2).

Данные табл. 2, сгруппированные в ряды биологического поглощения ($К_б$), показывают степень накопления химических элементов фитомассой фаций Цаган-Чолотуского полигон-трансекта. Для вершинных останцев черноземных и горно-каштановых почв фаций (XI, XVIII) по накоплению химических элементов фитомасса относится к группе сильного накопления ($К_б$ = 10–1) и по средним данным, представлены в следующем виде – Sr (2,68), Ba (3,11), Mn (1,49), Cu (1,37). К группе слабого накопления ($К_б$ = 0,8–0,02) – относится Ni (0,63).

Для склоновых фаций (XIII, XIV, XVII, XIX, XX) по среднему содержанию в каштановых почвах, микроэлементы фитомассы выстраиваются в следующий ряд: $К_б$ – сильного накопления Cu (2,18), Sr (1,74), Mn (1,57), Ba (1,44) и слабого накопления Ni (0,78). В фациях на первое место выходит Cu, на последнем месте стоит – Ni. Этот дефицит Ni обусловлен качеством коренных пород – гранитоидов, характеризующихся повышенным содержанием – Na и небольшим содержание гумуса – 1,2 %.

Фации (XV, XVI, XXI) лугово-речных и приозерных надпойменных террас с солончаковатой почвой характеризуются довольно высоким содержанием легкорастворимых солей. Химический состав сульфатно-содово-хлоридный. Реакция щелочная. Количество гумуса невелико. Интенсивность биологического поглощения фитомассой составляет следующий ряд: Cu (2, 39), Mn (1,41), Sr (0,89), Ba (0,76), Ni (0,73). Высоким накоплением отличаются солончаковатые почвы этих фаций – Cu, Mn и снова дефицит – Ni.

Выводы

Проведенные исследования на Цаган-Чолотуйском полигон-трансекте Онон-Аргунской степи позволили на основании полученных данных выявленных различий сделать вывод по содержанию микроэлементов в почве и фитомассе:

1. Выявлена значительная неоднородность содержания микроэлементов в почве всех исследуемых фаций в сравнении с кларками литосферы ($К_1$), они характеризуются повышенным содержанием Sr (1,03), пониженным Ba (0,66), Cu (0,60), Ni (0,59), Mn (0,51).

2. Выявлена значительная неоднородность содержания микроэлементов в фитомассе с нормами обеспеченности (или с кларками – $К_2$), что выше по содержанию является Sr в 3,91 и Ba в 3,51 раза, в пределах нормы – Ni в 2,31 раза, ниже нормы Cu в 0,88, Mn в 0,72.

3. Выявлена избирательная способность ($К_б$) фитомассы при поглощении элементов из почвы, которые по степени накопления в фитомассе по фациям, выстраиваются в следующие ряды: фации вершинных останцев – Sr (2,68) > Ba (3,11) > Mn (1,49) >

> Cu (1,37) > Ni (0,63); склоновых фаций – Cu (2,18) > Sr (1,74) > Mn (1,57) > Ba (1,44) > > Ni (0,78); лугово-речных и приозерных террас – Cu (2, 39) > Mn (1,41) > Sr (0,89) > > Ba (0,76) > Ni (0,73).

Список литературы / References

1. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 2000. 768 с.

Perelman A.I., Kasimov N.S. Geochemistry of landscape. M.: MGU, 2000. 768 p. (in Russian).

2. Касимов Н.С. Экогеохимия ландшафтов. М.: И.П. Филимонов М.В., 2013. 208 с.

Kasimov N.S. Ecogeochemistry of landscapes. M.: I.P. Filimonov M.V., 2013. 208 p. (in Russian).

3. Дубынина С.С. Ландшафтно-геохимические исследования фитомассы и почв в фациях Харанорского полигон-трансекта Онон-Аргунской степи // Успехи современного естествознания. 2020. № 11. С. 62–68. DOI: 10.17513/use 37516.

Dubynina S.S. Landscape-geochemical studies of phytomass and soils in the facies of the Kharanorsky polygon-transect of the Onon-Argun steppe // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2020. № 11. P. 62–68. DOI: 10.17513/use 37516. (in Russian).

4. Титлянова А.А. Методология и методы изучения продукционно-деструкционных процессов в травяных экосистемах // Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности. Новосибирск: ИПА СО РАН, 2018. С. 6–14. DOI: 10.31251/978-5-600-02350-5.

Titlyanova A.A. Methodology and methods of studying productive and destructive processes in grass ecosystems // Biologicheskaya produktivnost' travyanykh ekosistem. Geograficheskiye zakonomernosti i ekologicheskiye osobennosti. Novosibirsk: IPA SO RAN Novosibirsk: IPA SB RAS, 2018. P. 6–14. DOI: 10.31251/978-5-600-02350-5. (in Russian).

5. Давыдова Н.Д. Биохимическая специализация растений степных геосистем Онон-Аргунского междуречья // География и природные ресурсы. 2012. № 3. С. 93–99.

Davydova N.D. Biochemical specialization of plants of steppe geosystems of the Onon-Argun interfluve // Geografiya i prirodnyye resursy. 2012. № 3. P. 93–99 (in Russian).

6. Kabata-Pendias A. Trace Elements in soils and Plants. Fourth Edition.Boca Raton: CRC Press. 2011. 548 p.

7. Кашин В.К., Убугунов Л.Л. Микроэлементный состав почв и степных фитоценозов Западного Забайкалья // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (23). С. 86–95. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10100.

Kashin V.K., Ubugunov L.L. Microelement composition of soils and steppe phytocenoses of Western Transbaikalia // Aridnyye ekosistemy. 2020. Vol. 26. № 2 (23). P. 86–95. DOI: 10.24411/1993-3916-2020-10100.

УДК 910.26

ОЦЕНКА РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА ТЕБЕРДИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПРИРОДНЫЙ БИОСФЕРНЫЙ ЗАПОВЕДНИК

Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Окрут С.В., Безгина Ю.А., Халикова В.А.

ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь, e-mail: tamara.zelenskaya2016@yandex.ru

В статье отражены результаты рекреационной нагрузки на экосистему Тебердинского государственного природного биосферного заповедника. В Ставропольском крае развитие получили научные исследования, посвященные репрезентативности охраняемых территорий, так как рекреационный туризм очень развит в крае и относится к одному из самых динамично развивающихся и перспективных направлений не только в России, но и во всем мире. Залогом устойчивого развития рекреационных территорий является не что иное, как рациональное природопользование, основанное на достоверной информации о состоянии окружающей среды. В этом случае экологический мониторинг рекреационных ландшафтов является важным звеном в развитии рекреационной деятельности с учетом экологических условий территории. Но рекреационная привлекательность, в свою очередь, влечет антропогенную нагрузку на экосистему Тебердинского государственного природного биосферного заповедника, поэтому развитие экологического мониторинга на данной территории позволит изучить состояние туристических троп и применить эти данные в работе с экскурсантами. Несмотря на то что в настоящее время бурными темпами идет развитие экотуризма, многие исследователи констатируют недостаточный уровень экологического просвещения современного туриста. В результате интенсивного развития экологического и рекреационного туризма проявляются процессы вытаптывания почв, гибели молодого подроста растений, спрессования листовой подстилки. Увеличение потока туристов приводит и к снижению видового разнообразия флоры и фауны. На экологическое и санитарное состояние рекреационных местностей также влияют отходы потребления, оставляемые туристами, и отходы производства различных предприятий, выбросы автотранспорта. В результате снижается показатель комфортности отдыха и, соответственно, показатель посещаемости данной рекреации. Рекреационные районы испытывают на себе постоянно нарастающий антропогенный пресс, изучение специфики и особенностей конкретного региона является одним из направлений современных научных исследований. В связи с этим представляются актуальными работы по определению влияния антропогенной нагрузки на Тебердинский государственный природный биосферный заповедник.

Ключевые слова: антропогенное воздействие, экологический туризм, заповедник, рекреационный туризм, рекреационная привлекательность

ASSESSMENT OF RECREATION LOAD ON THE TEBERDIN STATE NATURAL BIOSPHERE RESERVE

Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Okrut S.V., Bezgina Yu.A., Khalikova V.A.

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: tamara.zelenskaya2016@yandex.ru

The article reflects the results of the recreational load on the ecosystem of the Teberda State Natural Biosphere Reserve. In the Stavropol Territory, scientific research devoted to the representativeness of protected areas has developed, since recreational tourism is very developed in the region and belongs to one of the most dynamically developing and promising directions not only in Russia, but throughout the world. The key to their sustainable development of recreational areas is nothing more than rational nature management based on reliable information about the state of the environment. In this case, ecological monitoring of recreational landscapes is an important link in the development of recreational activities, taking into account the ecological conditions of the territory. But the recreational attractiveness, in turn, entails an anthropogenic load on the ecosystem of the Teberda State Natural Biosphere Reserve, therefore, the development of environmental monitoring in this area will allow studying the state of tourist trails and applying these data in work with tourists. Despite the fact that ecotourism is currently developing at a rapid pace, many researchers state the insufficient level of environmental education of the modern tourist. As a result of the intensive development of ecological and recreational tourism, the processes of trampling of soils, the death of young undergrowth of plants, and the compaction of leaf litter are manifested. An increase in the flow of tourists also leads to a decrease in the species diversity of flora and fauna. The ecological and sanitary state of recreational areas is also influenced by consumer waste left by tourists and industrial waste from various enterprises, vehicle emissions. As a result, the indicator of the comfort of rest decreases, and, accordingly, the indicator of the attendance of this recreation. Recreational areas are experiencing a constantly growing anthropogenic pressure, the study of the specifics and characteristics of a particular region is one of the directions of modern scientific research. In this regard, it seems relevant to work on determining the impact of anthropogenic load on the Teberda State Natural Biosphere Reserve.

Keywords: anthropogenic impact, ecological tourism, nature reserve, recreational tourism, recreational attractiveness

В настоящее время бурными темпам идет развитие экотуризма, многие исследователи констатируют недостаточный уровень экологического просвещения современного туриста. Экологическая безграмотность наносит значительный вред окружающей среде. Очень актуально эта проблема рассматривается на особо охраняемых природных территориях, где результаты туристической деятельности несут

большой урон экосистеме заповедников. Рациональное использование рекреационного туризма должно строиться на определении предельно допустимых нагрузок, соответственно, оценка качества окружающей среды, ее благоприятности для человека является одним из основополагающих моментов в решении природоохранных задач [1].

Целью исследования явилось определение рекреационной нагрузки на Тебердинский государственный природный биосферный заповедник.

Материалы и методы исследования

Работа выполнена на основе полевых экспедиционных исследований 2015–2019 гг. в летние периоды сотрудниками кафедры экологии и ландшафтного строительства Ставропольского государственного аграрного университета и по данным Тебердинского государственного природного биосферного заповедника, в результате которых был собран обширный материал и проведены расчеты «пределов допустимых изменений» на экомаршруте «Алибек – Турье озеро» в заповеднике по методике А.Д. Калихмана [2]. Обработка данных проводилась на кафедре экологии и ландшафтного строительства в лаборатории экологического мониторинга Ставропольского государственного аграрного университета. Метод анкетирования нами использовался с последующим анализом полученной информации о посещаемости туристами и отдыхающими рекреационных зон. Для эффективного рекреационного лесопользования определяют рекреационную емкость (РЕ) экосистемы, которая измеряется количеством посещений в человеко-часах на 1 га в год. Для выявления эколого-рекреационной емкости (ЭРЕ), а затем и рекреационно-ресурсного потенциала (РРП) объекта вычисляли допустимую для него рекреационную нагрузку, которая не вызывает необратимых изменений [3]. Определяется данный показатель количеством рекреантов на единице площади, временем их пребывания на объекте рекреации и видом отдыха. Измеряли рекреационную нагрузку за каждый час наблюдений (чел. – ч/га). Для этого в течение часа фиксировали изменения единовременной плотности туристов и временные интервалы этих изменений.

Результаты исследования и их обсуждение

Развитие туризма в последнее время приобретает массовый характер, а развитие туризма в ООПТ имеет в основном негативное воздействие, положительных моментов очень мало. Постоянный приток туристов, развитие инфраструктуры и многое другое очень негативно сказываются на состоянии окружающей среды.

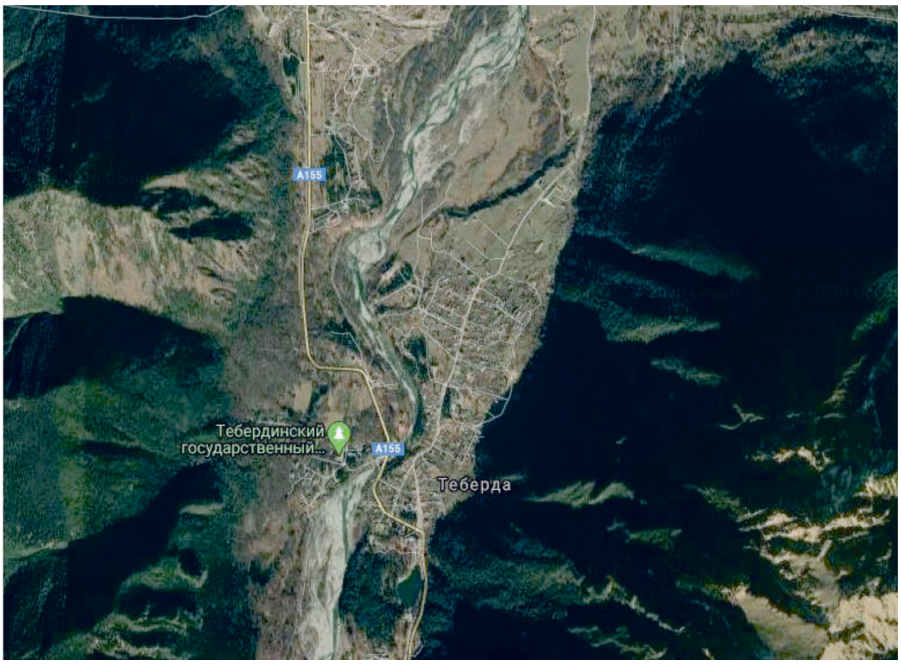


Рис. 1. Карта расположения Тебердинского государственного природного биосферного заповедника (http://u-karty.ru/sputnik/teberda-so-sputnika.html)

Руководство заповедника активно внедряет все формы экотуризма и приветствует его развитие. Но рекреационная привлекательность, в свою очередь, влечет антропогенную нагрузку на экосистему заповедника, поэтому развитие экологического мониторинга на данной территории позволит изучить состояние туристических троп и применить эти данные в работе с экскурсантами [4]. При расчете емкости комплекса отдыха прямое использование полученных величин предельных нагрузок дает неверные результаты. Одна из причин заключается в необоснованной для этих целей единице времени – 1 ч. Дело в том, что отдыхающие проходят по территории отдыха в течение всего светового дня (с 9 до 19 ч).

Таким образом, рекреационная нагрузка на данную территорию за день составит величину в 10 раз большую, чем рассчитанная в чел/га. Однако и эта единица измерения – чел/га в день – не может быть принята за основу, так как в течение дня одни и те же отдыхающие могут проходить по территории отдыха несколько раз. При этом фактическое количество отдыхающих будет ниже того, которое эквивалентно их воздействию на природный комплекс [5]. Количество посетителей заповедника за 2015–2019 гг. представлено на рис. 2.

Анализ рисунка показывает, что наибольшее количество посетителей наблюдалось в 2017 и 2019 годах. Это связано с тем, что 16.07.2016 г. был открыт информационный Визит-центр для посетителей, и в это же время прошло празднование 80-летия заповедника. И, соответственно, это привлекло новых посетителей.

Динамика посещаемости заповедника за период с 2015 по 2019 г. представлена на рис. 3. Пики сезонного рекреационного использования показывают, что больше всего посетителей на рекреационной территории летом для отдыха и восстановления сил и зимой – для занятия спортом.

Таким образом, при расчете емкости комплекса отдыха рекреационные нагрузки выступают в качестве исходных величин, а плотности отдыхающих – как промежуточные.

С целью изучения востребованности заповедника в качестве рекреационного ресурса нами было проведено анкетирование рекреантов. Всего было опрошено 104 человека.

Данные социологического опроса позволили установить, что рекреационная активность туристов, посещающих территорию заповедника с целью осуществления отдыха и рекреационного туризма, составляет: рекреантов, впервые посетивших территорию заповедника, – 58 человек; ежегодно приезжающих для отдыха именно в это место – 24 человека; остальные оказались там случайно или имеют нерегулярные выезды. Чаще всего территория заповедника посещается молодыми людьми (экологический туризм), людьми пенсионного возраста с детьми (в целях курортного лечения).

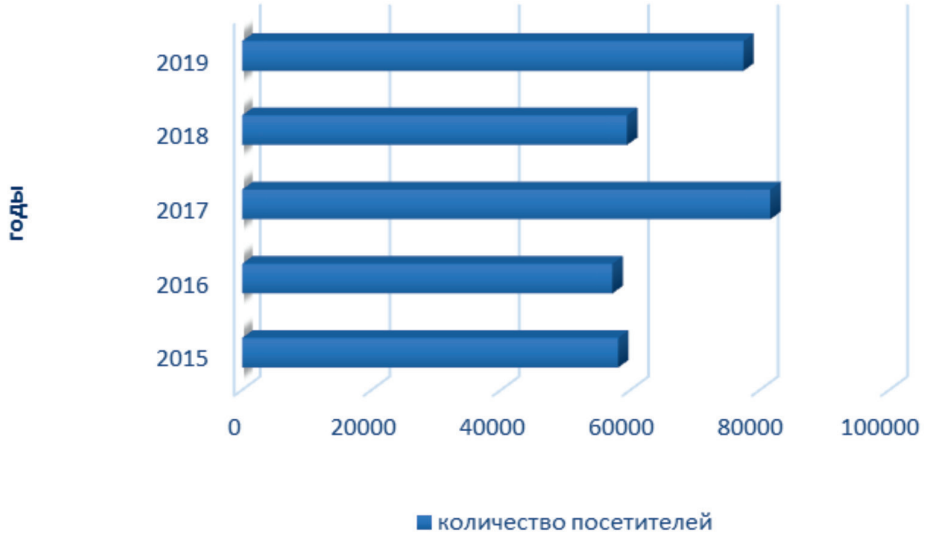


Рис. 2. Количество посетителей заповедника за 5 лет (2015–2019 гг.)

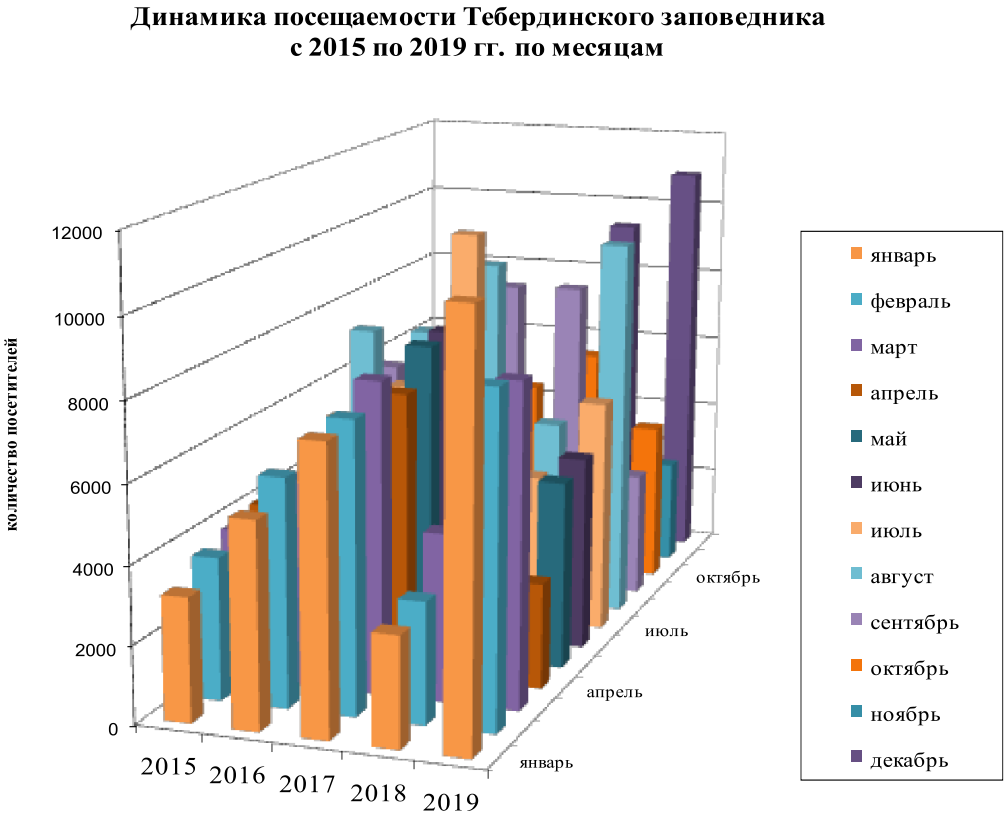


Рис. 3. Динамика посещаемости заповедника с 2015 по 2019 г. по месяцам

На территории заповедника бывает много (из 104 опрошенных – 48) студентов, приезжающих с образовательными и просветительными целями. При изучении сезонного рекреационного использования было замечено, что больше всего людей предпочитает находиться на рекреационной территории летом для отдыха и восстановления сил, и зимой – для занятий спортом. Для этого в разное время (дни недели и сезоны) производился подсчет рекреантов, посещающих территорию заповедника. Данные отражены в табл. 1 и 2.

На наш взгляд, выявление данных закономерностей имеет большое практическое значение, так как связано с определенными пиками массового воздействия на экосистемы заповедника. Определяя рекреационную емкость (РЕ) экосистемы, мы выяснили, что рекреационная нагрузка бывает максимальной в весенне-летний и ранневесенний периоды и минимальной поздней осенью и зимой. Анализ таблицы показывает, что количество рекреантов, посещающих Тебердинский заповедник в будни и выходные, различается. Больше всего рекреантов посещают тропу экомаршрут «Алибек, Турье озеро»: в будние дни – 42 человека, в выходные дни – 84 человека (из них большее количество приходится на молодежь, а наименьшее количество – на родителей с детьми). Участок леса в районе усадьбы заповедника посещает очень малое количество рекреантов: всего в будние дни 7 человек, а в выходные – 14 (и в основном это молодежь), по сравнению экомаршрутом «Алибек, Турье озеро».

На основании имеющихся данных по количеству рекреантов нами были сделаны расчёты по оценке ЭРЕ и РРП.

Сравнительная оценка ёмкости экологической рекреационной нагрузки на различных участках Тебердинского государственного природного биосферного заповедника приведена на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что экологическая рекреационная нагрузка на тропе экомаршрута «Алибек, Турье озеро» составляет в будние дни – 19027,11 чел./год, а в выходные дни 55774,76 чел./год. В то же время рекреационная нагрузка на участке леса в районе усадьбы заповедника составляет в будние дни – 1674,059 чел./год, а в выходные дни 4532,209 чел./год.

Таблица 1

Количество рекреантов, посещающих заповедник в будни и выходные

Категория посетителей	Количество рекреантов			
	Тропа-экомаршрут «Алибек, Турье озеро»		Участок леса в районе усадьбы заповедника	
	В сутки			
	Будни	Выходные	Будни	Выходные
Пенсионеры	10	11	-	2
Родители с детьми	2	5	-	-
Молодёжь	30	68	7	12
Всего	42	84	7	14

Таблица 2

Количество рекреантов, посещающих заповедник в различных по значимости зонах, чел./час

Время исследования, дни	Тропа (max), чел./час		Участок леса в районе усадьбы заповедника (min), чел./час	
	Будни	Выходные	Будни	Выходные
1	17	38	2	4
2	22	43	4	5
3	19	34	3	5
4	18	42	2	6
5	16	36	5	5
6	25	30	2	5
7	20	47	3	4
8	28	49	2	5
9	24	55	2	6
Среднее	21	41	3	5

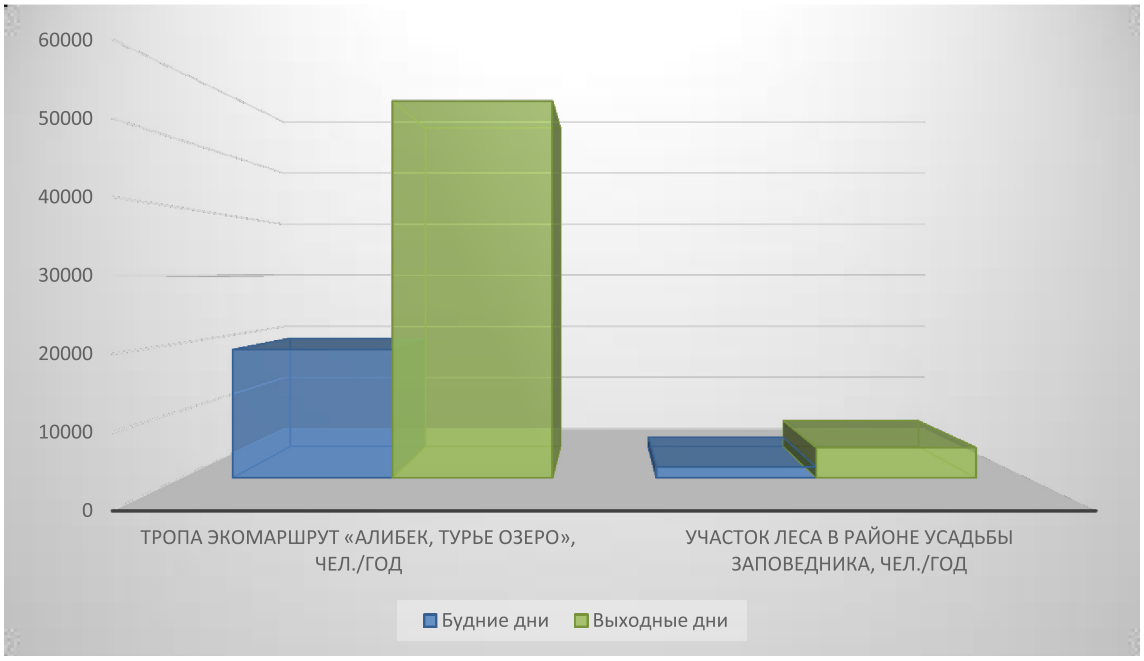


Рис. 4. Сравнительная оценка ёмкости экологической рекреационной нагрузки на различных участках заповедника, чел./год

Заключение

Для уменьшения отрицательного влияния рекреационного лесопользования на леса и, соответственно, повышения их рекреационной емкости необходимо рекреационное благоустройство – организация системы дорожек, туалетов, ночевок, стоянок, организованных кострищ [6]. Установлены правила поведения людей в лесу, определены размеры штрафов, взимаемых с них за порчу природных объектов.

Таким образом, на основании расчётов и судя по состоянию окружающей среды, современная рекреационная нагрузка на территории Тебердинского заповедника может быть признана вполне допустимой [7]. В целом же степень и характер воздействия антропогенной деятельности на курортно-рекреационные ландшафты зависят от ряда факторов и индивидуальны для конкретных территорий.

Список литературы / References

1. Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е. Мониторинг антропогенного влияния особо охраняемых территорий // Образование. Наука. Производство. 2019. С. 49–51.

Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E. Monitoring of the anthropogenic impact of specially protected areas // Obrazovanie. Nauka. Proizvodstvo. 2019. P. 49–51 (in Russian).

2. Калихман А.Д., Педерсен А.Д., Савенкова Т.П., Суднев А.Я. Методика «Пределов допустимых изменений» на Байкале – участке Всемирного наследия ЮНЕСКО. Иркутск: Оттиск, 1999. 100 с.

Kalikhman A.D., Pedersen A.D., Savenkova T.P., Suknev A.Ya. Methodology «Limits of Permissible Changes» on Baikal – a UNESCO World Heritage Site. Irkutsk: Ottisk, 1999, 100 p. (in Russian).

3. Зеленская Т.Г., Степаненко Е.Е., Мандра Ю.А., Закрасняная В.Ю. Эколого-экономическая оценка средозащитной функции зеленых насаждений // Актуальные вопросы экологии и природопользования. 2017. С. 143–145.

Zelenskaya T.G., Stepanenko E.E., Mandra Yu.A., Zakrasnyana V.Yu. Ecological and economic assessment of the environmental protection function of green spaces // Aktual'nyye voprosy ekologii i prirodopol'zovaniya. 2017. P. 143–145 (in Russian).

4. Павлов А.В., Братков В.В. Мониторинг верхней границы леса Тебердинского заповедника (по материалам дистанционного зондирования) // Мониторинг. Наука и технологии. 2017. № 3 (32). С. 50–56.

Pavlov A.V., Bratkov V.V. Monitoring of the upper forest boundary of the Teberdinsky Reserve (based on remote sensing materials) // Monitoring. Nauka i tekhnologii. 2017. No. 3 (32). P. 50–56 (in Russian).

5. Савельева В.В., Шальнев В.А. Рекреационные оценки природных комплексов Архыза // Вопросы рекреационной географии Северного Кавказа. Ставрополь, 1977. 83 с.

Savelyeva V.V., Shalnev V.A. Recreational assessments of natural complexes of Arkhyz // Voprosy rekreatsionnoy geografii Severnogo Kavkaza. Stavropol, 1977. 83 p. (in Russian).

6. Кнестикова М.М. Необходимость ведения красной книги на Ставрополье // Молодежь – науке: образование, экология, традиции. Ставрополь, 2019. С. 131–134.

Knestikova M.M. The necessity of maintaining a red book in Stavropol // Molodezh' – nauke: obrazovaniye, ekologiya, traditsii. Stavropol, 2019. P. 131–134 (in Russian).

7. Примаченко Е.И., Ткачева А.Ю. Составление туристской карты на территорию Тебердинского заповедника // Огарёв-Online. 2019. № 3 (124). С. 7.

Primachenko E. I., Tkacheva A. Yu. Drawing up a tourist map of the Teberdinsky nature reserve // Ogarev-Online. 2019. № 3 (124). P. 7 (in Russian).

УДК 550.422:631.41(282.256.166)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ^{137}CS И ^{90}SR В КОМПОНЕНТАХ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

[1,2]Кайгородов Р.В.

[1]Тобольская комплексная научная станция УрО РАН, Тобольск, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru;
[2]ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, e-mail: r.kaigorodov@yandex.ru

Исследовано накопление радионуклидов в воде, донных отложениях и растениях-гидробионтах водных экосистем разного типа (реки, озера, старицы рек) юго-западной части Тюменской области. Образцы компонентов водных экосистем отбирали на участках исследованных нами ранее в отношении накопления радионуклидов в наземных частях пресноводных экосистем (пойменные почвы и прибрежно-водные макрофиты). Анализ удельной активности радиоактивных изотопов ^{90}Sr и ^{137}Cs проводили на гамма-бета спектрометре «Гамма Плюс» с использованием программного обеспечения «Прогресс-5». Установлены разные уровни удельной активности радионуклидов в водах, донных отложениях и растениях экосистем водных объектов разного типа (реки, старицы, озера). Повышенное содержание радионуклидов отмечено в компонентах водных экосистем основного русла р. Тобол на участках ниже по течению от места впадения р. Исеть, связанной гидрологической системой с территорией ПО «Маяк», где захоронены большие объемы радиоактивных отходов и происходили техногенные атомные аварии. Старицы р. Тобол и бессточные озера Имбиряй и Чигиркуль характеризовались достоверно низким уровнем накопления изотопов ^{90}Sr и ^{137}Cs в компонентах водных экосистем. Донные отложения обладали гранулометрическим составом следующих типов: тонко-песчано-глинистым (в основном русле р. Тобол) и илисто-глинистым (в старицах и озерах). Макрофиты всех исследуемых участков водоемов отличались повышенным накоплением радионуклидов по сравнению с водой и донными отложениями. Среди растений водных экосистем более высоким содержанием изотопов ^{90}Sr и ^{137}Cs отличались представители водорослей кладофора (*Cladophora fracta* Kutz) и хара (*Chara).*

Ключевые слова: водные экосистемы, вода, донные отложения, растения-макрофиты, техногенные радионуклиды, удельная активность, миграция

DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES ^{137}CS AND ^{90}SR IN COMPONENTS OF AQUATIC ECOSYSTEMS IN THE TYUMEN REGION

[1,2]Kaygorodov R.V.

[1]Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the RAS, Tobolsk, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru;
[2]Perm State University, Perm, e-mail: r-kaigorodov@yandex.ru

The accumulation of radionuclides in water, sediments and plants hydrobionts of aquatic ecosystems of various types (rivers, lakes, oxbow lake) was studied in the south-western part of the Tyumen region. Samples of components of aquatic ecosystems were collected at the same sites that we had previously studied with respect to the accumulation of radionuclides in terrestrial parts of freshwater ecosystems (floodplain soils and coastal-aquatic macrophytes). Specific activity of technogenic radionuclides was analyzed on the gamma-betta spectrometer «Gamma Plus» with the software «Progress-5». Different levels of specific activity of radionuclides in waters, sediments and plants of ecosystems of water bodies of different types (rivers, oxbow lakes, lakes) have been established. The increased content of radionuclides was determined in the components of the aquatic ecosystems in riverbed of the Tobol River in the areas downstream from the confluence of the Iset River connected by a hydrological system with the territory of the «PO Mayak», where large volumes of radioactive waste are buried and man-made nuclear accidents have occurred. The oxbow lakes of Tobol River and the closed lakes Imbirey and Chigerkul were characterized by a significantly low level of accumulation of isotopes ^{90}Sr and ^{137}Cs in the components of aquatic ecosystems. Studied sediments had the granulometric composition of the following types: fine-sandy-clay (riverbed of the Tobol River) and silty-clayey (oxbow lakes, lakes). Macrophytes of all studied areas of reservoirs were characterized by an increased accumulation of radionuclides compared to water and sediments. Among the plants of aquatic ecosystems, representatives of the algae Cladophora (*Cladophora fracta* Kutz) and hara Chara (*Chara*) were distinguished by a higher content of isotopes ^{90}Sr and ^{137}Cs.

Keywords: aquatic ecosystems, water, sediments, macrophyte plants, technogenic radionuclides, specific activity, migration

Актуальность исследования связана с необходимостью мониторинга миграции радиоактивных техногенных изотопов в водных экосистемах, расположенных на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа и в сопредельных регионах. В результате радиационных катастроф на ПО «Маяк» в 1957 и 1967 гг. и многократных испытаний ядерного оружия в регионе, исследуемые водосборные территории Тюменской области подвергались загрязнению долгоживущими радионуклидами ^{137}Cs и ^{90}Sr.

Целью исследований являлось изучение накопления радионуклидов в воде, донных отложения и растениях гидробионтах водных экосистем разного типа (реки, озера, старицы рек) юго-западной части Тюменской области.

Техногенные радионуклиды относятся к наиболее опасным загрязнителям в окружающей среде и обладают средней радиотоксичностью в отношении животных и человека [1]. Объекты атомной энергетики и ряда других отраслей промышленности (цветная металлургия, производство фотоэлементов, пиротехнических изделий, красок, цементное производство) являются источниками радиоактивных изотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr [2].

Техногенные катастрофы на объектах атомной промышленности и испытания ядерного оружия также вносят существенный вклад в рассеивание радионуклидов в окружающей среде. Магматические горные породы служат естественными источниками долгоживущих радиоактивных изотопов ^{137}Cs и ^{90}Sr с периодами полураспада 30 и 29 лет соответственно. В процессе естественной и техногенной миграции радионуклиды аккумулируются в глинистых минералах, органическом веществе почвы, донных отложениях и биомассе живых организмов наземных и водных экосистем [1].

В ранних наших работах [3] и другими авторами [4, 5] было показано, что почвенный покров прибрежных экосистем, главным образом, органическое вещество, глинистые минералы и фосфаты, служат важнейшими факторами иммобилизации ^{137}Cs и ^{90}Sr на пути в миграции в водные объекты. Прибрежная фитомасса, в которой активно накапливаются радионуклиды, как из почвы, так и из водоемов или за счет атмосферного переноса, является одним из важнейших звеньев в их миграции [6].

Водные экосистемы и прилегающие к ним территории речных долин (поймы, надпойменные террасы) вследствие расположения в аккумулятивных формах рельефа являются слабоустойчивыми к накоплению техногенных загрязнителей. В связи с этим аквальные и субаквальные экосистемы нуждаются в постоянном мониторинге миграции радионуклидов с целью управления санитарно-гигиеническим состоянием и разработки мероприятий по охране водных объектов [6, 7].

Вода. Водоемы разного типа: открытые водные системы (реки), закрытые водоемы (озера) и технические водные сооружения (водохранилища) имеют разные гидрологические режимы, скорости образования донных отложений, отличаются видовым разнообразием гидробионтов. В связи с этим миграция, накопление и распределение загрязняющих веществ и радионуклидов, в частности, протекают специфично для каждого типа водоемов. Речные системы служат одним из механизмов переноса радионуклидов от стационарных источников на большие расстояния. В закрытые бессточные озера техногенные радионуклиды поступают с площади прилегающей водосборной территории, а также за счет атмосферного переноса. Миграция, накопление и распределение техногенных радионуклидов в водных объектах ВУРСа (р. Теча, Исеть, Тура, Иртыш, Обь) изучены многими исследователями [7, 8]. Территория Тюменской области исследована в меньшей степени. Слабо изучена миграция радиоактивных изотопов в р. Тобол, старицах р. Тобол и бессточных озерах Имбиряй и Чигиркуль. Исследуемый нами регион представляет определенный интерес в связи с рассеиванием техногенных радионуклидов. Миграция техногенных радионуклидов с территорий их промышленного использования и размещения отходов происходит и путем поступления в грунтовые и подземные воды, через которые возможно проникновение радиоактивных изотопов в поверхностные воды [8].

Донные отложения. Поступившие в водные экосистемы радионуклиды аккумулируются в донных отложениях, служащих основным местом депонирования. В донные отложения могут поступать радионуклиды из почвенного покрова поймы водоемов. Донные отложения речных водных систем и русловые отложения переносятся за счет течения и паводковых процессов, что служит важнейшим фактором перераспределения РН на большие расстояния от источников и участков первичного депонирования. Донные отложения бессточных водоемов (озера) и стариц рек более надежно характеризуют накопление РН в водных системах той или иной местности.

Накопление радионуклидов в донных отложениях и их распределение по глубине определяется целым комплексом факторов.

Растительность. В отличие от воды и донных отложений рек, где содержание радионуклидов подвержено временной динамике, накопление радиоактивных изотопов в растениях служит более надежным показателем радиоактивного загрязнения аквальных и субаквальных экосистем [8].

Радионуклиды поглощаются растениями за счет их активного и пассивного поступления через мембраны клетки корня или, в случае водорослей, лишенных покровных тканей, через клетки всей поверхности растения. Далее у высших растений

поглощенные радионуклиды по симпласту поступают в сосуды и транспортируются в надземные органы [9].

Радиоактивный стронций обладает большей подвижностью и повышенной аккумуляцией в компонентах водных экосистем по сравнению с цезием. Высшие водные растения составляют основу фитомассы водоемов. Накопление радиоактивных изотопов в биомассе растений определяется широким спектром факторов внешней среды и видоспецифичными особенностями их избирательного поглощения [10].

Водные и прибрежно-водные растения характеризуются очень высокими коэффициентами накопления радионуклидов. Так, по некоторым данным у роголистника темно-зеленого, произрастающего на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа, коэффициенты накопления для стронция составляют в среднем 459, для цезия – 5005. Прибрежно-водная осока на тех же территориях накапливает радионуклиды менее активно (коэффициент накопления стронция – 300 и цезия – 2000) [8]. Биомасса гидробионтов, наряду с фитомассой наземных растений, является источником вторичного поступления радиоактивных элементов в компоненты водных экосистем.

Материалы и методы исследования

Характеристика территории

Исследуемые нами водные объекты находятся на расстоянии от 360 до 430 км на северо-восток от ПО «Маяк». Речные объекты исследуемой территории связаны с гидрологической системой р. Исеть и ее притока р. Теча, подверженной воздействию ПО «Маяк».

Образцы воды, донных отложений и растений отбирали на участках исследованных нами ранее в отношении наземных частей пресноводных экосистем (пойменные почвы и прибрежно-водные макрофиты). Места расположения исследуемых участков представлены в табл. 1.

Отбор и подготовка проб воды к анализу. Образцы воды из исследуемых водоемов отбирали в соответствии с требованиями ГОСТ 31861-2012 [11]. На каждом участке воду из водоема отбирали в 5-кратной повторности на расстоянии не менее 25 м друг от друга. Отобранные пробы воды упаривали до сухого остатка, в котором определяли удельную активность радионуклидов. В р. Тобол исследуемые участки расположены у правого берега реки.

Образцы донных отложений отбирали согласно ГОСТ 17.1.5.01-80 [12]. Донные отложения отбирали на расстоянии 1–2 м от линии уреза воды в местах отбора проб воды на каждом участке в 5-кратной повторности с глубины 0–25 см.

В качестве растительных объектов были использованы представители водорослей: кладофора (*Cladophora fracta* Kutz) и род хара (*Chara)* и водных высших растений: ряска малая (*Lemna minor* L.) и стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.). Ряска относится к экологической группе растений, плавающих на поверхности. Стрелолист входит в группу растений укореняющихся в грунте и с плавающими на поверхности листьями [10]. На каждом исследуемом участке растения отбирали в 5-кратной повторности по 200–300 г фитомассы на повторность, высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали в фарфоровой ступке и озоляли в муфельной печи при 450 °С.

Таблица 1

Географическое расположение исследуемых водных объектов и участков отбора образцов воды, донных отложений и растений-гидробионтов

Номер объекта	Тип и название водного объекта	Ближайшие населенные пункты	Географические координаты
№ 1	р. Тобол	д. Шашова	N 56.2218, E 66.1744
№ 2	р. Тобол	с. Упорово	N 56.1824, E 66.1244
№ 3	старица р. Тобол	с. Новолыбаево	N 56,2923, E 66,2118
№ 4	старица р. Тобол	с. Ярково	N 57,2359, E 67,0256
№ 5	оз. Имбиряй	г. Ялуторовск	N 56,3915, E 66,2150
№ 6	оз. Чигиркуль	с. Новоатьялово	N57,0050, E66,3344

Определение удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr. Радиологический анализ проб: удельную активность радиоактивных изотопов ^{90}Sr и ^{137}Cs определяли на гамма-бета спектрометре «Гамма Плюс» с использованием программного обеспечения «Прогресс-5».

Математическая обработка данных. Математическую обработку результатов проводили в программе Past 3.16 с использованием методов описательной статистики и дисперсионного (показатель наименьшей существенной разности – НСР) анализа на 95 % уровне значимости.

Результаты исследования и их обсуждение

Вода. В механизмах поступления радионуклидов в водные объекты важнейшую роль играет расстояние от источников загрязнения, наличия гидрологической связи с водоемами, связанными с загрязненными участками, и удаленность от места впадения водоемов, подвергнутых радиоактивному загрязнению.

Из исследуемых нами водоемов гидрологическую связь с реками, подвергнутыми загрязнению на территории ПО «Маяк», имеют участки в русле р. Тобол. Один из участков расположен в 30 км ниже по течению от впадения р. Исеть, второй – в 42 км ниже по течению. В р. Исеть впадает р. Теча, берущая начало из озера Иртяш в окрестностях ПО «Маяк».

Один из участков старицы р. Тобол расположен в 12 км ниже от впадения р. Исеть и не связан напрямую с основным руслом, второй участок старицы расположен выше по течению от места впадения р. Исеть.

Бессточные озера Имбиряй и Чигиркуль расположены на расстоянии 370 км на северо-восток от ПО Маяк. Озеро Имбиряй находится вблизи от основного русла р. Тобол. Озеро Чигиркуль удалено от р. Тобол на 6 км. Оба озера расположены выше места впадения р. Исеть в р. Тобол. В табл. 2 представлены данные по среднему содержанию радионуклидов в пределах исследуемых участков водных объектов.

Как видно из табл. 2, максимальное содержание радионуклидов установлено в воде р. Тобол на участке, расположенном ближе всех к месту впадения р. Исеть (участок № 1). С увеличением расстояния от впадения р. Исеть содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде р. Тобол достоверно снижается. По данным других исследователей [8] в 1995 г. содержание изотопа ^{90}Sr в воде р. Тобол ниже по течению от впадения р. Исеть составляло 235 Бк/м^3 т.е. снизилось к настоящему времени в 2,5 раза.

Таблица 2

Содержание радионуклидов в воде исследуемых участков, Бк/м^3

Исследуемый участок	^{90}Sr	^{137}Cs
№ 1 р. Тобол	95 ± 4	15 ± 3
№ 2 р. Тобол	68 ± 5	9,7 ± 2
№ 3 старица р. Тобол	43 ± 3	5,5 ± 0,9
№ 4 старица р. Тобол	5,1 ± 2	2,8 ± 0,7
№ 5 оз. Имбиряй	4,5 ± 0,8	1,1 ± 0,3
№ 6 оз. Чигиркуль	2,5 ± 0,7	2,1 ± 0,2
НСР05	2,5	1,5

Примечание. ± – стандартная ошибка, НСР05 – показатель наименьшей существенной разности при 5 %-ном уровне значимости.

Содержание радионуклидов в воде старицы р. Тобол выше от впадения р. Исеть и в бессточных озерах было минимальным и не отличалось достоверно между этими водоемами.

Изотопы ^{90}Sr являются более подвижными в окружающей среде по сравнению с ^{137}Cs [10], что подтверждается и нашими данными по содержанию радионуклидов в исследованных водоемах.

Донные отложения. Донные отложения на участках основного русла р. Тобол обладали тонко-песчано-глинистым гранулометрическим составом, донные отложения исследованных стариц р. Тобол и озер Имбиряй и Чигиркуль относились к илисто-глинистым по механическому составу. Мелкодисперсные фракции гранулометрического состава являются поглотителями радионуклидов в водоемах.

Таблица 3

Содержание радионуклидов в донных отложениях (слой 0–20 см) исследуемых участков, Бк/кг сухой массы

Исследуемый участок	^{90}Sr	^{137}Cs
№ 1 р. Тобол	10,5 ± 1	6,7 ± 1,2
№ 2 р. Тобол	9,4 ± 0,7	5,6 ± 2,1
№ 3 старица р. Тобол	4,8 ± 0,5	2,1 ± 0,8
№ 4 старица р. Тобол	3,3 ± 0,6	3,4 ± 0,7
№ 5 оз. Имбиряй	1,1 ± 0,2	1,3 ± 0,3
№ 6 оз. Чигиркуль	1,5 ± 0,3	0,9 ± 0,2
НСР05	1,3	0,75

Примечание. ± – стандартная ошибка, НСР05 – показатель наименьшей существенной разности при 5 %-ном уровне значимости.

Как видно из табл. 3, максимальное содержание радионуклидов отмечено в донных отложениях основного русла р. Тобол ниже по течению от места впадения р. Исеть. По данным других исследований [8] в 1995 г. в донных отложениях р. Тобол вблизи наших участков среднее содержание ^{90}Sr в слое 0–20 см составляло 15,8 Бк/кг, содержание ^{137}Cs – 6,4 Бк/кг. Таким образом, содержание более подвижного изотопа ^{90}Sr снизилось примерно на 36 %. При этом содержание менее мобильного в среде ^{137}Cs практически не изменилось. В старицах р. Тобол и озерах, т.е. водоемах, не связанных с речной сетью, содержание радионуклидов достоверно ниже, чем в русле р. Тобол.

Растения. Как показали наши исследования, содержание радионуклидов в биомассе водорослей кладофора и хара существенно выше, по сравнению с высшими растениями ряской малой и стрелолистом обыкновенным. Более активное поступление ^{90}Sr и ^{137}Cs в ткани водорослей связано с отсутствием у них покровных тканей и поглощением веществ всем телом растения. Следует отметить, что более подвижный изотоп ^{90}Sr накапливается в биомассе всех исследованных растений в большем количестве, чем ^{137}Cs.

В русле р. Тобол содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs достоверно снижается с удалением исследуемых участков от места впадения р. Исеть. В старицах р. Тобол и озерах Имбиряй и Чигиркуль содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs в макрофитах существенно ниже, чем в основном русле р. Тобол (табл. 4).

По сравнению с водными макрофитами прибрежно-водные растения, произрастающие в пойме р. Тобол на тех же участках [6], более интенсивно накапливают ^{137}Cs, чем ^{90}Sr.

Заключение

Как показали проведенные исследования, повышенное содержание радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs в объектах водных экосистем (вода, донные отложения, растения) установлено на участках основного русла р. Тобол в местах, расположенных ниже по течению от впадения р. Исеть. Данные участки связаны в гидрологическом отношении с территорией ПО «Маяк», где размещены большие объемы радиоактивных отходов и ранее имели место испытания ядерного оружия, а также происходили техногенные катастрофы. В период с 1995 г. [8] по настоящее время в исследуемых участках р. Тобол наблюдается снижение содержания ^{90}Sr и ^{137}Cs в воде и донных отложениях. Старицы р. Тобол и озера Имбиряй и Чигиркуль характеризовались достоверно более низким накоплением радионуклидов в компонентах водных экосистем.

Таблица 4

Содержание радионуклидов в фитомассе макрофитов исследуемых участков, Бк/кг сухой массы

Исследуемый участок	^{90}Sr				^{137}Cs			
	Кладофора	Хара	Ряска	Стрелолист	Кладофора	Хара	Ряска	Стрелолист
№ 1 р. Тобол	172 ± 3	148 ± 3	21 ± 4	36 ± 3	100 ± 2	38 ± 2	22 ± 0,4	5,4 ± 0,2
№ 2 р. Тобол	165 ± 4	139 ± 5	15 ± 3	28 ± 4	120 ± 3	49 ± 3	14 ± 0,3	6,2 ± 0,2
№ 3 старица р. Тобол	40 ± 5	27 ± 2	5 ± 0,8	12 ± 2	5 ± 0,5	3 ± 1	1,2 ± 0,6	0,62 ± 0,08
№ 4 старица р. Тобол	32 ± 4	21 ± 3	3,8 ± 0,7	9 ± 2	7 ± 0,8	2 ± 0,8	1,0 ± 0,2	0,48 ± 0,05
№ 5 оз. Имбиряй	18 ± 2	19 ± 2	2,4 ± 0,6	5 ± 0,8	1,2 ± 0,4	1,1 ± 0,7	0,8 ± 0,1	0,12 ± 0,04
№ 6 оз. Чигиркуль	14 ± 3	12 ± 2	1,7 ± 0,4	7 ± 0,9	2,1 ± 0,5	3,1 ± 0,8	0,9 ± 0,1	0,14 ± 0,04
НСР05	4	6	2,0	3	2,3	1,2	0,21	0,15

Примечание. ± – стандартная ошибка, НСР05 – показатель наименьшей существенной разности при 5 %-ном уровне вероятности.

Статья подготовлена при финансовой поддержке ФАНО России в рамках темы «Антропогенная трансформация пойменных экосистем Обь-Иртышского бассейна» (№ НИОКТР АААА-А19-119012190088-0).

Список литературы / References

1. Бахур А.Е. Новые методические рекомендации по подготовке проб и измерениям суммарной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов в пробах пресных и минерализованных природных вод // АНРИ. 2009. № 1 (56). С. 47–48.

Bakhur A.E. New guidelines for sample preparation and measurement of the summary activity of alpha- and beta-emitting radionuclides in samples of fresh and mineralized natural waters // ANRI. 2009. Vol. 1. № 56. P. 47–48 (in Russian).

2. Ашинов Ю.Н., Схашок Ф.Ю. Радионуклиды ^{137}Cs и ^{90}Sr пахотных почвах Адыгеи // Новые технологии. 2013. № 1. С. 56–59.

Ashinov U.N., Schashok F.U. Radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in agricultural soils of Adygea // Novye tehnologii. 2013. № 1. P. 56–59 (in Russian).

3. Кайгородов Р.В. Удельная активность радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в почвах прибрежных зон водных объектов Тюменской области // Успехи современного естествознания. 2020. № 9. С. 66–70.

Kaygorodov R.V. The specific activity of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in the soils of the coastal zones of water objects of the Tyumen region // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2020. № 9. P. 66–70 (in Russian).

4. Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д., Шуктомова И.И. Искусственные и естественные радионуклиды в почвах южно- и среднетаежных подзон республики Коми // Почвоведение. 2017. № 7. С. 824–829.

Beznosikov V.A., Lodygin E.D., Shuktomova I.I. Artificial and natural radionuclides in the soils in subzones of the southern and middle taiga of the Komi Republic // Pochvovedenie. 2015. № 7. P. 824–829 (in Russian).

5. Романенко А.А., Левкина Г.В. Миграция цезия-137 в системе почва – растение на различных типах естественных лугов // Аграрная наука. 2015. № 7. С. 7–9.

Romanenko A.A., Levkina G.V. Migration of caesium-137 in the soil-plant system in various types of natural meadows // Agrarnaya nauka. 2015. № 7. P. 7–9 (in Russian).

6. Кайгородов Р.В. Биогенная аккумуляция радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr растениями экосистем поймы р. Тобол // Успехи современного естествознания. 2020. № 12. С. 80–84.

Kaygorodov R.V. Biogenic accumulation of 137Cs and 90Sr radionuclides by plants of Tobol River floodplain ecosystems // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2020. № 12. P. 80–84 (in Russian).

7. Бахвалов А.В., Лаврентьева Г.В., Сынзыныс Б.И. Биогеохимическое поведение ^{90}Sr в наземных и водных экосистемах // Биосфера. 2012. Т. 4. № 2. С. 206–216.

Bakhvalov A.V., Lavrenteva G.V., Synzynys B.I. Biogeochemical behavior of ^{90}Sr in terrestrial and aquatic ecosystems // Biosfera. 2012. Vol. 4. № 2. P. 206–216 (in Russian).

8. Трапезников А.В., Трапезникова В.Н., Коржавин А.В., Николкин В.Н. Радиоэкологический мониторинг пресноводных экосистем. Том I. Екатеринбург: Изд-во «АкадемНаука», 2014. 496 с.

Trapeznikov A.V., Trapeznikova V.N., Korzhavin A.V., Nikolkin V.N. Radio-ecological monitoring of freshwater ecosystems. Vol. I. Ekaterinburg: AkademNauka, 2014. 496 p. (in Russian).

9. Парамонов Т.А., Мамихин С.В. Корневое поглощение ^{137}Cs и его распределение между надземными и подземными органами растений: анализ литературы // Радиационная биология. Радиоэкология. 2017. Т. 57. № 6. С. 646–662.

Paramonov T.A., Mamikhin S.V. Root uptake of ^{137}Cs and its distribution between aboveground and underground plant organs: literature analysis // Radiacionnaya biologiya. Radioecologiya. 2017. Vol. 57. № 6. P. 646–662 (in Russian).

10. Калиниченко С.А. Оценка динамики накопления ^{137}Cs и ^{90}Sr высшей водной растительностью водоемов различных типов в белорусском секторе зоны отчуждения ЧАЭС // Радиационная биология. Радиоэкология. 2018. Т. 58. № 1. С. 85–97.

Kalinichenko S.A. Assessment of the dynamics of accumulation of 137Cs and 90Sr by higher aquatic vegetation of reservoirs of various types in the Belarusian sector of the Chernobyl exclusion zone // Radiacionnaya biologiya. Radioecologiya. 2018. Vol. 58. № 1. P. 85–97 (in Russian).

11. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2019. 32 с.

12. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. М.: ИПК «Издательство стандартов», 2002. 7 с.

УДК 550.4

СОДЕРЖАНИЕ ГЛАВНЫХ ИОНОВ В РЕКЕ ЧЕРЕК ОТ ЕГО ИСТОКА ДО ВЫХОДА В ПРЕДГОРНУЮ ЗОНУ (КБР)

Керимов А.М., Курашева О.А.

Высокогорный геофизический институт, Нальчик, e-mail: oks.anchik@mail.ru

Территория Кабардино-Балкарии относится к «водонасыщенным» районам Северного Кавказа, так как обладает достаточно развитой речной сетью, за исключением северо-восточной части. В данной работе в соответствии с задачами исследования произведены выборы пунктов отбора проб речных вод для оценки химического состава рек на территории Кабардино–Балкарской Республики. Пункты были выбраны таким образом, что каждый из них характеризует влияние на качество воды предприятий промышленности, жилищно-коммунального хозяйства, сельского хозяйства и населенных пунктов. Приводятся результаты химических анализов проб из р. Черек от его истоков (Черека Безенгийского и Черека Балкарского) до выхода в предгорную зону. Определение содержания главных ионов в реке производилось в отделе физики облаков (ОФО) – лаборатории аналитической химии ВГИ. Во всех отобранных пробах измерялись величины Ph, неорганических соединений азота (NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+), ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO^{2-}_4, HCO^-_3. Пробоотбор в 2009–2010 гг. проводился в августе-сентябре – в конце периода абляции, а также в 2018 г. в период зимней межени. Результаты химического анализа и анализов пределов изменений состава вод р. Черек Балкарский показали, что наибольший расход воды приходится на V–IX месяцы, наименьший расход воды на IX–IV месяцы. Химический анализ проб воды Черека Балкарского выявил, что Ph мало зависит от сезона. Показатель pH в р. Черек Безенгийский в зимней межени изменялся от 7,86 до 8,5 ед., что относит их к нейтральным, слабощелочным водам.

Ключевые слова: главные ионы, р. Черек, р. Черек Безенгийский, р. Черек Балкарский, Кабардино-Балкарская Республика

CONTENT OF THE MAIN IONS IN THE CHEREK RIVER FROM ITS SOURCE TO THE EXIT TO THE FOOTHILL ZONE (KBR)

Kerimov A.M., Kurasheva O.A.

High-Mountain Geophysical Institute (HMGI), Nalchik, e-mail: oks.anchik@mail.ru

The territory of Kabardino-Balkaria belongs to the «water-saturated» regions of the North Caucasus, as it has a sufficiently developed river network, with the exception of the northeastern part. In this work, in accordance with the objectives of the study, the selection of points for sampling river waters was made to assess the chemical composition of rivers in the territory of the Kabardino-Balkarian Republic. The points were selected in such a way that each of them characterizes the impact on water quality of industrial enterprises, housing and communal services, agriculture and settlements. The results of chemical analyzes of samples from the river. Cherek from its sources (Cherek Bezengi and Cherek Balkarsky) to the exit to the foothill zone. The determination of the content of the main ions in the river was carried out in the Department of Cloud Physics (OFD) – the laboratory of analytical chemistry of the VGI. In all the samples taken, the value of Ph, inorganic nitrogen compounds (NO2-, NO3-, NH4 +), ions Ca2+, Mg2 +, Cl-, SO2-4, HCO-3 were measured. Sampling in 2009-2010 was carried out in August-September – at the end of the ablation period, as well as in 2018. during the period winter low water. The results of chemical analysis and analyzes of the limits of changes in the composition of the waters of the river. Cherek Balkarskiy showed that the highest water consumption occurs in the V–IX months, the lowest water consumption in the IX IV months. Chemical analysis of water samples from Cherek Balkarskiy revealed that Ph−depends little on the season. The pH indicator in the river. Cherek Bezengiyskiy in the winter low-water period varied from 7.86 to 8.5 units, which refers them to neutral, slightly alkaline waters.

Keywords: main ions, r. Cherek, r. Cherek Bezengiysky, r. Cherek Balkarsky, Kabardino-Balkarian

В связи с увеличением потребления пресных вод в народном хозяйстве Северо-Кавказского региона, и в частности на территории КБР, большой интерес представляет изучение химического состава (тяжелых металлов и главных ионов) снега, льда, а также речных вод ледникового питания от их истоков до выхода в предгорную зону на стационарных пунктах.

Сведения о современном оледенении важны для правильного решения задач использования и регулирования рек со значительной долей ледникового питания. В этом отношении река Черек Безенгийский представляет большой интерес, поскольку в её бассейне параметры ледникового стока изучены более подробно: площадь, занятая ледниками, равна почти 12%, а ледниковое питание составляет 33% годового стока и 43% в тёплый период [1]. Основная доля снегового и ледникового стока из гляциальной зоны соответствует теплому периоду года, когда потребность в пресной воде для отраслей экономики наибольшая [2]. Цель исследования: дать пространственно-временную характеристику концентрации главных ионов в реке Черек за последнее десятилетие и оценить качество в данном речном бассейне.

Рис. 1. Исток реки Черек Безенгийский (фото Курашевой О.А., 2020 г.)

Рис. 2. Исток реки Мижирги (фото Курашевой О.А., 2020 г.)

Материалы и методы исследования

Гидрографическая сеть республики представлен 2172 реками бассейнов рек Терек и Кума. Общая протяжённость (суммарная длина) рек составляет 5470 км

Густота речной сети наибольшая в горной части (0,5–0,6 км/км^2), затем постепенно уменьшается к предгорьям (0,2–0,3 км/км^2), а в равнинной части составляет менее 0,1 км/км^2. Максимальная густота отмечается в бассейне р. Баксан (1,0–1,5 км/км^2) [3–4].

Ледники бассейна реки Черек Безенгийский достаточно хорошо изучены в массбалансовом отношении [1]. Геохимические исследования в этом районе проводились гораздо реже. Достаточно подробно исследования химического состава ледников Центрального Кавказа приводятся в работе [2].

Река Черек образуется в результате слияния рек Черек Балкарский и Черек Безенгийский (Хуламский) и является правым притоком р. Баксан. Истоком реки являются ледники Главного Кавказского хребта. Длина реки 131 км (считая от истока р. Черек Балкарский); площадь водосбора 3070 км^2.

Реки Черек Балкарский и Черек Безенгийский имеют много небольших притоков. Ниже слияния первых и образования р. Черека количество притоков резко уменьшается. Наибольшей густоты (около 0,6–07 км/км^2) речная сеть достигает в районе предгорий. В высокогорной области густота речной сети уменьшается до 0,4 км/км^2, а в равнинной – до 0,3 км/км^2. Водный режим р. Черек, как и р. Баксан, определяется в основном таянием ледников и высокогорных снегов. В нижнем и среднем его течении весьма значительную роль играет грунтовое питание. Роль дождевых осадков в питании реки невелика [1]. Основная доля снегового и ледникового стока из гляциальной зоны соответствует теплому периоду года, когда потребность в пресной воде для отраслей экономики наибольшая [1]. Истоки рек Черек Безенгийский и Мижирги представлены на рис. 1, 2.

Результаты исследования и их обсуждение

Выбранные пункты расположены на главных реках и на притоках первого порядка указанных выше рек. Пробы отбираются до и после впадения в основной водоток. Отбор проб производился, начиная с истоков р. Черек, с разным гидрологическим режимом рек (летнее половодье – июль, август; зимняя межень – январь, февраль). Отбор проб производится на одном и том же пункте с фиксированными координатами. При отборе проб из реки ледникового питания, а также их притоков первого порядка на стационарных пунктах: фиксировались время отбора, температура воздуха и воды, цвет воды, прозрачность. Отбор проб производился в пластмассовые ёмкости объёмом 250 мл, которые хранились в холодильнике. Консервация производилась в день отбора проб с использованием азотной кислоты.

Средняя температура воды в зимнюю межень на р. Черек от +2,2 до +4 °С. В летнее половодье температура воды р. Черек от +1,8 до +15,9 °С. Температура воздуха зависит от времени суток. В зимнюю межень по долине р. Черек температура воздуха меняется от +2 до +5 °С. В летнее половодье по долине р. Черек температура воздуха меняется от +21 до +30 °С. Прозрачность рек в зимнюю межень составляла 100 %,

что характерно для данной реки. Прозрачность реки в летнее половодье практически во всех створах меньше 10 %, за исключением р. Хеу (90 %).

Выбранные пункты характеризуют особенности изменения химического состава. Определение химического состава на содержание главных ионов в реке производилось в отделе физики облаков (ОФО) – лаборатории аналитической химии ВГИ. Во всех отобранных пробах измерялись значения Ph, неорганических соединений азота (NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+), ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl-, SO^{2-}_4, HCO^-_3. Величина pH определялась по РД 52.24.495-2005 [5]. NO_3^- определялся «Ионометром-ЭВ-74» с применением ионселективных халькогенидных электродов (ИСЭ) [6], РД 52.24.381-2006, NO_2^- определялся на спектрофотометре; с использованием ионной хроматографии (ИХ) – МВИ (ФР.1.31.2005.01738) и РД 52.24.486-2006 определяли NH_4^+ (СФ-46).

В 2009–2010 гг. в период зимней межени и летнего паводка был проведён отбор проб воды р. Черек Балкарский. Пункты отбора проб воды: р. Черек Балкарский (исток), ручей (правый приток), р. Гюльчису (правый приток), р. Черек Балкарский, р. Черек Балкарский, р. Рцывашки (правый приток), р. Карасу (левый приток). Во всех отобранных пробах измерялись величины Ph, неорганических соединений азота (NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+), ионов Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, SO^{2-}_4, HCO^-_3. В период летнего половодья отобраны пробы воды по тем же створам. Результаты анализа и пределы изменений химического состава вод р. Черек Балкарский во всех вышеперечисленных створах представлены в табл. 1.

Химический анализ проб воды выявил, что уровень Ph мало зависит от сезона. Содержание HCO_3^{--} мало зависит от сезона, но увеличивается от истока вниз по течению. Уровень SO^{2-}_4 летом в 1.7–3.2 раза выше, чем зимой. Наличие Cl^- мало отличается по сезонам. Уровни Ca^{2+} и Mg^{2+} незначительно меняются по сезонам. Содержание NO^-_2 и NO^-_3 от сезона не зависит, но в 2009 г. в 2–3 раза выше, чем в 2010 г.

В 2018 году в период зимней межени был проведён мониторинг р. Черек на содержание нитритов, нитратов и аммония, а также величины pH речных вод. Координаты пунктов отбора проб из основного водотока и притоков представлены в табл. 2.

В период летнего половодья отобраны пробы воды в створах, указанных в табл. 2. Результаты анализа зимних проб (15.02.2018 г.) представлены в табл. 3.

Таблица 1

Пределы изменений химического состава вод р. Черек Балкарский за 2009–2010 гг.

	2009 г.		2010 г.	
	Зимний межень	Летний паводок	Зимний межень	Летний паводок
$\varepsilon_{ионов}$ мг/л	111.4–267.94	53.53–243.4	106.0–273,5	40.8–200.8
Ph, ед.	7.40–7.70	6.65–7.90	7.80–8.50	6.90–7.65
HCO^-_3	78.08–214.72	32.53–182.99	73.20–115.0	20.33–162.7
SO^{2-}_4	6.05–8.90	4.56–9.56	6.48–9.60	0–22.80
Cl^-	0.036–1.95	0.035–0.25	0.036–1.95	0.04–0.89
Ca^{2+}	16.83–33.27	12.82–46.49	18.44–64.13	8.02–22.40
Mg^{2+}	0.49–15.31	0.97–8.75	1.46–3.40	0.49–1.94
Общая жесткость мг-экв/л.	1.04–2.92	0.74–3.02	1.20–3.20	0.52–1.68
NO_2	0.0045–0.010	0.040–0.043	0.045–0.016	0.021–0.086*
NO_3^-	3.25–4.65	2.76–5.58	4.15–5.58	2.60–4.65
NH_4^+	0.18–0.45	0.081–0.18	0.086–0.32	0.40–0.47

Таблица 2

Координаты места отбора речных проб на р. Черек (2018 г.)

Наименование точек	Широта, долгота	Высота н.у.м., м
р. Черек Безенгийский (исток)	43°6'50.07"С 43°8'37.94"В	2150
р. Мижирги (выше моста)	43°6'36.44"С 43°9'0.34"В	2125

Окончание табл. 2

Наименование точек	Широта, долгота	Высота н.у.м., м
р. Черек Безенгийский (выше с. Безенги)	43°12'23.78"С 43°16'26.45"В	1559
р. Черек Хуламский (выше с. Карасу)	43°17'40.15"С 43°24'22.67"В	991
р. Черек Балкарский (выше с. Бабугент)	43°15'22.35"С 43°32'15.62"В	772
р. Черек Хуламский (выше с. Бабугент)	43°17'14.11"С 43°30'28.46"В	787
р. Черек (ниже пгт. Кашхатау)	43°19'34.60"С 43°37'51.40"В	650
р. Хеу (с. Аушигер, выше моста)	43°22'35.40"С 43°42'43.07"В	533
р. Черек (ниже с. Аушигер)	43°24'57.40"С 43°45'52.18"В	482

Таблица 3

Величина pH и соединения азота в речных водах зимней межени (15.02.2018 г.)

Водные объекты	pH	Концентрация, мг/л		
		NO_2^-	NO_3^-	NH_4^+
р. Черек Безенгийский, выше с. Безенги	8,20	0,002	4,0	0,07
р. Черек Хуламский, выше с. Карасу	8,30	0,002	6,20	0,10
р. Черек Балкарский, выше с. Бабугент	8,31	0,009	5,60	0,16
р. Черек Хуламский, выше с. Бабугент	8,18	0,006	4,0	0,48
р. Черек, выше Кашхатау	8,45	0,014	12,0	0,13
р. Черек, ниже Аушигера	8,42	0,043	19,0	0,24
р. Хеу	8,44	0,044	21,5	0,33
Источник Аушигер, геотермальный	8,24	0	**57,3***	**5,1***
ПДК поверхн. вод	6,5–8,5	0,080	40	0,5

Примечание: * – превышение ПДК.

Превышение ПДК концентраций в Аушигерском источнике в период зимней межени: по нитратам ПДК = 1,26; по аммонию ПДК = 10,2 мг/л.

Величина pH для рек ледникового питания варьирует в пределах 7,79–7,86 ед. pH. Для остальных речных вод максимальная pH 8,45 ед., минимальная составляет 8,18 ед.

Показатель pH в речных водах зимней межени изменялся от 7,86 до 8,5 ед., что относит их к нейтральным, слабощелочным водам. Содержание трёх форм неорганического азота находилось в пределах нормы. Концентрации нитритов и аммония по длине реки варьировали неоднозначно. Наблюдается закономерное увеличение распределения концентрации нитратов от истока к замыкающему створу.

Особенностью химического состава вод зимнего отбора выделяется Аушигерский высокотермальный источник, где концентрация нитратов составила 57,3 мг/дм^3, превышая ПДК в 1,4 раза, а ионов аммония более чем в 10 раз. Этот источник расположен на юго-западной окраине с. Аушигер, на правом берегу реки Хеу. Он относится к тёплому углекислому минеральному источнику с высоким содержанием азотных соединений. Для питья источник непригоден, только для купания. Вода используется в лечебных целях. Она применяется при лечении опорно-двигательного аппарата, сердечно-сосудистых заболеваниях, артритах, дерматитах, псориазе и других заболеваниях, вода обладает очищающими, расслабляющими свойствами [7].

Выводы

1. Приведены основные параметры ледникового стока. Указан режим химического стока главных ионов в зависимости от гидрологического режима горной реки.

2. Проведена оценка уровня загрязненности речных вод ледникового и подземного питания.

3. Концентрации азотосодержащих ионов в пробах вод ледникового питания

за рассматриваемый период существенно не изменились.

4. Воды ледникового питания бассейна р. Черек могут быть использованы как источники пресной воды для нужд народного хозяйства.

Список литературы / References

1. Панов В.Д. Режим и эволюция современного оледенения бассейна р. Черек Безенгийский. Л: Гидрометеоиздат, 1978. 135 с.

Panov V.D. The regime and evolution of the modern glaciation of the river basin. Cherek Bezengiysky. L: Gidrometeoizdat, 1978. 135 p. (in Russian).

2. Керимов А.М., Курашева О.А. Деградация оледенения Центрального Кавказа с конца XIX века и характеристика химического состава речных вод ледникового питания // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод (г. Ростов-на-Дону, 22–24 сентября 2020 г.). 2020. С. 59–64.

Kerimov A.M., Kurasheva O.A. Degradation of glaciers in the Central Caucasus since the end of the 19th century and characteristics of the chemical composition of river waters of glacial recharge // Sovremennyye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod». Sovremennyye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod. (g. Rostov-na-Donu, 2020 g.). 2020. P. 59–64 (in Russian).

3. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды в Кабардино-Балкарской республике в 2019 году». Нальчик, 2019. 212 с. [Электронный ресурс]. URL: https://old.pravitelstvo.kbr.ru/oigv/minprirod/docs/gosdoklady/PROEKT%20GOSDOKLADA%202019.docx (дата обращения: 08.11.2021).

State report «On the state of the environment in the Kabardino-Balkarian Republic in 2019». Nal'chik, 2019. 212 p. [Electronic resource]. URL: https://old.pravitelstvo.kbr.ru/oigv/minprirod/docs/gosdoklady/PROEKT%20GOSDOKLADA%202019.docx (date of access: 08.11.2021) (in Russian).

4. Галачиева Л.А. Природно-рекреационные ресурсы Кабардино-Балкарии: монография. СПб.: «Лань», 2018. 248 с.

Galachieva L.A. Natural and recreational resources of Kabardino-Balkaria: monografiya. SPb.: «Lan'», 2018. 248 p. (in Russian).

5. РД 52.24.495-2010. Водородный показатель и удельная электрическая проводимость вод. Методика выполнения измерений электрометрическим методом. М.: Росгидромет, 2013. 10 с.

Hydrogen index and specific electrical conductivity of waters. Methods for performing measurements by the electrometric method. M.: Rosgidromet, 2013. 10 p. (in Russian).

6. РД 52.24.367-2010. Массовая концентрация нитратов в водах. Методика выполнения измерений потенциометрическим методом с ионселективным электродом. М.: Росгидромет. 2010. 22 с.

RD 52.24.367-2010. Mass concentration of nitrates in waters. The technique of making measurements by the potentiometric method with an ion-selective electrode. M.: Rosgidromet, 2010. 22 p. (in Russian).

7. Занилов А.Х. Водные ресурсы КБР. Экологическое состояние. Нальчик: Тетраграф, 2011. 152 с.

Zanilov A.Kh. Water resources of the KBR. Nalchik: Tetragraf, 2011. 152 p. (in Russian).

УДК 550.47

БИОГЕОХИМИЯ СЕРЫ В ДОННЫХ ОСАДКАХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ГИДРОТЕРМАЛЬНОГО УРОЧИЩА ПЫМВАШОР

Кокрятская Н.М., Титова К.В., Вахрамеева Е.А., Попов С.С.

ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, e-mail: nkokr@yandex.ru

В статье представлены результаты комплексного изучения биогеохимических процессов цикла серы по данным параметров сульфатредукции (накопления и трансформации форм реакционноспособного железа, содержания соединений восстановленной серы) в совокупности с данными по распределению органического вещества (ОВ) донных осадков (ДО) водных объектов урочища Пымвашор (двух озер, трех источников (холодных и горячих) и самого ручья Пымвашор). В настоящее время это единственное в континентальной Европе место, где на заполярных территориях действуют гидротермальные источники. Показано, что в ДО всех изученных водоемов протекает процесс бактериального восстановления сульфатов (сульфатредукция). Выявленные различия геохимических параметров сульфатредукции обусловлены спецификой протекающих в водоемах биогеохимических процессов, на которые, в свою очередь, наибольшее влияние оказывает литологический состав ДО, качественный состав органического вещества и его доступность для восстанавливающих сульфат микроорганизмов. В озерных отложениях при очень высоком количестве ОВ в составе торфянистых илов доминируют соединения лигнинно-гумусовой природы, трудноминерализуемые и поэтому малодоступные для бактериального сообщества. В осадках других водоемов органическое вещество имеет, скорее всего, смешанный характер, и количество присутствующего легкодоступного ОВ достаточно для протекания процесса сульфатредукции с одновременным накоплением соединений восстановленной серы. Помимо основных причин, влияющих на ход восстановления и окисления соединений серы, для данной экосистемы значимым является температурный фактор. В донных осадках незамерзающих водотоков увеличение доли легкодоступного органического вещества и постоянное наличие кислорода приводят к накоплению преимущественно кислоторастворимых моносульфидов железа и элементной серы, в отличие от малопроточных и промерзающих до дна озер, с доминированием в составе соединений восстановленной серы пиритной и органической составляющих.

Ключевые слова: Субарктика, гидротермальное урочище Пымвашор, донные осадки, биогеохимические процессы, восстановленная сера, органический углерод, реакционноспособное железо

BIOGEOCHEMISTRY OF SULFUR IN WATER BODIES OF THE PYMVASHOR HYDROTHERMAL TREATMENT

Kokryatskaya N.M., Titova K.V., Vakhrameeva E.A., Popov S.S.

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research Ural Branch RAS, Arkhangelsk, e-mail: nkokr@yandex.ru

The article presents the results of a comprehensive study of biogeochemical processes of the sulfur cycle based on the data of sulfate reduction parameters (the accumulation and transformation of reactive iron forms, the content of reduced sulfur compounds) in combination with data on the distribution of organic matter (OM) of bottom sediments (BS) of water bodies of the Pymvashor tract. It was shown that the process of bacterial reduction of sulfates (sulfate reduction) proceeds in BS of all studied water bodies. The revealed differences in the geochemical parameters of sulfate reduction are due to the specificity of biogeochemical processes occurring in water bodies, which, in turn, are most influenced by the lithological composition of BS, the qualitative composition of organic matter, and its availability for microorganisms reducing sulfate. In lacustrine sediments with a very high OM content, peaty silts are dominated by compounds of a lignin-humus nature, difficult to mineralize and therefore inaccessible to the bacterial community. In sediments of other water bodies, organic matter is most likely of a mixed nature, and the amount of readily available OM is sufficient for the process of sulfate reduction with the simultaneous accumulation of reduced sulfur compounds. In addition to the main reasons affecting the course of the reduction and oxidation of sulfur compounds, the temperature factor is significant for this ecosystem. In the bottom sediments of non-freezing watercourses, an increase in the proportion of readily available organic matter and the constant presence of oxygen lead to the accumulation of predominantly acid-soluble iron and elemental sulfur monosulfides, in contrast to low-flow and freezing lakes to the bottom, with the dominance of pyrite and organic components in the composition of reduced sulfur compounds.

Keywords: Subarctic, Pymvashor hydrothermal tract, bottom sediments, biogeochemical processes, reduced sulfur, organic carbon, reactive iron

Гидротермальное урочище Пымвашор (67°10.300' с.ш., 60°51.182' в.д.) находится на восточной окраине Большеземельской тундры. Несмотря на то, что пресноводные гидротермальные экосистемы широко распространены по всему земному шару, степень их изученности до сих пор крайне мала. Поскольку Пымвашор расположен в труднодоступной местности, его водная и наземная экосистема сохранилась до настоящего времени в практически ненарушенном виде.

Гидротермальная система начала работать благодаря тектоническим процессам в глубоком прошлом. По результатам датирования термальных вод и травертина (известкового туфа) возраст для гидротермальной системы составляет как минимум 13.9 тыс. лет [1]. В районе урочища многолетнемерзлые породы отсутствуют, хотя сам объект находится в пределах зоны распространения многолетнемерзлых пород.

Урочище Пымвашор расположено в долине ручья Пымвашор, в 3,7 км по течению до его впадения в реку Адзьву (бассейн реки Печеры), представляет собой широкий и протяженный лог тектонического происхождения [2]. Протяженность ручья Пымвашор 21 км, максимальная ширина – 20–30 м; скорость течения – 0,3–0,5 м/с; глубина – от 0,2 м на перекатах до нескольких метров в омутах, дно каменистое, местами песчаное, на перекатах галечниковое; среднегодовая температура воды 5 °С [2]. Всего в урочище насчитывается 13 действующих минерально-термальных источников: 8 горячих источников с температурой воды 20,3–28,5 °С (суммарный расход вод 25,6 л/с) и 5 холодных карстовых источников с температурой около 1,2–6,0 °С (суммарный расход вод 6,1 л/с) [2].

Вследствие пониженного относительно водораздела положения долины ручья Пымвашор и одновременного изгиба его русла на местности образуются участки одновременно хорошо защищенные от ветра и подогреваемые теплыми водами гидротерм. Азональная теплообеспеченность таких участков устойчиво сохраняется на протяжении сотен и тысяч лет. Поскольку источники и район их впадения в ручей Пымвашор зимой не покрываются льдом, то в зоне действия гидротерм не проявляется и сезонное промерзание грунтов – обеспечивается постоянство условий обитания и сохраняют активность почвенная биота, а также бентосные сообщества в водных объектах [2].

Из-за своей удаленности источники гидротермальной системы Пымвашор долгое время оставались недостаточно изученными. Расширенные научно-исследовательские работы в урочище были проведены сотрудниками Института экологических проблем Севера УрО РАН (в настоящее время ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН) с 2009 по 2012 г. (в разные сезоны года). Были выполнены ландшафтно-гидрологическое зонирование и функциональное изучение экосистем, проведены микроклиматические, почвенно-криологические, эколого-физиологические, популяционные и прочие исследования, результаты которых представлены в целом ряде работ и обобщены в монографии [2]. Так, например, установлено, что источники и район их впадения в ручей Пымвашор зимой не замерзают. А благодаря особенностям рельефа и отепляющего воздействия горячих источников, на территории урочища имеются участки с повышенной теплообеспеченностью, где создаются условия для развития и функционирования почвенной биоты и бентоса, а также специфических растительных и животных сообществ.

Таким образом, с одной стороны гидротермальная система Пымвашор представляет пример очень высокой устойчивости к внешним климатическим воздействиям, а с другой – отличается очень высокой стабильностью условий среды. Все это накладывает отпечаток на элементы биогеохимических процессов, протекающих в водных объектах этого уникального природного объекта. Одним из основных процессов восстановительного диагенеза донных осадков является бактериальная сульфатредукция. В ходе этого процесса происходит сопряжение циклов таких геохимически подвижных элементов, как углерод, сера и железо. Целью настоящего исследования являлось изучение геохимических параметров сульфатредукции (содержание соединений восстановленной серы, накопление и трансформация форм реакционноспособного железа) в совокупности с данными по распределению органического вещества донных осадков водных объектов субарктического урочища Пымвашор.

Материалы и методы исследования

Пробы донных осадков для исследования отобраны в ноябре 2009 г. и сентябре 2010 г. в ходе Северной комплексной экспедиции Института экологических проблем Севера УрО РАН (ныне ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН).

В зимний период (ноябрь) 2009 г. территория урочища Пымвашор была покрыта снегом, а большая часть акватории водотоков – льдом. Хотя в районах выхода термальных вод образуются полыньи, грунты на этих участках в основном были галечными и валунными – наиболее широко распространенными в пымвашорских водотоках. Поэтому поиск мест отбора донных отложений представлял известные трудности, вследствие чего было отобрано всего несколько проб с поверхности дна водотоков. В теплый период (сентябрь) 2010 г. пробы отбирали с помощью ударной прямоточной

грунтовой трубки с внутренним диаметром 110 мм и длиной 1 м. Сразу после отбора керны ДО были последовательно разделены на слои и в виде образцов герметично упакованы в пластиковые пакеты. Во всех случаях длина отобранных кернов (колонок) определялась глубиной залегания коренных пород, в которые уткнулся пробоотборник.

Географическое место отбора проб фиксировалось с помощью спутникового определителя координат GPS навигатора.

Пробы были отобраны в следующих водоемах и водотоках урочища Пымвашор.

Озеро LPYM-1 расположено выше по течению ручья Пымвашор, на его левом берегу (за каменистой грядой), вне действия гидротерм урочища (площадь ~400 м^2, глубина 1–2 м). Колонка донных осадков (длиной 15 см) отобрана в точке с координатами N 67°09'39.79", E 60°51'34.16". Отобранные осадки довольно однородны и представлены темным волокнистым илом с остатками растительности и характерным запахом гниения.

Озеро LPYM-2 расположено в центре урочища на правом берегу ручья Пымвашор (площадь ~130 м^2, глубина 1–2 м). Колонка донных осадков (длиной 36 см) отобрана в точке с координатами N 67°09'51.38", E 60°51'10.29". Визуально донные осадки четко стратифицированы: верхние 15 см представлены илом темного цвета с включениями волокон органического вещества (торфа, растительных остатков), в то время как нижележащие слои – илистые, темно-серого цвета с примесью песка.

Питьевой ручей (AR-1) – самый мощный из холодных источников Пымвашорского лога. Он вытекает из трещины в скале и впадает в р. Пымвашор по правому берегу. Длина ручья составляет 175,6 м; расход воды – 4,2 л/с; в зимний период на всем протяжении ручей не замерзает. Колонка донных осадков длиной 51 см отобрана в среднем течении ручья в точке с координатами N 67°09'55.48", E 60°51'11.37". Визуально колонка неоднородна, осадки представляли собой темный волокнистый ил с глиной и растительными остатками (веточки).

«Омут» – участок в пределах одной из глубоководных и широких частей основного русла ручья Пымвашор, на выходе из лога. Колонка донных осадков длиной 24 см отобрана в точке с координатами N 67°09'57.72", E 60°51'04.64". Отобранные осадки визуально однородны и представлены темными глинистыми илами с незначительными включениями мелких камней, осколков ракушки и растительности.

По правому берегу Пымвашора расположен самый крупный источник урочища (температура воды на его выходе 28,5 °C, расход воды 14 л/с), зарегулированный искусственно созданным бассейном. Проба отобрана в термальном болотце рядом с ним (R-3) в точке с координатами N 67^{0}10.177′, E 60^{0}51.335′. Осадок представляет собой однородную черную жидкую илистую массу с остатками растительности.

В русле Горячего ручья (II-all), в который объединяются четыре источника Горячей горы (температуры вод в горлах разных источников составляют 25,7–27,4 °C; суммарный расход вод этой группы – 7,7 л/с), проба отобрана в точке с координатами N 67^{0}10.300′, E 60^{0}51.182′. Осадок представляет собой крупноватый серый заиленный песок с небольшим количеством растительных остатков; много мелких камешков (травертины, известняк) и осколков раковин моллюсков.

Гранулометрический состав донных осадков был определен по методике [3]. Общий и органический углерод определяли на CHN-анализаторе фирмы «Хьюлетт Паккард» методом сухого сожжения с последующим газохроматографическим разделением продуктов пиролиза. Реакционноспособное железо извлекали из осадка натуральной влажности экстракцией 3.5 N H_2SO_4, затем из аликвоты полученного раствора определяли железо (III) йодометрическим титрованием; железо (II) – из другой аликвоты дихроматным методом. Для определения различных форм серы использовали метод систематического фазового анализа (использование одной пробы осадка), разработанный в Институте океанологии.

Результаты исследования и их обсуждение

Гидрохимическая характеристика водных объектов урочища Пымвашор

Согласно данным [2] воды всех водотоков урочища являются слабоминерализованными – их общая минерализация составляет 0,6–1,9 г/л. Величина показателя pH воды минерально-термальных источников, впадающих в ручей Пымвашор, и самого ручья (в пределах урочища и до его впадения в р. Адзьву) изменяется в диапазоне 7,6–8,3. Эти значения несколько выше по сравнению с более кислыми водами различных водоемов тундровой зоны [4].

По ионному составу (таблица) воды как термальных, так и карстовых источников

по классификации Алекина относятся к хлоридно-натриевым. При этом из-за разбавления вод холодных источников поверхностными и атмосферными водами в них несколько повышена доля гидрокарбонатов. В целом для вод всех водотоков урочища характерно высокое насыщение кислородом, незначительное содержание биогенных соединений азота и фосфора, органических веществ [2].

В отличие от водотоков воды обоих исследованных озер относятся к гидрокарбонатному классу группы кальция (таблица). Минерализация в них очень низкая (0,04–0,2 мг/л); а по уровню pH (6,2–6,3) они более кислые по сравнению с водами водотоков, что типично для водоемов тундры, т.е. эти озера можно отнести к типично тундровым. По данным [2] в озерных водах зафиксировано повышенное по сравнению с водами источников содержание железа, что также подтверждает правомерность отнесения этих водоемов к типично тундровым, в питании которых наряду с атмосферными осадками значительную роль играют воды, поступающие с заболоченного водосбора.

В осадках обоих озер была определена скорость осадконакопления по ^{210}Pb. Для отложений более крупного из них – оз. LPYM-1, так же как ранее для обширного, но мелководного оз. Талатинское, расположенного на острове Вайгач [5], определить её нам не удалось, что, скорее всего, является следствием перемешивания слоев донных отложений этих водоемов в ходе сезонного замерзания – оттаивания. В оз. LPYM-2 она составила 2 мм/год [6].

Гранулометрический анализ

По данным гранулометрического анализа верхний слой осадков оз. LPYM-1 представлен пелито-алевритовым илом (доля алевритовой фракции 57%), нижележащие – алевропелитом, переходящим в грубодисперсный песчанистый алеврит на нижнем горизонте. Донные отложения ст. LPYM-2 визуально четко стратифицированы: поверхностные слои (0–6 см) являются торфянистым пелито-алевритовым илом с включениями растительных остатков, нижележащие осадки (до глубины 15 см) относятся к алевро-пелитам, а более глубокие слои (15–36 см) – к песчаным алевритам при практически одинаковом содержании алевритовой и песчаной фракций – 45 и 47% соответственно.

В ДО водотоков чаще доминируют более грубодисперсные фракции (рис. 1), содержание которых максимально в осадках «Омута», представленных песчано-алевритовым глинистым илом с включением мелких камешков и осколков раковин. Содержание грубодисперсной фракции максимально в отложениях Горячего ручья, представленных среднезернистым заиленным песком с большим количеством мелких камешков (травертины, известняк) и осколков раковин моллюсков. В отличие от них грубодисперсная фракция осадков, отобранных в омуте, в Питьевом ручье и в озере LPYM-2 представлена темным волокнистым илом с растительными остатками (в основном фрагментами веток кустарников) на разных стадиях разложения.

Среднее содержание основных ионов водных объектов урочища Пымвашор

Место отбора проб		Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
В среднем горячие источники	%-экв	83,31	6,93	9,76	0,22	67,26	22,03	10,31
	мг/л	663,0	74,5	133,4	2,35	421,9	120,2	34,3
В среднем холодные источники	%-экв	61,02	7,96	31,02	0,34	64,53	22,59	12,55
	мг/л	185,8	32,8	162,3	1,45	161,0	49,0	16,3
Термальный источник «Бассейн»	%-экв	84,75	6,78	8,47	0,20	70,99	19,48	9,33
	мг/л	930	102	162	2,67	570	136	39,1
Горячий ручей	%-экв	82,74	6,96	10,29	0,29	77,28	13,14	9,29
	мг/л	701	80,9	152	3,71	593	87,7	37,2
Питьевой ручей	%-экв	55,81	6,32	37,87	0,40	74,52	11,07	14,00
	мг/л	168	26,1	214	1,45	178	36,7	16,6
Ручей ПВШ, (Омут)	%-экв	67,66	6,75	25,58	0,32	71,65	15,08	12,96
	мг/л	217	29,7	143	1,59	212	38,8	20,0
Озеро LPYM-1	%-экв	15,34	4,23	80,43	2,99	26,57	50,73	19,71
	мг/л	11,1	4,14	100	2,08	10,9	18,1	4,22
Озеро LPYM-2	%-экв	13,08	1,30	85,62	0,68	2,72	79,00	17,61
	мг/л	10,4	1,40	117	1,02	4,42	61,1	8,17

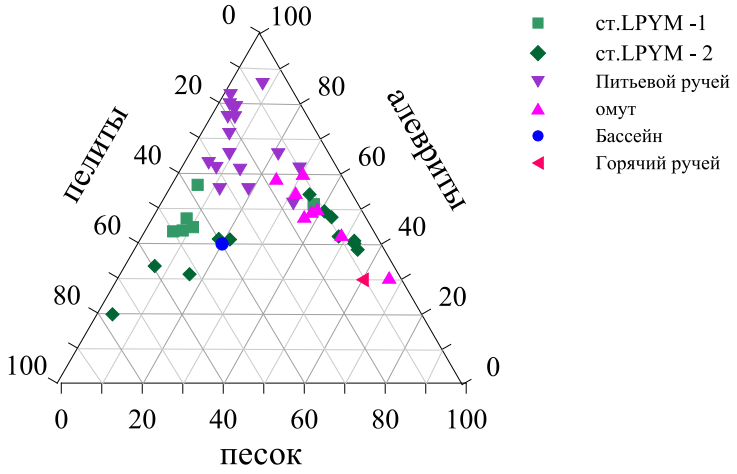


Рис. 1. Трехкомпонентная диаграмма рассеивания гранулометрического состава донных отложений водных объектов урочища Пымвашор

Органический углерод

Наиболее высокое содержание органического углерода ($C_{орг}$) характерно для илистых отложений обоих озер (первые 12–15 см) и Питьевого ручья (здесь и далее концентрации даны в расчете на сухой осадок): 18,7–24,4% для оз. LPYM-1; 32,0–43,0% для оз. LPYM-2; 6,8–29,5% для Питьевого ручья. Что представляется вполне закономерным, поскольку в их составе визуально присутствовал торф, содержание органического вещества в котором может достигать 80–90% (40–45% в пересчете на органический углерод). В обоих озерах при переходе к нижележащим слоям (серый глинистый ил с примесью песка) содержание $C_{орг}$ резко уменьшается – до 5,94% в оз. LPYM-1 и 0,41–1,17% в оз. LPYM-2. В керне осадков, отобранных в русле Питьевого ручья, распределение $C_{орг}$ имеет слоистый характер – при среднем содержании $C_{орг}$ 11,2%, горизонты, где его количество более 10–15%, перемежаются со слоями, где оно немногим более 1%.

В отличие от ДО этих водоемов, распределение $C_{орг}$ в колонке, отобранной на ст. «омут» более однородно – при среднем значении 0,58% разброс значений не выходит за границы интервала 0,41–0,64%. При этом его доля в общем содержании углерода ($C_{общ}$) уменьшается от 65,7% в поверхностных осадках до 19,3% в нижних слоях керна. Столь же невысоко количество ОВ в осадках Горячего ручья – 0,40% (20,6% от $C_{общ}$). Доминирование карбонатной составляющей в отложениях этих водотоков представляется вполне закономерным, учитывая их вещественный состав. Напротив, в осадках обоих озер и Питьевого ручья вклад органической составляющей составляет в среднем 81,5% от $C_{общ}$ (65,2–99,3%), лишь незначительно изменяясь в пределах длины кернов. В илистых отложениях термального болотца (ст. R-3), отобранных дночерпателем, содержание $C_{орг}$ составляет 1,95% (66,3% от $C_{общ}$).

Реакционноспособное железо

Если органическое вещество можно назвать движущей силой сульфатредукции, как и других восстановительных процессов, то реакционноспособное железо – это основной компонент, связывающий образующийся сероводород. С другой стороны, известно, что процесс восстановления Fe (III) значительно опережает сульфатредукцию в окислительно-восстановительных процессах диагенеза. Содержание реакционноспособного железа ($Fe_{реакц}$), т.е. наиболее подвижная в процессах диагенеза часть общего количества железа осадков, не только определяет уровень накопления в ДО восстановленной серы, но по соотношению его форм можно судить о направленности протекающих в ДО редокс-процессов.

Содержание реакционноспособного железа в ДО исследованных водоемов изменяется в широком интервале концентраций – от 0,37 до 7,96%. Минимальные значения этого показателя отмечены в нижних горизонтах колонки отложений озера LPYM-2. Столь же невелико содержание $Fe_{реакц}$

в ДО Горячего ручья – 0,46 %. Наиболее высокое содержание $Fe_{реакц}$ отмечено в осадках ст. «омут» – 6,33 % (5,52–7,96 %), что, скорее всего, связано с осаждением на этом гидрологически более спокойном и относительно более глубоком участке русла ручья Пымвашор железа, поступающего с водами как холодных, так и горячих источников. Среднее содержание $Fe_{реакц}$ в осадках станций AR-1, R-3, LPYM-1 и LPYM-2 сопоставимо (рис. 2) и изменяется в интервале от 0,78 до 3,29 %. Можно отметить, что в целом высокое содержание железа (ожелезненность) характерно для пымвашорских источников – о наличии рыжей взвеси на камнях и подводных растениях сообщают практически все исследователи урочища, начиная с его первых научных описаний [2].

В верхних органогенных осадках обоих озер реакционноспособное железо представлено преимущественно окисленной формой – в среднем 54,4 % и 61,5 % от $Fe_{реакц}$ соответственно для LPYM-1 и LPYM-2. В нижних горизонтах при изменении вещественного состава в озерных осадках начинает доминировать железо (II) (карбонаты, фосфаты, силикаты, оксиды, гидроксиды, сульфиды) – 65,3 и в среднем 54,5 %, соответственно для 1-го и 2-го озера. В пределах исследованной толщи отложений всех водотоков также доминирует более восстановленная форма реакционноспособного железа: 75,0 % на ст. омут; 79,8 % в осадках Питьевого ручья и 77,8 % от $Fe_{реакц}$ в ДО Горячего ручья.

Можно выделить распределение форм в составе $Fe_{реакц}$ в осадках мелководного термального болотца, расположенного вблизи наиболее мощного горячего источника «Бассейн» [2], где при довольно значительном общем содержании $Fe_{реакц}$ (2,85 %) практически полностью отсутствует его окисленная часть Fe (III).

Соединения восстановленной серы

Сера, обнаруженная в осадках, представлена серой сульфатов (по методике это сульфаты иловой и/или наддонной воды и сульфаты твердой фазы осадка) и восстановленной серой, образованной продуктами трансформации сероводорода, образовавшегося в процессе сульфатредукции.

Содержание общей восстановленной серы (ΣSH2S) максимально в осадках Питьевого ручья (0,37–2,28 %; в среднем 1,33 %) и озера LPYM-1 (0,58–2,56 %; в среднем 1,74 %), где она преимущественно (67,8 и 63,6 % от ΣS_{H2S} соответственно) представлена органической формой, т.е. серой, связанной с лигнинно-гумусовым комплексом ОВ осадков (рис. 3). Не менее значителен вклад органической серы (в среднем 78,2 % от ΣSH2S) в отложениях озера LPYM-2, при том, что в абсолютных значениях её содержание на порядок ниже (0,10 %), чем в осадках вышеперечисленных водоемов. При сопоставимом с ними количестве ОВ в илистых осадках озера LPYM-2, процесс бактериального восстановления сульфатов идет гораздо менее интенсивно, что объясняется большей недоступностью ОВ для микроорганизмов. Подтверждением аллохтонной природы этого ОВ является преобладание в его составе (более 90 % от $C_{орг}$) гуминовых веществ. Можно предположить, что в отложениях Питьевого ручья и озере LPYM-1 в составе органического вещества, скорее всего, все же имеется достаточное количество лабильных соединений, что в совокупности с повышенным количеством сульфатов (таблица), способствует более активному протеканию сульфатредукции и, как следствие, большему накоплению восстановленной серы преимущественно в составе пирита.

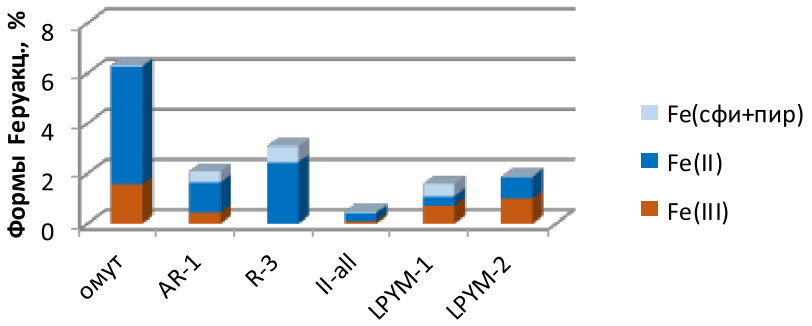


Рис. 2. Распределение форм реакционноспособного железа в ДО водных объектов урочища Пымвашор

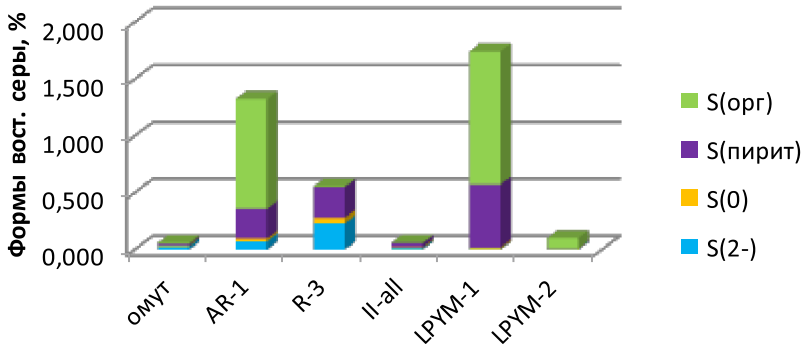


Рис. 3. Распределение форм восстановленной серы в ДО водных объектов урочища Пымвашор

В ДО «Омута» и Горячего ручья содержание ΣSH2S сопоставимо и крайне мало – в среднем 0,06 и 0,061% соответственно. При этом, уже начиная с верхних горизонтов, основной вклад в ΣSH2S вносят сульфидные (сумма моносульфидов и пирита) формы – 67,2 и 80,3% от ΣS_{H2S} соответственно. Содержание сульфидных форм серы, максимально и в черных илистых осадках термального болотца, причем как в абсолютных концентрациях (0,50%), так и по вкладу в ΣSH2S – 90,1% от суммы форм. Можно отметить, что во всех четырех проточных незамерзающих водотоках в составе сульфидных форм не только значима, но и высока доля кислоторастворимых моносульфидов железа, что совсем не характерно для озерных отложений.

Вклад элементной серы в общее накопление восстановленной серы в ДО обоих озер крайне незначителен – 0,32–0,78% от ΣSH2S; что отличает их от проточных водоемов, где особенно в верхних горизонтах ДО он изменяется от 1,72% в Питьевом ручье до 8,99% в «бассейне» и 13,1–14,7% от ΣSH2S в «омуте» и Горячем ручье.

Представляло интерес сравнить накопление в осадках восстановленной серы как с содержанием в них ОВ, так и с содержанием сульфатов в водах исследованных водоемов. Как известно, именно эти показатели определяют интенсивность процесса сульфатредукции в ДО. В озерных отложениях не выявлено согласованности в накоплении в осадках восстановленной серы и содержанием в них органического углерода ($r = 0,28$ при $n = 17$), напротив, для отложений водотоков, эта взаимосвязь проявилась ($r = 0,78$ при $n = 25$). И этот факт может свидетельствовать о существовании различий в качественном составе ОВ этих водоемов. Как не раз упоминалось выше, в озерных отложениях при очень высоком количестве ОВ в составе волокнистых торфянистых илов доминируют соединения лигнинно-гумусовой природы, трудноминерализуемые и поэтому малодоступные для бактериального сообщества. В осадках других водоемов органическое вещество имеет, скорее всего, смешанный характер и количество присутствующего в них лабильного ОВ достаточно для протекания процесса сульфатредукции с одновременным накоплением соединений восстановленной серы. Кроме того, все эти водотоки (и термальное болотце около бассейна в том числе) не покрываются льдом и не замерзают в течение всего холодного периода [2] в отличие от обоих озер, которые вследствие небольшой глубины промерзают до дна. Даже в зимний период в них продолжаются продукционные процессы, а в верхних слоях незамерзающих отложений протекают процессы аэробной деструкции ОВ, обеспечивающие анаэробное бактериальное сообщество лабильными органическими соединениями.

Второй причиной различной интенсивности процесса сульфатредукции может быть различная его обеспеченность сульфатами. Выявлена неплохая взаимосвязь между содержанием в воде сульфатов и накоплением в ДО восстановленной серы (усредненные значения) с коэффициентом корреляции равным 0,88 (при $n = 6$). Можно отметить, что, скорее всего, именно обеспеченность сульфатами накладывает отпечаток на формирование ΣSH2S в озерных осадках. При сопоставимых данных по содержанию в ДО обоих озер органического вещества, содержание сульфатов в воде и донных отложениях оз. LPYM-1 значительно выше, чем в оз. LPYM-2 – в 3 и 40 раз соответственно. Исходя из анализа гидрохимических показателей, оз. LPYM-2 явля-

ется типично тундровым и не испытывает влияния источников урочища. Повышенное количество сульфатов в воде и ДО территориально независимого от урочища озера LPYM-1, скорее всего, является следствием влияния холодных карстовых вод, многочисленные выходы которых отмечены и за пределами урочища.

Заключение

Выявленные в результате проведенного исследования различия геохимических параметров сульфатредукции в донных отложениях водоемов, расположенных в пределах гидротермального урочища Пымвашор обусловлены спецификой протекающих в них биогеохимических процессов. На которые, в свою очередь, наибольшее сильное влияние оказывает литологический состав ДО, качественный состав органического вещества и его доступность для восстанавливающих сульфат микроорганизмов. Наличие незамерзающих донных отложений, вследствие отепляющего эффекта термальных вод урочища на его водотоки, накладывает отпечаток на соотношение отдельных форм восстановленной серы в составе их суммы. В донных осадках незамерзающих водотоков увеличение доли лабильного органического вещества и постоянное наличие кислорода приводят к накоплению преимущественно кислоторастворимых сульфидов и элементной серы, в отличие от малопроточных и промерзающих до дна озер, с доминированием в составе восстановленных соединений серы пиритной и органической составляющих.

Работа выполнена в рамках госзадания ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН № АААА-А18-118012390167-1.

Авторы благодарны И.Н. Болотову и С.А. Игловскому за предоставление проб донных осадков, Р.Б. Ивахновой за определение содержания углерода.

Список литературы / References

1. Malov A.I., Bolotov I.N., Pokrovsky O.S., Zykov S.B., Tokarev I.V., Arslanov K., Druzhinin S.V.,. Lyubas A.A, Gofarov M.Y., Kostikova I.A., Kriauciunas V.V., Chernov S.B., Maksimov F.E., Bespalaya Y., Aksenova O.V. Modeling past and present activity of a subarctic hydrothermal system using O, H, C, U and Th isotopes. Applied Geochemistry. 2015. Vol. 63. P. 93–104.

2. Функционирование субарктической гидротермальной экосистемы в зимний период / Под ред. Боголицына К.Г., Болотова И.Н. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 252 с.

Functioning of the subarctic hydrothermal ecosystem in winter. Pod red. Bogolitsyna K.G., Bolotova I.N. Ekaterinburg: UrO RAN, 2011. 252 p. (in Russian).

3. МИ № 88−16365−010−2017. Донные отложения водоемов. Определение гранулометрического состава ситовым и пипеточным методами. Введена 2017−12−26. Архангельск, 2017. 12 с. (in Russian).

4. Dauvalter V.A., Khloptseva E.V. Hydrological and hydrochemical characteristics of the lakes of the Bol'shezemelskaya tundra // Vestnik MGTU. 2008. T. 11. No. 3. P. 407–414 (in Russian).

5. Кокрятская Н.М., Шевченко В.П., Титова К.В., Вахрамеева Е.А., Алиев Р.А., Григорьев В.А., Савельева Л.А., Максимов Ф.Е., Кузнецов В.Ю. Ранний диагенез донных осадков пресноводных озер острова Вайгач // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66. № 4. С. 534–554.

Kokryatskaya N.M., Shevchenko V.P., Titova K.V., Vakhrameeva E.A., Aliev R.A., Grigoriev V.A., Savelyeva L.A., Maksimov F.E., Kuznetsov V.Yu. Early diagenesis of bottom sediments of freshwater lakes on Vaigach Island // Problemy Arktiki i Antarktiki. 2020. T. 66. № 4. P. 534–554 (in Russian).

6. Шевченко В.П., Любас А.А., Стародымова Д.П., Болотов И.Н., Аксенова О.В., Алиев Р.А., Гофаров М.Ю., Игловский С.А., Кокрятская Н.М. Особенности геохимии тяжелых металлов в донных осадках малых озер урочища Пымвашор (Большеземельская тундра) // Успехи современного естествознания. 2017. № 1. С. 105–110.

Shevchenko V.P., Lyubas A.A., Starodymova D.P., Bolotov I.N., Aksenova O.V., Aliev R.A., Gofarov M.Yu., Iglovsky S.A., Kokryatskaya N.M. Features of the geochemistry of heavy metals in bottom sediments of small lakes in the Pymvashor tract (Bolshezemelskaya tundra) // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. 2017. № 1. P. 105–110. (in Russian).

УДК 550.42(470.111)

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РАДИОНУКЛИДОВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ТОРФЯНИКЕ НЕНЕЦКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА

Лукошкова А.А., Яковлев Е.Ю., Орлов А.С., Кудрявцева А.А., Дружинин С.В.

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова Российской академии наук Уральского отделения Российской академии наук, Архангельск, e-mail: a.luckoshkova@yandex.ru

В статье представлены результаты исследования физико-химических свойств и удельной активности радионуклидов в торфяном профиле, отобранном на территории Ненецкого автономного округа. Исследование физико-химических параметров показало, что в торфяном профиле наблюдается высокая зольность до 94%, обусловленная наличием наносного песка, глины и минеральных веществ, накопленных растениями. Доля органического вещества достигает 89%. Массовая доля карбонатов в профиле незначительна и варьирует в диапазоне 0,31–0,54%. В торфяном профиле зафиксирована активность радионуклидов: ^{90}Sr (0,25–2,6 Бк/кг), ^{137}Cs (1,4–44 Бк/кг), ^{241}Am (0,39–2,7 Бк/кг), ^{210}Pb (4,0–382 Бк/кг). Активности изученных радионуклидов находятся ниже установленных допустимых норм согласно НРБ-99/2009 и не представляют опасности для биоты и человека. Техногенные радионуклиды сосредоточены в верхних слоях профиля. ^{210}Pb в основном локализуется в самом верхнем слое (0–3 см), существенно убывая вниз по профилю, достигая в нижних слоях равновесия с ^{226}Ra. Максимум активности ^{210}Pb в верхней части профиля обусловлен поступлением радионуклида в виде аэрозольных выпадений с атмосферными осадками. Изотопы ^{90}Sr и ^{137}Cs локализуются в двух слоях профиля и имеют единый вертикальный миграционный путь. Между удельной активностью ^{90}Sr и ^{137}Cs выявлена положительная корреляционная зависимость ($r = 0,87 \pm 0,06$, связь сильная). Удельная активность ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{241}Am, ^{210}Pb уменьшается с глубиной профиля. Установлено, что наибольшие значения удельной активности ^{90}Sr и ^{137}Cs наблюдаются при наибольшей доле органического вещества ($r = 0,87 \pm 0,06$, связь сильная). Между зольностью и удельной активностью ^{90}Sr и ^{137}Cs выявлена отрицательная корреляция ($r = 0,82 \pm 0,09$, (связь сильная), $r = 0,87 \pm 0,06$ (связь сильная) соответственно).

Ключевые слова: торфяник, физико-химические свойства, техногенные радионуклиды, Ненецкий автономный округ

VERTICAL DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES AND PHYSICO-CHEMICAL PARAMETERS IN THE PEAT OF THE NENETS AUTONOMOUS OKRUG

Lukoshkova A.A., Yakovlev E.Yu., Orlov A.S., Kudryavtseva A.A., Druzhinin S.V.

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural branch of the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, e-mail: a.luckoshkova@yandex.ru

The article presents the results of a study of the physicochemical properties and specific activity of radionuclides in a peat profile sampled on the territory of the Nenets Autonomous Okrug. The study of physicochemical parameters showed that in the peat profile there is a high ash content of up to 94%, due to the presence of alluvial sand, clay and minerals accumulated by plants. The proportion of organic matter reaches 89%. The mass fraction of carbonates in the profile is insignificant and varies in the range of 0.31-0.54%. The peat profile recorded the activity of radionuclides: ^{90}Sr (0.25–2.6 Bq/kg), ^{137}Cs (1.4–44 Bq/kg), ^{241}Am (0.39–2.7 Bq/kg), ^{210}Pb (4,0–382 Bq/kg). The activities of the studied radionuclides are below the established permissible standards according to NRB-99/2009 and do not pose a danger to biota and humans. Technogenic radionuclides are concentrated in the upper layers of the profile. ^{210}Pb is mainly localized in the uppermost layer (0–3 cm), significantly decreasing down the profile, reaching equilibrium with ^{226}Ra in the lower layers. The maximum activity of ^{210}Pb in the upper part of the profile is due to the arrival of the radionuclide in the form of aerosol fallouts with atmospheric precipitation. The isotopes ^{90}Sr and ^{137}Cs are localized in two layers of the profile and have a single vertical migration route. A positive correlation was found between the specific activities of ^{90}Sr and ^{137}Cs ($r = 0.87 \pm 0.06$, the relationship was strong). The specific activity of ^{90}Sr, ^{137}Cs, ^{241}Am, ^{210}Pb decreases with the depth of the profile. It was found that the highest values of the specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs are observed with the highest proportion of organic matter ($r = 0.87 \pm 0.06$, strong bond). A negative correlation was found between ash content and specific activity of ^{90}Sr and ^{137}Cs ($r = 0.82 \pm 0.09$, (strong bond), $r = 0.87 \pm 0.06$ (strong bond), respectively).

Keywords: peatbog, physicochemical properties, technogenic radionuclides, Nenets autonomous okrug

Более 19% площади Ненецкого автономного округа занято болотами (~ 3,4 млн га) [1]. Преобладающим типом являются бедные питательными веществами верховые болота, основным источником питания которых являются аэрозоли, воздушная пыль и атмосферные осадки [2]. В связи с преимущественным атмосферным питанием, верховые торфяники представляют собой огромный архив атмосферных загрязнителей, ведущую роль среди которых играют радиоактивные элементы, поскольку арктические территории, к которым относится Ненецкий автономный округ, с момента начала атомной эры подверглись существенному воздействию техногенной радиоак-

тивности [3, 4]. Основными источниками техногенной радиоактивности в Арктике являлись: а) глобальные (стратосферные) выпадения в результате атмосферных ядерных испытаний, б) локальные (тропосферные) выпадения в результате испытаний, проводимых на единственном в Арктике ядерном полигоне на Новой Земле с 1955 по 1990 г.; в) поступление в арктические моря техногенных радионуклидов от западноевропейских радиохимических заводов Великобритании и Франции; г) последствия Чернобыльской катастрофы 1986 г. [5].

Помимо техногенной радиоактивности, образованной преимущественно в результате глобальных выпадений от атмосферных испытаний атомного оружия и радиационных аварий, потенциальная опасность загрязнения торфяно-болотных экосистем округа может быть связана с естественными радионуклидами, источником которых являются многочисленные месторождения углеводородов на территории НАО. Естественные радионуклиды поступают на поверхность в составе минерализованных попутных вод, составляющих самый большой объем отходов в процессе добычи нефти и газа [6]. В связи с наличием в округе потенциальных радиационных источников, торфяно-болотные экосистемы, занимающие значительную площадь НАО, могут быть потенциальным концентратором радиоактивности, создавая опасность для биоты и человека. Кроме этого, радиоактивные изотопы, находящиеся в торфяных отложениях, могут предоставить ценную информацию о последних региональных изменениях климатических условий и загрязняющих нагрузок [4]. Однако сведения об уровне загрязнения торфяников НАО радионуклидами техногенного и естественного происхождения отсутствуют. В связи с этим целью данной работы является исследование вертикального распределения радионуклидов атмосферных выпадений по профилю верхового болота на территории НАО. Для достижения указанной цели была отобрана колонка торфяных отложений в районе г. Нарьян-Мара, изучены физико-химические параметры и удельная активность следующих радионуклидов, имеющих большой период полураспада: стронций-90 (^{90}Sr) – 28,8 лет, цезий-137 (^{137}Cs) – 30,0 лет, америций-241 (^{241}Am) – 432,6 года, свинец-210 (^{210}Pb) – 22,2 года.

Материалы и методы исследования

Отбор торфяной колонки ТН 1-2 проводился согласно межгосударственному стандарту [7] в 18 км восточнее города Нарьян-Мар. Схема отбора колонки показана на рис. 1.

Глубина торфяной колонки составляла 29 см. После отбора колонка торфа была разделена на слои по 2 см, за исключением самого верхнего горизонта 0–3 см. В общей сложности торфяная колонка была разделена на 14 проб.

Рис. 1. Карта-схема отбора торфяной колонки ТН 1-2

В каждом из слоев торфа были определены физико-химические показатели: зольность (А) [8], массовая доля органического вещества (Х) гравиметрическим методом [9], массовая доля карбонатов ($C(CO_3^{2-})$) с учетом влажности и потерь при прокаливании; удельная активность радионуклидов ^{90}Sr,^{137}Cs, ^{241}Am,^{210}Pb.

Удельную активность ^{90}Sr в пробах торфа определяли бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой согласно аттестованной методике [10]. Методика основана на измерении бета-излучения счетного образца, содержащего селективно выделенный из пробы иттрий-90 (^{90}Y), являющийся дочерним продуктом распада ^{90}Sr и находящийся с ним в радиоактивном равновесии в пробе, и расчете удельной активности ^{90}Y (^{90}Sr) в пробе. Измерение счетных образцов выполнялось с применением альфа-бета радиометра РСК-01А «Абелия» с программным обеспечением «Абелия 1.0.7.0».

Определение радионуклидов ^{137}Cs и ^{241}Am проводили с применением низкофонового гамма-спектрометра производства CANBERRA Packard с коаксиальным полупроводниковым детектором GX2018 на основе кристалла Ge(Li) и программного обеспечения Genie-2000. Удельную активность радионуклида ^{137}Cs фиксировали по линии гамма-излучения 661,7кэВ с квантовым выходом 89,9%, принадлежащей его дочернему радионуклиду ^{137}Ba, удельную активность радионуклида ^{241}Am – по линии гамма-излучения 59,5 кэВ с квантовым выходом 35,9%.

Удельную активность ^{210}Pb в пробах торфа определяли альфа-бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой в соответствии с аттестованной методикой [11]. Сущность методики заключается в измерении бета-излучения счетного образца, содержащего изотоп висмута-210 (^{210}Bi), находящийся в радиоактивном равновесии с ^{210}Pb и селективно выделенный из пробы с использованием радиохимических приемов и спонтанного селективного электрохимического осаждения, и расчете удельной активности ^{210}Pb в пробе. Измерение счетных образцов выполнялось с применением альфа-бета радиометра РСК-01А «Абелия» с программным обеспечением «Абелия 1.0.7.0».

Для исследования структуры взаимосвязей изучаемых параметров использовали корреляционный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

Физико-химические показатели

Величина зольности для исследуемого торфяного профиля находится в интервале 11–94%. Согласно полученным данным (рис. 2), исследуемый профиль состоит из высокозольного торфа (10% < А < 50%, 1–8 слой) и заторфованного грунта (А > 50%, 9–14 слой). Высокая зольность обусловлена наличием наносного песка, глины и минеральных веществ, накопленных растениями. Отмечается тенденция повышения зольности при движении вниз по профилю.

Обратный показатель зольности – доля органического вещества – уменьшается с глубиной (рис. 2). Массовая доля органического вещества в торфяном профиле варьирует по горизонтам в пределах от 5,9% до 89%. В слое 11–13 см наблюдается максимальное значение показателя.

Массовая доля карбонатов в торфяном профиле незначительна и находится в интервале 0,31–0,54%. В слое 0–3 см наблюдается максимальное значение показателя, возможно, обусловленное преимущественно атмосферным их поступлением. Для профиля характерно снижение массовой доли карбонатов с глубиной (рис. 2).

Удельная активность техногенных радионуклидов

Удельная активность ^{90}Sr в торфяном профиле составляет 0,25–2,6 Бк/кг, что не превышает установленную минимально значимую удельную активность (МЗУА) радионуклида (100 000 Бк/кг) [12]. Активность ^{90}Sr по профилю убывает с глубиной (рис. 3). Максимальная активность радионуклида отмечается в двух слоях: в слое 7–9 см (2,6 Бк/кг) и в слое 3–5 см (2,4 Бк/кг).

Удельная активность ^{137}Cs по торфяному профилю выше ^{90}Sr и находится в пределах от 1,4 до 44 Бк/кг. Активность радионуклида не превысила 0,01–0,44% от МЗУА (10 000 Бк/кг). Активность ^{137}Cs по торфяному профилю убывает с глубиной (рис. 3). Максимальная активность радионуклида отмечается в слое 5–7 см (44 Бк/кг) и слое 9–11 см (37 Бк/кг).

Малая активность ^{90}Sr и ^{137}Cs в самом первом слое 0–3 см профиля, возможно, обусловлена их повышенным переходом в растения. Накопление ^{90}Sr и ^{137}Cs моховым покровом подтверждается исследованием В.В. Гречкиной с соавторами [13].

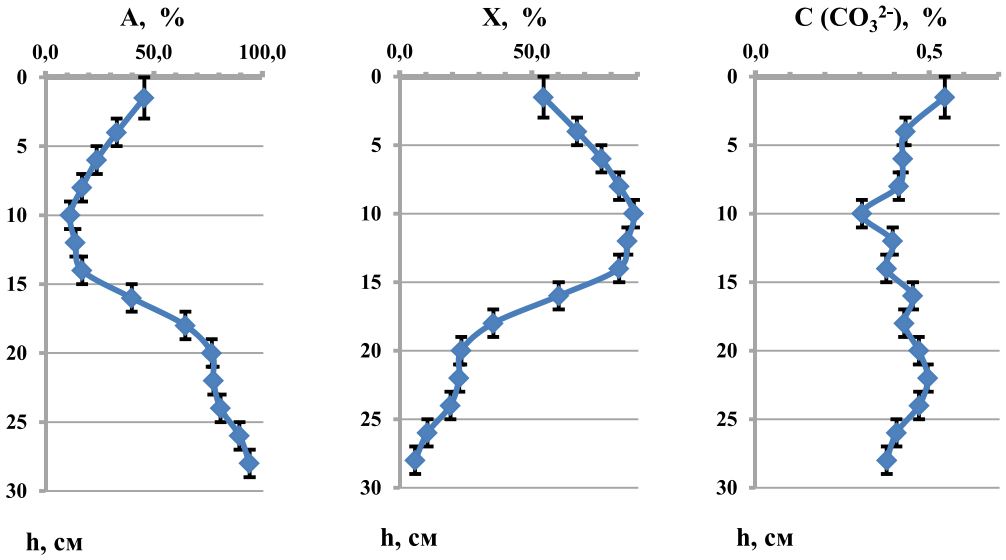


Рис. 2. Физико-химические свойства торфяного профиля ТН 1-2

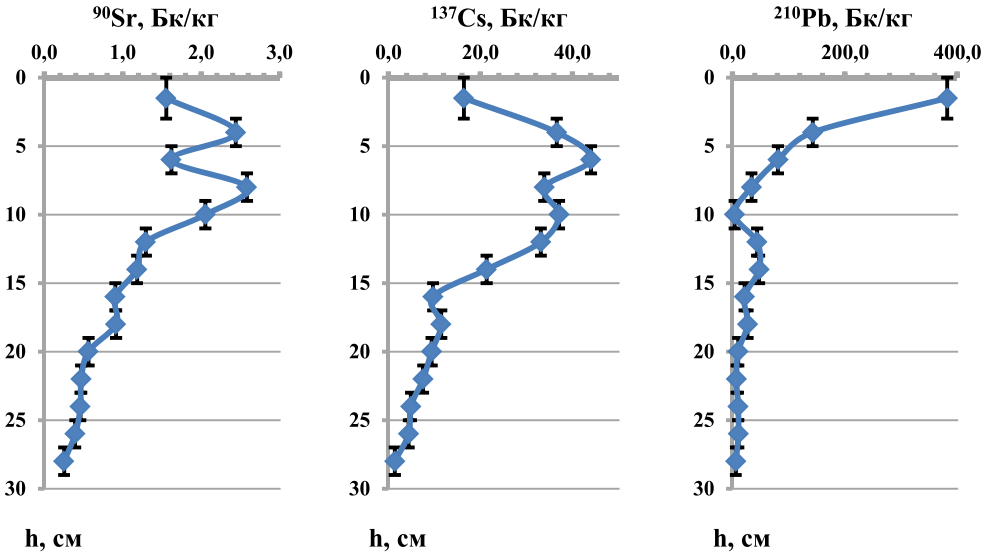


Рис. 3. Удельная активность радионуклидов в торфяном профиле ТН 1-2

Техногенные радионуклиды ^{90}Sr и ^{137}Cs имеют единый вертикальный миграционный путь по торфяному профилю: наблюдаются два пика их удельной активности. Между удельной активностью ^{90}Sr и ^{137}Cs выявлена положительная корреляционная зависимость ($r = 0,87 \pm 0,06$, связь сильная). Исследования Н.Н. Рахимовой и В.В. Делигировой [14], проведенные на черноземе, подтверждают выявленную закономерность.

Органическое вещество обуславливает удельную активность данных радионуклидов в торфе. Между долей органического вещества и удельной активностью ^{90}Sr и ^{137}Cs выявлена положительная корреляция ($r = 0,82 \pm 0,09$ (связь сильная), $r = 0,87 \pm 0,06$ (связь сильная) соответственно), при которой наибольшие значения удельной активности радионуклидов наблюдаются при наибольшей доле органического вещества (таблица).

Корреляционная зависимость активности радионуклидов от физико-химических показателей

Радионуклид	Физико-химический показатель		
	Зольность	Массовая доля органического вещества	Массовая доля карбонатов
^{90}Sr	-0,82 ± 0,09*	0,82 ± 0,09*	-0,26 ± 0,25
^{137}Cs	-0,87 ± 0,06*	0,87 ± 0,06*	-0,40 ± 0,22
^{210}Pb	-0,20 ± 0,26	0,20 ± 0,26	0,52 ± 0,19*

Примечание: *достоверные значения на 1% и 5% уровне значимости.

Между зольностью – твердой неорганической частью торфа и удельной активностью ^{90}Sr и ^{137}Cs выявлена отрицательная корреляция (r = -0,82 ± 0,09 (связь сильная), r = -0,87 ± 0,06 (связь сильная) соответственно).

Удельная активность ^{241}Am обнаружена только в пяти слоях торфяного профиля в диапазоне от 0,39 до 2,7 Бк/кг. Значения активности не превысили 0,04–0,27% от МЗУА (1 000 Бк/кг). В остальных слоях активность ниже порога обнаружения. Пики удельной активности ^{241}Am в профиле не зафиксированы. Радионуклид по профилю распределяется равномерно.

Удельная активность ^{210}Pb выше активности ^{90}Sr, ^{137}Cs и ^{241}Am и составляет 4,0–382 Бк/кг, что не превышает 0,04–3,8% от МЗУА (10 000 Бк/кг). Максимальная активность радионуклида (382 Бк/кг) зафиксирована в верхнем слое (0–3 см) торфяного профиля (рис. 3). Со слоя 3–5 см активность ^{210}Pb существенно убывает и выравнивается, достигая в нижних слоях равновесия с ^{226}Ra. Максимум активности ^{210}Pb в верхней части профиля обусловлен поступлением радионуклида в виде аэрозольных выпадений с атмосферными осадками [15].

Заключение

В изученном торфяном профиле отмечена высокая зольность (до 94%), обусловленная наличием наносного песка, глины и минеральных веществ, накопленных растениями. Массовая доля органического вещества в торфяном профиле варьирует по горизонтам в пределах от 5,9% до 89%. Доля карбонатов в профиле незначительная (0,31–0,54%).

В торфяном профиле зафиксирована активность радионуклидов, которая снижается в ряду: $^{210}Pb \rightarrow ^{137}Cs \rightarrow ^{241}Am \rightarrow ^{90}Sr$. Изученные радионуклиды сосредоточены в верхних слоях торфяного профиля. Активность радионуклидов уменьшается с глубиной профиля. Изотопы ^{90}Sr и ^{137}Cs имеют единый вертикальный миграционный путь по торфяному профилю.

Выявлена сильная положительная корреляция между долей органического вещества и удельной активностью ^{90}Sr и ^{137}Cs (r = 0,82 ± 0,09, r = 0,87 ± 0,06). Между удельной активностью ^{90}Sr и ^{137}Cs и зольностью соответственно наблюдается сильная отрицательная корреляция (r = -0,82 ± 0,09, r = -0,87 ± 0,06). Сравнение полученных данных с нормами радиационной безопасности (НРБ-99/2009) показало, что активности исследованных радионуклидов в торфе не превышают установленных значений и не представляют опасности для биоты и человека.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и БРФФИ в рамках научного проекта № 19-55-04001, а также гранта Президента РФ для молодых ученых № МК-1919.2020.5.

Список литературы / References

1. Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Ненецкого автономного округа в 2020 году», г. Нарьян-Мар. Департамент природных ресурсов, экологии и агропромышленного комплекса Ненецкого автономного округа. 2021. [Электронный ресурс]. URL:https://dprea.adm-nao.ru/ekologiya/doklady-o-sostoyanii-okruzhayushej-sredy-v-neneckom-avtonomnom-okruge/. pdf (дата обращения: 18.10.2021).

Report «On the state and protection of the environment of the Nenets Autonomous Okrug in 2020». Naryan-Mar. Department of Natural Resources, Ecology and Agro-industrial Complex of the Nenets Autonomous Okrug. 2021. [Electronic resource]. URL: https: //dprea.adm-nao.ru/ekologiya/doklady-o-sostoyanii-okruzhayushej-sredy-v-neneckom-avtonomnom-okruge/. pdf. (date of access: 18.10.2021) (in Russian).

2. Vinichuk M.M., Johanson K.J., Taylo, A. 137Cs in the fungal compartments of Swedish forest soils. Sci. Total Environ. 2004. Vol. 323. P. 243–251.

3. Hansson S.V., Kaste J.M., Olid C., Bindler R. Incorporation of radiometric tracers in peat and implications for estimating accumulation rates. Scienceof the Total Environment. 2014. Vol. 493. P. 170–177.

4. Mroz T., Łokas E., Kocurek J., Gasiorek M. Atmospheric fallout radionuclides in peatland from Southern Poland Journal of Environmental Radioactivity. 2017. Vol. 175–176. P. 25–33.

5. Karcher M., Harms I., Standring W.J.F., Dowdall M., Strand P. On the potential for climate change impacts on marine anthropogenic radioactivity in the Arctic regions. Marine Pollution Bulletin. 2010. Vol. 60. P. 1151–1159.

6. Eriksen D.O., Sidhu R., Ramsøy T., Strålberg E., Iden K.I., Rye H., Hylland K., Ruus A., Berntssen M.H.G. Radioactivity in produced water from Norwegian oil and gas installations – concentrations, bioavailability, and doses to marine biota, Radioprotect., 2009. Vol. 44. P. 869–874.

7. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М.: Стандартинформ, 2018. 8 с.

8. ГОСТ 27784-88. Почвы. Метод определения зольности торфяных и оторфованных горизонтов почв. М.: Издательство стандартов, 1988. 6 с.

9. ГОСТ 26213-91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Издательство стандартов, 1992. 6 с.

10. Методика измерений удельной активности стронция-90 (^{90}Sr) в пробах почв, грунтов, донных отложений и горных пород бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой. М.: ФГУП «ВИМС», 2013. 19 с.

Methods for measuring the specific activity of strontium-90 (^{90}Sr) in samples of soils, grounds, bottom sediments and rocks by the beta-radiometric method with radiochemical preparation. M.: FGUP «VIMS», 2013. 19 p. (in Russian).

11. Методика измерений удельной активности полония-210 (^{210}Po) и свинца-210 (^{210}Pb) в пробах почв, грунтов, донных отложений, горных пород и строительных материалов на их основе альфа-бета-радиометрическим методом с радиохимической подготовкой. М.: ФГУП «ВИМС», 2013. 17 с.

Methods for measuring the specific activity of polonium-210 (^{210}Po) and lead-210 (^{210}Pb) in samples of soils, grounds, bottom sediments, rocks and building materials based on them by the alpha-beta radiometric method with radiochemical preparation. M.: FGUP «VIMS», 2013. 17 p. (in Russian).

12. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 07.07.2009 № 47 «Об утверждении СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/902170553 (дата обращения: 18.10.2021).

Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated 07.07.2009 № 47 «On the approval of SanPiN 2.6.1.2523-09» Standards of radiation safety (NRB-99/2009)» [Electronic resource]. URL: https://docs.cntd.ru/document/902170553 (дата обращения: 18.10.2021) (in Russian).

13. Гречкина В.В., Лебедев С.В., Петруша Ю.К. Особенности аккумуляции радионуклидов наземными мхами на территории различных зон России // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020. № 11–1(50). С. 13–16.

Grechkina V.V., Lebedev S.V., Petrusha Yu.K. Features of the accumulation of radionuclides by ground mosses on the territory of various zones of Russia // International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2020. № 11–1 (50). P. 13–16 (in Russian).

14. Рахимова Н.Н., Делигирова В.В. Исследование профильной миграции радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в различных типах почв // Global science and innovations 2020: материалы Международной научной конференции (Ташкент, 06 марта 2020 г.). Ташкент: Издательство Евразийского центра инновационного развития «ДАРА», 2020. С. 113–118.

Rakhimova N.N., Deligirova V.V. Study of the profile migration of cesium-137 and strontium-90 radionuclides in different types of soils // Globalscienceandinnovations 2020: materials of the International Scientific Conference (Tashkent, March 06, 2020). Tashkent Izdatel'stvo Yevraziyskogo tsentra innovatsionnogo razvitiya «DARA», 2020. P. 113–118 (in Russian).

15. Бахур А.Е., Мануилова Л.И., Овсянникова Т.М. Po-210 и Pb-210 в объектах окружающей среды. Методы определения // АНРИ. 2009. № 1. С. 29–40.

Bakhur A.E., Manuilova L.I., Ovsyannikova T.M. Po-210 and Pb-210 in environmental objects. Determination methods // ANRI. 2009. № 1. P. 29–40 (in Russian).

УДК 502:504.54:911.2:911.52:519.876

РАНГОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ОТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАСЕЛЕНИЯ СУБЪЕКТОВ УРАЛА И СИБИРИ

Мазуркин П.М.

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, e-mail: kaf_po@mail.ru

Относительно географических координат северной широты, восточной долготы и высоты центров столиц 14 субъектов Федерации (социумов) из Уральского и Сибирского федеральных округов над уровнем Балтийского моря были выбраны еще 37 параметров по 9 группам жизни населения. Методом идентификации выявлены нелинейные и волновые закономерности, позволяющие изучать поведение населения у каждого субъекта федерации. Коэффициент коррелятивной вариации системы из 40 влияющих и зависимых параметров составляет 0,5551, и это значение относится к среднему уровню адекватности. По диагональным клеткам матрицы в ранжировании субъектов по сумме рангов распределений 40 параметров первое место заняла Тюменская область. На втором месте находится Томская область, а на третьем – Свердловская область. Коэффициенты корреляции 1600 формул получаются от 0,0001 до 1. На первом месте в рейтинге влияющих переменных находится фактор X19 – использование воды, на втором месте X01 – северная широта и на третьем месте X32 – уровень безработицы. В рейтинге показателей на первом месте X33 – доля населения ниже прожиточного минимума, на втором – X26 – ожидаемая продолжительность жизни женщин, на третьем – X32 – уровень безработицы. Первый член у обоих рейтингов является законом Мандельброта (в физике), поэтому колебания располагаются как некратные фракталы. Видно, что поведение субъектов как переменных происходит по закону спада, однако как у показателей происходит рост. В обоих случаях по второму члену в виде степенной функции происходит кризис (отрицательный знак) в рейтинге 40 параметров. Этот кризис происходит из-за неосознания специалистами парных связей. Метод рангов применим для сравнения жизни населения субъектов.

Ключевые слова: 40 параметров, рейтинг субъектов, отношения, вейвлеты, матрица, рейтинги параметров

RANK DISTRIBUTIONS AND RELATIONS BETWEEN THE PARAMETERS OF POPULATION LIFE IN THE URALS AND SIBERIA

Mazurkin P.M.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf_po@mail.ru

With respect to the northern latitude, east longitude and altitude of the centers of the capitals of 14 subjects of the federation (societies) from the Ural and Siberian federal districts above the level of the Baltic Sea, another 37 parameters were selected for 9 groups of population life. The identification method revealed nonlinear and wave patterns that make it possible to study the behavior of the population in each subject of the federation. The coefficient of correlative variation of a system of 40 influencing and dependent parameters is 0.5551, and this value refers to the average level of adequacy. By the diagonal cells of the matrix in the ranking of subjects by the sum of the ranks of the distributions of 40 parameters, the Tyumen region took the first place. Tomsk Oblast is in second place, and Sverdlovsk Oblast is in third place. Correlation coefficients of 1600 formulas are obtained from 0.0001 to 1. In the first place in the ranking of influencing variables is factor X19 – water use, in second place X01 – northern latitude and in third place X32 – the unemployment rate. In the ranking of indicators, the first place is X33 – the share of the population is below the subsistence level, the second is X26 – the life expectancy of women, and the third is X32 – the unemployment rate. The first term in both ratings is Mandelbrot's law (in physics), so fluctuations are located as non-multiple fractals. It can be seen that the behavior of subjects as variables occurs according to the law of decline, however, as indicators, there is an increase. In both cases, a crisis (negative sign) occurs in the rating of 40 parameters for the second component in the form of a power function. This crisis is due to the fact that specialists do not realize paired connections. The rank method is applicable to compare the lives of the population of subjects.

Keywords: 40 parameters, rating of subjects, relations, wavelets, matrix, ratings of parameters

Мы выдвинули доктрину колебательной адаптации в природе, включая живое и косное вещества по В.И. Вернадскому [1]. Тогда получается, что закон Коммонера «всё связано со всем» [2] исходит из взаимных колебаний процессов адаптации, которые проявляются в виде суммы асимметричных вейвлет-сигналов (уединенных волн).

Урбанизация оказывает существенное влияние на климат и метеорологические условия. Данные были собраны на 15 уровнях на 325-метровой метеорологической башне в Пекине в 1991–2011 гг. Ежегодная и сезонная (весна, лето, осень и зима) средняя скорость ветра на 15 уровнях имеет тенденции снижения. Заметен феномен «излома» в профиле ветра, и средняя высота излома увеличилась примерно от 40 до почти 80 м [3].

Мы рассматриваем урбанизацию как географическое стягивание всех параметров

жизни населения к центрам столиц субъектов Федераций России. Фактически всё население стремится к столицам, повышая численность городского населения.

Наземные растения вместе с океаном обеспечили обитаемость жизни на планете. Однако использование ископаемого топлива к середине XXI в. даст объемы CO_2, сравнимые с ранним эоценом (примерно 50 млн лет назад). Если концентрация CO_2 будет нарастать такими же темпами и в XXIII в., то уже планета Земля будет вести себя так же, как 1,5 млрд лет назад [4]. В итоге будущее программы снижения количества CO_2 имеется в увеличении на поверхности суши лесов [5]. Тогда к центрам столиц субъектов также можно стягивать любые параметры окружающей и природной среды, включая климат и погоду.

Цель исследования – выявление ранговых распределений 40 параметров для рейтинга субъектов региона, вейвлет-анализ парных взаимодействий, суммирование коэффициентов корреляции по строкам и столбцам корреляционной матрицы и составление рейтингов влияющих переменных и зависимых показателей. Метод применим для сравнения жизни населения субъектов по множеству параметров, привязанных к центрам столиц субъектов.

Материалы и методы исследования

Нами составлены консолидированные данные относительно географических параметров (широта, долгота, высота) для центров столиц у субъектов федерации, 13 видов угодий из кадастра, экологических и экономических показателей [1] (табл. 1).

Параметры распределились по следующим группам: 1) координаты центров столиц субъектов (X01 – северная широта, $\alpha := \alpha - 50$, ^{0}; X02 – восточная долгота, $\beta := \beta - 60$, ^{0}; X03 – высота над Балтийским морем, м); 2) климатические (среднемесячные) параметры за период 1961–1990 гг. (X04 – ночная температура, °C; X05 – дневная температура, °C; X06 – сумма осадков, мм; X07 – число дней с осадками более 0,1 мм, шт.); 3) погода за 2018 г. (X08 – январская средняя температура, °C; X09 – июльская средняя температура, °C; X10 – сумма осадков за январь, мм; X11 – сумма осадков за июль, мм); 4) доли (%) угодий к суше (X12 – доля сельхозугодий; X13 – доля лесов; X14 – для пашни; X15 – доля растительности «трава + кусты + деревья»; X16 – антропогенные угодья; X17 – экологический коэффициент, вычисляемый делением растительности к площади измененных угодьям); 5) удельные потребление воды, сброс и выброс загрязнений (X18 – забор воды, м^3/чел.; X19 – использование воды, м^3/чел.; X20 – сброс загрязнений, м^3/чел.; X21 – выбросы в атмосферу, кг/чел.; X22 – улавливание загрязняющих веществ из выбросов, кг/чел.); 6) параметры людей (X23 – плотность населения, чел/км^2; продолжительность жизни (ожидаемая), лет: X24 – всех людей; X25 – мужского населения; X26 – женского населения); 7) демографические показатели (X27 – коэффициент рождаемости (суммарный); X28 – смертность младенцев на 1000 родившихся живыми; X29 – коэффициент миграционного прироста на 10 тыс. населения; X30 – естественный прирост на тысячу населения); 8) параметры труда (X31 – занятость, %; X32 – безработица, %; X33 – доля населения, находящегося ниже прожиточного минимума, %; X34 – городское население, %; X35 – сельское население, %); 9) экономика производственных процессов (X36 – ВРП за 2018 г. на душу населения, тыс. руб/чел.; X37 – душевые доходы, руб/мес.; умершие в трудоспособном возрасте на 10^5 населения, чел.: X38 – обоих полов; X39 – мужчин в возрасте 16–59 лет; X40 – женщин в возрасте 16–54 года).

Вейвлет-сигналы как асимметричные колебания имеют вид формулы

$$y_i = A_i \cos(\pi x / p_i - a_{8i}),$$

$$A_i = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}),$$

$$p_i = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}, \qquad (1)$$

где y – зависимый показатель, i – номер члена модели (1), x – влияющая переменная, $a_1 ... a_8$ – параметры уравнения (1), идентифицируемые при идентификации в программной среде CurveExpert-1.40; A_i – амплитуда (половина) колебания, p_i – полупериод колебания.

Ранжирование значений параметров субъектов Федерации

Иерархия показывает в системе параметров упорядоченность, поэтому является некоторой абстракцией структуры системы, предназначенной для изучения функциональных взаимодействий между ее компонентами и их функциональных воздействий на систему в целом [6]. Метод анализа иерархий Саати получил в мировой науке широкое распространение.

Синтез иерархического распределения возможен двумя способами, причем для известной или составленной (в нашем примере данной статьи) системы параметров:

1) вначале необходимо упорядочение значений параметров по заранее установленному вектору предпорядка предпочтительности «лучше → хуже» по последовательности рангов $R = 0, 1, 2,...$, после этого суммирование рангов по всему ранжированному списку параметров; в итоге образуется рейтинг элементов системы (в нашем примере 14 субъектов Урала и Сибири), причем лучшим будет элемент (субъект Федерации) с наименьшей суммой рангов;

2) как и в методе Саати [6], выполняется парное сравнение параметров системы, методом идентификации выявляются закономерности бинарных отношений между всеми параметрами, затем коэффициенты корреляции по строкам и столбцам суммируются, после этого выявляются рейтинги параметров как влияющих переменных и зависимых показателей.

Приведем рейтинг системы факторов (табл. 2) по сумме рангов.

Таблица 1

Фрагмент данных по 40 параметрам у 14 субъектов Урала и Сибири

Код	Субъект Федерации Урала и Сибири	Столица субъекта	Координаты				
			X01	X02	X03	…	X40
45	Курганская область	Курган	5.45	5.3333	75	…	262.2
66	Свердловская область	Екатеринбург	6.8519	0.6122	255	…	251.9
72	Тюменская область	Тюмень	7.1522	5.5272	81	…	174.1
74	Челябинская область	Челябинск	5.154	1.4291	218	…	251.0
4	Республика Алтай	Горно-Алтайск	1.9606	25.9189	285	…	222.3
17	Республика Тыва	Кызыл	1.7147	34.4534	624	…	378.1
19	Республика Хакасия	Абакан	3.7156	31.4292	247	…	249.9
22	Алтайский край	Барнаул	3.3606	23.7636	189	…	260.1
24	Красноярский край	Красноярск	6.0184	32.8672	139	…	262.1
38	Иркутская область	Иркутск	2.2978	44.296	427	…	320.1
42	Кемеровская обл. – Кузбасс	Кемерово	5.3333	26.0833	104	…	342.8
54	Новосибирская область	Новосибирск	5.0415	22.9346	164	…	232.1
55	Омская область	Омск	4.9924	13.3686	90	…	220.3
70	Томская область	Томск	6.4977	24.9744	117	…	201.3

Таблица 2

Фрагмент ранжирования параметров субъектов Федерации

Код	Координаты			Климат							Рейтинг		Модель (2)	
	01	02	03	04	05	06	07	…	39	40	*I*	Σ*R*	ε	Δ, %
45	9	2	0	3	2	11	10	…	10	10	12	300	-7.87644	-2.63
66	12	0	10	0	4	2	4	…	7	7	3	220	4.66642	2.12
72	13	3	1	5	6	4	5	…	0	0	**1**	171	6.15217	3.60
74	7	1	8	2	1	7	8	…	4	6	9	289	5.41382	1.87
4	1	8	11	10	8	1	0	…	6	3	4	222	1.0128	0.46
17	0	12	13	12	11	12	13	…	11	13	11	297	-4.03939	-1.36
19	4	10	9	13	13	13	12	…	9	5	8	279	6.2439	2.24
22	3	6	7	4	0	8	6	…	7	8	13	312	-1.56	-0.50
24	10	11	5	7	9	3	3	…	5	9	6	243	-3.10485	-1.28
38	2	13	12	11	7	4	11	…	12	11	10	292	-0.97374	-0.33
42	8	9	3	9	10	6	2	…	13	12	14	324	5.84706	1.80
54	6	5	6	1	3	9	7	…	2	4	5	224	-7.1391	-3.19
55	5	4	2	6	5	10	8	…	3	2	7	266	5.67882	2.13
70	11	7	4	8	12	0	1	…	1	1	2	190	-9.95284	**-5.24**

Примечание. Максимальная относительная погрешность равна 5,24 %; полужирным выделены субъекты Ангаро-Енисейского макрорегиона.

Ранг 0 – если больше, то лучше (или знак ↑): X04 – X11, X13, X15, X17, X24 – X27, X29 – X31, X35 – X37. Ранг 1 – если меньше, то лучше (или знак ↓): X01 – X03, X12, X14, X16, X18 – X23, X28, X32 – X34, X38 – X40. В функции Excel =РАНГ(C2;C$2:C$16;1) принимаются следующие условные обозначения: C – идентификатор (обозначение) ранжируемого столбца; C2, C$2 – первая строка ряда; C$16 – последняя строка ряда; 0∨1 – ранжирование происходит по убыванию (0) или возрастанию (1). Это дает место I, а ранг равен $R = I - 1$.

Из табл. 2 видно, что первое место с суммой рангов 171 занял субъект Федерации с кодом 72 (Тюменская область). Сравнение показывает, что лучшее теоретическое первое место получится, если $\Sigma R = 0$. Тогда у Тюменской области имеются резервы повышения эффективности деятельности. На втором месте с суммой рангов 190 находится Томская область. А на третьем месте с суммой 220 – Свердловская область.

После идентификации формулы (1) получена (рис. 1) закономерность

$$\Sigma R = 45.41003\exp(-0.0078094 I^{3.77316}) + $$

$$+119.85170 I^{0.41181}\exp(-0.00042280 I^{2.10880}), \quad (2)$$

где ΣR – сумма рангов по 40 параметрам 14 субъектов федерации, I – место в рейтинге. Остатки ε получаются вычитанием из фактических значений $y_ф$ суммы рангов расчетных значений y по (2). Относительная погрешность ошибки моделирования $\Delta = 100\varepsilon/y_ф$, %.

Коэффициент корреляции является мерой адекватности формулы (2), и он равен 0,9926. Он выше уровня 0,95 «сверхсильная факторная связь».

Из точечного графика остатков на рис. 1 видно, что значения параметров (ордината) изменяются по местам (или рангам) абсциссы волнообразно. В связи с этим тренд (2) можно будет дополнять колебаниями. Причем амплитуда волн будет зависеть от количества субъектов федерации. Будем считать, что идентификация (1) потребуется только при превышении ошибки моделирования более 5%. Поэтому у всех 40 параметров для всех субъектов России (82 шт.) тренды (2) нужно будет дополнять асимметричными волновыми уравнениями (1).

Корреляционная матрица, рейтинг факторов

Итоги процесса идентификации трендом (частный случай асимметричного вейвлета) распределений по рангам (в диагональных клетках) и парных отношений между 40 факторами приведены в табл. 3.

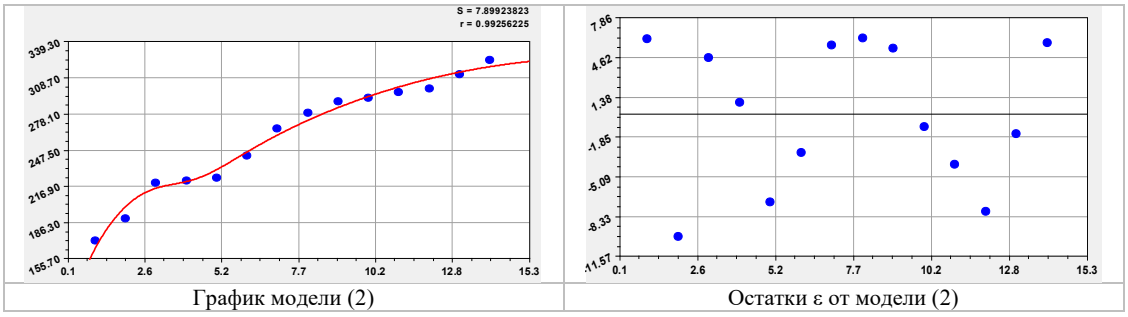


График модели (2) | Остатки ε от модели (2)

Рис. 1. Графики влияния места на сумму рангов в рейтинге субъектов (в правом верхнем углу показано: S – стандартное отклонение; r – коэффициент корреляции)

Таблица 3

Корреляционная матрица (по трендам) и рейтинг факторов (фрагмент)

Переменные x	Зависимые от переменных факторы (показатели y)					Сумма Σr	Место I_x
	X01	X02	…	X39	X40		
X01	0,9954	0,6373	…	0,6875	0,5950	27,6456	2
X02	0,6526	0,9755	…	0,5389	0,6407	22,4040	16
…	…	…	…	…	…	…	…
X39	0,6176	0,4087	…	0,9808	0,8925	20,7444	24
X40	0,5379	0,5005	…	0,9469	0,9870	24,6787	10
Сумма Σr	24,0392	21,6472	…	21,0033	22,8498	881,529	–
Место I_y	11	22	…	26	16	–	0,5551

Коэффициент корреляционной вариации (определяется по Чарльзу Дарвину) по табл. 3 будет равным 881,529 / 40^2 = 0,5551, что дает средний уровень адекватности (0,5–0,7).

Как влияющая переменная на первом месте располагается фактор X19 – использование извлеченной воды, на втором – X01 – северная широта, на третьем – X32 – уровень безработицы среди населения. Как зависимый показатель (то есть критерий оценки) на первом месте находится параметр X33 – доля населения ниже прожиточного минимума, на втором – X26 – ожидаемая продолжительность жизни женщин, на третьем – X32 – уровень безработицы.

Закономерности распределений сумм коэффициентов корреляции по местам по модели (1) приведены в табл. 4 (рис. 2 и 3).

Таблица 4

Параметры модели (1) влияния мест на суммы рангов

Номер i	Асимметричный 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
	Половина амплитуды колебания				Половина периода колебания			Сдвиг	
	a_{1i}	a_{2i}	a_{3i}	a_{4i}	a_{5i}	a_{6i}	a_{7i}	a_{8i}	
Рейтинг 40 параметров субъектов СФО как влияющих переменных									
1	573,635	0	0,0003284	1	0	0	0	0	0,9961
2	-485,0072	0,00232	0	0	0	0	0	0	
3	0,0018445	0	-2,71813	0,22812	17,38416	-0,0002256	2,74656	0,98491	
4	581,479	0	6,96526	0,05472	6,00598	-0,098248	0,77973	-0,7915	0,5219
5	-0,25716	1,15875	2,11273	0,22414	11,18558	-0,0012335	2,26572	-0,7370	0,3809
6	-1,8525e8	4,79888	20,80579	0,17713	-3,74001	5,21415	0,06832	5,35332	0,7243
Рейтинг 40 параметров субъектов СФО как зависимых показателей									
1	29,60095	0	-0,0057240	1	0	0	0	0	0,9972
2	-1,81452	0,59914	0	0	0	0	0	0	
3	-0,27012	0	-0,0003657	2,49704	1,27119	0,049148	1,31692	5,08767	
4	-0,10900	0	0,016377	1	5,31115	0,35185	0,60081	-0,2597	0,2575
5	1,206e-14	9,95647	0,11670	1,01327	49,01669	-1,02649	1,00047	-1,3851	0,7683
6	-1,097e-16	17,5158	0,84714	1,00348	4,50414	-0,0032434	1,02041	4,91380	0,6119

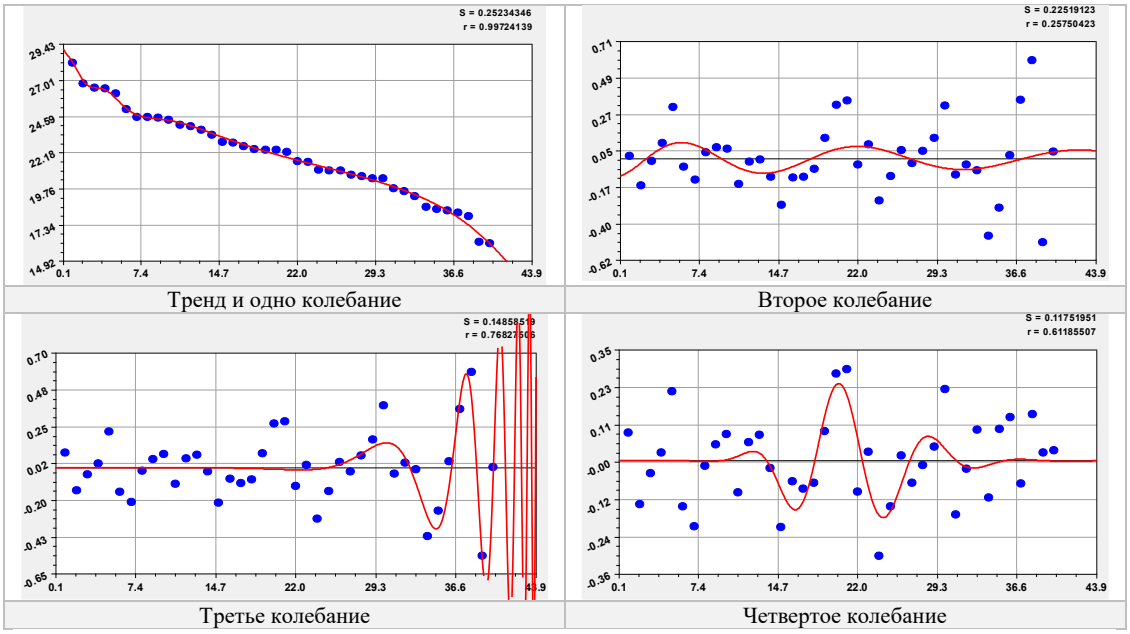


Рис. 2. Распределения сумм коэффициентов корреляции показателей

Наиболее опасным становится третье колебание из рис. 2, который показывает рост амплитуды и частоты колебания.

Первый член у обоих рейтингов является законом Мандельброта (в физике), поэтому колебания располагаются как некратные фракталы. Это же выражение называется законом Лапласа (известно в математике), Перла – Ципфа (в науке биология) и Парето (применяется в эконометрике). Видно, что поведение субъектов происходит по экспоненциальному закону спада для всех 40 параметров как влияющих переменных. Однако по первому члену в виде экспоненциального роста происходит изменение 40 факторов как зависимых показателей.

В обоих случаях по второму члену в виде степенной функции происходит кризис (отрицательный знак) в рейтинге 40 параметров. Последующие кванты поведения для рейтинга показателей имеют кризисный характер и вейвлетов № 3, 4 и 6. Это происходит из-за слабого осознания людьми (специалистами) взаимных парных связей между факторами.

Наиболее опасным становится третье колебание из рис. 3, которое показывает рост амплитуды и частоты колебания.

Вейвлет по формуле (1) становится универсальной уединенной волной, поэтому он будет определять так называемый квант поведения. Поэтому, в отличие от квантовой механики микромира, где рассматриваются в основном кванты структуры, нами предлагаются для поведения природных и природно-антропогенных объектов *кванты функционирования*. Причем совокупность квантов поведения необходима в природе для колебательной адаптации.

Заключение

Составлены интегрированные данные по 40 параметрам для 14 субъектов из Уральского и Сибирского федеральных округов относительно географических координат (широты, долготы и высоты) центров их столиц, видов угодий из земельного кадастра, экологических и многих социально-экономических показателей.

Коэффициент коррелятивной вариации всей матрицы по столбцам и строкам из 40 параметров получился равным 0,5551, и это значение относится к среднему уровню адекватности. По этому критерию можно сравнивать разнородные объекты исследования. Сравнение объектов выполняется по функциональной связности между учтенными в системе параметрами.

В ранжировании субъектов первое место с суммой рангов 171 заняла Тюменская область. На втором месте с суммой рангов 190 находится Томская область. А на третьем месте с суммой 220 – Свердловская область.

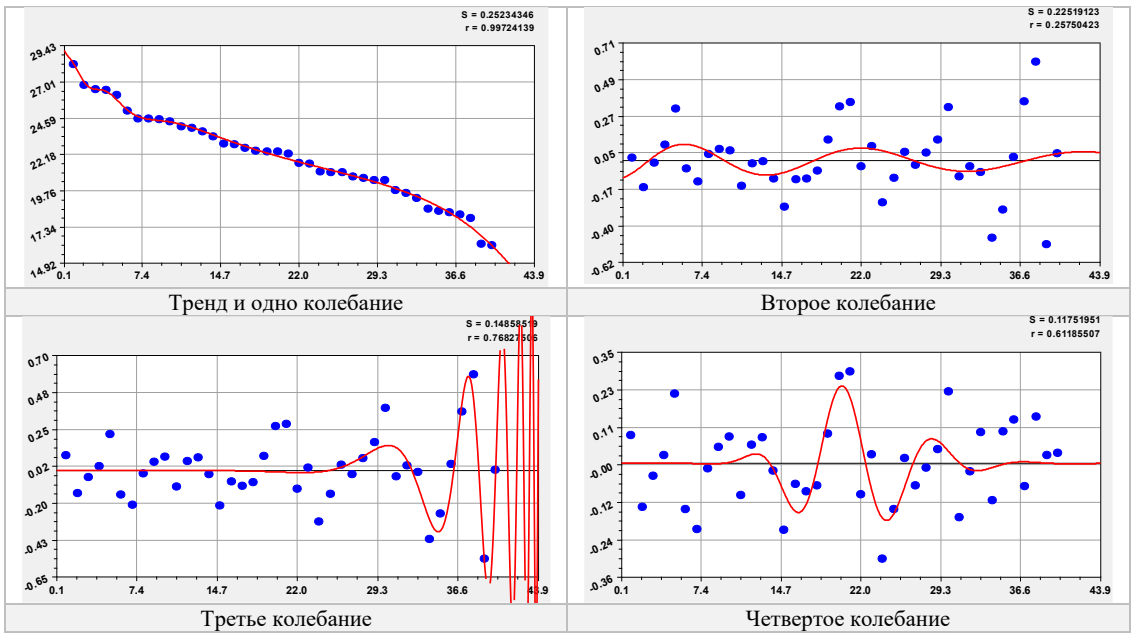


Рис. 3. Графики распределения сумм коэффициентов корреляции показателей

Среди влияющих переменных на первом месте расположился фактор X19 – использование извлеченной воды, на втором фактор X01 – северная широта, на третьем – X32 – уровень безработицы. Среди зависимых показателей на первом месте находится параметр X33 – доля населения ниже прожиточного минимума, на втором – X26 – ожидаемая продолжительность жизни женщин, на третьем – X32 – уровень безработицы.

Результаты применимы для сравнения разных множеств субъектов (от федеральных округов до муниципалитетов) в целом по Российской Федерации. На первые места в рейтингах выходят жизненно важные показатели для людей.

Список литературы / References

1. Мазуркин П.М. Земельные угодья Сибирского федерального округа России // Успехи современного естествознания. 2020. № 6. С. 75–82. DOI: 10.17513/use.37414.

Mazurkin P.M. Land plots of the Siberian Federal District of Russia // Success of modern natural science. 2020. No. 6. P. 75–82. DOI: 10.17513/use.37414 (in Russian).

2. Популярная экология (полезные советы в повседневной жизни) / Гл. ред. Торсуев Н.П. Казань: Изд-во «Эко-центр», 1997. 236 с.

Popular ecology (useful tips in everyday life) / Ch. ed. Torsuev N.P. Kazan: Publishing house «Ecocenter», 1997. 236 p. (in Russian).

3. Liu J., Gao Z., Wang L., Li Y. & Gao C.Y. The impact of urbanization on wind speed and surface aerodynamic characteristics in Beijing during 1991–2011. Meteorol Atmos Phys, 2018. 130:311–324. DOI: 10.1007/s00703-017-0519-8.

4. Foster G.L., Royer D.L., Lunt D.J. Future climate forcing potentially without precedent in the last 420 million years // Nature communications. 2017. 8:14845. DOI: 10.1038/ncomms14845 |www.nature.com/naturecommunications.

5. Crowther T.W., Glick H.B., Covey K.R., Betticole C., Maynard D.S. Mapping tree density at a global scale. Nature. 2015. 525, 201–205. DOI: 10.1038/nature14967.

6. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 274 с.

Saati T. Making decisions. Method for analyzing hierarchies. M.: Radio and communication, 1993. 274 p. (in Russian).

УДК 550.83:552.5

АНАЛИЗ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ НИЗКООМНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ С ПОМОЩЬЮ СТАТИСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА ДВОЙНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СЛОЯ ОТЛОЖЕНИЙ СУРГУТСКОГО СВОДА

[1,2]Никитин И.А.

[1]«СургутНИПИнефть», Сургут;

[2]ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, e-mail: Nikitin_ivan_alex@mail.ru

Продуктивные горизонты нефтегазовых месторождений Ханты-Мансийского автономного округа различаются по составу и характеру залегания отложений. Неопределенность исходных параметров при разведочных исследованиях приводит к трудностям достоверной оценки ресурсов объектов разработки. Применение новых технологических методов оценки трудноизвлекаемых запасов при поиске и разведке углеводородного сырья позволяет повысить уровень их освоения. Представленная работа посвящена проблеме оценки коэффициента нефтегазонасыщенности (Кн) низкоомных коллекторов. По действующим стандартам Кн устанавливается по значениям критических сопротивлений горных пород, из которых состоит продуктивный пласт. Для коллекторов, характеризуемых как низкоомные, этот метод определения Кн не действует, так как методика оценки основана на использовании результатов замера удельного электрического сопротивления (УЭС) исследуемого пласта. Полученное значение в низкоомных коллекторах будет занижено из-за погрешностей замера УЭС. Причиной является наличие железосодержащих веществ, таких как поверхностные железистые пленки в порах и поровой жидкости (капли нефти и воды), сульфид железа, оксиды и межслоевые катионы. По выводам петрографических исследований следует, что на месторождениях Западной Сибири аномалии интенсивности вторичных изменений горных пород связаны с процессами эпигенеза, привязанными к разрывам и нарушениям горных пород на больших глубинах. С другой стороны, стандартизированный комплект геофизических исследований скважин (ГИС) не участвует в определении и оценке этой аномалии. Но, используя показатели стандартных исследований, можно оценить вторичные изменения, снижающие УЭС горной породы. На основе этого принципа И.А. Мельником разработана оригинальная методика оценки Кн низкоомных коллекторов. Методика позволяет оценить насыщение коллектора нефтью и водой, с помощью параметра, характеризующего интенсивность вторичных преобразований и именуемого как двойной электрический слой (ДЭС). В работе приведены результаты экспериментальных исследований, направленных на определение истинного значения насыщенности коллектора.

Ключевые слова: эпигенетический процесс, двойной электрический слой, низкоомный продуктивный коллектор, геофизические исследования скважин, статистическая интерпретация данных ГИС

ANALYSIS OF GEOPHYSICAL DATA OF LOW RESISTIVITY RESERVOIRS USING THE STATISTICAL PARAMETER OF THE DOUBLE ELECTRIC LAYER OF DEPOSITS OF THE SURGUT ARCH

[1,2]Nikitin I.A.

[1]SurgutNIPIneft, Surgut;

[2]National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: Nikitin_ivan_aiex@mail.ru

Producing horizons of oil-and-gas fields of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug differ in composition and character of sedimentation. The uncertainty of initial parameters during exploration surveys leads to difficulties in reliable estimation of resources of development objects. The application of new technological methods of hard-to-recover reserves estimation during hydrocarbon prospecting and exploration allows increasing the level of their development. The presented work is devoted to the problem of estimation of oil and gas saturation coefficient (Kn) of low-resistivity reservoirs. According to the current standards, Kn is set by the values of critical resistivity of rocks, of which the productive formation consists. For reservoirs characterized as low resistivity, this method of determining Kn does not work, as the evaluation methodology is based on the results of measurement of the specific electrical resistance (SES) of the studied reservoir. The resulting value in low resistivity reservoirs will be underestimated due to errors in the resistivity measurement. The reason is the presence of iron-containing substances, such as surface iron films in pores and pore fluid (oil and water droplets), iron sulfide, oxides and interlayer cations. According to the conclusions of petrographic studies, it follows that in the fields of Western Siberia, the anomalies of the intensity of secondary changes in rocks associated with the processes of epigenesis, tied to fractures and breaches of rocks at great depths. On the other hand, the standardized set of geophysical well surveys (GIS) is not involved in the definition and evaluation of this anomaly. But using the indicators of standard surveys, it is possible to estimate the secondary changes that reduce the UES of the rock. Based on this principle, Melnik I.A. developed an original technique to assess the Kne of iow resistivity reservoirs. The technique allows you to estimate the saturation of the reservoir with oil and water, using a parameter that characterizes the intensity of secondary transformations and referred to as a double electric layer (DES). The paper presents the results of experimental studies aimed at determining the true value of reservoir saturation.

Keywords: epigenetic process, double electric layer, low-resistance productive reservoir, geophysical well studies, statistical interpretation of logging data

Проблема обеспечения текущей добычи углеводородов приростом извлекаемых запасов требует развития и оптимизации обработки и интерпретации каротажных диаграмм. Возможное решение этих проблем опирается на получение принципиально

новой информации на основе разработки новых методических и технологических подходов в области интерпретации материалов ГИС.

К основным петрофизическим свойствам породы относят следующие параметры коллекторов и литологические разности: пористость, проницаемость (трещиноватость), плотность и в первую очередь характер насыщения [1].

Заниженные значения сопротивления коллекторов обусловлены как физико-механическими и химическими свойствами пород, так и геологическими условиями залегания [2, 3]. Среди них:

1. Состав породы и пластовых жидкостей. Содержание глин, наличие электропроводящих минералов в породах и высокоминеральный состав пластовых вод снижают УЭС. Причем наличие минералов с электропроводящими свойствами выделяется как основная причина.

2. Проявление характерных особенностей в переходных зонах «нефть – вода». Из-за структурных факторов водонефтяной контакт в зоне деструкции горных пород может аномально смещаться в том или ином направлении. Поэтому насыщение горных пород в этой зоне имеет низкие значения. Но необходимо отметить, что это характерно в основном для подошвенных горизонтов.

3. Текстура и структура породы (размер и конфигурация как зерен, так и порового пространства пород и т.д.).

4. Близкая локализация глубинных разломов, трещиноватость коллектора.

По результатам обзора специализированной литературы, анализа вводных данных среди причин заниженных значений сопротивления коллектора для изучаемого участка выделим основные:

1. Высокая песчано-глинистая слоистость при низкой мощности пласта.

2. Высокое содержание электропроводящих минералов.

3. Высокая минерализация пластовой воды.

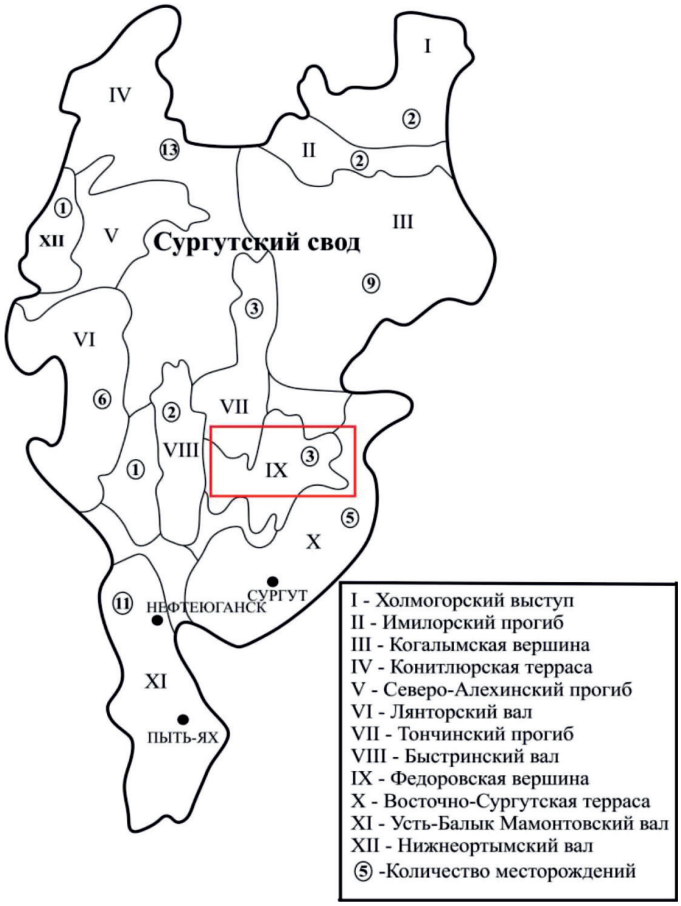


Рис. 1. Схематическая карта Сургутского свода с выделенным районом изучения

Целью исследования является выявление пропущенных продуктивных низкоомных залежей, обусловленных вторичными процессами, а именно присутствием ДЭС. Именно этим параметром часто пренебрегают даже при анализе вторичных изменений горных пород. Используя разработанную и опробованную технологию на других месторождениях, можно исследовать все песчаные коллекторы во всех скважинах, уникальной площади Сургутского свода, без изучения каменного материала.

В качестве базового объекта исследования взяты месторождения Сургутского свода, которые территориально расположены в Сургутском районе Ханты-Мансийского автономного округа Тюменской области (рис. 1). Продуктивные пласты изучаемой площади характеризуются рядом коллекторских свойств, которые затрудняют проведение достоверной оценки нефтеносности коллектора стандартными методами интерпретации результатов ГИС. Погрешность значений Кн, полученных расчетным путем, при сравнении с результатами, полученными при испытании скважин, часто выше допустимого уровня. Так, на рис. 2 представлен геолого-геофизический планшет скважины XXX94 с перфорированным низкоомным коллектором. При опробовании данного пласта мы получили практически безводную нефть. Пласты с такими свойствами называют низкоомными, так как проводимые в них замеры УЭС, по которым проводится оценка Кн, показывают заниженные значения.

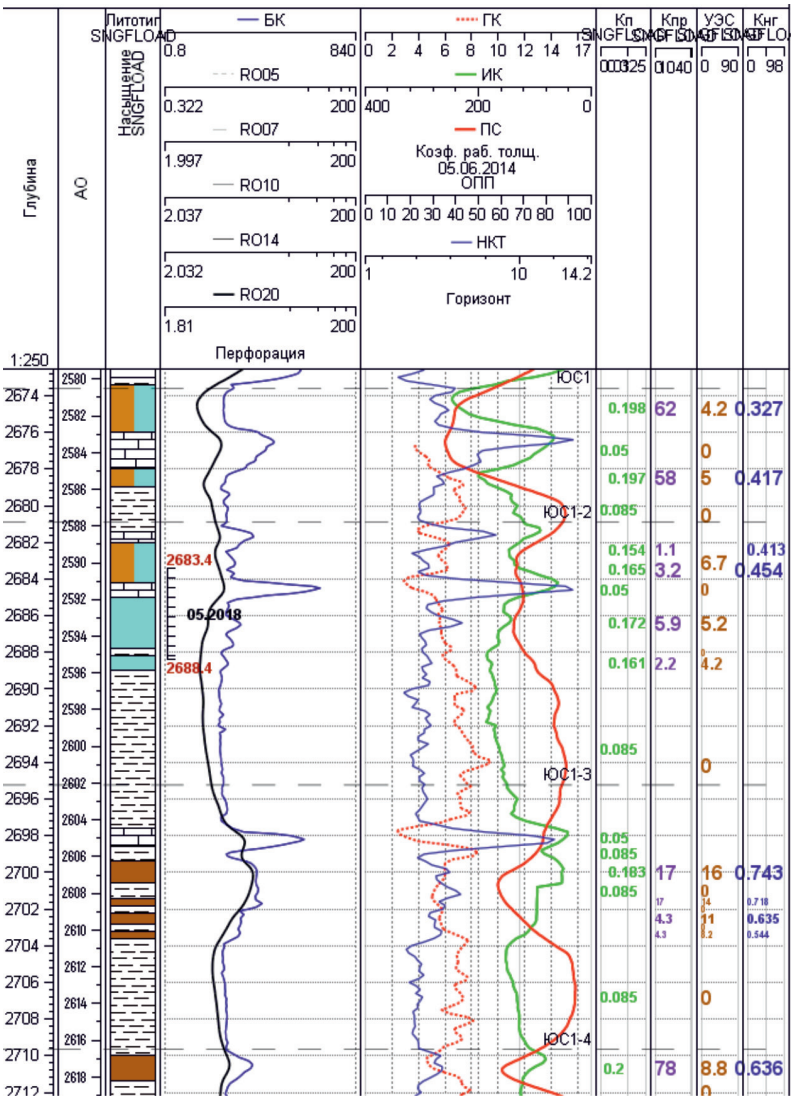


Рис. 2. Геолого-геофизический планшет скважины XXX94

Материалы и методы исследования

Изучению коллекторов с низкоомными свойствами посвящены труды И.А. Мельника [4–6]. Им обнаружено, что аутигенные минералы с электропроводящими свойствами оказывают влияние на изменение электрического сопротивления насыщенных нефтью коллекторов. Примером таких минералов в составе пласта являются представленные как отдельно, так и в виде сочетаний марказит, пирит, титанистые минералы и гидроокислы железа. Наличие в пласте глинистых минералов гидрослюды, представленных соединениями иллита и гидромусковита, а также насыщенность пород водой высокой минерализации также приводит к проявлению низкоомных свойств коллектора [7].

И.А. Мельником разработаны алгоритмы и соответствующая им технология «Выявление пропущенных нефтегазонасыщенных низкоомных коллекторов и определение интенсивности вторичных геохимических процессов по материалам промысловой геофизики», позволяющая найти нефтенасыщенные пласты, не требующая исследований керна, а лишь использующая старый фонд материалов ГИС (НКТ либо НГК, ГК, ПС, КС).

Применяя данную технологию в полимиктовых песчаных интервалах (вдоль разреза скважин), можно определять:

1. Пропущенные низкоомные нефтегазонасыщенные интервалы.

2. Вероятность и причину образования низкоомного УВ насыщенного интервала.

3. Интенсивности вторичных геохимических процессов (каолинитизация, карбонатизация, пелитизация, пиритизация) и статистический параметр двойного электрического слоя, оказывающие влияние на поверхностную электрическую проводимость.

4. Приращенное УЭС, обусловленное вторичными геохимическими процессами.

Авторская методика прогнозирования залежей углеводородов была успешно опробована в восьми государственных программах при изучении меловых и юрских пластов Западной Сибири. Таким образом, на основе конвергентно-статистической интерпретации материалов ГИС, как старого, так и нового фонда, при изучении песчаных интервалов исследуемых скважин мы будем получать принципиально новую информацию и выявлять пропущенные (при традиционной интерпретации) низкоомные нефтегазонасыщенные пласты с высокой вероятностью. С помощью методики решаются различные задачи. На основе данных материалов ГИС (НКТ либо НГК, ГК, ПС, КС) в цифровом формате Las определяются интенсивности таких вторичных процессов, как каолинитизация, карбонатизация, пелитизация, пиритизация и статистический параметр двойного электрического слоя в каждом песчаном интервале от 4 и более метров всего исследуемого разреза скважины. На основе предоставленных данных результатов испытаний пластов исследуемой площади, при сопоставлении интенсивностей вторичных процессов с характером насыщения выявляются индикаторы (и их граничные значения) присутствия углеводородов. Далее, на основе определенных индикаторов выявляются перспективные низкоомные интервалы, а по величине интенсивностей вторичных процессов проводится ранжировка по степени вероятной перспективности. Для вычисления (по абсолютной величине) приращенного УЭС в низкоомных пластах, заказчиком предоставляются результаты стандартной интерпретации данных ГИС, а именно УЭС породы, граничное значение УЭС, температура, минерализация исследуемых интервалов и коэффициенты пористости.

Впервые метод статистически-корреляционной интерпретации был реализован в 2011–2012 гг. на примере исследования мезозойских песчаных интервалов более ста поисково-разведочных скважин территории Томской области. Анализ полученных результатов указал на то, что при определенной доработке используемых алгоритмов метод может быть применен при поиске пропущенных низкоомных продуктивных залежей. В процессе разработки нового метода интерпретации была доказана его валидность.

Петрографические исследования показали, что на месторождениях Западной Сибири аномалии интенсивности вторичных изменений горных пород происходят в соответствии с эпигенетическими изменениями горных пород. Процессы происходят на больших глубинах и приводят к глубинным разрывным нарушениям в пластах [8, 9]. В целом выявление свойств и установление критериев обнаружения низкоомных коллекторов представляют актуальность при разработке месторождений Сургутского свода. Низкоомность коллекторов на этих месторождениях, сопровождающаяся аномально низкими сопротивлениями, затрудняет определение Кн по данным ГИС.

Новизна статистически-корреляционной интерпретации заключается в концепции одновременного геохимического воздействия поступающих в коллектор флюидов на два и более физико-химических параметра среды, регистрируемых геофизическими приборами. Корреляционные связи между выборочными данными регистрируемых параметров представляют собой отклик геохимического процесса, обусловленного наложенным эпигенезом. И здесь неважно, зависимы или независимы между собой параметры. Корреляция между ними происходит вследствие поступления внешнего влияния. Величины статистических параметров корреляционной связи обусловлены интенсивностью доминирующих процессов геохимического преобразования породы. Поэтому, выделяя флюидопроницаемые интервалы, с определенными корреляционными параметрическими связями, можно вычислить условную интенсивность конкретного вторичного геохимического процесса в исследуемом интервале.

В качестве характеристики рассматриваемого интервала пласта рассмотрим две независимые дискретные выборки значений глинистости и пористости песчаной породы. Коэффициент аппроксимации R_2 и являющийся интервальной мерой влияния процессов эпигенеза на входящие в состав пласта песчаные породы, интервальный (статистический) параметр Y, служат корреляционными показателями этих выборок [10]. Отметим, что эпигенез связан с перемещением газожидкостной смеси углеводородов на больших глубинах. Статистическую интенсивность вторичных процессов *i* можно представить как регрессионную связь между качественными (R_2) и количественными (Y) статистическими показателями в следующем виде:

$$i = Y*R_2. \quad (1)$$

Преобразование породы, обусловленное эпигенезом, с высокой вероятностью приведет к метасоматозу в интервале, состоящем из песчаных пород, если корреляция глинистости и пористости будет иметь положительный знак. Так, в кислой среде, характеризуемой значениями pH = 4–5, происходит метасоматоз минералов, содержащих глину и полевой шпат. Повышенная кислотность среды способствует растворению как цементной составляющей пород порового пространства, так и матричного алюмосиликата. Процесс сопровождается повышением емкостных коллекторских характеристик в среднем на 2,5% и улучшением проницаемости коллекторов, количественно зависящим от их характерной реакции на метасоматоз и происхождение. Катионы калия, железа и магния взаимодействуют с элементами отрицательно заряженной глинистой поверхности. Процесс сопровождается увеличением плотности зарядов на поверхности слоев с высокой проводимостью, что способствует возрастанию ДЭС минералов, содержащих глину [11]. Между выборками УЭС и глинистостью наблюдается отрицательная регрессионная связь, которую можно охарактеризовать параметром $ДЭС_{(iдэс),}$ где ($i_{дэс}$) – интенсивность вторичных изменений горных пород.

Процесс распада гидратов, входящих в состав оболочки микронефтяных частиц на нефть и диссоциированную воду, приводит к росту числа свободных ионов водорода и, соответственно, в пластовой среде изменяется ионное равновесие. Кислотность среды увеличивается, так как pH среды снижается до 4–5 [12]. Изменения в процессе образования гидроксида железа происходят за счет нарушения равновесия в пластовой среде. Возрастанию электропроводимости глин и, соответственно, параметра ($i_{дэс}$) способствует изменение средних значений подвижности и плотности зарядов взаимодействующего слоя минералов, содержащих глину.

Определение УЭС проводится с использованием комплекса каротажных методов БКЗ–БК–ИК (БКЗ – боковое каротажное зондирование, БК – боковой каротаж, ИК – индукционный каротаж). В слоях толщиной более 4 м УЭС определяется по палеткам БКЗ или комплексным палеткам БКЗ–БК–ИК. В слоях менее 4 м УЭС определяется по комплексным палеткам. При интерпретации диаграмм ИК проводится корректировка масштабов нулевой линии, увязка с кривыми БКЗ. В показания ИК вносится поправка, связанная со скин-эффектом и ограничением толщины пласта. В целом все геофизические исследования в бурящихся скважинах проводились комплексом методов согласно «Правилам геофизических исследований и работ в нефтяных и газовых скважинах», принятым нефтегазодобывающим управлением. Отдельно можно остановиться на том, что в основном применялся ВИКИЗ (высокочастотный индукционный каротаж изопараметрического зондирования). Результатом каротажа являлись кривые, отражающие изменение кажущегося

удельного сопротивления по разрезу скважины. Скорость регистрации 2000 м/час. Масштаб записи кривых либо в градусах, либо в Ом*м. Шкала градусов нелинейная, сжата в области высоких значений. Значительно расширена шкала для средних (5–20 Ом*м) и малых (меньше 5 Ом*м) величин удельного сопротивления. Подобный каротаж выполнен в значительной части (73 %) скважин эксплуатационного фонда, вскрывших отложения ачимовской толщи и отложений юры, выбранного в качестве эталонного для нашего анализа.

При интерпретации данных ГИС на нефтяных месторождениях проводится работа по выделению продуктивных пластов, то есть насыщеных безводной или смешанной с водой нефтью. Если пластовым флюидом является вода, то пласт относят к разряду непродуктивных. Необходимо отметить, что применяемый метод оценки нефтенасыщения коллектора с применением комплекса стандартных методов интерпретации материалов ГИС малоэффективен. В связи с этим для поиска продуктивных залежей углеводородов и повышения эффективности освоения уникального месторождения Ханты-Мансийского автономного округа применена методика, основанная на технологии статистической интерпретации материалов стандартного каротажного исследования скважин (ГИС).

Интерпретация материалов ГИС в низкоомных коллекторах с использованием методов математической статистики позволяет учесть изменения интенсивностей вторичных процессов, в том числе связанных с параметром ДЭС отложений. Предлагаемая работа посвящена разработке этого направления исследования. Предлагаемый подход позволяет пересмотреть результаты исследований, ранее проводимых в низкоомных коллекторах Сургутского свода. Исходными данными для расчетов служат показатели стандартного каротажа.

Результаты исследования и их обсуждение

В предыдущих работах автора были изучены интенсивности пяти процессов: каолинитизации, карбонатизации, пиритизации, пелитизации. Но не был учтен параметр образования ДЭС в глинистых минералах. При определенных условиях данные процессы могут быть индикаторами: присутствия углеводородов; наличия поверхностной электрической проводимости в гетерогенных средах; существования каналов глубинной фильтрации. Развитие данного метода для определения интенсивностей вторичных процессов позволит выявить другие корреляционные зависимости.

По 50 скважинам, локализованным на антиклинальной части Сургутского свода, выполнена повторная интерпретация данных ГИС с применением предложенного подхода. Были рассмотрены геофизические материалы по 650 песчаным интервалам, среди которых были как водо-, так и нефтенасыщенные пласты. Для каждого из интервалов определялись как статистическая интенсивность вторичных процессов. Весь эталонный структурный этаж месторождения состоит из 70 испытанных пластов. Из них 40 интервалов относятся к нефтенасыщенным, а 30 считаются непродуктивными.

Расчеты показали, что в непродуктивных пластах среднее значение показателя ($i_{дэс}$) составило 0,1602 усл. ед., а для продуктивных горизонтов – 0,2031 усл. ед, то есть разница между средними значениями параметра $i_{дэс}$ нефтенасыщенных и водонасыщенных интервалов составляет 25 %. Количественную разницу между этими значениями можно интерпретировать как качественный параметр, указывающий на повышенную электропроводимость глинистых минералов нефтенасыщенных песчаников в сравнении с электропроводимостью водонасыщенных песчаников. Следовательно, параметр ($i_{дэс}$) подходит для поиска продуктивных интервалов на исследуемых месторождениях. Традиционный подход к интерпретации материалов ГИС не позволяет выделить низкоомные коллекторы, насыщенные нефтью, образовавшиеся за счет увеличения электропроводимости на поверхности глиносодержащего цемента. Значение $i_{дэс}$ = 0,23 усл. ед. можно принять как граничное значение. В табл. 1 видно граничное значение статистического параметра ($i_{дэс}$) нефтенасыщенных интервалов располагающиеся в пределах от 0,23 до 0,35. Также хотелось отметить тот факт, что в табл. 1 выражена только часть основной выборки. Эта часть сформирована по принципу максимального нахождения нефтенасыщенных пластов. Именно такое условие должно быть выполнено для нахождения граничных значений интенсивностей вторичных процессов при обнаружении углеводородов в горных породах. Коэффициент успешности составил 82 %, что, несомненно, выше успешности по сравнению с традиционным методом интерпретации данных ГИС.

Таблица 1

Выборка граничных значений статистического параметра ($i_{дэс}$)

Скважина	$i_{дэс}$, усл. ед.	Насыщение	Скважина	Интенсивность	Насыщение
1	0,21	Вода	7	0,28	Нефть
2	0,23	Нефть	8	0,29	Вода
3	0,24	Нефть	9	0,30	Нефть
4	0,25	Нефть	10	0,35	Нефть
5	0,26	Вода	11	0,50	Нефть
6	0,28	Нефть	12	0,51	Нефть

Таблица 2

Параметры приращения УЭС в низкоомных коллекторах с учетом параметра $i_{дэс}$

№	Скважина	Пласт	iдэс, усл. ед.	УЭС, Ом*м	pni(Ci), Ом*м	ргр, Ом*м	рп, Ом*м	Насыщение
1	XX4R	БС10	0,31973394	4,4	5,75	4,8	10,2	Нефть
2	XXX94	ЮС1	0,45907012	5,3	6,35	5,4	11,7	Нефть
3	XXX29	АС5-8	0,25999008	3,9	0,186	4,3	4,1	Вода
4	XXX75	ЮС1	0,31023285	4,4	0,245	5,5	4,6	Вода
5	XXX24	ЮС1	0,27394987	4,7	0,93	5,3	5,6	Нефть
6	XXX99	БС16	0,25549087	3,9	1,836	5,9	5,7	Вода
7	XXX99	БС17	0,33443437	4,0	1,23	5,9	5,2	Вода
8	XXX81	БС19	0,25873126	4,9	0,61	6,0	5,5	Вода
9	XXX64	БС14	0,39302397	3,8	0,74	5,9	4,5	Вода
10	XXX67	АС4	0,27806105	4,1	0,357	4,3	4,5	Нефть
11	XX98	АС5-6	0,25410122	4,2	0,8	4,3	5,0	Нефть
12	XX98	БС18-19	0,27664905	5,3	3,02	5,9	8,3	Нефть
13	XX86	АС-9	0,23899748	3,7	0,87	4,3	4,6	Нефть
14	XX80	БС10	0,22925271	3,4	1,63	4,3	5,0	Нефть
15	XX73	АС5-8	0,2294512	3,3	1,63	4,3	4,9	Нефть

В работе [11] для определения УЭС по содержанию высокоэлектропроводящих минералов твердой фазы низкоомных коллекторов в терригенных отложениях предлагается использовать физико-геохимическую модель. В результате минерального и структурного изменения горных пород (метаморфизм) происходит накопление некомпенсированных зарядов, источником которых становятся вторично преобразованные в ходе наложения эпигенеза глинизированные минералы. А во взаимодействующем слое ДЭС происходит понижение электрического сопротивления пласта. Так как в основе изменения электрической проводимости пласта лежат геохимические реакции, называемые физико-геохимической моделью. Измеряемое геофизическими методами сопротивление определяется по формуле

$$P_{ГИС} = P_{п} – p_{пi}(C_i), \quad (2)$$

где $p_{п}$ – среднее значение УЭС пласта без учета вторичных процессов;

$p_{пi}(C_i)$ – приращенное УЭС поверхностной проводимости электрического слоя, содержащего некомпенсированные катионы определенного химического элемента C_i.

Корреляция между концентрацией определенного элемента и УЭС по материалам ГИС проводится в два этапа. На первом этапе производится отбор интервала исследуемого песчаного пласта, точечных данных кажущего УЭС, поточечное относительное содержание химических элементов, указанных в программе предлагаемой методики. Сопротивление с увеличением концентрации элемента уменьшается. На втором этапе для полученного ряда определяется линия тренда, соответствующая уравнению степенной регрессии $p = bC_i^{-g}$. Показатель степени g отражает интенсивность преобразования породы. Решая данное уравнение относительно g, получаем математическое выражение g (R_2), отражающее зависимость между параметрами g и R_2 [11].

Используя этот подход, была проведена новая интерпретация материалов ГИС по всем скважинам, участвующим в анализе. Значение приращенного УЭС определялось с учетом граничных критериев ДЭС. Из 35 пластов изучаемого месторождения выбрано 15 низкоомных пластов с показателями УЭС ниже граничного (табл. 2).

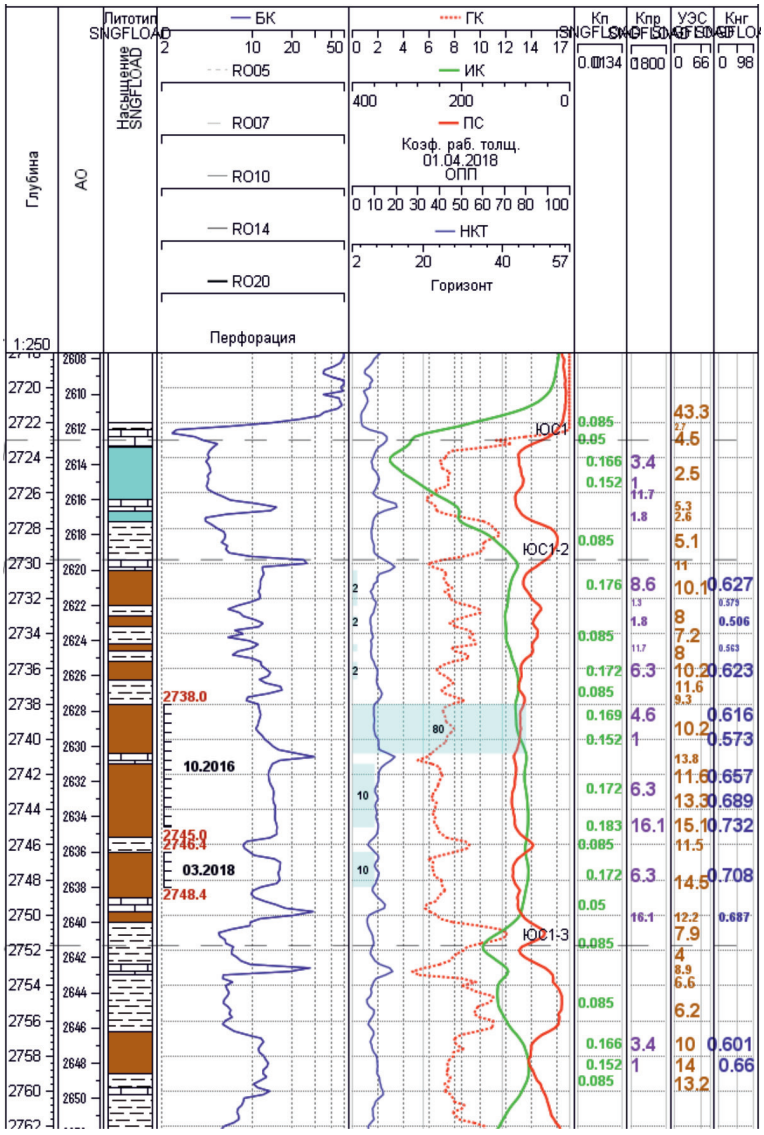


Рис. 3. Геолого-геофизический планшет скважины XXX24

На исследуемом месторождении принято, что пласты разделяются на водо- и нефтенасыщенный коллектор, если границы изменения УЭС входят в диапазон $р_{гр}$ = 4,3÷6 Ом*м. Границы диапазона указывают на то, что исследуемые пласты имеют разный генезис.

Если руководствоваться традиционными методами интерпретации материалов ГИС, то ни один из рассматриваемых пластов не может быть отнесен к группе продуктивных. Если же определить среднее значение УЭС пласта вычислением приращенного сопротивления с учетом фактора, значение которого зависит от электрической проводимости породы, будут получены значения УЭС выше граничного значения «нефть – вода» по девяти скважинам. Примером может служить скважина № XXX24, представленная на рис. 3. По ней получено истинное УЭС 5,6 Ом*м и может быть испытано в самое ближайшее время. В процессе использования нового метода интерпретации важно было удостовериться в его валидности. Наиболее достоверной проверкой валидности, безусловно, является сопоставление результатов новой интерпретации данных ГИС с результатами испытания песчаного пласта. Так, скважина XXX94, отмеченная на рис. 2, была испытана, а затем переинтерпретирована. По этой скважине отмечается безуглеводородное насыщение по данным ГИС, несмотря на то, что статистически-корреляционная интерпретации и геолого-промысловый анализ показали абсолютно полярные

значения. Следовательно, все интервалы из табл. 2 могут быть перспективными для испытания на содержание углеводородов. Относительная величина приращенного УЭС показывает степень вторичного преобразования породы с последующим образованием некомпенсированных зарядов в поверхностном слое и соответствующим понижением сопротивления породы. И, безусловно, результаты исследований показали, что понижение значения УЭС пласта в основном обусловлено уровнем метаморфизма породы.

Заключение

Рассмотренный метод статистически-корреляционной интерпретации материалов ГИС изучаемой площади позволяет решать новые задачи, ранее не решаемые при традиционной интерпретации.

Выполнено исследование взаимосвязи между наложеннием процессов эпигенеза и нефтенасыщенностью коллектора на примере геофизических данных уникального месторождения Ханты-Манскийского автономного округа.

Интерпретация данных ГИС с применением статистических методов для каждого интервала испытания позволила определить параметр двойного электрического слоя ($i_{дэс}$), характеризующий статистическую интенсивность вторичных процессов.

В изучаемых отложениях скрытая электропроводимость водонасыщенных песчаников значительно выше электропроводимости нефтенасыщенных песчаников. Показатель $i_{дэс}$ для водонасыщенных коллекторов составил 0,1602 усл. ед., а для нефтенасыщенных 0,2030 усл. ед. Для нефтенасыщенных интервалов параметр $i_{дэс}$ на 25 % выше, чем для водонасыщенных. Статистический параметр $i_{дэс}$ выполняет функцию индикатора на наличие углеводородов в песчаных интервалах. $i_{дэс}$ = 0,2250 усл. ед. принимается как граничное значение.

На основе вычисления приращенного сопротивления проводится оценка среднего значения УЭС пласта с учетом фактора электрической проводимости породы. Для девяти скважин перспективны ожидания испытаний на нефтесодержание, так как значения УЭС превышают граничное значение «нефть – вода».

На уникальных месторождениях Сургутского свода необходимо выполнить повторную интерпретацию данных геофизических исследований, проведенных на старых добывающих скважинах с использованием новой методики интерпретации данных для уточнения и корректировки оценки характера насыщения пластов.

Список литературы / References

1. Ежова А.В. Геологическая интерпретация геофизических данных: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 116 с.

Ezhova A.V. Geological interpretation of geophysical data: uchebnoe posobiye. Tomsk: Izd-vo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta, 2013. 116 p. (in Russian).

2. Добрынин В.М., Вендельштейн Б.Ю., Кожевников Д.А. Петрофизика. М.: Недра, 1991. 368 с.

Dobrynin V.M., Vendelshtein B.Yu., Kozhevnikov D.A., Petrophysics. M.: Nedra, 1991. 368 p. (in Russian).

3. Питкевич В.Т., Мельник И.А., Соколова К.И. Исследование низкоомных коллекторов с использованием данных кернового материала и НКТ // Геофизика. 2006. № 2. С. 42–47.

Pitkevich B.T., Melnik I.A., Sokolova K.I. Investigation of low resistivity reservoirs using core and tubing data // Gyeofizika. 2006. № 2. P. 42–47 (in Russian).

4. Мельник И.А. Выявление нефтегазонасыщенных низкоомных коллекторов на основе определения геохимических показателей по данным ГИС: дис. … докт. геол.-минерал. наук. Томск, 2014. 253 с.

Melnik I.A. Identification of oil-and-gas-saturated low-resistance reservoirs on the basis of determination of geochemical parameters according to GIS data: dis. … dokt. geol.-mineral. nauk. Tomsk, 2014. 253 p. (in Russian).

5. Мельник И.А. Интенсивности процессов наложенного эпигенеза как индикаторы нефтенасыщенности песчаных коллекторов // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. № 6. С. 90–97.

Melnik I.A. Intensities of superimposed epigenesis processes as indicators of oil saturation of sandy reservoirs // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2019. № 6. P. 90–97 (in Russian).

6. Мельник И.А. Определение интенсивности геохимических процессов по материалам геофизических исследований скважин. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2016. 146 с.

Melnik I.A. Determination of the intensity of geochemical processes based on geophysical well surveys. Novosibirsk: SNIIGGiMS, 2016. 146 p. (in Russian).

7. Мельник И.А. Выявление нефтегазонасыщенных низкоомных коллекторов на основе определения геохимических показателей по данным ГИС: автореф. дис. … докт. геол.-минерал. наук. Томск, 2014. 33 с.

Melnik I.A. Identification of oil-and-gas-saturated low-resistance reservoirs on the basis of determination of geochemical indicators according to geophysical logging data: avtoref. dis. … dokt. geol.-mineral. nauk. Tomsk, 2014. 33 p. (in Russian).

8. Недоливако Н.М., Ежова А.В., Перевертайло Т.Г., Полумогина Е.Д. Роль дизъюнктивной тектоники в формировании пустотного пространства в коллекторах пласта ЮС1-3 Западно-Моисеевского участка Двуреченского нефтяного месторождения (Томская область) // Известия Томского политехнического университета. 2005. № 5. С. 47–53.

Nedolivako N.M., Yezhova A.V., Perevertaylo T.G., Polumogina Ye.D. The role of disjunctive tectonics in the formation of void space in the reservoirs of the YUS1-3 reservoir of the West Moiseevsky area of the Dvurechenskoye oil field (Tomsk region) // Izvestiya Tomskogo poli¬tekhnicheskogo universiteta. 2005. № 5. P. 47–53 (in Russian).

9. Предтеченская Е.А., Шиганова О.В., Фомичев А.С. Катагенетические и гидрохимические аномалии в нижнесреднеюрских нефтегазоносных отложениях Западной Сибири как индикаторы флюидодинамических процессов в зонах дизъюнктивных нарушений // Литосфера. 2009. № 6. С. 54–65.

Predtechenskaya E.A., Shiganova O.V., Fomichev A.S. Catagenetic and hydrochemical anomalies in the Lower Middle Jurassic oil-gas-bearing sediments of Western Siberia as indicators of fluid dynamic processes in the zones of disjunctive disturbances // Litosfera. 2009. № 6. P. 54–65 (in Russian).

10. Мельник И.А., Смирнова К.Ю. Геологическое строение, стратиграфия и перспективы нефтегазоносности нижнесреднеюрских отложений Томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2015. Т. 326. С. 20–30.

Melnik I.A., Smirnova K.Yu. Geological structure, stratigraphy and oil-and-gas-bearing prospects of the Lower-Middle Jurassic sediments of Tomsk region // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2015. V. 326. P. 20–30 (in Russian).

11. Мельник И.А., Шарф И.В., Иванова М.П. Статистический параметр двойного электрического слоя как индикатор нефтенасыщенности нижнесреднеюрских отложений Томской области // Нефтяное хозяйство. 2018. № 10. С. 24–26.

Melnik I.A., Sharf I.V., Ivanova M.P. Statistical parameter of the double electric layer as an indicator of oil saturation of the Lower-Middle Jurassic sediments of the Tomsk region // Neftyanoye khozyaystvo. 2018. № 10. P. 24–26 (in Russian).

12. Коробов А.Д., Коробова Л.А., Ахлестина Е.Ф., Колотухин А.Т., Мухин В.М. Природный тектонический насос углеводородов и вторичная доломитизация – порождение тектоно-гидротермальной активности рифтогенного осадочного бассейна // Известия Саратовского университета. Серия «Науки о Земле». 2015. Т. 15. Вып. 3. С. 46–52.

Korobov A.D., Korobova L.A., Akhlestina E.F., Kolotukhin A.T., Mukhin V.M. Natural tectonic hydrocarbon pump and secondary dolomitization – Generation of tectonic-hydrothermal activity of riftogenic sedimentary basin // Izvestiya Saratovskogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle». 2015. Vol. 15. Is. 3. P. 46–52 (in Russian).

УДК 502:556.55(571.56-25)

ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ОЗЕР ГОРОДА ЯКУТСКА ДЛЯ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Николаев А.А., Архипов И.В.

ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск, e-mail: cd051@mail.ru, vano.19662010@mail.ru

Статья посвящена экологическому исследованию озер г. Якутска для туристско-рекреационного потенциала. Не секрет, что городские озера везде несут большую антропогенную нагрузку, выявление экологического состояния является особенно важным для целей туристско-рекреационного использования. В настоящее время эти озера еще в должной мере не используются в туристско-рекреационной деятельности города. Гидрохимическая характеристика и выявление индекса загрязненности воды данных озер является основным из критериев для туристско-рекреационного использования городских озер. Так, например, вода озера Сайсары имеет неблагоприятный газовый режим, насыщена биогенными элементами, имеет затхлый запах, высокую жесткость и минерализацию, большое содержание хлоридов. Биологическое потребление кислорода (пятисуточное) данного озера на момент исследований составило 7,1 мг O_2/л, что в 3,55 раз превышает ПДК. В воде озера обнаружено повышенное содержание нефтепродуктов, превышающее ПДК в 2 раза (0,1 мг/л), фенолов – в 11 раз (0,011 мг/л), солевого аммония в 1,58 раза – 0,62 мг/л. Индекс загрязненности воды (ИЗВ) озера оказался равным 3,28. Следовательно, воду озера можно классифицировать как «загрязненную» (IV класс качества воды). Озеро Теплое. Индекс загрязненности равен 3,85, следовательно, воду озера можно характеризовать как «загрязненную», класс качества – IV. Озеро Талое. Индекс загрязненности воды равен 5,59. Вода озера относится к «грязной», класс качества V. В конце статьи даны несколько комплексных рекомендаций по улучшению экологического состояния исследованных озер, а также рекомендации зимнего и летнего использования озер для туристско-рекреационного использования городом для горожан и их гостей.

Ключевые слова: экологическое состояние озер, индекс загрязненности вод, озера г. Якутска – Сайсары, Теплое, Талое, туристско-рекреационное использование озер, биологическое потребление кислорода

ECOLOGICAL CONDITION OF YAKUTSK LAKES FOR TOURIST AND RECREATIONAL USE

Nikolaev A.A., Arkhipov I.V.

M.K. Ammosov The North-Eastern Federal University, Yakutsk, e-mail: cd051@mail.ru, vano.19662010@mail.ru

The article is devoted to the ecological study of the lakes of Yakutsk for tourist and recreational potential. It is no secret that urban lakes everywhere carry a large anthropogenic load, the identification of their ecological state is especially important for the purposes of tourist and recreational use. Currently, these lakes are not yet properly used in the tourist and recreational activities of the city. Hydrochemical characterization and identification of the water pollution index of these lakes is the main criterion for the tourist and recreational use of urban lakes. For example, the water of Lake Saysary has an unfavorable gas regime, is saturated with biogenic elements, has a musty smell, high hardness and mineralization, a high content of chlorides. The biological oxygen consumption (five-day) of this lake at the time of the research was 7.1 mg O_2/l, or 3.55 times higher than the MPC. In the lake water, an increased content of petroleum products exceeding the MPC by 2 times (0.1 mg/l), phenols by 11 times (0.011 mg/l), ammonium salt by 1.58 times – 0.62 mg/l was found. The index of water pollution of the lake was equal to 3.28. Therefore, the lake water can be classified as «polluted» (IV class of quality of water). The lake is Warm. The pollution index is 3.85, therefore, the lake water can be characterized as «polluted», quality class – IV. Lake Meltwater. The water pollution index is 5.59. T°he lake water is classified as «dirty», quality class V. At the end of the article, several comprehensive recommendations are given to improve the ecological condition of the studied lakes, as well as recommendations for winter and summer use of lakes for tourist and recreational use by the city for citizens and their guests.

Keywords: ecological condition of lakes, water pollution index, lakes of the city of Yakutsk – Saysary, Warm, Thawed, tourist and recreational use of lakes, biological oxygen consumption

Город Якутск расположен в центральной части долины Туймаада в среднем течении левобережья р. Лены на 62º01 с.ш., 129º43 в.д. Занимает площадь на I-й и II-й надпойменных террасах. Ширина современной долины р. Лены в районе г. Якутска достигает 18–20 км, из которых около 8 км приходится на современное русло р. Лены с многочисленными островами и протоками. I-я надпойменная терраса, на которой расположена большая часть города, имеет ширину 2,0–2,5 км и возвышается над уровнем воды р. Лены на 10–12 м, крутизна склонов доходит до 30–40. Долина Туймаада вся прорезана староречьями, озерами, еще недавно сообщающимися с р. Леной.

Нами исследованы три озера – Сайсары, Теплое, Талое, которые расположены почти

в центре города и изредка используются горожанами для отдыха по сезонам.

Исследование озер города, их экологического состояния является актуальной задачей для дальнейшего функционирования озера, а также выбора, по какому пути должно идти их туристско-рекреационное обустройство. Исследования экологического состояния озер в России выполнены разными исследователями: так, изучение качества воды как важный показатель водной экосистемы в условиях антропогенного воздействия выполнялось М.Э. Галеевой, М.Л. Калайда [1, 2], антропогенные факторы качества воды были изучены Р.Р. Шагидуллиным, В.З. Латыповой, О.Ю. Тарасовым, О.В. Никитиным и др. специалистами [3]. Оценку состояния озер в условиях антропогенной нагрузки исследовали Л.Н. Саушкина, О.В. Хурина, О.А. Белов [4–6]. Туристско-рекреационное использование водных ресурсов исследовано С.С. Семочкиной [7, 8] и Г.Я. Барышниковым [9]. Таким образом, тема достаточно изучена в наше время.

Целью исследования озер г. Якутска является изучение общего экологического их состояния для оценки и соответствия туристско-рекреационного использования в летнее и в зимнее время года. Для этого мы поставили следующие задачи: первое – изучение гидрохимических характеристик воды озер; второе – выявление индекса загрязнения воды озер; третье – изучение продолжительности ледостава озер, снежного покрова зимой; четвертое – выявление туристско-рекреационного использования озер.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования явились озера, расположенные в центре г. Якутска – Сайсары, Теплое и Талое (рисунок), в основном играющие большую эстетическую и привлекательную роль массового отдыха горожан, то есть в каком-то отношении и туристско-рекреационного использования.

В зависимости от размера и формы с каждого озера в августе 2021 г. были отобраны поверхностные пробы воды с 1–3 станций батометром Молчанова. Определение температуры, прозрачности, цвета, запаха, растворенного кислорода, свободной двуокиси углерода, обменной кислотности проводилось непосредственно на месте [10]. Полный гидрохимический анализ воды был произведен в лаборатории Управления Роспотребнадзора по РС(Я).

По всем озерам были проведены исследования на основные антропогенные загрязняющие компоненты; БПК5, СПАВ, фенолы, нефтепродукты, аммоний солевой, перманганатная окисляемость, медь. Анализы воды озер на загрязняющие факторы выполнены лабораторией Управления Роспотребнадзора по РС(Я).

В зависимости от количества анализа применяются две оценки качества воды по комплексным показателям, это по индексам – удельному комбинаторному индексу загрязненности вод (УКИЗВ) [11] и индексу загрязненности вод (ИЗВ) [12]. Анализ существующих оценок качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям свидетельствует о том, что комплексная характеристика качества поверхностных вод представляет собой достаточно сложную проблему, по которой пока не найдено однозначного решения. Обсуждаемые индексы строго индивидуальны и раскрывают многие стороны изучаемой проблемы в разнообразных аспектах [13].

Для оценки загрязненности вод по методу УКИЗВ требуется обязательный перечень № 1: 1) Растворенный в воде кислород, 2) $БПК_5(O_2)$, 3) ХПК, 4) Фенолы, 5) Нефтепродукты, 6) Нитрит-ионы (NO_2), 7) Нитрат-ионы (NO3), 8) Аммоний ион (NH4), 9) Железо общее, 10) Медь (Cu^2), 11) Цинк (Zn^2), 12) Никель (Ni^2), 13) Марганец (Mn^2), 14) Хлориды, 15) Сульфаты [11]. В нашем исследовании, за неимением некоторых анализов металлов и других веществ, предоставленных лабораторией Управления Роспотребнадзора РС(Я), применение данной оценки не представляется возможным.

Из всех разработанных оценок качества вод наиболее предпочтительными в нашем исследовании являются критерии индекса загрязненности вод (табл. 1) [12]. Указания по расчету ИЗВ даются во «Временных методических указаниях по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод» [12].

Расчет ИЗВ для поверхностных вод производится по формуле

$$ИЗВ = \frac{\Sigma(Ci \,/\, ПДК)}{6},$$

где Ci – концентрация ингредиента, 6 – строго лимитирующее количество показателей, берущихся для расчета, имеющих наибольшее значение, независимо от того, превышают они ПДК или нет, включая O_2 и БПК5 [11].

Таблица 1

Критерии загрязненности вод по ИЗВ (для поверхностных вод) [11]

Класс качества	Текстовое описание	Величина ИЗВ
I	очень чистая	менее или равно 0,3
II	чистая	более 0,3 до 1
III	умеренно загрязненная	более 1 до 2,5
IV	загрязненная	более 2,5 до 4
V	грязная	более 4 до 6
VI	очень грязная	более 6 до 10
VII	чрезвычайно грязная	более 10

Зимой 2021 г., в феврале, были исследованы толщины снежного покрова и льда озер Сайсары, Теплое и Талое.

Результаты исследования и их обсуждение

Озеро Сайсары расположено в южной части города, западнее озера Теплое, в жилом квартале 66 (рисунок). Площадь озера составляет 35,5 га, средняя глубина озера – 2,5 м, максимальная – 6 м, длина озера – 1,4 км, ширина – 400 м. С западной стороны озеро огибает ул. Лермонтова, с северной – проходит ул. Каландаришвили, на юге, юго-востоке ул. Дежнева. На северо-востоке к озеру прилегают стадион «Юность» и спортивный комплекс «Триумф», в юго-восточной части в островной зоне озера строится огромный комплекс – Арктический центр эпоса Олонхо. (Древний эпос Олонхо якутского народа вошел в список нематериального культурного наследия ООН.) По восточному рукаву воды озера через ул. Дежнева по трубе спускаются в озеро Теплое. В литоральной части озера встречаются ряски, рдест плавающий, в прибрежной части, особенно в южной части – тростник обыкновенный, камыш, осока болотная. В озере водятся караси и гольяны, гнездятся утки и чайки. В настоящее время входит в список уникальных озер Якутии. Озеро Сайсары в зимнее время активно используется горожанами и студентами для лыжного отдыха и занятий, весной здесь открываются катки для катаний на коньках, проводятся массовые праздники, такие как проводы зимы, массовые гулянья, конкурсы и т.д. Озеро Сайсары – священное и сакральное место в истории и легендах якутского народа как прародина народа саха.

В начале 2011 г. мэрией г. Якутска здесь была проведена очистка донных отложений, были проведены работы по каналам, чтобы озеро имело непрерывную связь с остальными озерами города, эта часть хотя и работает, но все равно быстро засоряется песком и отходами в каналах, в дорогах, трубах по всему каналу и ослабляет круговорот воды озера.

Озеро Теплое водно-эрозионного происхождения (рисунок). Площадь озера составляет 12,27 га, средняя глубина – 1,27 м, максимальная – 3,0 м, длина 3,45 км, ширина 55 м, имеет вытянутую форму. Это старичное озеро. Расположено в южной части города на II надпойменной террасе р. Лены. К озеру прилегают городские кварталы 66, 63, 55, 37, 6, 122. Озеро пересекает пр. Ленина по мосту, ул. Дежнева по дамбе. В литоральной части встречаются ряска, рдест плавающий, в прибрежной части – камыш. Берега озера крутые, высотой до 5 м, в южной части – пологие. В конце 1990-х гг. по берегам озера были обустроены каменные габионы, которые защищают берега от естественного разрушения и массового зарастания водными растениями. Весной озеро используется горожанами и молодежью для катания на коньках. В летнее время установлены фонтаны и есть небольшие лодочные станции для отдыха на лодках, катамаранах.

Озеро Талое водно-эрозионного происхождения, расположено в центральной части города на II надпойменной террасе р. Лены (рисунок). С севера проходит ул. Короленко, на северо-западе – ул. Толстого, с юга – ул. Кирова. Раньше озеро по горканалу имело связь с озерами Сайсары, Хомустах и др. В настоящее время она частично восстановлена, но все равно канал быстро засоряется и становится непроходимым, иногда почти стоячим. Озеро имеет вытянутую с северо-востока на юго-запад овальную форму, с южной стороны связано с каналом по трубе. Озеро имеет площадь 1,03 га, глубина средняя – 1,33 м, максимальная – 4,5 м, длина – 340 м, ширина – 38 м.

Расположение исследованных озер в центре г. Якутска

Снежный покров в окрестностях г. Якутска держится 7 месяцев, то есть 205–210 дней и в общем годовом балансе осадков составляет 31–40 %. Средняя дата появления снежного покрова приходится на первые числа октября, ранняя – на вторую декаду сентября, поздняя – на третью декаду октября. Из-за отсутствия оттепелей и сильных ветров снежный покров сохраняется в течение всей зимы. Ранняя дата схода снежного покрова – середина апреля, поздняя – конец мая, средняя – конец апреля. Для Центральной Якутии характерно быстрое весеннее испарение снега, мощность снежного покрова незначительная, наибольшая высота – 28–30 см. Вероятность схода снежного покрова составляет: на 20/I – 3 %, на 30/IV – 53 %, на 5/V – 75 %.

Ледостав на исследованных озерах продолжается 240–245 дней. С конца сентября до первой декады октября устанавливается постоянный ледовый покров, таяние которого начинается в середине мая, полностью ледяной покров сходит в конце мая или в начале июня. Высота снежного покрова и средняя толщина льда в исследованных озерах составляет: оз. Сайсары – 0,38 и 1,3 м, оз. Теплое – 0,28 и 1,3 м, оз. Талое – 0,30 и 1, 3 м. Причиной исследования снежного покрова является тот факт, что снег, как и все атмосферные осадки, обладает способностью сорбировать в себе вещества техногенеза и служит важным объектом мониторинга окружающей среды. За зиму в снегу происходит накопление химических элементов, поступающих в различных формах и соединениях совместно с продуктами биосферы. Исследования снежного покрова могли бы использоваться в качестве индикатора при выявлении информации о поступлении различных загрязняющих в основном атмосферного происхождения химических элементов, включая тяжелые металлы.

Озеро Теплое. Глубина озера в точках отбора проб не превышает 2,5 м. В мелководных озерах не наблюдается резкой разницы в распределении температур, от поверхности ко дну (18,4–16,7 °С). Величина прозрачности – 0,5–1,4 м. Вода озера имеет травянистый затхлый запах (3 балла), сильную муть с небольшим илистым осадком. По своим гидрохимическим показателям озеро Теплое имеет неблагоприятный газовый режим, вода озера не соответствует санитарным нормам по показателям: высокая минерализация, большое содержание хлоридов, затхлый запах, сильная муть (табл. 2).

Вода озера Сайсары имеет неблагоприятный газовый режим, насыщена биогенными элементами, имеет затхлый запах, высокую жесткость и минерализацию, большое содержание хлоридов (табл. 2).

Исходя из данных химического анализа, вода озера Талое имеет неблагоприятный газовый режим, высокую минерализацию, жесткость, большое содержание хлоридов и солей аммония (табл. 2).

Озеро Сайсары. Биологическое потребление кислорода (пятисуточное) данного озера на момент исследований составило 7,1 мг O_2/л, что в 3,55 раз превышает ПДК (табл. 3). В воде озера обнаружено повышенное содержание нефтепродуктов, превышающее ПДК в 2 раза (табл. 3) (0,1 мг/л), фенолов – в 11 раз (0,011 мг/л), солевой аммоний в 1,58 раза – 0,62 мг/л. Исходя из табл. 1 индекс загрязненности воды (ИЗВ) озера оказался равным 3,28 (табл. 3). Следовательно, воду озера можно классифицировать как «загрязненную» (IV класс качества воды).

Таблица 2

Таблица гидрохимической характеристики озер Сайсары, Теплое и Талое

Ингредиенты	ПДК, мг/л	оз. Сайсары	оз. Теплое	оз. Талое
Температура воды, °С	–	21,2	22,0	20,1
Активная реакция (pH)	6,5–8,5	9,2	8,9	8,0
Растворенный O_2	4,0–6,0	10,0	9,0	6,0
CO_2		95,0	304,0	247,0
Кальций	180,0	28,0	25,6	153,0
Магний	40,0	42,5	15,6	4,38
Сумма ионов Na+ и K+	170,0	335,0	606,0	200,2
Общее железо	0,5	0,3	н/о	0,5
Гидрокарбонаты		540,0	561,0	702,0
Карбонаты		н/о	н/о	н/о
Аммоний солевой	0,39	0,62	0,21	3,17
Сульфаты	100,0	н/о	2,0	н/о
Хлориды	300,0	300,0	780,0	395,0
Нитраты	9,1	0,39	0,39	0,88
Нитриты	0,02	0,02	н/о	0,05
Жесткость		5,19	2,67	8,04
Общая минерализация	1000,0	1245,89	1990,59	1455,46

Таблица 3

Расчет индекса загрязненности озера Сайсары

№	Наименование вещества	Мг/л	Концентрации (доли ПДК)	ПДК, мг/л
1	Растворенный кислород	7,0	0,86	4,0-6,0
2	БПК5	7,1	3,55	3,0
3	Нефтепродукты	0,1	2,0	0,06
4	Фенолы	0,011	11,0	0,001
5	СПАВ (синтетические поверхностно-активные вещества)	0,074	0,75	0,1
6	Аммоний солевой	0,62	1,58	0,39
7	Окисляемость перманганатная	–		7,0
	Σ		19,73	
	ИЗВ		3,28	

Таблица 4

Расчет индекса загрязненности озера Теплое

№	Наименование вещества	Мг/л	Концентрации (доли ПДК)	ПДК, мг/л
1	Растворенный кислород	9,0	0,66	4,0–6,0
2	БПК5	7,44	3,72	3,0
3	Нефтепродукты	0,33	6,0	0,06
4	Фенолы	0,006	6,0	0,001
5	СПАВ	–	–	0,1
6	Аммоний солевой	0,21	0,53	0,39
7	Окисляемость перманганатная	43,5	6,2	7,0
	Σ		23,11	
	ИЗВ		3,85	

Таблица 5

Расчет индекса загрязненности озера Талое

№	Наименование вещества	Мг/л	Концентрации (доли ПДК)	ПДК, мг/л
1	Растворенный кислород	4,0	5,0	4,0–6,0
2	БПК5	6,7	3,35	3,0
3	Нефтепродукты	0,4	8,0	0,06
4	Фенолы	0,007	7,0	0,001
5	СПАВ	–	–	0,1
6	Аммоний солевой	3,17	8,12	0,39
7	Окисляемость перманганатная	14,9	2,12	7,0
	Σ		33,59	
	ИЗВ		5,59	

Озеро Теплое. БПК5, на момент исследований составило 7,44 мгO_2/л, что превышает их ПДК в 3,72 раза (табл. 4), окисляемости воды в 43, 5 мгO_2/л, или 6,2 ПДК. Синтетические поверхностные вещества в воде не обнаружены. Индекс загрязненности равен 3,85, следовательно, в соответствии с табл. 1 воду озера можно охарактеризовать как «загрязненную», класс качества – IV (табл. 4).

Озеро Талое. БПК5 озера составляет 6,7 мг O_2/л, что в 3,35 раза превышает ПДК (табл. 5). Содержание в воде нефтепродуктов (0,4 мг/л), фенолов (0,007 мг/л) и солей аммония (3,17 мг/л) превышает их ПДК, СПАВ не обнаружены. Повышена перманганатная окисляемость воды – 14,9 мг O_2/л. Индекс загрязненности воды равен 5,59. По табл. 1 вода озера относится к «грязной», класс качества V (табл. 5).

Исследованные озера в настоящее время исполняют роль прудов-накопителей, слабо связанных с другими водными объектами в г. Якутске и его окрестностях. Источники, загрязняющие водоемы, – промышленные, коммунально-бытовые стоки, детергенты, нефтепродукты и их компоненты, загрязнения от автотранспорта, взвешенные вещества, органические загрязнители, растительные и животные ядовитые вещества и др. В 1990 г. была осуществлена попытка полностью выкачать воду оз. Талое и заполнить озеро вновь чистой водой. На некоторых озерах проводится отсыпка берегов песком, габионами, новыми современными архитектурными конструкциями, как на озере Талом сейчас. Но, если смотреть в целом, все проводимые мероприятия в конечном итоге имеют незначительную эффективность. В основном все мероприятия проводятся разрозненно, отдельно по озерам, только по озеру Талое, например, более или менее преобразовали береговую архитектуру на современный лад.

Экологическая обстановка этих озер г. Якутска в целом, вследствие интенсивной застройки и естественного состояния озер под влиянием антропогенного воздействия, с каждым годом обостряется.

В целях кардинального преобразования в сторону улучшения экологической ситуации в озерных экосистемах г. Якутска и его окрестностях рекомендуются следующие инженерно-технические мероприятия: во-первых, очистка от мусора водоохранных зон озер, проведение планировки и мас-

штабное озеленение берегов; во-вторых, очистка от загрязненных иловых отложений и мусора дна каналов и озерных котловин, разработка и внедрение системы ливневой канализации и полное восстановление трассы городского канала; в-третьих, реконструкция водного пропуска через улицы г. Якутска; в-четвертых, соблюдение установленной вокруг озер охранной зоны; в-пятых, установление четкого контроля сброса загрязненных вод производственных, бытовых стоков предприятиями и частным сектором, отдельными гражданами; в-шестых, выделение дополнительных штатов дворников и работников над соблюдением и очисткой городского канала.

Заключение

Анализ результатов проведенного исследования показывает несколько выводов: неблагоприятное экологическое состояние озер г. Якутска; уменьшение морфометрических показателей озер, в основном за счет интенсивной застройки; нарушение системы естественного и искусственного стока; превращение озер в непроточные накопители загрязненных сточных вод; неблагоприятный газовый режим, высокая жесткость, минерализация и насыщенность биогенными элементами, превышающая ПДК; непригодность использования воды для коммунально-бытового водоснабжения, в рыбохозяйственных целях, а также для купания в летний период; по критериям загрязненности вод по ИЗВ озера Сайсары и Теплое относятся к «загрязненным», озеро Талое «сильно загрязненное».

Таким образом, в летне-осеннее время эти озера можно использовать только для лодочных, катамаранных, байдарочных и иных видов прогулок, гонок, соревнований по озеру. Для данного типа туризма эти озера особенно подойдут своей близостью и доступностью, развитой инфраструктурой, достаточно нормальными площадями зеркала озера, глубинами и протяженностью.

В зимнее время на ледовой площадке озера можно обустроить большие каркасно-тентовые ангары для катания внутри всю зиму на коньках, отопление получать с помощью электрических тепловых пушек, которые сейчас имеют большие возможности прогрева на большие крытые площадки, даже в -50 °С. В весеннее время использовать как открытый каток ледовое зеркало озер. Снежный покров озера использовать для лыжных прогулок горожан, соревнований спортсменов. Для туристско-рекреационного использования потенциала озер на круглый год необходима научная разработка комплексной целевой программы в городской сфере массового отдыха, туризма и рекреации. К сожалению, до сих пор в г. Якутске пока нет такой комплексной программы. Туристский потенциал данных озер до сих пор не изучен, не разработан и полностью не используется городом.

Список литературы / References

1. Галеева М.Э., Калайда М.Л. Коэффициент качества вод как важный показатель состояния водной экосистемы // Современные проблемы и перспективы рыбохозяйственного комплекса: материалы II научно-практической конференции молодых ученых. Тезисы докладов. М.: ФГУП «ВНИРО», 2011. С. 277–279.

Galeeva M.E., Kalayda M.L. Water quality coefficient as an important indicator of the state of the aquatic ecosystem // Sovremennye problemy i perspektivy rybohozyajstvennogo kompleksa: materialy II nauchno-prakticheskoj konferencii molodyh uchenyh. Tezisy dokladov. M.: FGUP «VNIRO», 2011. P. 277–279 (in Russian).

2. Галеева М.Э., Калайда М.Л. Оценка качества вод озера в условиях антропогенного воздействия // Тинчуринские чтения: материалы докладов VII Всероссийской молодежной научной конференции / Под общ. ред. ректора КГЭУ Э.Ю. Абдуллазянова. Казань: Казан, гос. энерг. унт, 2012. Т. 3. С. 144–145.

Galeeva M.E., Kalayda M.L. Assessment of the water quality of the lake in conditions of anthropogenic impact // Tinchurinskie chteniya: materialy dokladov VII Vserossijskoj molodezhnoj nauchnoj konferencii / Pod obshch. red. rektora KGEU E.Yu. Abdullazyanova. Kazan': Kazan, gos. energ. unt, 2012. T. 3. P. 144–145 (in Russian).

3. Шагидуллин Р.Р., Латыпова В.З., Тарасов О.Ю., Никитин О.В., Яковлева О.Г., Иванов Д.В., Петров А.М., Крапивина Н.Ю., Юранец-Лужаева Р.Ч., Шагидуллина Р.А., Камалов Р.И. Природные и антропогенные факторы формирования качества воды озера Средний Кабан города Казани // Георесурсы. 2012. № 7 (49). С. 11–17.

Shagidullin P.P., Latypova V.Z., Tarasov O.Yu., Nikitin O.V., Yakovleva O.G., Ivanov D.V., Petrov A.M., Krapivina N.Yu., Yuranec-Luzhaeva R.Ch., Shagidullina P.A., Kamalov R.I. Natural and anthropogenic factors of the formation of the water quality of the Sredny Kaban lake in Kazan // Georesursy. 2012. № 7 (49). P. 11–17 (in Russian).

4. Саушкина Л.Н., Хурина О.В. Комплексная оценка состояния озера Култучное по гидрохимическим показателям // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (18–22 марта 2013 г.). Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2013. С. 201–203.

Saushkina L.N., Khurina O.V. Comprehensive assessment of the state of Lake Kultuchnoye by hydrochemical indicators // Prirodnye resursy, ih sovremennoe sostoyanie, ohrana, promyslovoe i tekhnicheskoe ispol'zovanie: materialy IV Vseros. nauch.-prakt. konf. (18–22 marta 2013 g.). Petropavlovsk-Kamchatskij: KamchatGTU, 2013. P. 201–203 (in Russian).

5. Хурина О.В., Саушкина Л.Н., Кузякина Т.И. Оценка экологического состояния пресноводной гидроэкосистемы в условиях антропогенной нагрузки // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2010. № 12. С. 26–31.

Khurina O.V., Saushkina L.N., Kuzyakina T.I. Assessment of the ecological state of the freshwater hydroecosystem under conditions of anthropogenic load // Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. № 12. P. 26–31 (in Russian).

6. Белов О.А. Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора // Вестник Камчат-

ского государственного технического университета. 2014. № 30. С. 11–16.

Belov O.A. Assessment of the technical readiness of the system, taking into account the influence of the human factor // Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2014. № 30. P. 11–16 (in Russian).

7. Семочкина С.С., Максимова Н.Б. Экологический туризм и оценка объектов туристско-рекреационного использования левобережья Оби Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012а. № 10 (96). С. 34–39.

Semochkina S.S., Maksimova N.B. Ecological tourism and assessment of objects of tourist and recreational use of the left bank of the Ob of the Altai Territory // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012a. № 10 (96). P. 34–39 (in Russian).

8. Семочкина С.С., Барышников Г.Я. Оценка устойчивости природных систем территории лесостепной и степной зон левобережья Оби Алтайского края для туристско-рекреационного освоения // Современные проблемы географии, экологии и природопользования Материалы Международной научно-практической конференции: Волгоград, 25–26 апреля 2012 г. / Под ред. С.Н. Кириллова. Барнаул, 2012. № 6. С. 49–58.

Semochkina S.S., Baryshnikov G.Ya. Assessment of the stability of natural systems of the territory of the forest-steppe and steppe zones of the left bank of the Ob of the Altai Territory for tourist and recreational development // Sovremennye problemy geografii, ekologii i prirodopol'zovaniya: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii: Volgograd, 25–26 aprelya 2012 g. / Pod red. S.N. Kirillova. Barnaul, 2012. № 6. P. 49–58 (in Russian).

9. Барышников Г.Я., Семочкина С.С. Использование малых водоемов Алтая для рекреационных целей // Двадцать пятое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов. Астрахань, 12–14 октября 2010 г. / Под ред. Р.С. Чалова. Астрахань, 2010. С. 72–83.

Baryshnikov G.Ya., Semochkina S.S. Use of small reservoirs of Altai for recreational purposes // Dvadcat' pyatoe plenarnoe mezhvuzovskoe koordinacionnoe soveshchanie po probleme erozionnyh, ruslovyh i ust'evyh processov. Astrahan', 12–14 oktyabrya 2010 g. / Pod red. P.C. Chalova. Astrahan', 2010. P. 72–83 (in Russian).

10. Кузьмина И.А. Температура, запах, прозрачность, цветность природной воды: методические указания. Великий Новгород, 2007. 12 с.

Kuz'mina I.A. Temperature, smell, transparency, color of natural water: Guidelines. Velikij Novgorod, 2007. 12 p. (in Russian).

11. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов н/Д.: Росгидромет, 2002. 48 с.

RD 52.24.643-2002. A method of complex assessment of the degree of contamination of surface waters by hydrochemical indicators. Rostov-on-Don: Roshydromet, 2002. 48 p.

12. Временные методические указания по комплексной оценке качества поверхностных и морских вод. [Электронный ресурс]. URL: https://standartgost.ru/g/pkey-14293742635 (дата обращения: 21.10.2021).

Temporary guidelines for a comprehensive assessment of the quality of surface and marine waters. [Electronic resource]. URL: https://standartgost.ru/g/pkey-14293742635 (date of access: 21.10.2021) (in Russian).

13. Зубарев В.А. Гидрохимические индексы оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. Т. 17. № 2. С. 71–77.

Zubarev V.A. Hydrochemical indices of surface water quality assessment // Regionalnye problemi. 2014. T. 17. No. 2. P. 71–77 (in Russian).

УДК 911:352.075

РОЛЬ И МЕСТО МУНИЦИПАЛИТЕТОВ В СИСТЕМЕ МЕСТНЫХ ОРГАНОВ САМОУПРАВЛЕНИЯ В АЗЕРБАЙДЖАНЕ

Османова Х.М.

Бакинский государственный университет, Баку, e-mail: o.xanim89@yahoo.com

Муниципалитет – одна из основных структур любого демократического государства. Мы знаем, что участие граждан в управлении государством основано на правовых принципах. Муниципалитеты реализуют этот принцип на местном уровне. Потому каждый гражданин, который любит свою страну, независимо от структуры (монархия или республика) или формы (федеральной, унитарной) государства, к которому он принадлежит, выражает себя в первую очередь на уровне местного правительства и может активно участвовать в принятии решений, которые напрямую влияют на повседневную жизнь. Поэтому необходимы исследования для устранения существующих проблем в муниципальных образованиях и обоснования экономических и социально-географических принципов территориальной организации муниципалитетов, определения их границ и качественной оценки их количества, а также совершенствования правовой базы в этой области. Предложения и идеи, вытекающие из результатов научно-методических исследований, проводимых в связи с созданием и деятельностью муниципальных образований, отражены в научных работах следующих ученых: Г.А. Штайнер, Ю.Ф. Штайнер, Е.В. Рассель, Ю.М. Шафриц, А. Дубен, Т. Эдисон, М.К. Исаева, В.В. Меншиков, М.И. Салимзаде, Г.Р. Халилов, Д.А. Валиев, Ю.Н. Балакишиев, З.Т. Имрани, Л.Г. Халилова и др. С этой точки зрения в статье определена роль муниципалитетов и их место в государственной системе, изучены социально-экономические проблемы местного населения. При изучении проблемы мы выявили что разделение полномочий муниципальных образований и местных исполнительных органов по сути схоже, что создает трудности в управлении. Среди них регулирование механизма управления является одним из наиболее важных вопросов с точки зрения определения стратегических принципов с политической и правовой точки зрения. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в последние годы муниципалитетами в реализации социально-экономических программ, они не вызывают однозначного одобрения со стороны населения. Но для обеспечения эффективного функционирования муниципальной системы она должна иметь механизмы формирования, в том числе систему контроля, особенно общественного контроля. Эта система поможет определить роль и место муниципалитетов в местном самоуправлении.

Ключевые слова: муниципалитет, местное самоуправление, государственное управление, образование, здоровье, культура

THE ROLE AND PLACE OF MUNICIPALITIES IN THE SYSTEM OF LOCAL SELF-GOVERNMENT BODIES IN AZERBAIJAN

Osmanova Kh.M.

Baku State University, Baku, e-mail: o.xanim89@yahoo.com

The municipality is one of the main structures of any democratic state. The participation of citizens in the governance of the state is based on legal principles. Municipalities implement this principle at the local level. Because every citizen of any country, regardless of the structure (monarchy or republic) or form (federal, unitary) of the state to which he belongs, expresses himself primarily at the local government level and can closely participate in decision-making that directly affects daily life. There is a need to research to eliminate existing problems in municipalities, substantiate economic and socio-geographical principles in the territorial organization of municipalities, improve the legal framework in this area, determine their boundaries, and quantify their numbers. Suggestions and ideas arising from the results of scientific and methodological research conducted in connection with the establishment and operation of municipalities are reflected in scientific works. working in this field: G.A. Steiner, J.F. Steiner, E.W. Russel, J.M. Shafritz, A. Duben, T. Edison, M.K. Isaeva, V.V. Menshikov, M.I. Salimzade, G.R. Khalilov, D.A. Valiyev, Y.N. Balakishiyev, Z.T. Imrani, L.G. Khalilova and other scientists. The role and place in the system have been identified, the socio-economic problems of the local population have been comprehensively studied. From this point of view, the article defines the role of municipalities and their role in the state system and studies the socio-economic problems of the local population. When studying the problems, it was found that the division of powers of municipal structures and local executive bodies is similar, which creates difficulties in management. Among them, the regulation of the management mechanism is one of the most important issues from the point of view of the definition of strategic principles with a political and legal point of view. Regardless of the significant progress achieved by municipalities in the implementation of socio-economic programs in recent years, they do not draw unambiguous praise from the population. However, in order to ensure the effective functioning of the municipal system, it should have the mechanisms of formation, including the system of control, especially public control. This system will help determine the role and place of municipalities in local self-government.

Keywords: municipality, local self-government, public administration, education, health, culture

После обретения независимости Азербайджанская Республика приступила к осуществлению экономических реформ в соответствии со свободной рыночной экономикой, а также приняла необходимые меры в области местного самоуправления, основанного на международном опыте в области государственного управления, с целью интеграции в мировую экономическую систему и в короткие сроки были приняты законы «О статусе муниципалитетов» (02.07.1999), «О муниципальной службе»

(30.11.1999), «О муниципальных территориях и землях» (07.12.1999) и правовые акты «О передаче имущества в муниципальную собственность» (07.12.1999 г.), «О совместной деятельности, объединении, отделении и ликвидации муниципалитетов» (14.04.2000 г.) и др. В последние годы на фоне политической жизни и социально-экономического развития Республики положительные и отрицательные тенденции в деятельности муниципалитетов стали одной из проблем общественного центра внимания. С этой точки зрения необходимо определить роль муниципалитетов в системе местного самоуправления и провести серьезные реформы в этой сфере. Потому что муниципалитеты не могут решать проблемы местного значения и предоставлять качественные услуги населению. Это вызывает серьезное недовольство общественности.

Основная цель исследования – устранение существующих проблем в сфере муниципалитетов, обоснование экономических и социально-географических принципов территориальной организации муниципалитетов, совершенствование нормативно-правовой базы в этой сфере. Для устранения недостатков в этой сфере необходимо определить направление и полномочия муниципальных образований на научно-методической основе.

Материалы и методы исследования

Материалы исследования: годовые отчеты министерств экономики, труда и социальной защиты Азербайджанской Республики и Национальной ассоциации городских, поселковых и сельских муниципалитетов Азербайджана, действующее законодательство Азербайджанской Республики, а также научные результаты и рекомендации ученых.

В исследовательской работе были использованы систематические традиционные и современные методы экономической и социальной географии.

Результаты исследования и их обсуждение

Муниципальное управление – это форма управления, основанная на правовых принципах государства, которая активно участвует в решении экономических и социальных проблем местного значения. Местное самоуправление является неотъемлемой частью системы государственного управления и рассматривается страной в целом, как целостная система управления.

Многолетний опыт экономически развитых стран показывает, что одного существования органов государственного управления недостаточно для эффективного использования природного потенциала каждого региона и взамен улучшения жизни и экономической активности населения [1]. В этом случае государственное управление делится на центральное правительство и местное самоуправление в соответствии с масштабом и характером управления. Между двумя администрациями существует региональное управление, которое редко принимает форму специальной организации. Это связано с тем, что основные функции управления осуществляются не на региональном, а на центральном и местных уровнях.

Органы местного самоуправления обычно образуются муниципалитетами и избирательным законодательством [2]. В большинстве случаев общие основы местного самоуправления устанавливаются конституцией, которая включает выборные советы и формируемые ими исполнительные органы.

Количество и территория муниципалитетов определяются законодательством [3]. Право собственности, пользования и распоряжения землями в границах муниципалитета, а также выдача распоряжений на эти земельные участки, а также управление должны осуществляться в соответствии с требованиями гражданского и земельного законодательства и устава муниципального образования. В общем, всегда есть определенные различия между государственным и муниципальным управлением. Это включает:

– государственная власть действует от имени государственных структур, а органы местного самоуправления – от имени местных объединений;

– муниципалитеты создаются и действуют на основании законов, принимаемых государственными органами.

Государственное управление делится на центрально-публичное управление и местно-публичное управление в зависимости от его масштаба и характеристик реализации [4]. Как и в большинстве развитых стран мира, муниципалитеты в Азербайджанской Республике обеспечивают участие населения в местном самоуправлении. Поскольку муниципалитеты не позволяют местным властям обременять граждан частными проблемами, они действуют как посредники между населением и местными

властями, обеспечивают участие местного населения в принятии и реализации различных программ. Каждый муниципалитет независим и имеет свою территорию, собственность, бюджет и избирательные органы.

На разных этапах развития человеческого общества существовали местные администрации с элементами самоуправления [5]. По мнению некоторых ученых, деятельность органов самоуправления заложила основу для их будущей деятельности, основанной на свободных рыночных отношениях [6]. Однако со временем характеристики органов самоуправления привели к их значительному улучшению.

Разделение полномочий муниципалитетов в системе органов местного самоуправления, должно базироваться в основном на теориях местного самоуправления, чтобы в будущем эти теории создали основу устойчивого развития на местах. Потому что муниципалитеты считаются одним из инструментов целенаправленного развития при формировании гражданского общества. Это создает условия для взаимодействия муниципалитета с органами местного самоуправления и эффективного функционирования системы. Эти отношения вместе с правительством должны иметь социально-экономическую и политическую безопасность. При решении любого вопроса в пределах своей компетенции, муниципалитетам должна быть предоставлена возможность свободно использовать ресурсы, которыми они владеют.

Во многих странах муниципалитеты играют важную роль в механизме управления государством, но не считаются частью системы управления [7]. Потому что муниципалитеты являются формой как общественной, так и народной власти для решения вопросов местного значения [8]. Этот процесс является одним из важнейших шагов, предпринятых в развитии демократии в стране, верховенства закона и гражданского общества.

Политико-правовые идеи, сформированные и развивающиеся в разные периоды развития истории политической и правовой мысли Азербайджана, были связаны между собой идеологическими нитями и в исторический период формировались в соответствии с социально-экономическими и политическими условиями общества [9]. Первый муниципалитет в Азербайджане был создан в 1878 г. только в Баку, а затем, хотя и в ограниченном объеме, в городах Гянджа, Шуша, Нуха (Шеки), Нахичевань и Ордубад. Причиной тому послужили реформы, проведенные царским правительством (Россия) 1 января 1864 г. в системе местного управления губерниями и уездами. Согласно этому положению, существует два принципа местного самоуправления: выборные органы и самофинансирования. В этот период все люди, живущие в городе и платящие налоги, получили право участвовать в муниципальных выборах. Те, кто не платили налоги, лица моложе 25 лет и женщины не могли участвовать в этих выборах. Однако в эти годы права муниципалитетов (городских дум) были несколько ограничены. Они занимались только небольшими хозяйствами, проводили мероприятия по тушению пожаров, спонсировали благоустройство города, рынков, торговых объектов, промышленности, здравоохранения и образования.

В статье 142 Конституции Азербайджанской Республики, принятой путем всенародного голосования (референдума) 12 ноября 1995 г., говорится, что местное самоуправление осуществляется муниципалитетами. Исходя из этого, 12 декабря 1999 г. путем выборов были образованы муниципалитеты, как один из основных принципов структуры формирования системы государственного управления в Азербайджане. На этих выборах было избрано более 22000 членов муниципалитетов и сформировано 2767 новых органов местного самоуправления. На последних муниципальных выборах, состоявшихся 23 декабря 2014 г., было избрано 15035 членов муниципалитетов, и их число сократилось до 1607, что объясняется неспособностью многих муниципалитетов полностью осуществлять местное управление.

В эти годы была прекращена деятельность 1160 муниципалитетов, что является очень высоким показателем. Однако исследования показывают, что в будущем ожидается сокращение количества муниципалитетов. Однако при сокращении количества муниципалитетов следует учитывать не только экономические показатели, но и природные факторы (особенно в горных районах).

Закон Азербайджанской Республики «О статусе муниципалитетов» гласит, что местное самоуправление в Азербайджанской Республике является негосударственной системой организации деятельности граждан, которая позволяет самостоятельно и свободно решать вопросы местного значения в рамках закона. Здесь муниципали-

тетам дается право решать и реализовывать любые вопросы в рамках закона, за исключением государственных дел [10]. Однако экономические, социальные и экологические решения, принимаемые муниципалитетами, должны отличаться от решений, реализуемых государством, и должны касаться вопросов местного значения, которые не предусмотрены в этих программах или в дополнение к ним [11]. Решения, принятые муниципалитетами в пределах их компетенции, должны выполняться всеми юридическими и физическими лицами, находящимися на территории муниципалитета. В противном случае орган, принявший эти решения, может их отменить или признать недействительными по решению суда.

Для определения роли и места муниципалитета в системе органов местного самоуправления, прежде всего, должны быть определены их полномочия и осуществление их деятельности на основе этих принципов.

В результате нашего исследования было определено разделение полномочий между муниципалитетами и государственными органами в нашей стране. Согласно этому разделу, были уточнены функции муниципалитета и государственных органов в области образования, здравоохранения, культуры, социального страхования и обороны, строительства, водоснабжения, транспорта и охраны окружающей среды.

Например:

Образование – государственное среднее образование, технические лицеи, музыкальные школы, высшие учебные заведения; муниципалитет – начальное образование, профессиональное образование в общеобразовательных школах.

Здравоохранение – государственная специализированная медицинская помощь, стационарное обслуживание; муниципалитет – организация и обслуживание пунктов первой помощи, санитарные условия.

Государственное социальное обеспечение: ответственность за систему страхования; муниципалитет – социальная защита: помощь детям-сиротам, больным, престарелым, малообеспеченным, детям, оставшимся без попечения родителей.

Государственный транспорт – строительство и содержание автомобильных дорог государственного значения (I и II степени), железнодорожного транспорта, морских и речных портов, аэропортов; муниципалитет – строительство и содержание дорог местного значения (III, IV и V степени) и др. В результате было определено, что полномочия органов государственной власти и муниципалитетов в Азербайджане практически совпадают. Так, в Законе Азербайджанской Республики «О статусе муниципалитетов» от 16 июня 1999 г., глава 5, статьи 25–35 и Законе Азербайджанской Республики «О статусе муниципалитетов» от 2 июля 1999 г., глава 1, статьи 4–6 мы видим, сохранение памятников истории и культуры, развитие промышленности и инфраструктуры, защита экологического баланса, оказание социально-культурных услуг населению и т.д. Есть последовательность в построении отношений сфер. Это создает серьезные проблемы при определении места муниципалитета в системе местного самоуправления. Для устранения этого необходимо пересмотреть, уточнить разделение полномочий между местной исполнительной властью и муниципалитетами и урегулировать эту координационную деятельность законом, а также организовать взаимодействие и сотрудничество между ними.

В целом, чтобы определить роль муниципалитетов в системе местного самоуправления в Азербайджане, необходимо подойти к ним с четырех точек зрения:

1. Основываться на опыте научно и экономически развитых стран в области муниципалитетов и современных научных теорий.

2. Законодательное внесение дополнений и изменений в закон с целью устранения пробелов, касающихся роли муниципалитетов в системе местного самоуправления и их деятельности.

3. Требуются социально-экономические дополнительные финансовые ресурсы, поскольку имущество, находящееся в распоряжении муниципалитетов, не в полной мере обеспечивает устранение их существующих проблем на местах.

4. Информационно-просветительская деятельность среди местного населения и муниципальных служащих.

В одном факторе автор хотел бы подчеркнуть, что для обеспечения эффективного функционирования муниципальной системы она должна иметь механизмы формирования, включая систему контроля, особенно общественного, и административного контроля [12]. Эта система поможет определить роль и место муниципалитетов в местном самоуправлении.

Обеспечение целей и задач муниципального управления зависит от его объектов

и функций [13], потому что деятельность муниципалитетов, таких как государственная администрация, также направлена на обеспечение общественных интересов. Видно, что она основана на принципах экономического развития.

Заключение

Разделение полномочий муниципалитетов и местных исполнительных органов по сути схоже, что создает трудности в управлении. Среди них регулирование механизма управления является одним из наиболее важных вопросов определения стратегических принципов с политической и правовой точек зрения. Несмотря на значительный прогресс, достигнутый в последние годы муниципалитетами в реализации социально-экономических программ населения, проживающих на их территориях, преодоление стоящих перед ними проблем и решении других вопросов, не вызывает однозначного одобрения со стороны населения.

Список литературы / References

1. Шамарова Г.М. Государственная и муниципальная служба. М.: ИНФРА-М, 2014, 208 с.

Shamarova G.M. State and municipal service. M.: INFRA-M, 2014, 208 p. (in Russian).

2. Чиркин В.Е. Система государственного и муниципального управления. М.: Юристъ, 2013, 432 с.

Chirkin V.E. The system of state and municipal government. M.: Yurist, 2013, 432 p. (in Russian).

3. Мехтиев А., Агаев Р., Алиев С. Роль муниципальных образований в развитии села: мировой опыт и Азербайджан. Баку: Общественное объединение поддержки экономических инициатив, 2012. 71 с.

Mekhtiev A., Agaev R., Aliev S. The role of municipalities in the development of the village: world experience and Azerbaijan. Baku: Obshchestvennoye obyedineniye podderzhki ekonomicheskikh initsiativ, 2012. 71 p. (in Russian).

4. Халилова Л. Наш муниципалитет: проблемы и перспективы. Баку: Наука и образование, 2011. 184 с.

Khalilova L. Our municipality: problems and prospects. Baku: Nauka i obrazovaniye, 2011. 184 p. (in Russian).

5. Лоусон Дж. Светодиодная стратегия и план действий. Нью-Йорк, 2014. 52 с.

Lawson J. LED strategy and and action plan. New York, 2014. 52 p. (in Russian).

6. Яш Г., Софья В. Практика самоуправления. Нью-Йорк: Издательство Кембриджского университета, 2013. 487 с.

Yash G., Sophia W. Practising self-government. New York: Izdatel'stvo Kembridzhskogo universiteta, 2013. 487 p. (in Russian).

7. Фредмунд М. Корпоративная политика и управление. Франкфурт: Кампус Верлаг, 2011. 355 с.

Fredmund M. Corporate policy and governance. Frankfurt: Campus Verlag, 2011. 355 p. (in Russian).

8. Петрова В.И. Государственная и муниципальная служба. М.: Юрайт, 2013. 365 с.

Petrova V.I. State and municipal service. M.: Yurayt, 2013. 365 p. (in Russian).

9. Османова Х. Основные географические и правовые принципы территориальной организации муниципальных образований // Труды Азербайджанского национального комитета «Человек и биосфера». 2016. № 11. С. 163–170.

Osmanova Kh. The main geographical and legal principles of territorial organization of municipalities // Trudy Azerbaydzhanskogo natsional'nogo komiteta «Chelovek i biosfera». 2016. № 11. P. 163–170 (in Russian).

10. Османова Х. Сравните пространственные различия в типах местного самоуправления в странах Европы и Азербайджанской Республики // Американский научно-исследовательский журнал инженерии. Технологии и науки. 2015. Т. 11. Вып. 1. С. 221–226.

Osmanova Kh. Compare spatial differences in the types of local self governance amid Europe countries and Azerbaijan Republic // Amerikanskiy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal inzhenerii. Tekhnologii i nauki. 2015. T. 11. Vyp. 1. З. 221–226 (in Russian).

11. Эдвард Э. Правительство, реформа государственного управления и социального обеспечения, структурные изменения и субсидиарность в Италии и Великобритании. Великобритания, 2012. 181 с.

Edward E. Government, governance and welfare reform structural changes and subsidiarity in Italy and Britain. UK, 2012. 181 p. (in Russian).

12. Черепанов В.В. Основы государственной службы и кадровой политики. М.: Юнити-Дана, 2012. 679 с.

Cherepanov V.V. Fundamentals of civil service and personnel policy. M.: Unity-Dana, 2012. 679 p. (in Russian).

13. Усков И.В. Децентрализация как основа становления финансово самостоятельных местных органов власти // Бизнесинформ. 2012. № 3. С. 107–111.

Uskov I.V. Decentralization as the basis for the formation of financially independent local authorities // Businessinform. 2012. No. 3. P. 107–111 (in Russian).

УДК 551.58(571.56)

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТА ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

[1]Поморцев О.А., [2]Поморцева А.А.

[1]ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», Якутск, e-mail: olegpomortsev@mail.ru;
[2]ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, e-mail: a.a.pomortseva@mail.ru

Рассматривается проблема изменений климата Центральной Якутии и влияния климата на природные процессы в криолитозоне. Представлены новые данные о связи изменений климата с фактором солнечной активности (СА), модулирующим режим глобальной циркуляции атмосферы и Сибирского антициклона. В масштабах векового цикла СА XX в. исследован отклик среднегодовой температуры станции Якутск на режим СА. Приводятся данные о влиянии на развитие современной волны потепления в Якутии перехода зональной циркуляции атмосферы к энергетически более эффективному меридиональному типу. Методами численного моделирования временных рядов наблюдений метеостанции Якутск (более чем за столетие) впервые построена модель изменчивости тепло- и влагообеспеченности климата. Выявлено запаздывание хода атмосферных осадков относительно температуры на ¼ ритмической волны. Установлена последовательная смена климатических фаз: холодно-сухой (ХС), тепло-сухой (ХВ), холодно-влажной (ХВ) и тепло-влажной (ТВ). Показана высокая степень влияния солнечной активности на климат и нелинейность солнечно-тропосферных связей на уровне внутривековых и вековых осцилляций. Определены хронологические координаты опасных аномалий климата и отклика вечной мерзлоты на ближайшие десятилетия и столетие в целом. Согласно выявленным гелиогеофизическим предпосылкам, сильные засухи следует ожидать в первой половине – середине 2020-х гг. (2021–2025), а также в 2040-е и начале 2070-х гг. Они будут чередоваться либо совпадать (на отдельных участках) с сезонами, отличающимися ливневым характером атмосферных осадков. Эти явления будет модулировать периодичность широкомасштабных лесных пожаров и усиление динамики всего спектра опасных криогенных экзогенных геологических процессов. Во временных диапазонах, близких к переломным моментам (минимумам и максимумам) 11-летнего цикла, следует ожидать усиление рисков гидрологических, гидрогеологических, криогенных и сейсмо-тектонических проявлений.

Ключевые слова: солнечная активность, солнечный цикл, математическая модель, прогноз, среднегодовая температура, атмосферные осадки, числа Вольфа

NUMERICAL MODELING THE CLIMATE CENTRAL YAKUTIA

[1]Pomortsev O.A., [2]Pomortseva A.A.

[1]North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Yakutsk, e-mail: olegpomortsev@mail.ru;
[2]Saint Petersburg Mining University, Saint Petersburg, e-mail: a.a.pomortseva@mail.ru

The problem of climate changes in Central Yakutia and the influence of climate on natural processes in the cryolithic zone is considered. We present new data on the relationship between climate change and the solar activity factor (SA) modulating the mode of global circulation of the atmsphere and the Siberian anticyclone. The response of the mean annual temperature of Yakutsk station to the SA regime was investigated on the scale of the century cycle of SA of the twentieth century. Data on the effect on the development of the modern wave of warming in Yakutia of the transition of zonal circulation of the atmosphere to a more energy-efficient meridional type are presented. Numerical simulations of time series of observations of Yakutsk weather station (more than a century) for the first time built a model of variability of heat and moisture availability of the climate during the century cycle of SA. The lag of the course of atmospheric precipitation relative to temperature for ¼ of the rhythmic wave was revealed. Consecutive change of climatic phases: cold-dry (CD), warm-dry (WD), cold-humid (CH) and warm-humid (WH) has been established. A high degree of influence of solar activity on climate and nonlinearity of solar-tropospheric relations at the level of intra- and secular oscillations are shown. The chronological coordinates of dangerous climate anomalies and permafrost response for the next decades and the century as a whole were determined. According to the identified heliogeophysical preconditions, strong droughts should be expected in the first half to the middle of the 2020s (2021-2025) and in the 2040s and early 2070s. They will alternate, or coincide (in some areas) with seasons characterized by heavy precipitation. These phenomena will modulate the periodicity of large-scale forest fires and the intensification of the dynamics of the entire spectrum of dangerous cryogenic exogenic geological processes. In time ranges close to turning points (minimums and maximums) of the 11-year cycle, we should expect increased risks of hydrological, hydrogeological, cryogenic and seismo-tectonic manifestations.

Keywords: solar activity, solar cycle, mathematical model, forecast, annual mean temperature, atmospheric precipitation, Wolf numbers

Проблема изменений климата, несмотря на современные углубленные и всесторонние исследования, все еще носит дискуссионный характер [1]. В качестве главной причины потепления называют как антропогенные, так и природные факторы. До-

минирует газовая концепция потепления, в основе которой лежит теория эмиссии парниковых газов антропогенного генезиса. Но климат – глобальный процесс, связанный прежде всего с положением Земли в Солнечной системе и влиянием периодической (циклической) ритмики Солнца. Об этом свидетельствуют фундаментальные исследования А.В. Дьякова [2], М.С. Эйгенсона [3] и Б.А. Слепцова-Шевлевича [4] и др. Климатические прогнозы А.В. Дьякова (на 3–6 месяцев вперёд) для любой точки Северного полушария отличались поразительной точностью. Они строились на энерго-климатологической основе и оправдывались на 80–90 % [2]. Все это вызывает интерес к проблеме солнечно-тропосферных связей, а моделирование долговременных рядов метеорологических наблюдений занимает в этом случае ключевое место.

Постановка задачи

В качестве исходных приняты ряды метеорологических наблюдений за среднегодовой температурой приземного воздуха и атмосферными осадками на ГМС Якутск (Центральная Якутия). Они берут начало с мая 1829 г. (рис. 1) [5]. Однако наличие значительных перерывов в 1850–1870-х гг. ограничило начало непрерывного ряда 1882 г. (138 лет).

Выбор метеостанции Якутск не случаен. Он обусловлен не только максимальной для Восточной Сибири продолжительностью ряда наблюдений, но и географическим положением. Станция расположена на Центрально-Якутской равнине, обрамленной с востока и юга цепями горных хребтов, блокирующими вторжения воздушных масс с акватории Тихого океана. Она также значительно удалена от теплых воздушных масс Атлантики и имеет хороший отклик на изменение солнечной активности (СА) [5, 3]. Наши исследования Сибирского антициклона и современного потепления показали, что ряды наблюдений ГМС Якутск являются высокорепрезентативными не только для большей части Среднесибирского плоскогорья, но и для всего Северного полушария [5].

В качестве показателя СА использовался Цюрихский ряд чисел Вольфа продолжительностью более 300 лет.

Цель работы – методами численного моделирования нестационариных процессов в рядах метеорологии ГМС Якутск (среднегодовые температуры и атмосферные осадки) и чисел Вольфа исследовать солнечно-тропосферные связи на уровне внутривековых и вековых осцилляций в приложении к обоснованию долгосрочного географического прогноза.

Задачи:

– уточнить тенденции изменений климата и солнечной активности за последнее столетие путем вычисления линейных трендов в рядах метеонаблюдений и чисел Вольфа;

– методом скользящих средних выполнить моделирование кривых тепло- и влагообеспеченности климата по ходу векового цикла солнечной активности;

– исследовать закономерности флуктуаций климата под влиянием фактора глобальной циркуляции атмосферы и гармонических осцилляций СА;

– определить наиболее вероятные изменения и грядущие аномалии климата в приложение к долгосрочному географическому прогнозу и прежде всего климатическому и мерзлотному.

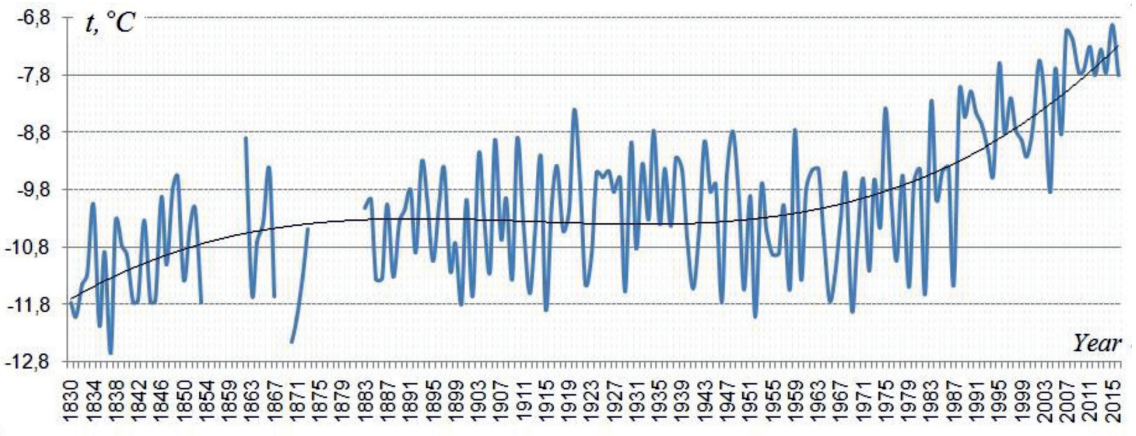


Рис. 1. График средней температуры в Якутске с 1830 по 2016 г. [5]

Результаты исследования и их обсуждение

Вычисление линейных трендов в рядах температуры и атмосферных осадков станции Якутск в графическом сопоставлении с линейным трендом чисел Вольфа за XX в. показало, что прирост температуры лишь ненамного отставал от положительных трендов атмосферных осадков и чисел Вольфа, имеющих близкие показатели за рассматриваемый период (рис. 2 и 3).

Это свидетельствует о единых тенденциях в активности Солнца и динамике тропосферно-климатических процессов. Солнечная активность, как было показано М.С. Эйгенсоном [3], способна модулировать не только колебания климата на уровне гармоник 11-летнего цикла СА, но и более продолжительные – на долговременной основе. Совпадения линейных трендов температуры, атмосферных осадков и чисел Вольфа в наших моделях подтверждают выводы М.С. Эйгенсона и могут свидетельствовать в пользу влияния СА на глобальный климат, в том числе и на процесс развития современного потепления. Этот вывод подтверждается и результатами других исследований [6–8]. Моделирование рядов метеорологических элементов методами Фурье и вейвлет-анализа показало присутствие в их структуре осцилляций, близких к известным периодичностям солнечной ритмики: 11-летней (Швабе – Вольфа), 22-летней (Хэла), 35–40-летней (Брикнера) и др. [9, 10]. Однако прямое графическое сопоставление кривых Фурье исследуемых рядов и кривой чисел Вольфа показало, что отклик гармоник анализа Фурье в рядах метеорологических элементов на 11-летние осцилляции СА был неоднозначен. В одних случаях положительные аномалии температуры и атмосферного увлажнения совпадали с максимумами 11-летних циклов СА, в других – с минимумами, либо занимали промежуточное положение, тяготея то к ветви подъема, то к ветви спада 11-летнего цикла (рис. 4 и 5).

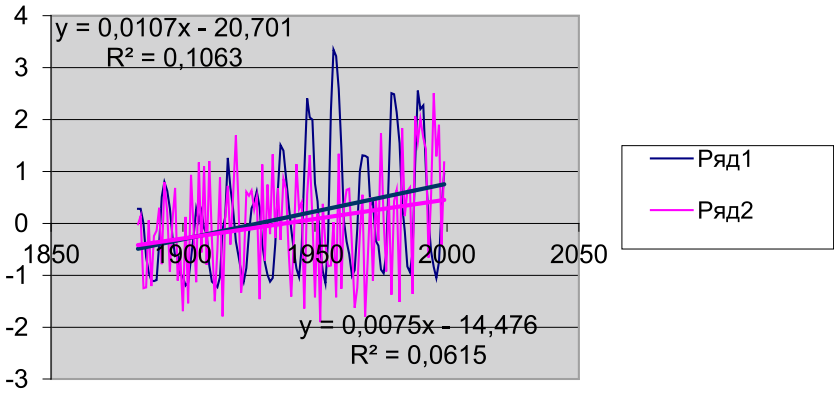


Рис. 2. Линейные тренды значений чисел Вольфа (1) и среднегодовой температуры по станции Якутск (2)

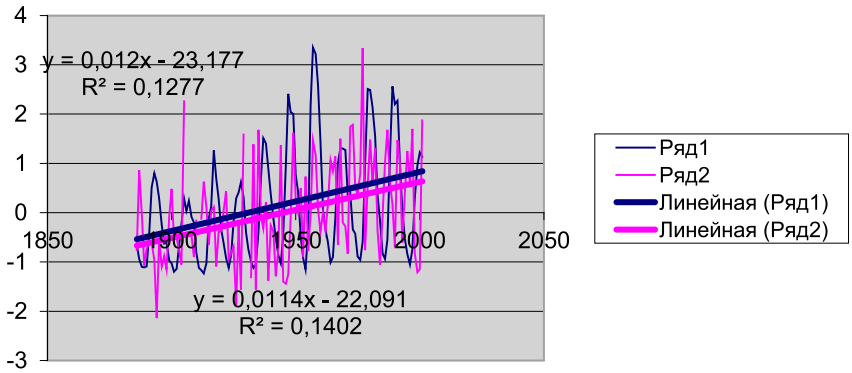


Рис. 3. Линейные тренды значений чисел Вольфа (1) и среднегодовых атмосферных осадков по станции Якутск (2)

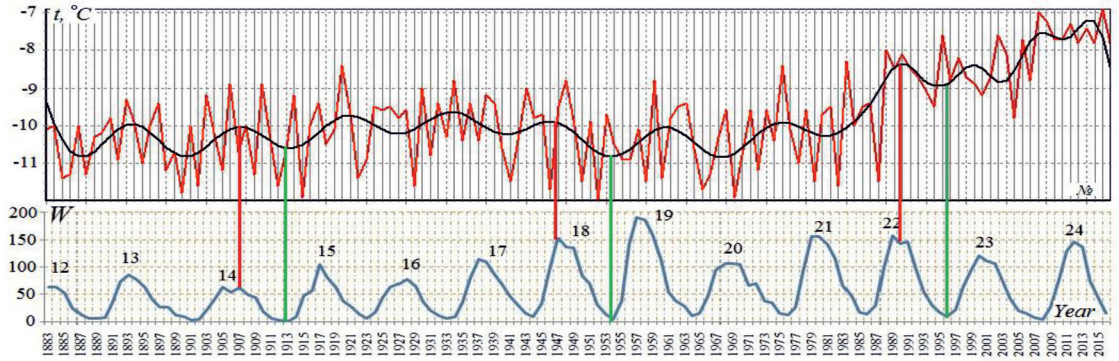


Рис. 4. Диаграммы значений среднегодовой температуры воздуха натурального ряда (°С) и анализа Фурье по данным ГМС Якутск и солнечной активности (W)

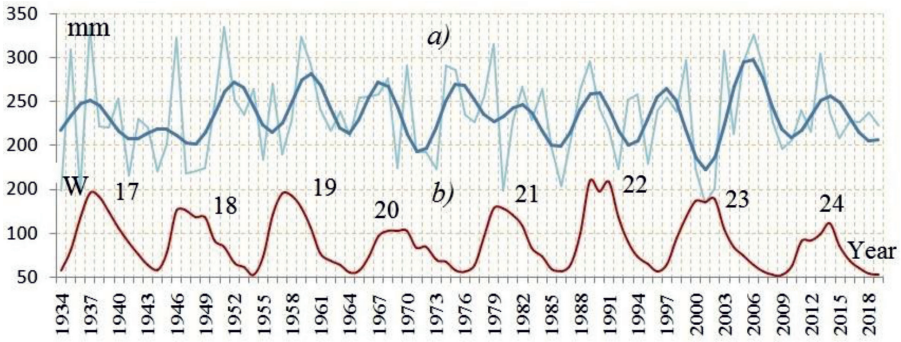


Рис. 5. Диаграмма значений среднегодовых атмосферных осадков натурального ряда (мм) и Фурье анализа по данным ГМС Якутск и солнечной активности (W)

Очевиден нелинейный характер солнечно-тропосферных связей. Он проявляется в устойчивом запаздывании по фазе гармонических осцилляций в рядах метеорологических элементов относительно аномалий 11-летнего цикла (максимумов и минимумов): на 1/4 периода температуры и на 1/2 – атмосферных осадков. Этой закономерности подчинен весь спектр ритмики, вскрытой нами в метеорологических рядах ГМС Якутск. На это указывают результаты как наших, так и других исследований [11–13].

В целом полученные результаты раскрывают большое влияние солнечных ритмов на динамику среднегодовой температуры и режим атмосферных осадков. Запаздывание по фазе отклика аномалий метеорологических элементов на аномалии СА могут свидетельствовать в пользу инерционности в отклике атмосферы на внешние энергетические воздействия, связанные с периодической деятельностью Солнца.

Как известно, при оценке климата любого региона Земли важную роль играет сочетание тепла и влаги. Поэтому исследования по поиску закономерностей в многолетней изменчивости тепло- и влагообеспеченности климата представляются актуальными. Путем математического моделирования метеорологических рядов ГМС Якутск (среднегодовые температуры и атмосферные осадки) была построена модель тепловлагообеспеченности климата (рис. 6). Модель показала чередование в XX в. четырех климатических интервалов: холодного и сухого (ХС); теплого и сухого (ТС); холодного и влажного (ХВ); теплого и влажного (ТВ). При этом была выявлена очень важная закономерность – ходы кривой температуры опережали ходы кривой атмосферных осадков на 1/4 каждой внутривековой ритмической волны. Ранее подобное запаздывание кривой увлажненности относительно теплообеспеченности было открыто Е.В. Максимовым при палеогеографических реконструкциях долгопериодичных – тысячелетних и многотысячелетних климатических циклов. Это явление было названо им правилом Иверсена – Гричук [14].

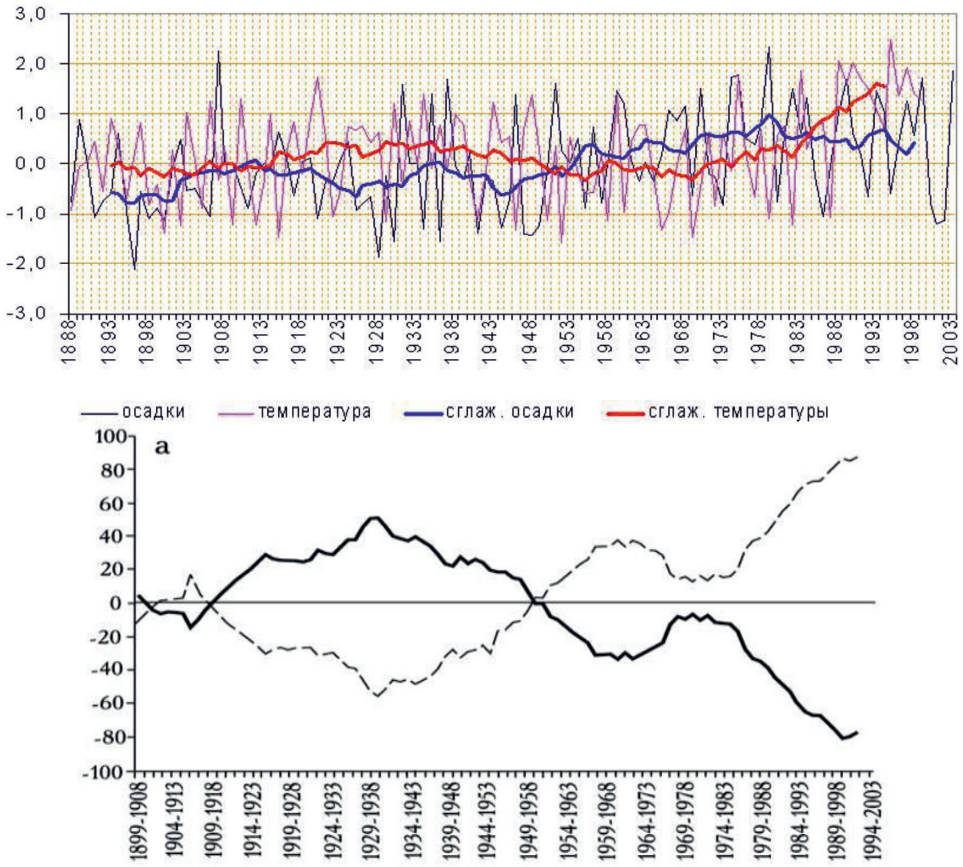


Рис. 6. Диаграмма среднегодовой температуры приземного воздуха и атмосферных осадков (11-летние скользящие) по данным метеостанции Якутск и атмосферная циркуляция (сплошная линия – зональная, пунктирная – меридиональная) (а)

Представляется, что в основе этого явления, в рамках глобальных долгопериодичных ритмов, лежат колебания в соотношении площади поверхности морей Мирового океана и суши. При трансгрессиях уровня мирового океана, сопровождавшихся значительным обводнением континентов, доминировали влажные климатические интервалы, при регрессиях, сопровождавшихся похолоданиями и приростом суши за счет формирования значительного по площади ледового покрова арктических (и отчасти внутренних) морей, напротив – сухие. Эти процессы достаточно отчетливо фиксируются в чередовании ландшафтных смен позднего неоплейстоцена и голоцена в Якутии и других территориях. Увлажненность климата и сегодня оказывает значительное влияние на природные процессы в Якутии. В качестве примера можно привести реакцию горных ледников Якутии на современное потепление. Так, ледники хр. Сунтар Хаята (Южное Верхоятье), входящие в область влияния влагонесущих воздушных масс с Тихого океана при близких параметрах абсолютных высотных отметок с ледниками хребтов системы Черского, занимающими внутриконтинентальное положение (в зоне высокой континентальности климата), имеют вдвое большие площади. Значительное иссушение климата Якутии, по сравнению с настоящим временем, было установлено для XIX в. – времени завершающей фазы похолодания Малого ледникового периода, когда ледовитость арктических морей была максимальной. Сухой климат этого периода не мог, как и в случае с внутриконтинентальными хребтами системы Черского, сдерживать активное таяние льдов при переходе от похолодания к потеплению. В современных условиях, при значительном сокращении площадей морского и наземного ледового покрова и росте общей увлажненности климата, процесс таяния льда, как

и в случае с ледниками Сунтар-Хаята, должен снизить свою динамику, а в отдельных случаях, вероятно, возможен даже прирост баланса массы отдельных ледников. Судя по динамике климата в XX в. основные волны (аномалии) потеплений и похолоданий в Якутии хорошо согласуются с динамикой глобальной атмосферы. Первая волна потепления, получившая название «Потепление Арктики 1930-х гг.», развивалась при усилении динамики западного переноса, вторая – от 1970-х гг. и по настоящее время развивается под влиянием циркуляции меридионального типа. При этом известное похолодание 1950–1960-х гг. проявилось в период общего ослабления циркуляции атмосферы при переходе одного ее типа в другой. Как и по ходу в 11-летних циклах, СА аномалии климата в рамках векового цикла тяготели к экстремумам этого цикла – максимуму и минимумам. Ранее подобное явление применительно к 11-летнему циклу было описано А.Л. Чижевским [15].

При оценке отклика криолитозоны на потепление климата и разработки геокриологических и общегеографических прогнозов необходимо учитывать большую инерционность географической оболочки и прежде всего морских и наземных льдов к процессу потепления. Так, таяние ледового покрова Северного Ледовитого океана, несмотря на активное потепление климата, начавшееся в середине 1970-х гг., до начала текущего столетия было незначительно. Однако в 2007 г., спустя более 30 лет от начала потепления, океан одномоментно потерял 25% своего ледового покрова. Последнее необходимо учитывать при разработках геокриологических прогнозов для Арктики и Субарктики, дабы снизить риски и избежать угрозы неожиданных и опасных природных катастроф.

Чего же следует ожидать в будущем?

Теплая и сухая фаза климата, развернувшаяся на равнинах Якутии в начале текущего столетия, продолжится в будущем еще как минимум на два-три десятилетия. Сильные засухи, подобные засухам 1920-х гг., вызвавшим голодомор и совпавшим с пандемией «испанки» и других инфекционных заболеваний (брюшной тиф, оспа, холера и др.), могут сохранить усиленную динамику в самое ближайшее время (2021–2025 гг.), а также в 2040-е и 2070-е гг. Об этом свидетельствуют как развивающаяся современная глубокая теплая климатическая аномалия, так и вся климатическая структура предыдущего векового цикла. В настоящее время мы находимся в начале второй волны 11-летнего цикла по ходу нового векового зародившегося 12 лет назад (2009 г.). Сотню лет назад в мире развернулась пандемия «испанки», возможно, вернувшейся к нам сегодня в обличии «COVID-19». В ту пору в Якутии горели леса, усиливали динамику опасные криогенные процессы, трансформировался режим наледей, половодий и паводковых волн, сейсмических проявлений и др. Развитие текущей теплой фазы климата также будет модулировать в самое ближайшие время активизацию широкомасштабных лесных пожаров и опасных криогенных явлений и процессов, связанных с вытаиванием пластовых и жильных льдов, площадным распространением термокарста, усиления динамики надмерзлотных подземных вод, солифлюкции, суффозии, процессов подтопления и заболачивания и др. Кроме того, можно ожидать всплеска опасных гидрологических, гидрогеологических и сейсмо-тектонических проявлений, особенно в периоды, близкие к переломам по ходу 11-летних солнечных циклов.

Заключение

Результаты анализа солнечно-тропосферных связей на уровне моделей линейных трендов и цикличности нестационарных процессов в многолетних рядах метеонаблюдений станции Якутск (среднегодовая температура приземного воздуха и атмосферные осадки) в графическом сопоставлении с ходами чисел Вольфа показали единство тенденций в активности Солнца и динамике рядов метеорологических элементов. В качестве важной закономерности следует отметить нелинейность гармонических колебаний на Солнце и в атмосфере. Выявлено устойчивое запаздывание по фазе на 1/4 периода – температуры и 1/2–осадков, относительно аномалий 11-летнего цикла СА (максимумов и минимумов). Причина этого явления представляется в инерционности отклика присущей всем геосферам географической оболочки на воздействие внешних энергетических импульсов. Не менее интересна выявленная внутривековая изменчивость тепло- и влагообеспеченности климата. Она проявляется в том, что пики температуры, опережая пики увлажненности на 1⁄4 ритмической волны, создают условия для чередования периодов холодного и сухого, теплого и сухого, холодного и влажного, теплого и влажного климата. Согласно выявленным гелиогеофизическим предпосылкам, силь-

ные засухи следует ожидать в первой половине – середине 2020-х гг. (2021–2025), а также в 2040-е и начале 2070-х гг. Они будут чередоваться либо совпадать (на отдельных участках) с сезонами, отличающимися ливневым характером атмосферных осадков. Эти явления будет модулировать периодичность широкомасштабных лесных пожаров и усиление динамики всего спектра опасных экзогенных геологических процессов. Во временных диапазонах, близких к минимумам и максимумам 11-летнего цикла, следует ожидать усиление рисков гидрологических, гидрогеологических и сейсмо-тектонических проявлений. Если обсуждать тенденции глобальных климатических изменений, то на сегодня нет оснований ожидать перехода к глобальному похолоданию. Это следует из многовекового режима солнечной активности, определяющей режим атмосферной циркуляции планеты. При этом периодические возвраты холодов возможны в периоды ослабления циркуляции атмосферы при переходах от одного типа циркуляции к другому, а также на волнах стоковых течений холодного воздуха из приполярных широт.

Список литературы / References

1. Шац М.М., Скачков Ю.Б. Климат севера: потепление или похолодание? // Климат и природа. 2016. № 2 (19). С. 27–37.

Shats M.M., Skachov Yu.B. Climate of the nortn: warming or cooling // Klimat i priroda. 2016. № 2 (19). P. 27–37 (in Russian).

2. Дьяков А.В. Предвидение погоды на длительные сроки на энергоклиматической основе. Иркутск: Полимакс, 1953/2011. 157 с.

Dyakov A.V. Forecasting the weather for a long time on an energy-climatological basis. Irkutsk: Polimax, 1953/ 2011. 157 p. (in Russian).

3. Эйгенсон М.С. Солнце, погода и климат. Л.: Гидрометеоиздат, 1963. 273 с.

Eigenson M.S. The sun, the weather and climate (L.: Gidrometeoizdat, 1963. 273 p. (in Russian).

4. Слепцов-Шевлевич Б.А. Геофизические основы морских гидрологических прогнозов. М., 1991, 109 с.

Sleptsov-Shevlevich B.A. Geophysical Foundations of Marine Hydrological Forecasts. M., 1991. 109 p. (in Russian).

5. Поморцев О.А., Кашкаров Е.П., Ловелиус Н.В. Биоклиматическая хронология голоцена: реконструкция и прогноз // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2015. № 3 (47). С. 100–115.

Pomortsev O.A. Kashkarov E.P., Lovelius N.V. Bioclimatic chronology of the Holocene: reconstruction and forecast // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. 2015. № 3 (47). P. 100–115 (in Russian).

6. Perez Peraza J., Dorman L., Libin I. Space Sources of the Earth´s Climate. Padova: Euromedia, 2011. 368 p.

7. Либин И.Я., Перес Пераса Х., Янке В.Г., Дорман Л.И., Трейгер Е.М. Гелиоклиматология: внеземные источники земного климата // Успехи современного естествознания. 2012. № 7. С. 67–70.

Libin I.Ya., Perez Perasa Kh., Yanke V.G., Dorman L.I., Treiger E.M. Helioclimatology: Extraterrestrial Sources of the Earth's Climate // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2012. No. 7. P. 67–70 (in Russian).

8. Авакян С.В. Роль активности Солнца в глобальном потеплении // Вестник Российской Академии наук. 2013. Т. 83. № 5. С. 425–436.

Avakyan S.V. The role of solar activity in global warming // Vestnik Rossiyskoy Akademii nauk. 2013. T. 83. № 5. P. 425–436 (in Russian).

9. Trofimtsev Y.I., Pomortsev O.A., Popov V.F., Pomortseva A.A. Numerical modeling of harmonics in meteorological time series. AIP Conference Proceedings, 2017. P. 030025.

10. Pomortseva A.A., Pomortsev O.A., Popov V.F., Trofimtsev Y.I. TheInfluence of Solar Activity Rhythms on Precipitation Cycles during Climate Change in Central Yakutia International science and technology conference «Earth science» IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2021. P. 012018.

11. Pomortsev O.A., Pomortseva A.A., Trofimtsev Y.I. Cyclic Organization of Geological Environment: Permafrost Zone of Yakutia International science and technology conference «Earth science» IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science., 2019. P. 022059.

12. Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Молодых С.И., Кириченко К.Е. Влияние солнечной активности на температуру тропосферы и поверхноти океана // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2013. Т. 6. № 1. С. 61–79.

Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I., Kirichenko K.E. Influence of solar activity on the temperature of the troposphere and ocean surface // Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Nauki o Zemle». 2013. Vol. 6. № 1. P. 61–79 (in Russian).

13. Жеребцов Г.А. Основные физические процессы в атмосфере Земли, криосфере и океане, определяющие особенности климатических изменений в XX в. и их связь с солнечной активностью // Солнечно-земная физика. 2011. Вып. 18. С. 40–50.

Zherebtsov G.A. The main physical processes in the Earth's atmosphere, cryosphere and ocean that determine the features of climate change in the twentieth century and their connection with solar activity // Solnechno-zemnaya fizika. 2011. Vyp. 18. P. 40–50 (in Russian).

14. Максимов Е.В. Ритмы на Земле и в Космосе. Тюмень: Мандер и Ка. 2005. 312 с.

Maksimov E.V. Rhythms on Earth and in space. Tyumen': Mander i Ka. 2005. 312 p. (in Russian).

15. Чижевский А.Л. Земное эхо солнечных бурь. М., 1976, 366 с.

Chizhevsky A.L. Earthly echo of Solar storms. M., 1976. 366 p. (in Russian).

УДК 911:332.13

ТИПОЛОГИЯ РЕГИОНОВ РОССИИ ПО СТЕПЕНИ ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРОЦЕССА ГЛОБАЛЬНОЙ ДЕКАРБОНИЗАЦИИ ЭКОНОМИКИ

Сафиуллин Р.Г.

Институт социально-экономических исследований – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской академии наук», Уфа, e-mail: SafiullinRG@yandex.ru

Процесс глобальной декарбонизации экономики, набирающий с каждым годом все большие обороты, ставит перед регионами России научно-прикладную задачу типологии регионов по степени зависимости территориально-структурной трансформации от процесса глобальной декарбонизации экономики. Вводимые ограничения для стран с высокоуглеродной экономикой: новые технико-технологические требования, ограничения на импорт товаров и услуг, введение углеводородного налога, снижение объемов инвестиций, запрет на участие в проектах, не соответствующих условиям декарбонизации экономики, создают территориально-структурные риски для регионов России. Статья посвящена разработке методического подхода типологии регионов России по степени зависимости территориально-структурной трансформации регионов от процесса глобальной декарбонизации экономики. Географические исследования проблем территориально-структурной трансформации регионов России в связи с глобальной декарбонизацией экономики немногочисленны и посвящены отдельным частным проблемам. Степень зависимости территориально-структурной трансформации регионов России от процессов глобальной декарбонизации выполнена на основе анализа и оценки объемов производства валового регионального продукта, функциональной специализации на добыче полезных ископаемых, топливно-энергетических видах деятельности, сельском, лесном и рыбоводческом производствах, строительстве, грузо- и пассажироперевозках различными видами транспорта и отраслевой структуры валовой добавленной стоимости. Выделены следующие типы регионов России с высокой степенью территориально-структурной зависимости декарбонизации экономики: регионы с преимущественно топливно-энергетической специализацией; преимущественно сырьевой специализацией; преимущественно аграрной, лесохозяйственной и рыбоводческой специализацией; преимущественно строительной специализацией и регионы с преимущественно транспортной специализацией. Определены приоритетные прикладные и исследовательские задачи по обеспечению территориально-структурной трансформации регионов России.

Ключевые слова: глобальная декарбонизация, регионы, производственная специализация, типология, Россия

TYPOLOGY OF RUSSIAN REGIONS ACCORDING TO THE DEGREE OF DEPENDENCE ON THE PROCESS OF GLOBAL DECARBONIZATION OF THE ECONOMY

Safiullin R.G.

Institute of socio-economic research – a separate structural division of the Federal state budgetary scientific institution of the Ufa Federal research center of the Russian Academy of Sciences, Ufa, e-mail: SafiullinRG@yandex.ru

The process of global decarbonization of the economy, which is gaining momentum every year, poses to the regions of Russia the scientific and applied task of typology of regions according to the degree of dependence of territorial and structural transformation on the process of global decarbonization of the economy. The restrictions imposed for countries with a high carbon economy: new technical and technological requirements, restrictions on the import of goods and services, the introduction of a hydrocarbon tax, a reduction in investment volumes, a ban on participation in projects that do not meet the conditions of decarbonization of the economy, create territorial and structural risks for the regions of Russia. The article is devoted to the development of a methodological approach to the typology of Russian regions according to the degree of dependence of the territorial and structural transformation of regions on the process of global decarbonization of the economy. Geographical studies of the problems of territorial and structural transformation of Russian regions in connection with the global decarbonization of the economy are few and devoted to individual private problems. The degree of dependence of the territorial and structural transformation of Russian regions on the processes of global decarbonization is based on the analysis and assessment of the volume of production of the gross regional product, functional specialization in mining, fuel and energy activities, agriculture, forestry and fish farming, construction, cargo and passenger transportation by various modes of transport and the sectoral structure of gross value added. The following types of Russian regions with a high degree of territorial and structural dependence of the decarbonization of the economy are identified: regions with mainly fuel and energy specialization; mainly raw materials specialization; mainly agricultural, forestry and fish farming specialization; mainly construction specialization and regions with mainly transport specialization. Priority applied and research tasks to ensure the territorial and structural transformation of the regions of Russia have been identified.

Keywords: global decarbonization, regions, industrial specialization, typology, Russia

Сложившееся глобальное и региональное территориальное разделение труда в перспективе подвергнется кардинальной трансформации в результате декарбонизации экономики стран мира из-за изменений в ценообразовании товаров и услуг. Декарбонизация экономики стран направлена на исключение выбросов в атмосферу пар-

никовых газов с целью минимизации причиняемого ими социально-экономического ущерба и предотвращения глобального потепления климата.

В исследованиях проблем декарбонизации экономики обычно рассматривают энергетику и промышленные производства, которые могут пострадать от введения углеродного налога, или отдельные корпорации нефтегазохимического профиля [1–3]. Слабо представлены исследования по проблеме декарбонизации сельского хозяйства, являющегося третьим сектором экономики в России по объемам выбросов парниковых газов.

Географические исследования проблем территориально-структурной трансформации регионов России в связи с глобальной декарбонизацией экономики немногочисленны. Они посвящены отдельным частным проблемам, имеющим косвенное, редко прямое отношение к декарбонизации экономики регионов. Это работы Акимовой А.А. по типологии стран исходя из уровня развития солнечной энергетики [4], Дехнич В.С., Дронина Н.М. по оценке выбросов парниковых газов коммунальным сектором [5], Лопатникова Д.Л. по определению географии мировой эмиссии углекислого газа [6], Пакиной А.А. и Тульской Н.И. по углеродоемкости экономики Татарстана [7].

Цель исследования заключается в разработке методического подхода типологии регионов России по степени зависимости территориально-структурной трансформации регионов от процесса глобальной декарбонизации экономики. Это выполнено на основе анализа и оценки объемов производства валового регионального продукта, функциональной специализации регионов на добыче полезных ископаемых, топливно-энергетических видах деятельности, сельском, лесном и рыбоводческом производствах, строительстве, грузо- и пассажироперевозках различными видами транспорта и отраслевой структуры валовой добавленной стоимости.

Научная новизна исследования в том, что в работах, посвященных проблемам декарбонизации экономики, отсутствуют научные подходы и методики типологии регионов России по степени зависимости их территориально-структурной трансформации от процесса глобальной декарбонизации экономики исходя из природных особенностей, производственной специализации, степени и масштабов экспортной ориентированности производства валового регионального продукта.

Материалы и методы исследования

Нами определен перечень количественных параметров оценки степени зависимости территориально-структурной трансформации регионов России от процесса глобальной декарбонизации экономики. На основе анализа и оценки объемов производства валового регионального продукта, функциональной специализации на добыче полезных ископаемых, топливно-энергетических видах деятельности, сельском, лесном и рыбоводческом производствах, строительстве, грузо- и пассажироперевозках различными видами транспорта и отраслевой структуры валовой добавленной стоимости проведена типология регионов страны.

Использованы сравнительный, территориальный, аналитический и экономико-статистический методы научного исследования.

Результаты исследования и их обсуждение

Около 40% российского экспорта товаров/услуг в страны ЕС подпадает под углеводородное налогообложение за выбросы парниковых газов. Это относится к таким экспортно ориентированным сферам экономики России: нефтедобывающая, нефтеперерабатывающая, нефтехимическая, химическая (экспорт минеральных удобрений), черная и цветная металлургия, угольная, цементная, лесоперерабатывающая, целлюлозно-бумажная промышленность, сельское хозяйство (экспорт зерна, мяса), воздушный, автомобильный, трубопроводный, речной и морской виды транспорта. Ежегодный совокупный размер углеводородного налога российской экспортной экономики в бюджет ЕС за парниковые выбросы эксперты оценивают от 6 до 50 млрд евро. В 2020 году стоимость выброса 1 тонны углекислого газа в Европе увеличилась с 30 до 40 евро, и аналитиками прогнозируется дальнейший рост стоимости до 2030 года [8].

Исследование проблем территориально-структурной декарбонизации регионов предполагает сравнение зависимости и реакции экономики России и ее регионов на изменения мировых трендов декарбонизации. Количественные параметры выбросов парниковых газов производствами и предприятиями различных секторов экономики определяют степень зависимости территориально-структурной трансформации регионов России в связи с декарбонизацией экономики.

Степень территориально-структурной зависимости декарбонизации экономики регионов России может определяться совокупностью интегральных, частных социально-экономических параметров и показателей. В качестве интегральных критериев оценки степени территориально-структурной зависимости декарбонизации экономики нами предлагается сопоставление количественных параметров производства ВРП и отраслевой структуры валовой добавленной стоимости, специализирующих производств. Масштабы производства ВРП регионов определяют абсолютную степень территориально-структурной зависимости декарбонизации экономики. При этом имеет значение сопоставительный анализ масштабов ВРП и отраслевой структуры валовой добавленной стоимости регионов страны. Это определяется долей добычи полезных ископаемых (топливно-энергетических, рудных, химических, строительных и др.), объемами производства электроэнергии и теплоэнергии, сельского, лесного хозяйства и рыбоводства, объемами строительного производства и грузоперевозок различными видами транспорта. Доля этой группы видов хозяйственной деятельности в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости регионов России в среднем составляет 35,4 %. В табл. 1 представлена выборка субъектов России, имеющих объемы производства ВРП более 1 трлн рублей, и отражена их отраслевая структура валовой добавленной стоимости.

Таблица 1

Структура ВРП некоторых субъектов России (2018)*

Республики, края, области, АО	ВРП в текущих ценах, трлн руб.	Отраслевая структура валовой добавленной стоимости, в %						
		Всего	По отраслям экономики					
			Добыча полезных ископаемых	Транспортировка и хранение	Строительство	Сельское, лесное хозяйство и рыбоводство	Обеспечение электроэнергией, газом и паром	Прочие
Российская Федерация	85,0	100,0	14,8	7,6	5,6	4,3	3,1	64,6
Республика Башкортостан	1,7	100,0	3,2	6,1	6,2	6,0	2,6	75,9
Республика Татарстан	2,5	100,0	30,5	5,8	8,1	5,7	2,1	47,8
Республика Саха (Якутия)	1,1	100,0	51,5	6,3	9,6	1,6	4,3	26,7
Иркутская область	1,4	100,0	31,5	9,8	6,0	4,8	5,5	42,4
Кемеровская область	1,2	100,0	36,7	6,2	3,6	1,9	3,9	47,7
Ленинградская область	1,1	100,0	0,7	13,1	7,0	4,9	5,5	68,8
Московская область	4,2	100,0	0,2	6,6	5,2	1,7	2,8	83,5
Нижегородская область	1,4	100,0	0,1	7,1	4,8	2,7	3,3	82,0
Новосибирская область	1,3	100,0	4,0	14,3	3,7	3,7	2,5	79,3
Оренбургская область	1,0	100,0	41,0	4,4	6,8	7,2	3,1	37,5
Ростовская область	1,5	100,0	1,2	7,8	5,7	10,2	4,5	70,6
Самарская область	1,5	100,0	20,8	7,2	4,1	3,9	3,4	60,6
Сахалинская область	1,2	100,0	71,0	3,4	2,7	3,1	1,1	18,7
Свердловская область	2,3	100,0	1,6	8,7	4,2	2,4	4,3	78,8
Тюменская область (без АО)	1,3	100,0	20,3	9,5	7,6	3,0	2,4	57,2

Окончание табл. 1

Республики, края, области, АО	ВРП в текущих ценах, трлн руб.	Отраслевая структура валовой добавленной стоимости, в %						
		Всего	По отраслям экономики					
			Добыча полезных ископаемых	Транспортировка и хранение	Строительство	Сельское, лесное хозяйство и рыбоводство	Обеспечение электроэнергией, газом и паром	Прочие
Челябинская область	1,5	100,0	2,6	6,6	5,8	5,4	3,0	76,6
Краснодарский край	2,4	100,0	1,2	16,3	6,9	10,6	2,3	62,7
Красноярский край	2,3	100,0	25,6	5,9	4,6	2,5	3,9	57,5
Пермский край	1,3	100,0	22,4	4,6	4,2	2,2	2,7	63,9
ХМАО	4,5	100,0	73,3	4,7	5,2	0,2	1,8	14,8
ЯНАО	3,1	100,0	67,3	3,8	12,4	0,1	1,1	15,3

*Таблица составлена и рассчитана автором по: [9, с.490-491, 504-507].

Регионы страны, имеющие более высокую долю этой группы видов хозяйственной деятельности в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости в сравнении со среднероссийским показателем, в перспективе столкнутся с большим количеством проблем в территориально-структурной трансформации экономики в условиях глобальной декарбонизации.

Нами выделены следующие пять типов регионов России с высокой степенью зависимости территориально-структурной декарбонизации экономики исходя из функциональной производственной специализации и отраслевой структуры валовой добавленной стоимости:

1. Регионы страны с преимущественно топливно-энергетической зависимостью декарбонизации экономики, специализирующиеся на производстве продукции топливно-энергетического комплекса.

2. Регионы с преимущественно сырьевой зависимостью декарбонизации экономики, специализирующиеся на добыче полезных ископаемых.

3. Регионы с преимущественно аграрной, лесохозяйственной и рыбоводческой зависимостью декарбонизации экономики.

4. Регионы с преимущественно строительной специализацией зависимости декарбонизации экономики.

5. Регионы страны с преимущественно транспортной специализацией зависимости декарбонизации экономики (табл. 2).

На основе такой перспективной типологии региональных систем можно перейти к территориально-структурному моделированию зависимости декарбонизации экономики стран и регионов исходя из страновой и глобальной производственной специализации.

Ведущие страны мира (США, страны ЕС, Китай, Индия и др.) активно инвестируют в разработки и внедрения низко- и безуглеродных технологий в таких секторах экономики, как промышленность, лесное и сельское хозяйство, автотранспорт, ЖКХ. Россия пока не включилась в этот мировой тренд развития. Заявленная Россией цель сокращения выбросов парниковых газов к 2030 году до уровня 70% от уровня выбросов 1990 года свидетельствует о том, что новый вызов по глобальной декарбонизации экономики не принят. В России к 2030 году планируется увеличить выбросы парниковых газов по сравнению с 2019 годом на 1145 млн т CO2-эквивалента. Консолидированная позиция членов бюро РСПП заключается в следующем: «Российский бизнес не намерен мириться с введением Евросоюзом так называемого углеводородного налога… Этот сбор носит исключительно протекционистский характер, а главная его цель – поддержка конкурентоспособности европейских производителей за счет ее снижения у производителей из других стран» [10, с. 74].

Основными загрязнителями воздушной среды выбросами парниковых газов в России являются предприятия энергетики (нефтяная, газовая, угольная промышленность, тепловая электроэнергетика), промышленный и аграрный сектора экономики. Выбросы парниковых газов в России по секторам экономики с учетом возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем увеличились к 2019 году до 1585 млн т CO2-эквивалента (табл. 3).

Таблица 2

Типология регионов Российской Федерации по степени территориально-структурной зависимости от процессов декарбонизации экономики*

№ п/п	Специализация регионов страны	Доля специализирующихся производств в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости региональных экономик, определяющих степень территориально-структурной зависимости декарбонизации региона,%	Диапазон изменений степени территориально-структурной зависимости декарбонизации регионов	Регионы страны с высокой степенью территориально-структурной зависимости декарбонизации экономики
1	Регионы с преимущественно топливно-энергетической специализацией	Доля производства продукции топливно-энергетической специализации в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости региональных экономик в 2,5 и более раз выше от среднероссийского уровня (3,1%)	От 7,6 до 13,7%	Костромская, Саратовская, Смоленская, Тверская области, Карачаево-Черкесская Республика, Республика Хакасия, Чукотский АО
2	Регионы с преимущественно сырьевой специализацией	Доля производств, специализирующихся на добыче полезных ископаемых в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости региональных экономик, в 1,5 и более раз выше среднероссийского уровня (14,8%)	От 22,2 до 83,2%	Архангельская, Астраханская, Белгородская, Иркутская, Кемеровская, Магаданская, Оренбургская, Сахалинская, Томская, Тюменская области, Ненецкий АО, ХМАО, ЯНАО, Республики Коми, Саха (Якутия), Татарстан, Тыва, Удмуртская Республика, Красноярский, Пермский края, Чукотский АО
3	Регионы с преимущественно аграрной, лесохозяйственной и рыбоводческой специализацией	Доля специализирующихся производств сельского, лесного хозяйства и рыбоводства в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости региональных экономик в 2,5 и более раз выше среднероссийского уровня (4,3%)	От 11,1 до 25,9%	Белгородская, Брянская, Воронежская, Курская, Липецкая, Мурманская, Орловская, Пензенская, Псковская, Тамбовская области, Республики Адыгея, Алтай, Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкарская, Карачаево-Черкесская, Калмыкия, Марий-Эл, Мордовия, Северная Осетия – Алания, Чеченская, Алтайский, Камчатский, Ставропольский края
4	Регионы с преимущественно строительной специализацией	Доля строительной индустрии в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости региональных экономик в 2 и более раза выше среднероссийского уровня (5,6%)	От 10,5 до 16,4%	Амурская, Ленинградская, Тамбовская области, Республики Дагестан, Ингушетия, Кабардино-Балкарская, Чеченская, Крым, ЯНАО, Еврейская АО
5	Регионы с преимущественно транспортной специализацией	Доля объемов грузоперевозок всеми видами транспорта в отраслевой структуре валовой добавленной стоимости региональных экономик в 1,5 и более раз выше среднероссийского уровня (7,6%)	От 11,3 до 27,2%	Амурская, Вологодская, Ленинградская, Новосибирская, Ярославская области, Республики Калмыкия, Карелия, Забайкальский, Краснодарский, Приморский, Хабаровский края, Еврейская АО

*Составлена и рассчитана автором по: [9, с. 504-507].

Таблица 3

Выбросы парниковых газов в России по секторам экономики (млн т CO2-эквивалента в год)*

Сектора	2005	2010	2015	2019
Энергетика	1584	1635	1617	1668
Промышленные процессы и использование промышленной продукции	207	196	219	237
Сельское хозяйство	105	104	109	114
Лесное хозяйство и изменение землепользования**	-531	-714	589	-535
Отходы	70	78	92	100
Всего, без учета лесного хозяйства и изменения землепользования	1965	2013	2036	2119
Всего, с учетом лесного хозяйства и изменения землепользования	1435	1300	1447	1585

*Составлена автором по: [11].

**Знак «минус» означает абсорбцию парниковых газов из атмосферы.

Доля энергетики в суммарных выбросах парниковых газов в России, без учета возможной поглощающей способности лесов и иных экосистем, в 2005 году достигала 80,6%, в 2019 году – 78,7%.

Выводы

Формирование проектов территориально-структурной декарбонизации регионов страны является новым актуальным научно-прикладным экономико-географическим направлением. Исследование проблем территориально-структурной декарбонизации регионов предполагает сравнение зависимости и реакции экономики России и ее регионов на изменения мировых трендов декарбонизации. Количественные параметры выбросов парниковых газов производствами и предприятиями различных секторов экономики определяют степень зависимости территориально-структурной трансформации регионов России в связи с декарбонизацией экономики.

Предложен методический подход типологии регионов России по степени зависимости их территориально-структурной трансформации от процесса глобальной декарбонизации на основе производственной специализации и отраслевой структуры валовой добавленной стоимости. Выделены пять типов регионов России с высокой степенью территориально-структурной зависимости декарбонизации экономики: регионы с преимущественно топливно-энергетической специализацией; преимущественно сырьевой специализацией; преимущественно аграрной, лесохозяйственной и рыбоводческой специализацией; преимущественно строительной специализацией и регионы с преимущественно транспортной специализацией.

Декарбонизация экономики России приведет к изменению энергетического сектора, транспорта, строительства, промышленности и сельского хозяйства. Более жесткими станут требования к земле- и лесопользованию. Одним из результатов перехода к низкоуглеродному развитию станет снижение спроса на ископаемое органическое топливо и повышение роли возобновляемых и других зеленых источников энергии, что приведет к сокращению в перспективе потребления ископаемого органического топлива и углеродоемких видов продукции, составляющих основу российской экономики и экспорта.

Становление карбоновой экономики в России можно сопоставить по степени влияния на трансформацию и развитие регионов в период формирования нефтяной экономики в стране в 1930-1985 годах в Урало-Поволжском и Западно-Сибирском нефтегазоносных районах.

Данное исследование выполнено в рамках государственного задания УФИЦ РАН № 075-00504-21-00 на 2021 г.

Список литературы / References

1. Порядин А., Белоглазова.О. Глобальная декарбонизация: эволюция подходов нефтегазовых компаний // Нефтегазовая вертикаль. 2021. № 7 (85). [Электронный ресурс]. URL: https://www.ey.com/ru_ru/oil-gas/global-decarbonization-evolution-of-oil-and-gas-companies-approaches (дата обращения: 03.11.2021).

Poryadin A., Beloglazova O. Global decarbonization: evolution of approaches of oil and gas companies // Neftegazovaya vertikal'. 2021. № 7 (85). [Электронный ресурс]. URL: https://www.ey.com/ru_ru/oil-gas/global-decarbonization-evolution-of-oil-and-gas-companies-approaches (date of access: 03.11.2021) (in Russian).

2. Карасевич В. Пути декарбонизации в российских нефтегазовых компаниях // Нефтегазовая вертикаль. 2021. № 6. С. 64–67.

Karasevich V. Ways of decarbonization in Russian oil and gas companies // Neftegazovaya vertikal'. 2021. № 6. P. 64–67 (in Russian).

3. Кулапин А. Энергетический переход: Россия в глобальной повестке // Энергетическая политика. 2021. № 7 (161). С. 10–15.

Kulapin A. Energy transition: Russia on the global agenda // Energeticheskaya politika. 2021. № 7 (161). P. 10–15 (in Russian).

4. Акимова А.А. Типология стран по уровню развития солнечной энергетики // Вестник МГУ. Серия 5. География. 2015. № 4. С. 96–104.

Akimova A.A. Typology of countries according to the level of development of solar energy // Vestnik MGU. Seriya 5. Geografiya. 2015. № 4. P. 96–104 (in Russian).

5. Дехнич В.С., Дронин Н.М. Расчет выбросов парниковых газов коммунальным сектором г.Астаны // Вестник МГУ. Серия 5. География. 2015. № 3. С. 35–40.

Dekhnich V.S., Dronin N.M. Calculation of greenhouse gas emissions by the municipal sector of Astana // Vestnik MGU. Seriya 5. Geografiya. 2015. № 3. P. 35–40 (in Russian).

6. Лопатников Д.Л. Вклад стран и регионов мира в мировую эмиссию углекислого газа как один из индикаторов изменений в глобальной геоэкологической панораме // Региональные исследования. 2019. № 4 (66). С. 120–129.

Lopatnikov D.L. Contribution of countries and regions of the world to global carbon dioxide emissions as one of the indicators of changes in the global geo-ecological panorama // Regional'nyye issledovaniya. 2019. № 4 (66). P. 120–129 (in Russian).

7. Пакина А.А., Тульская Н.И. Оценка углеродоемкости экономики Татарстана в целях управления природопользованием // Вестник МГУ. Серия 5. География. 2021. № 2. С. 110–115.

Pakina A.A., Tulskaya N.I. Assessment of the carbon intensity of the economy of Tatarstan for the purpose of environmental management // Vestnik MGU. Seriya 5. Geografiya. 2021. № 2. P. 110–115 (in Russian).

8. Ананькина Е. Углеродный налог – ощутимый, но не главный риск для российских энергетических компаний // Энергетическая политика. 2021. № 5 (159). С. 40–54.

Anankina E. Carbon tax is a tangible, but not the main risk for Russian energy companies // Energeticheskaya politika. 2021. № 5 (159). P. 40–54 (in Russian).

9. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020: Р32 Статистический сборник. М.: Росстат, 2020. 1242 с.

Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2020: P32 Statistical collection. M.: Rosstat, 2020. 1242 p. (in Russian).

10. Начало подготовки контрмер для противостояния углеродному налогу ЕС // Нефтегазовая вертикаль. 2021. № 1–2. С. 74.

The beginning of the preparation of countermeasures to counter the EU carbon tax // Neftegazovaya vertikal'. 2021. № 1–2. P. 74 (in Russian).

11. Федеральная служба государственной статистики. Окружающая среда. Климатические изменения. [Электронный ресурс]. URL: rosstat.gov.ru (дата обращения: 02.11.2021).

11. Federal State Statistics Service. Environment. Climate change. [Electronic resource]. URL: rosstat.gov.ru (date of access: 02.11.2021) (in Russian).

УДК 502.3

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКИХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УЛИЧНОЙ ПЫЛИ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА С РАЗМЕЩЕНИЕМ УГЛЕДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (НА ПРИМЕРЕ Г. МЕЖДУРЕЧЕНСКА, КЕМЕРОВСКАЯ ОБЛ.)

[1]Таловская А.В., [1]Осипова Н.А., [1]Язиков Е.Г., [2]Осипов К.Ю., [1]Сапрунова И.А., [1]Чурина С.С.

[1]ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, e-mail: talovskaya@tpu.ru;

[2]Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, e-mail: osipov@iao.ru

Для оценки экологической ситуации в промышленно-урбанизированных центрах в теплый период используется уличная пыль как индикатор техногенной трансформации территории. В статье приведены результаты оценки влияния угледобывающей промышленности на экологическую обстановку города по изучению уровней накопления редких и редкоземельных элементов в уличной пыли на примере г. Междуреченск, расположенного в Кемеровской области. Содержание микроэлементов в отобранных пробах уличной пыли определялось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Минерально-вещественный состав проб изучен на бинокулярном микроскопе и сканирующем электронном микроскопе. Отдельные пробы были просеяны с использованием стандартного набора сит для получения гранулометрических фракций 1000-100, 100-50, 50-20 мкм. В результате исследований выявлено, что пробы незначительно обогащены редкими и редкоземельными элементами (за исключением Ge и Zr) относительно кларка земной коры, что указывает на их литогенную природу. В то же время пробы уличной пыли обогащены изучаемым спектром химических элементов относительно их содержания в почвогрунтах города, что связано с влиянием техногенных источников. Пространственное распределение суммы редких и редкоземельных элементов показало зоны формирования геохимических ореолов на территории города за счет влияния местных источников и дальнего переноса выбросов от угледобывающих предприятий, расположенных в нескольких километрах от города. Специфика уличной пыли города отражается в интенсивном накоплении (20–56 %) редких и редкоземельных элементов в грубодисперсных фракциях частиц (1000–100 мкм), что указывает на их местное происхождение. Установлены значимые корреляционные связи между фракцией твердых частиц размером 10–50 мкм (PM10-50) и геохимической ассоциацией лантаноидов, которые сосредоточены в микрочастицах, близкие по составу к цериевым фосфатам.

Ключевые слова: уличная пыль, угледобывающие предприятия, экология города, геохимия, гранулометрические фракции

DISTRIBUTION OF RARE AND RARE-EARTH ELEMENTS IN STREET DUST WITHIN TOWN IMPACTED BY COAL PRODUCER INDUSTRY (AS AN EXAMPLE OF MEZHDURECHENSK, KEMEROVO REGION)

[1]Talovskaya A.V., [1]Osipova N.A., [1]Yazikov E.G., [2]Osipov K.Yu., [1]Saprunova I.A., [1]Churina S.S.

[1]National research Tomsk polytechnic university, Tomsk, e-mail: talovskaya@tpu.ru;

[2]V.E. Zuev Institute of atmospheric optics SB RAS, Tomsk, e-mail: osipov@iao.ru

Street dust is used as indicator of anthropogenic transformation of territory to assess the environment pollution in urban areas. The paper shows the assessment of coal producer environment impact in Mezhdurechensk (Kemerovo region) based on the study of rare and rare-earth element contents in street dust. It was used inductively coupled plasma mass spectrometry to study element composition in the collected samples. Mineral composition of the samples was investigated with binocular microscopy and scanning electron microscopy. Some samples were sieved though standard set of sieves to get fractions with grain size 1000-100, 100-50, 50-20 μm. It was identified that samples were less enrichment with rare and rare-earth elements (exclude Ge and Zr) relatively to Clarke of Earth's crust. This fact showed the nature sources of the elements. However, the samples were high enrichment with the studied elements relatively to element contents in soil of the town. These results were demonstrated the anthropogenic origin of the elements. The study of spatial distribution of rare and rare-earth elements sum revealed the areas of geochemical oriole's formation within the town under the impact of local sources and long-range transport of coal producer emissions. Specific of street dust was intensive accumulation of the elements in coarse fractions that shows the impact of local sources. We determined the high correlations between particulate matter (PM10-50) and lanthanides, which occurred in mode of cerium phosphates in the samples.

Keywords: street dust, coal producer plants, urban ecology, geochemistry, grain size fractions

На городских территориях в летний период одним из источников загрязнения атмосферы является уличная (дорожная) пыль, которая состоит как из частиц естественного, так и антропогенного происхождения. Изучение состава уличной

пыли становится все более актуальным, поскольку представляет собой информативный объект для эколого-геохимической оценки состояния городов в летний период [1; 2]. Проводятся исследования химического и гранулометрического состава дорожной пыли в основном в проезжих частях автодорог [3–5]. Исследования сопровождаются выделением мельчайших фракций дорожной пыли, как наиболее опасных для здоровья [6], изучением их магнитных свойств и выявлением взаимосвязи состава частиц с антропогенной активностью и здоровьем человека [7; 8]. Но элементный состав уличной пыли в жилых районах городов, подвергаемых воздействию промышленных предприятий, исследован недостаточно.

Предприятия угледобывающей отрасли являются одними из приоритетных источников загрязнения атмосферного воздуха. Крупным угледобывающим регионом в нашей стране является Кемеровская область, на территории которой расположен крупнейший в стране и мире Кузнецкий угольный бассейн. Многочисленные угледобывающие предприятия расположены непосредственно в черте городов либо недалеко от городских территорий. Функционирование таких предприятий вблизи урбанизированных центров обуславливает актуальность оценки уровня техногенного загрязнения и трансформации городской среды.

В Кемеровской области Междуреченск, город средней величины по численности населения с официальным статусом монограда, является одним из центров угледобывающей промышленности в регионе. Вблизи города функционируют угольные разрезы и шахты, пылегазовые выбросы которых распространяются на территорию города в соответствии с главенствующим направлением ветра (юго-западное), что определяет актуальность исследования. По литературным данным [9], угли Кузнецкого бассейна характеризуются редкометалльной специализацией. Следовательно, пылевые выбросы, образующиеся в процессе добычи угля, могут содержать редкие и редкоземельные элементы, которые могут переноситься в составе твердых на значительные расстояния, достигая городские территории.

Целью исследования является оценка экологической обстановки города, подвергаемого воздействию предприятий угледобывающей промышленности, по изучению уровней накопления редких и редкоземельных элементов в уличной пыли городской территории на примере г. Междуреченск (Кемеровская обл.).

Материалы и методы исследования

Пробы уличной пыли отбирали в летний период 2020 г. на территории Междуреченска по равномерной площадной сети с шагом 250–500 м. При выборе точек отбора старались избегать влияния автотранспорта. Точки отбора проб были максимально совмещены в пространстве с пунктами отбора проб снегового и почвенного покрова, в которых нами ранее осуществлялись исследования [10].

Отбор и подготовку проб уличной пыли проводили в соответствии с методическими подходами из опубликованных работ [1–3]. Пробы уличной пыли отбирали с поверхности дорожного полотна с помощью пластиковых щеток и совков методом конверта. Собранные пробы, массой не менее 500 г, помещали в плотные полиэтиленовые пакеты. Всего было отобрано 29 проб.

Пробоподготовка уличной пыли включала просушивание проб при комнатной температуре, взвешивание на электронных весах и далее просеивание через сита с диаметром ячейки 1 мм для отделения проб от улично-бытового мусора. Отдельные пробы просеивали с использованием стандартного набора сит для получения гранулометрических фракций 1000-100, 100-50, 50-20 мкм.

Далее все пробы с фракцией менее 1 мм, а также пробы с выделенными гранулометрическими фракциями были измельчены на виброистирателе для выполнения химико-аналитического анализа – масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП-МС) в аккредитованной лаборатории ХАЦ «Плазма» (г. Томск). Методом ИСП-МС определено содержание около 60 химических элементов, включая редкие и редкоземельные, результаты анализа которых представлены в данной работе.

Выполнялось изучение вещественного состава проб на бинокулярном микроскопе, а исследование отдельных микрочастиц в пробах – на сканирующем электронном микроскопе (Hitachi S-3400N с ЭДС BrukerXFlash 4010) в МИНОЦ «Урановая геология» Томского политехнического университета (ТПУ). Гранулометрический состав изучался методом лазерной дифракции в НОЦ «Наноцентр» ТПУ.

Статистический анализ данных содержания химических элементов в пробах выполнялся в программе Statistica, а построение геохимических карт – в программе Surfer (метод Kriking).

В соответствии с работами [1–3] геохимическая специализация уличной пыли оценивается с помощью коэффициента обогащения относительно кларка земной коры (по Н.А. Григорьеву [11]), а также почвогрунтов изучаемой территории, поскольку уличная пыль может состоять не только из частиц пород, но и почв. Коэффициенты обогащения ($К_е$) рассчитывали по формуле 1:

$$К_е = \frac{\left(\frac{С}{Снорм}\right)_{проба}}{\left(\frac{С}{Снорм}\right)_{зем.кора\ (или\ почвогрунты)}}, \quad (1)$$

где С и $С_{норм}$ – содержание интересующего и реперного элемента (в данном случае Ti) в пробе или земной коре, или почвогрунтах.

Значения $К_е$ более 1 указывают на антропогенные источники поступления химических элементов, а $К_е$ менее 1 – на литогенную природу элементов.

Оценка уровня загрязнения определяется по величине суммарного коэффициента обогащения (Z_e), который рассчитывается по формуле 2 [1; 2]:

$$Z_e = \sum К_е - (n - 1), \quad (2)$$

где n – число элементов с $К_е \geq 1{,}5$. В качестве градаций экологической опасности для величины Z_e приняты уровни [1; 2]: <32 – неопасный, 32–64 – умеренно опасный, 64–128 – опасный, 128–256 – очень опасный, >256 – чрезвычайно опасный.

Долевое распределение химических элементов по гранулометрическим фракциям определяется по формуле 3 [1]:

$$D_i = \frac{(C_i \cdot P_i)}{(100 \cdot C_{проба})} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где D_i – доля элемента в i-й фракции, %; C_i – содержание химического элемента в i-й фракции, мг/кг; P_i – доля i-й фракции в пробе, %; $С_{проба}$ – содержание химического элемента в валовой пробе, мг/кг.

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание редких редкоземельных элементов в пробах уличной пыли Междуреченска существенно не варьирует в широком диапазоне (рис. 1).

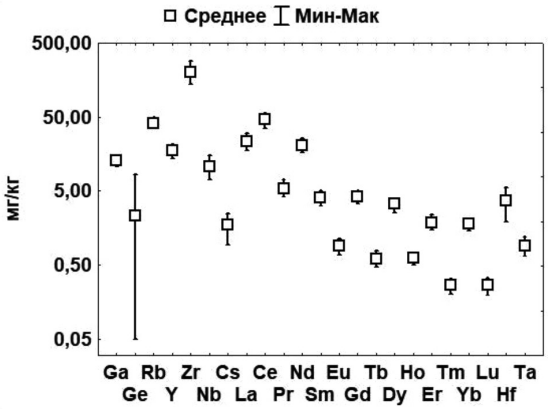


Рис. 1. Среднее содержание редких и редкоземельных элементов в пробах уличной пыли на территории г. Междуреченск

По значениям коэффициента концентрации (V < 30 %) редкие и редкоземельные элементы (за исключением Ge) характеризуются равномерным распределением. Анализ пространственного распределения показывает формирование геохимических ореолов группы редких и редкоземельных элементов (Y, La, Ce Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) в районах расположения котельных. В западном районе города отчетливо наблюдается открытая структура ореолов, вытянутых в сторону расположения угольных разрезов в соответствии с главенствующим направлением ветра (рис. 2). Редкие и редкоземельные элементы образуют геохимические ассоциации со статистически значимыми корреляционными связями (r~0,49–0,87). Эти факты указывают на единые источники поступления рассматриваемого спектра элементов.

Пробы уличной пыли на территории Междуреченска мало обогащены редкими и редкоземельными элементами (за исключением Ge и Zr) по величинам $К_е$ (<1), рассчитанным относительно кларка земной коры (рис. 3). Полученные значения $К_е$ могут свидетельствовать о поступлении этих элементов в составе частиц горных пород и угля вследствие дальнего переноса от буровзрывных работ на близко расположенные угледобывающие месторождения.

В то же время уличная пыль города существенно обогащена рассматриваемым спектром элементов (Ge, Rb, Y, Zr, Nb, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf) относительно их содержания в почвогрунтах города ($К_е$ от 2 до 5 ед.). Данные значения указывают на антропогенное поступление элементов. Этими ис-

точниками могут являться как продукты переноса выбросов угольных котельных и угольных предприятий, которые аккумулировались в почвогрунтах, так и ветровой перенос выбросов от угольных месторождений в летний период.

Суммарное обогащение уличной пыли изучаемым спектром элементов соответствует неопасному уровню загрязнения территории города (Z_c = 27 ед.).

Ранее нами по результатам снегогеохимической съемки и математического моделирования был выявлен вклад в пылевое загрязнение города объектами угледобычи на уровне 30–80 % [10]. Угли Кузнецкого бассейна характеризуются редкометалльной геохимической специализацией [9]. Следовательно, во время разработки угольных месторождений в атмосферный воздух поступают угольные пылевые частицы, содержащие редкие и редкоземельные элементы, которые переносятся на значительные расстояния и достигают города Междуреченска, где аккумулируются в компонентах природной среды, в т.ч. и уличной пыли. Подтверждением также являются результаты изучения вещественного состава уличной пыли, по которым установлено, что около 20 % от всех природных и техногенных частиц приходится на угольные частицы.

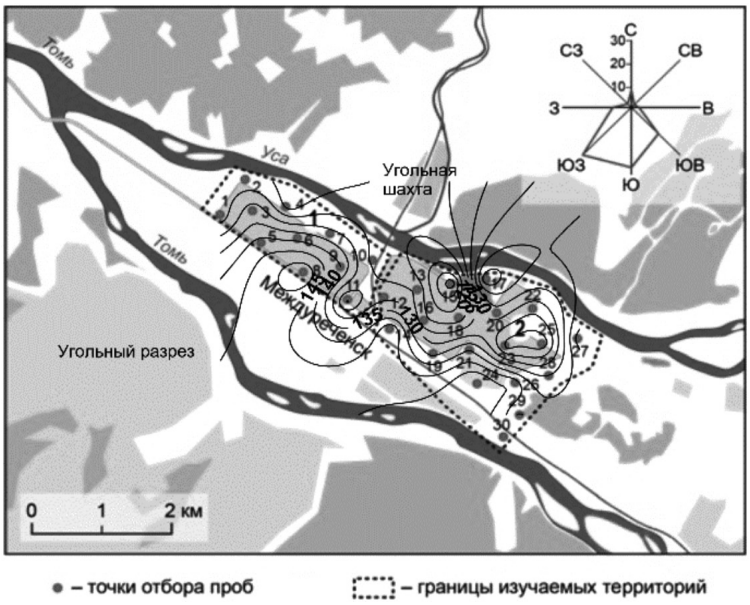


Рис. 2. Карта-схема распределения суммы редких и редкоземельных элементов (мг/кг) в пробах уличной пыли на территории г. Междуреченск

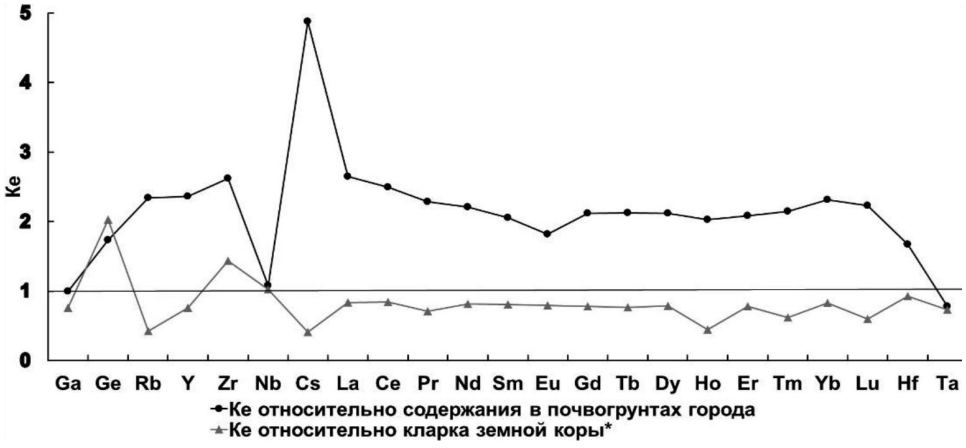


Рис. 3. Коэффициенты обогащения (K_c) уличной пыли редкими и редкоземельными элементами на территории г. Междуреченск

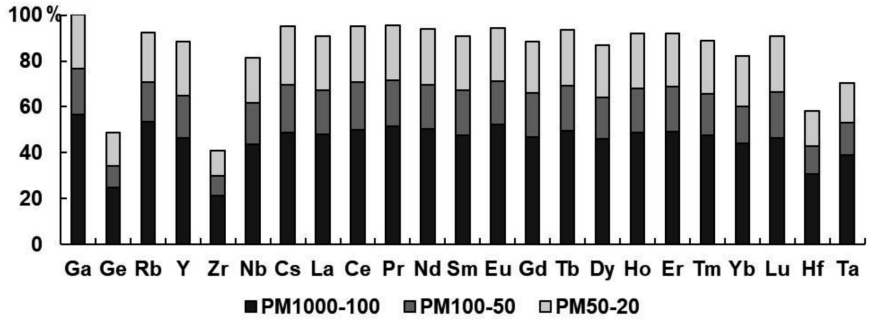
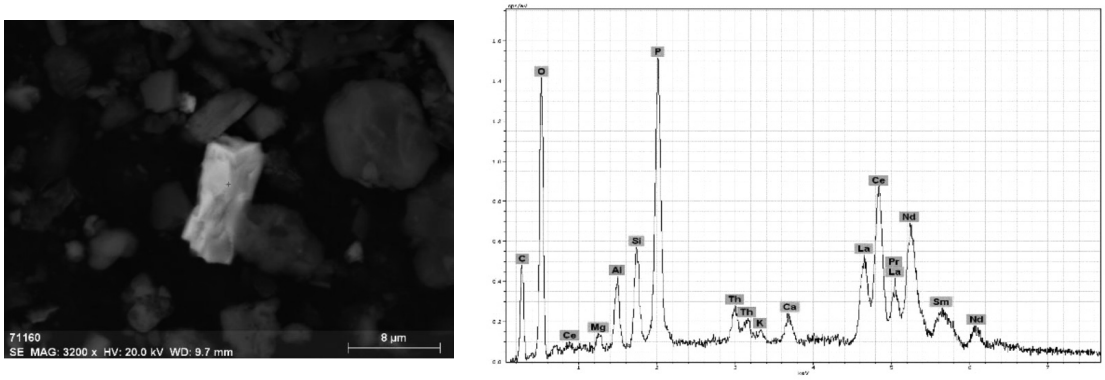


Рис. 4. Фракционный состав редких и редкоземельных элементов в уличной пыли на территории г. Междуреченск



а) *б)*

Рис. 5. Фото (а) и энергодисперсионный спектр (б) микрочастицы, содержащей редкоземельные элементы (по составу близкие к цериевым фосфатам) размером 10 мкм, по данным сканирующей электронной микроскопии

Гранулометрический состав городских проб уличной пыли представлен преимущественно средним и крупным классами частиц: доля твердых частиц с размерами менее 1 мкм (PM1) составляет в среднем 6,7 %, с размерами от 1 до 10 мкм (PM1-10) – 29,2 %, от 10 до 50 мкм (PM10-50) – 60,7 %, более 50 мкм (PM>50) – 3,4 %. Статистический анализ выявил значимые корреляционные связи между фракцией PM10-50 и геохимической ассоциацией Cs-La-Ce-Pr-Nd (r~0,37–0,45).

Определено неравномерное распределение редких и редкоземельных элементов по гранулометрическим фракциям, полученное в результате разделения отдельных проб с помощью набора сит (рис. 4). Изучаемый спектр элементов преимущественно связан с крупнодисперсной фракцией частиц (1000-100 мкм), что может указывать на осаждение пыли с комплексом данных элементов за счет выбросов от местных источников. В среднедисперсной фракции частиц с размерами 50–100 и 50–20 мкм на них приходится 9–21 и 11–26 % соответственно.

По результатам электронной сканирующей микроскопии выявлены микрочастицы размером 10 мкм, близкие по составу к цериевым фосфатам (рис. 5), что может быть связано с влиянием угольных объектов, поскольку такие микроминеральные фазы обнаружены в углях Кузнецкого бассейна [9].

Заключение

Таким образом, в уличной пыли г. Междуреченска, подвергаемого воздействию угледобывающих предприятий и местных угольных котельных, выявлены повышенные уровни накопления редких и редкоземельных элементов относительно их содержания в почвогрунтах города. Определено, что изучаемый спектр элементов концентрируется преимущественно (20–56 %) в крупнодисперсной (1000–100 мкм), но менее интенсивно (9–26 %) аккумулируется в среднедисперсной фракции частиц (100–

50 и 50–20 мкм), что указывает на местное происхождение элементов. Геохимическая ассоциация лантаноидов образует статистически значимые корреляционные связи с твердыми частицами размером 10–50 мкм, представленными в форме микрочастиц, содержащих цериевые фосфаты.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 20-05-00675 А. Исследования выполнены в НИ ТПУ в рамках программы повышения конкурентоспособности ТПУ среди ведущих мировых исследовательских центров.

Список литературы / References

1. Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.

Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Geochemistry of landscapes in the eastern district of Moscow. M.: APR, 2016. 276 p. (in Russian).

2. Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Геохимия дорожной пыли (Восточный округ г. Москвы) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. 2015. № 1. С. 23–33.

Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Geochemistry of the road dust in the eastern district of Moscow // Vestnik Mosk. un-ta. Ser. 5. Geography. 2015. № 1. P. 23–33 (in Russian).

3. Prokof'eva T.V., Kiriushin A.V., Shishkov V.A., Ivannikov F.A. The importance of dust material in urban soil formation: the experience on study of two young Technosols on dust depositions. Journal of Soils and Sediments. 2017. Vol. 2. P. 515–524.

4. Ладонин Д.В., Низиенко Е.А., Тяжёлые металлы в почвах и дорожной пыли в зоне воздействия Стойло-Лебединского горнодобывающего комплекса // Живые и биокосные системы. 2017. № 22. [Электронный ресурс]. URL: htt://www.jbks.ru/archive/issue-22/article-3 (дата обращения: 29.10.2021).

Ladonin D.V., Nizienko E.A. Have metals in soil and road dust in the impacted area of sroilo-Levedinsky mining complex // Zhivyye i biokosnyye sistemy. 2017. № 22. [Electronic resource]. URL: htt://www.jbks.ru/archive/issue-22/article-3 (date of access: 29.10.2021) (in Russian).

5. Ladonin D.V., Mikhaylova A.P. Heavy metals and arsenic in soils and street dust of the southeastern administrative district of Moscow: long-term data. Eurasian Soil Science. 2020. Vol. 53. № 11. P. 1635-1644.

6. Ермолин М.С., Федотов П.С., Иванеев А.И., Карандашев В.К., Федюнина Н.Н., Еськина В.В. Выделение и количественный анализ наночастиц дорожной пыли // Журнал аналитической химии. 2017. Т. 72. № 5. С. 448–461.

Ermolin M.S., Fedotov P.S. Ivaneev A.I., Kandrashova B.K., Fedunina N.N. Eskena V.V. Identification and quantity analyses of nanoparticles in road dust // Zhurnal analiticheskoi himii. 2017. Vol. 72. № 5. P. 448–461 (in Russian).

7. Abbasi S., Keshavarzi B., Moore F., Hopke P.K., Kelly F.J., Dominguez A.O. Elemental and magnetic analyses, source identification, and oxidative potential of airborne, passive, and street dust particles in Asaluyeh County, Iran. Science of the Total Environment. 2020. Vol. 707. P. 136132.

8. Warrier A.K., Shankar R., Manjunatha B.R., Harshavardhana B.G., Mineral magnetism of atmospheric dust over southwest coast of India: Impact of anthropogenic activities and implications to public health. Journal of Applied Geophysics. 2014. Vol. 102. P. 1–9.

9. Арбузов С.И. Металлоносность углей Сибири // Известия Томского политехнического университета. 2007. Т. 311. № 1. С. 77–83.

Arbuzov S.I. Metal-bearing of coal in Siberia // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. 2007. Vol. 311. № 1. P. 77–83 (in Russian).

10. Осипова Н.А., Быков А.А., Таловская А.В., Николаенко А.Н., Язиков Е.Г., Ларин С.А. Влияние угледобывающих предприятий на загрязнение снегового покрова прилегающих урбанизированных территорий (на примере г. Междуреченск) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 12. С. 34–46.

Osipova N.A., Bykov A.A. Talovskaya A.V., Nikolaenko A.N., Yazikov E.G., Larin S.A. Coal producer effect on snow cover pollution at adjacent urban territories (case study of Mezhdurechensk) // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2017. Vol. 328. № 12. P. 36–46 (in Russian).

11. Григорьев Н.А. Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.

Grigor'ev N.A. Distribution of chemical elements in the Earth's crust. Ekaterinburg: UrO RAN, 2009. 382 p. (in Russian).

УДК 551.58:511

КВАНТИЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСТРЕМУМОВ ОСАДКОВ НА ЮГЕ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Ташилова А.А.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: tashilovaa@mail.ru

В работе приводится анализ динамики сезонных и годовых экстремумов осадков на юге европейской части России (ЕЧР) на основе инструментальных данных 20 метеостанций за период с 1961 по 2018 г. Для выявления количества экстремальных значений осадков на юге России был применен квантильный анализ, определяющий высшие (выше порогового значения) и низшие (ниже порогового значения) значения осадков. По результатам квантильного анализа исследована динамика распределения их количества в базовый (1961-1990 гг.) и современный (1991-2018 гг.) периоды. По результатам исследования наиболее значительный рост экстремальных суточных максимумов с 1991 года имел место в степной и прикаспийской зонах, отличающихся засушливым климатом с наименьшим количеством годовых и сезонных сумм осадков (особенно в прикаспийской зоне). Все полученные экстремальные осадки превышали верхнюю границу нормы (высшие экстремумы), за исключением двух случаев, когда были низшие экстремумы: весенние суммы осадков в 2003 г. на предгорной м/станции «Ставрополь» и летние суммы осадков в 1998 г. в Терсколе (высокогорье). Получено, что во всех климатических зонах юга европейской части России наблюдался рост количества экстремальных сумм осадков с 37% в базовый период до 63% в современный период и рост количества экстремальных суточных максимумов с 42% до 58%. Получено, что количество высших экстремумов сумм осадков и суточных максимумов на юге ЕЧР увеличилось примерно в 1,5 раза в современный период.

Ключевые слова: сумма осадков, суточный максимум осадков, климатический экстремум, квантильный анализ, высшие экстремумы, низшие экстремумы

QUANTILE ANALYSIS OF PRECIPITATION EXTREMES IN THE SOUTH OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

Tashilova A.A.

High Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: tashilovaa@mail.ru

The paper analyzes the dynamics of seasonal and annual precipitation extremes in the south of the European part of Russia (EPR) based on instrumental data from 20 meteorological stations for the period 1961 – 2018 was carried out. For the current amount of extreme precipitation values, a quantile analysis was applied to determine the highest (above the threshold) and lowest (below the threshold) precipitation values. Based on the results of the quantile analysis, the dynamics of the distribution of their number in the base (1961-1990) and modern (1991-2018) periods were investigated. According to the results of the study, the most significant increase in extreme daily maximums since 1991 took place in the steppe and Caspian zones, characterized by an arid climate with the lowest amount of annual and seasonal precipitation (especially in the Caspian zone). All received extreme precipitation exceeded the upper limit of the norm (highest extrema), with the exception of two cases when the lowest extrema have been: spring precipitation totals in 2003 at the foothill m/station Stavropol and summer precipitation totals in 1998 in Terskol (highlands). An increase in the amount of extreme daily precipitation in the base period from 37% up to 63% in the modern period and an increase in the amount of extreme daily precipitation from 42% to 58%. It was found that the number of the highest extremes of precipitation sums and daily maximums in the south of the EPR increased by about 1.5 times in the modern period.

Keywords: total precipitation, daily maximum precipitation, climatic extremum, quantile analysis, highest extremes, lowest extremes

В «Климатической доктрине Российской Федерации» говорится, что изменение климата является одной из важнейших международных проблем XXI века, выходящих за рамки научной проблемы [1]. Следствием изменения климата становятся экстремальные явления, которые можно обнаружить по изменениям в распределении рядов и частоте их появления [2]. Современные климатические изменения проявляются, помимо изменений средних величин (медленное изменение), в резком изменении частоты и интенсивности экстремальных климатических событий как температуры, так и осадков, приводящих к засухам или наводнениям [3–5]. За последние 7 лет на территории юга России произошло несколько катастрофических наводнений. В работе [6] авторы на основе данных метеонаблюдений Средиземноморья и Причерноморья за последние 30–40 лет и при помощи составленной ими климатической модели пришли к выводу о том, как глобальное потепление и стабильный рост температур воздуха и морской воды влияли на региональный климат. Дестабилизация системы ветров над Черным морем летом 2012 г. и особое стечение других климатических факторов привели в тот сезон к тому, что уровень осадков на юго-восточном Черноморье вырос на 300%, то есть в три раза. Причиной этого было то, что

теплая вода на поверхности моря заметно быстрее испаряется и увеличивает долю воды в атмосфере на очень большие значения – на 20 % и более. При определенных обстоятельствах они будут очень быстро подниматься в тропосферу, концентрироваться и выпадать в виде очень мощных локальных осадков.

Цель исследования – выявление экстремальных величин осадков на юге европейской части России и динамика распределения их количества.

Материалы и методы исследования

Для исследования изменения режима осадков были использованы данные 20 м/станций государственной наблюдательной сети Росгидромета, предоставленные Северо-Кавказским управлением гидрометеорологической службы (СК УГМС). Климатический экстремум – это достижение метеорологической или климатической переменной значения, которое выше (ниже) некоторого порога, близкого к верхнему (или нижнему) диапазону наблюдаемых значений переменной [2]. Как отмечено в [7], определение экстремальных осадков является очень сложной проблемой, так как это определение может быть различно для разных задач и для разных географических районов. В работе приводится анализ трех основных методологических подходов к их определению: 1) анализ абсолютных значений; 2) использование порогового квантиля, определяемого из функций плотности вероятности; и 3) анализ продолжительности периодов с непрерывными осадками. В работах [8; 9] встречаются и другие способы определения экстремальных осадков. Общие определения включают 99-й и 95-й процентили на все влажные дни (иногда встречается 90-й процентиль). При использовании менее экстремальных определений, таких как 90-й или 95-й процентиль, величина увеличения в ответ на потепление меньше, чем при более экстремальных определениях (Pendergrass, 2018), реагируя скорее как среднее количество осадков, чем как экстремальное [9].

Для исследования экстремальности рядов осадков в настоящей работе использовался квантильный метод, реализованный в статистической программе SPSS 21.0. Для получения экстремальных значений необходимо преобразовать исходный ряд $x_1, x_2, x_3, \ldots\ldots x_i, x_n$ в ранжированный ряд вида $x_1 > x_2 > x_3 > \ldots\ldots x_i > x_n$. Обозначим медиану (50 % квартиль) x_{50}, значения 25 % и 75 % квартилей как x_{25} и x_{75}, выбросы $S_{1.5}$ и экстремумы $S_{3.0}$.

Тогда аномальные элементы (выбросы $\Delta_{1.5}$, экстремумы $\Delta_{3.0}$) рассчитываются как

$$\Delta_{1.5} = 1{,}5\text{x} \cdot \text{от } |x_{75} - x_{25}| \quad (1)$$

$$\Delta_{3.0} = 3{,}0\text{x} \cdot \text{от } |x_{75} - x_{25}| \quad (2)$$

Для каждого значения выбросов и экстремумов рассчитывают пороговые значения

$$S^* = \begin{cases} S_{1.5}, \text{ если } x_i > (x_{75} + \Delta_{1.5)} \\ S_{3.0}, \text{ если } x_i > (x_{75} + \Delta_{3.0)} \end{cases} \quad (3)$$

$$S^* = \begin{cases} S_{1.5}, \text{ если } x_i < (x_{75} + \Delta_{1.5)} \\ S_{3.0}, \text{ если } x_i < (x_{75} + \Delta_{3.0)} \end{cases} \quad (4)$$

Результат примера расчета экстремумов осадков с помощью квантильного анализа представлен в табл. 1 и на рис. 1. Как видно, имеется один выброс, удовлетворяющий условию (3), для n = 12 (порядковый номер в ряде максимальных суточных). Экстремумы, удовлетворяющие условию (4), отсутствуют.

Таблица 1

Процентили

	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
Максимальные суточные осадки, мм	5,6	6,0	8,0	11,0	16,0	19,8	23,0

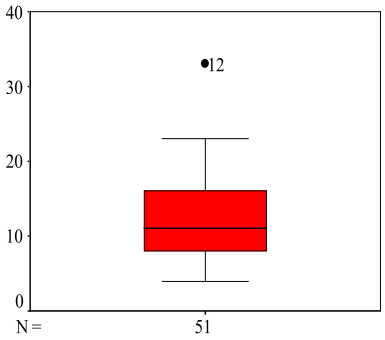


Рис. 1. Коробчатая диаграмма

Значения осадков, превышающие верхний порог, назовем «верхними» экстремумами, их количество обозначим nUExtr (upper-extremes), а значения ниже нижнего порога – «нижними» экстремумами, соответственно nLExtr (lowest-extremes) – количество «нижних» сезонных и годовых экстремумов, то есть число дней со значениями осадков (выбросы, экстремумы) ниже рассчитанного порогового значения для данного ряда. В «Резюме МГЭИК» (2014) [1] рекомендовано определять пороговые значения экстремальных температур для каждого сезона как 5-й и 95-й процентили для полной выборки суток этого сезона. Вычисления экстремумов по квантилям и процентилям показали идентичность результатов.

Результаты исследования и их обсуждение

По результатам квантильного анализа были выявлены высшие экстремумы осадков и проведена их систематизация по сезонам, климатическим зонам и подпериодам исследования. Динамика количества экстремумов осадков в различных климатических зонах юга ЕЧР представлена на рис. 2 и в табл. 2. Из табл. 2 следует, что при сравнении зимнего и осеннего сезонов 1961–1990 гг. и 1991–2018 гг. имел место значительный рост количества высших экстремумов сумм осадков (25% : 75% зимой и 34% : 66% осенью). Вклад в полученное соотношение внесли экстремумы сумм осадков равнинной (40% : 60% зимой и 38% : 62% осенью), предгорной (29% : 71% зимой и 33% : 67% осенью) и горной (0 : 100% зимой и 25% : 75% осенью) зон. В весенний сезон соотношение количества экстремумов сумм осадков в базовый и современный периоды оставалось постоянным (50% : 50%) во всех зонах. В летний сезон количество экстремальных сумм осадков в современный период незначительно снижалось (52% : 47%).

В причерноморской зоне (Сочи) наблюдалась тенденция уменьшения экстремумов сумм осадков и сохранение количества суточных максимумов. В летний сезон наиболее катастрофичными были ливневые осадки с суточным максимумом 245 мм в августе 1971 года, 136 мм в июне 1988 г., 162 мм в июне 1997 г. и 114 мм в июне 2015 г. (среднее за 1961–2018 гг. 72 мм). В осенний сезон все осадки с суточным максимумом > 140 мм имели место в сентябре разных лет: 1975 г., 1989 г., 2009 г. (среднее за 1961–2018 гг. 73 мм).

В работе [10] отмечено, что в 2003 году в Ставрополе (предгорье) был выявлен нижний экстремум суммы осадков, чье значение меньше нижнего порога ≤ 23 мм (весенний сезон). В 2003 г. весенняя сумма осадков составила 23 мм (март – 2 мм, апрель – 17 мм, май – 4 мм), что значительно меньше среднего значения суммы осадков 147 мм, а также климатической нормы 141 мм, что характеризует эту весну как экстремально засушливую.

В горной зоне основной вклад в увеличение количества экстремумов сумм осадков внесли *зимние* (0% : 100%) и *осенние* (25% : 75%) сезоны, количество экстремумов суточных максимумов не изменилось в современный период по сравнению с базовым.

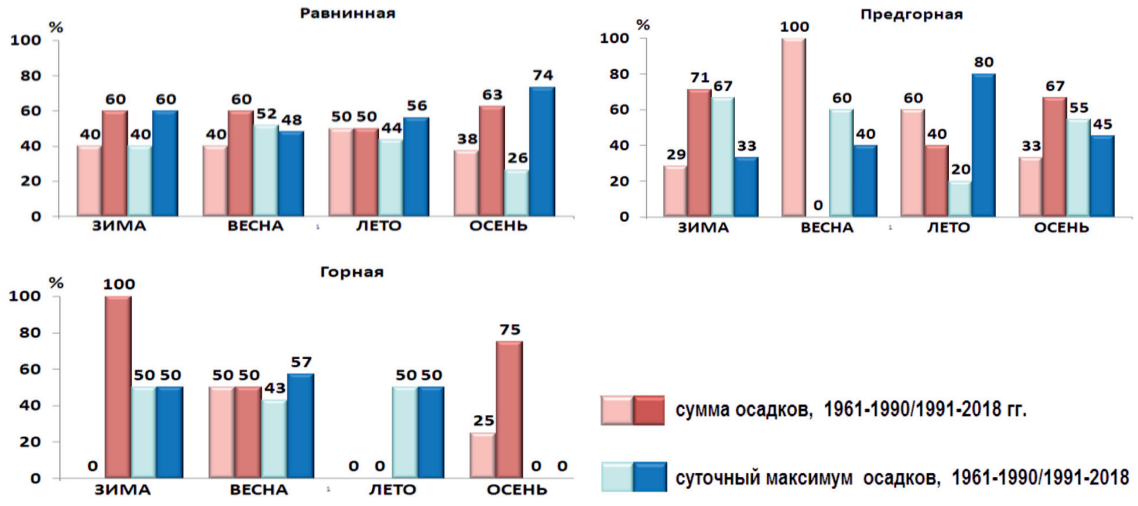


Рис. 2. Динамика изменения количества высших экстремумов осадков (%) на юге ЕЧР, 1961–2018 гг.

Таблица 2

Динамика (%) экстремумов сезонных сумм осадков и суточных максимумов

Климатические зоны	Количество экстремумов сумм осадков, *n* (%)		Количество экстремумов суточных максимумов осадков, *n* (%)	
	1961-1990 гг.	1991-2018 гг.	1961-1990 гг.	1991-2018 гг.
	зима			
I. Равнина, из них: Причерноморье степная Прикаспий	4 (40%) 1 1 2	6 (60%) 0 2 4	8 (40%) 1 4 3	12 (60%) 1 2 9
II. Предгорье	2 (29%)	5 (71%)	4 (67%)	2 (33%)
III. Горная	0 (0%)	7 (100%)	1 (50%)	1 (50%)
По всем зонам	**6 (25%)**	**18 (75%)**	**13 (47%)**	**15 (53%)**
	весна			
I. Равнина, из них: Причерноморье степная Прикаспий	2 (33%) 0 0 2	4 (67%) 0 2 2	14 (52%) 1 7 6	13 (48%) 1 7 5
II. Предгорье	1 (100%)	0 (0%)	6 (60%)	4 (40%)
III. Горная	1 (100%)	0 (0%)	3 (43%)	4 (57%)
По всем зонам	**4 (50%)**	**4 (50%)**	**23 (52%)**	**21 (48%)**
	лето			
I. Равнина, из них: Причерноморье степная Прикаспий	5 (50%) 1 2 2	5 (50%) 0 3 2	14 (44%) 1 5 8	18 (56%) 1 8 9
II. Предгорье	3 (60%)	2 (40%)	2 (20%)	8 (80%)
III. Горная	0 (0%)	0 (0%)	2 (50%)	2 (50%)
По всем зонам	**8 (53%)**	**7 (47%)**	**18 (39%)**	**28 (61%)**
	осень			
I. Равнина, из них: Причерноморье степная Прикаспий	6 (38%) 1 1 4	10 (62%) 0 7 3	9 (26%) 0 6 3	25 (74%) 0 18 7
II. Предгорье	3 (33%)	6 (67%)	6 (55%)	5 (45%)
III. Горная	1 (25%)	3 (75%)	0 (0%)	0 (0%)
По всем зонам	**10 (34%)**	**19 (66%)**	**15 (31%)**	**30 (69%)**
	год			
I. Равнина, из них: Причерноморье степная Прикаспий	17 (41%) 3 (100%) 4 (22%) 10 (43%)	24 (59%) 0 (0%) 14 (78%) 13 (57%)	45 (40%) 3 (50%) 22 (39%) 20 (33%)	68 (60%) 3 (50%) 35 (61%) 41 (67%)
II. Предгорье	9 (41%)	13 (59%)	18 (49%)	19 (51%)
III. Горная	2 (15%)	11 (85%)	6 (46%)	7 (54%)
Все зоны юга ЕЧР	**28 (37%)**	**48 (63%)**	**69 (42%)**	**94 (58%)**

Все высшие экстремальные значения сумм осадков высокогорной станции Терскол (с превышением порогового значения) распределены равномерно по всем сезонам: по 2 зимой (>445 мм в 1963 г., 1987 г.), весной (>426 мм в 2004 г., 2005 г.), летом (>437 мм в 1967 г., 1996 г.), и 3 – осенью (>470 мм в 1972 г., 1989 г., 1992 г.). Имеется 1 низший экстремум сумм осадков со значением ниже порогового <141 мм летом 1998 г. (июнь – 56 мм, июль – 61 мм, август – 24 мм) при климатической норме N = 302 мм.

Годовое количество экстремумов сумм осадков выросло: в степной зоне с 22% до 78%, в прикаспийской зоне с 43% до 57%. Количество экстремумов суточных максимумов также возросло: с 39% до 61% (степная зона), с 33% до 67% (прикаспийская зона). По результатам нашего исследования, наиболее значительный рост экстре-

мальных суточных максимумов имел место в степной и прикаспийской зонах, отличающихся засушливым климатом с наименьшим количеством годовых и сезонных сумм осадков (особенно в прикаспийской зоне). Возможно, это объясняется изменением направления движения циклонических воздушных масс, приносящих осадки в прикаспийскую зону, с горизонтального переноса воздушных масс на вертикальный перенос, преобладающий в регионах.

При сравнении зимнего и осеннего сезонов 1961–1990 гг. и 1991–2018 гг. на юге ЕЧР имел место значительный рост количества высших экстремумов сумм осадков (25% : 75% зимой и 34% : 66% осенью). В весенний сезон соотношение количества экстремумов сумм осадков в базовый и современный периоды оставалось постоянным (50% : 50%) во всех зонах. В летний сезон произошло незначимое уменьшение количества экстремальных сумм осадков

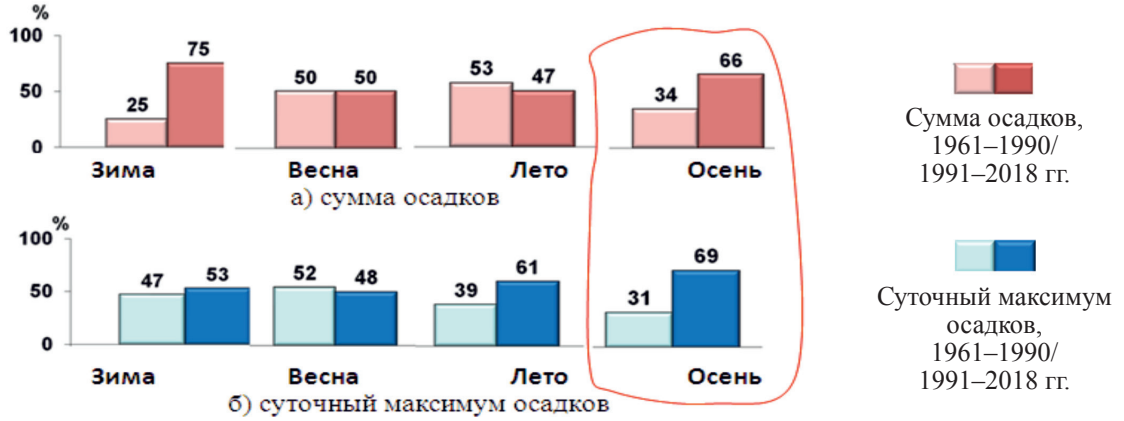


Рис. 3. Динамика (%) высших экстремумов сезонных осадков на юге ЕЧР

Из результатов исследования динамики экстремумов осадков по сезонам (рис. 3) следует, что на юге ЕЧР в *осенний* сезон в современный период 1991–2018 гг. по сравнению с базовым 1961–1990 гг. выросло как количество экстремальных сумм осадков (34% : 66%), так и суточных максимумов (31% : 69%). В *зимний* сезон увеличилось количество экстремальных сумм осадков (без экстремумов суточных максимумов), а в *летний* сезон – количество экстремальных суточных максимумов. В *весенний* сезон на территории юга ЕЧР соотношение количества сумм осадков в базовый и современный периоды оставалось постоянным.

Заключение

Таким образом, все полученные экстремальные осадки превышали верхнюю границу нормы (высшие экстремумы), за исключением двух случаев, когда экстремумы были ниже порогового значения (низшие экстремумы): весенние суммы осадков в 2003 г. на предгорной м/станции «Ставрополь» и летние суммы осадков в 1998 г. в Терсколе (высокогорье).

с 53% до 47%, что на фоне статистически значимого роста средних летних температур (0,47 °/10 лет) может создать условия для засухи на юге ЕЧР.

В целом за год наблюдался рост количества экстремальных сумм осадков с 37% в базовый период до 63% в современный период и рост количества экстремальных суточных максимумов с 42% до 58%. Таким образом, количество высших экстремумов сумм осадков и суточных максимумов на юге ЕЧР увеличилось примерно в 1,5 раза в современный период по сравнению с базовым.

Список литературы / References

1. Климатическая доктрина Российской Федерации от 17.12.2009 г. № 861-рп. [Электронный ресурс]. URL: http://www.kremlin.ru/acts/6365 (дата обращения: 22.10.2021).

Climate Doctrine of the Russian Federation from 17.12.2009 of No. 861-rn. [Electronic resource]. URL: http://www.kremlin.ru/acts/6365 (date of access: 22.10.2021).

2. IPCC, 2014: Appendix II: Glossary [Mack, C.J., C. Planton and C. von Stechow (editors)]. In: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Main Authors: R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Editors)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. P. 133–148.

3. Алешина М.А., Семенов В.А., Чернокульский А.В. Роль глобальных и региональных факторов в изменении экс-

тремальности летних осадков на Черноморском побережье Кавказа по результатам экспериментов с моделью климата // Фундаментальная и прикладная климатология. 2019. Т. 3. С. 59–75.

Aleshina M.A., Semenov V.A., Chernokulsky A.V. The role of global and regional factors in the change in the extremeness of summer precipitation on the Black Sea coast of the Caucasus based on the results of experiments with a climate model // Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya. 2019. Vol. 3. P. 59–75 (in Russian).

4. Базелюк А.А. Опасные гидрометеорологические явления на юге европейской территории России // Природные и социальные риски в береговой зоне Черного и Азовского морей. М.: Триумф, 2012. С. 33–41.

Bazelyuk A.A. Hazardous hydrometeorological phenomena in the south of the European territory of Russia // Natural and social risks in the coastal zone of the Black and Azov seas. M.: Triumph, 2012. P. 33−42 (in Russian).

5. Ташилова А.А. Статистические оценки частотного распределения «базовой триады» осадков на юге России // Доклады Адыгской (Черкесской) Международной Академии Наук. 2020. № 2. С. 47–57.

Tashilova A.A. Statistical estimates of the frequency distribution of the «basic triad» of precipitation in the south of Russia // Doklady Adygskoy (Cherkesskoy) Mezhdunarodnoy Akademii Nauk. 2020. № 2. P. 47–57 (in Russian).

6. Meredith E.P., Semenov V.A., Maraun D., Park W., Chernokulsky A.V. Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme. Nature Geoscience. Nature Publishing Group (United Kingdom). 2015. Vol. 8. No. 8. P. 615–619.

7. Zolina O.G., Kapala A., Simmer C., Gulev S.K. Analysis of extreme precipitations over Europe from different reanalyses: a comparative assessment. Global and Planetary Change. 2007. Vol. 44. P. 129–161.

8. IPCC, 2012. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation, Edition: Chapter 3 Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment, Publisher: Cambridge University Press. The Edinburgh Building, Shaftesbury Road, Cambridge CB2 8RU ENGLAND.Editors: Field C.B., Barros V., Stocker T.F., Qin D., Dokken D.J., Ebi K.L., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Plattner G.-K., Allen S.K., Tignor M., and Midgley P.M. 2012. 582 p.

9. Pendergrass A.G. What precipitation is extreme? Science. 2018. Vol. 360. No. 6393. P. 1072–1073.

10. Пшихачева И.Н. Сравнительный комплексный анализ и прогноз режима осадков в различных климатических зонах юга России: дис. … канд. физ.-мат. наук. Нальчик, 2014. 219 с.

Pshikhacheva I.N. Comparative comprehensive analysis and forecast of precipitation regime in different climatic zones of southern Russia: dis. … kand. fiz.-mat. nauk. Nal'chik, 2014. 219 p. (in Russian).

УДК 556:574.5

ГАЛОФИТ АСТРА СОЛОНЧАКОВАЯ (*ASTER TRIPOLIUM* L.) – ГИПЕРАККУМУЛЯТОР FE, NI, PB НА ЛИТОРАЛИ БЕЛОГО МОРЯ (П. РАБОЧЕОСТРОВСК)

Теребова Е.Н., Павлова М.А.

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет», Петрозаводск, e-mail: eterebova@gmail.com

В работе исследованы условия произрастания и накопления тяжелых металлов доминантным галофитным видом астра солончаковая (*Aster tripolium* L.) приливно-отливной зоны Белого моря в районе п. Рабочеостровск. Три пробные площади были заложены на берегах острова Октябрьской революции в июле 2019 г. Грунты приморских территорий – примитивные маршевые песчаные и супесчаные литоральные – не загрязнены тяжелыми металлами (содержание металлов превышает фоновые значения). Среднее содержание железа в морском грунте литорали установлено в количестве 13179,39 ± 6968 мг/кг, марганца – 122,29 ± 47 мг/кг, цинка – 31,21 ± 19 мг/кг, меди – 14,36 ± 9 мг/кг, никеля – 12,39 ± 7 и свинца – на уровне 7,59 ± 5 мг/кг. Морская вода соленостью 23–26‰ была сильно загрязнена нитратами до значений 83,72 мг/л (2,1 ПДК), никелем до значений 0,18 мг/л (17,7 ПДК), железом – 0,32 мг/л (6,4 ПДК) и свинцом – 0,098 мг/л (9,8 ПДК). Поступление тяжелых металлов в воды Белого моря, возможно, происходит со стоковыми течениями рек от металлургических предприятий Северо-Запада России. Растения астры солончаковой депонировали до 32 г/кг железа, 560 мг/кг никеля и 478 мг/кг свинца, 70–90% всех металлов накапливалось корнями растений астры. Исследованы коэффициенты биологического поглощения (КБП) металлов всем растением, корнями и надземными органами. Ряд накопления металлов всем растением астры солончаковой: Ni (15,84) > > Pb (8,21) > Zn (2,93) > Cu (2,82) > Mn (2,08) > Fe (1,71). Предложено считать астру солончаковую гипераккумулятором Fe, Ni, Pb на литорали Белого моря.

Ключевые слова: *Aster tripolium*, галофит, гипераккумулятор металлов, литоральные грунты, Белое море

THE HALOPHYTE *ASTER TRIPOLIUM* L. IS A HYPERACCUMULATOR OF FE, NI, PB ON THE LITTORAL OF THE WHITE SEA

Terebova E.N., Pavlova M.A.

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, e-mail: eterebova@gmail.com

The conditions of growth and accumulation of heavy metals by the halophytic species *Aster tripolium* L. on the tidal zone of the White Sea (Rabocheostrovsk) were studied. Three sample plots were established on shores of the island of the October Revolution in July 2019. Primitive marsh sandy soils of coastal territories are not contaminated with heavy metals (the metal content exceeds background values). The average iron content in the littoral soil was 13179,39 ± 6968 mg / kg, manganese 122,29 ± 47 mg / kg, zinc 31,21 ± 19 mg / kg, copper 14,36 ± 9 mg / kg, nickel 12,39 ± 7 and lead at the level of 7,59 ± 5 mg / kg. Sea water (salinity 23–26‰) is significantly polluted with nitrates (83,72 mg/l; 2,1 MPC), nickel (0,18 mg/l; 17,7 MPC), iron (0,32 mg/l; 6,4 MPC) and lead (0,098 mg/l; 9,8 MPC). The accumulation of iron, lead and nickel in the see water is possibly associated with the traffic of these metals with the river flows from metallurgical enterprises of the North–West of Russia. *Aster tripolium* accumulated 32 g / kg of iron, 560 mg / kg of nickel and 478 mg / kg of lead. The roots of asters accumulated 70–90% of the total metal content in plants. We studied the coefficients of biological absorption (CBA) of heavy metals by the whole plants, roots and aboveground organs. The series of metal accumulation by the whole plant of *Aster tripolium*: Ni(15,84) > Pb(8,21) > Zn (2,93) > Cu(2,82) > Mn(2,08) > Fe(1,71). It was proposed to consider *Aster tripolium* as a hyperaccumulator of Fe, Ni, Pb in the littoral zone of the White Sea.

Keywords: *Aster tripolium* L., halophyte, metal hyperaccumulator, littoral soils, the White Sea

Усиленное освоение приморских территорий в Арктическом регионе привело к увеличению антропогенной нагрузки на морские экосистемы в виде загрязнения разными видами органических веществ и тяжелых металлов [1]. Разработка систем фиторемедиации соленых морских вод приморских территорий становится одним из основных направлений теоретических и прикладных исследований в экологии и природопользовании. Фиторемедиация определяется как использование растений для очистки окружающей среды от загрязнителей путем их депонирования и перевода в нетоксичную форму [2]. В литературе имеются примеры использования различных родов галофитов (*Zostera*, *Atriplex*, *Salicornia*) для фиторемедиации морских территорий [3–5].

На приморских территориях зоной контакта суши и моря является литораль. Для нее характерна приливно-отливная динамика морской воды. Два раза в сутки растения то заливаются водой, то осушаются, при этом полностью меняется среда обитания растений и все климатические условия. На литорали успешно произрастают и проходят все этапы развития уникаль-

ные растения галофиты, имеющие механизмы адаптации к стрессовым условиям существования [6]. Однако вопрос о возможности поглощения и накопления растениями литорали тяжелых металлов остается открытым.

Цель исследования – оценить условия обитания и накопление тяжелых металлов в растениях астры солончаковой (*Aster tripolium* L.) на приливно-отливной зоне Белого моря (п. Рабочеостровск).

Материалы и методы исследования

Район исследования

Работа выполнена на побережье Белого моря в районе г. Кемь, п. Рабочеостровск (Кемский район) (рис. 1), в июле 2019 г. Поселок Рабочеостровск расположен в зоне шхерных берегов побережья Белого моря. На западном и восточном берегах острова Октябрьской революции (соединён насыпью с коренным берегом) были заложены пробные площади. На трех пробных площадях (ПП) от линии уреза воды (во время отлива) до зоны контакта штормовых выбросов у коренного берега были заложены три трансекты. На пробных площадях по трансектам было сделано описание растительности, грунтов литорали, собраны растения астры солончаковой, грунт под растениями и пробы морской воды. Названия маршевых почвогрунтов даны по работе М.А. Цейца (2005) [7].

ПП1 – западная часть о. Октябрьской революции – 65°00'37.3"N 34°48'10.6"E, расположена на пологом илисто-песчаном берегу с наличием валунно-галечниковых скоплений (размер валунов от 30 до 50 см) в средней части литорали. Соленость морской воды в отлив 24‰. От коренного берега до линии уреза воды маршевый примитивный супесчаный оторфованный грунт переходил в маршевый примитивный супесчаный оглеенный грунт и далее – в супесчаный литоральный грунт. Общее видовое богатство изученных сообществ составляет 19 видов [8].

ПП2 – восточный берег о. Октябрьской революции – 64°59'43.2"N 34°47'35.0"E. Илисто-песчаный берег довольно завалунен, встречаются как крупные (1,5 м), так и более мелкие валуны (около 60 см). Соленость морской воды в отлив 23‰. Грунт песчаный оглеенный литоральный. Общее видовое богатство изученных сообществ составляет 13 видов [8].

ПП3 – район порта – 64°59'29.5"N 34°47'19.4"E, расположена на скалистых выступах берегов, обнажающихся в отлив (луды). Поверхность осушки нередко покрыта морскими выбросами и нанесенным приливами мусором (древесные остатки с металлическими гвоздями, пластиковые пакеты, битое стекло и др.). Соленость морской воды в отлив 26‰.

Грунт слоистый заиленный песчаный литоральный. Общее видовое богатство изученных сообществ составляет 4 вида [8] (рис. 1).

Объект исследования

Объект исследования – Астра солончаковая (*Aster tripolium* L.) относится к семейству Астровые (*Asteraceae*), евроазиатский бореальный вид, являющийся доминантом и субдоминантом различных приморских растительных сообществ (рис. 2). Это распространенный вид приморского галофитного комплекса [9].

Методы исследования

Определение *солености воды* проводили рефрактометром RHS-10ATC.

Содержание тяжелых металлов определяли атомно-абсорбционным методом (атомно-абсорбционный спектрофотометр АА–7000 (Shimadzu, Япония) на оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук». В работе представлены валовые средние арифметические значения содержания тяжелых металлов в грунтах, корнях, надземных органах, целом растении и морской воде.

Коэффициент биологического поглощения (КБП) металлов рассчитывали как отношение содержания металла в растении к сумме его содержания в воде и грунте. КБП металлов характеризует способность растений поглощать тяжелые металлы из среды. Считается, что если коэффициент больше единицы, то растение активно накапливает металлы. Литоральный грунт собирали непосредственно в зоне корней растений. Растения астры солончаковой отбирали в средней части литорали на каждой пробной площади (n = 5) и делили на корни и надземную часть.

Статистическая обработка данных

Достоверность полученных результатов оценивали с помощью критерия Фишера, регрессионного и корреляционного анализов с учетом объема сравниваемых совокупностей и порога доверительной вероятности 0,95 (программа Statgraphics 2.1 для Windows).

Рис. 1. Пробные площади (ПП1, ПП2, ПП3)

Рис. 2. Астра солончаковая Aster tripolium L.

Результаты исследования и их обсуждение

Содержание элементов в грунтах и морской воде

Морская вода в окрестностях п. Рабочеостровск значительно загрязнена нитратами до 2,1–0,9 ПДК, железом – до 6,4–0,8 ПДК, никелем – до 17,7–14,8 ПДК и свинцом – до 9,8–2,4 ПДК. Наибольшее загрязнение морской воды этими элементами на ПП1. Содержание марганца, цинка и меди в морской воде не превышает предельно допустимых значений. Соленость воды 23–26 ‰.

Литоральные грунты на пробных площадях не загрязнены тяжелыми металлами (табл. 2). Среднее содержание железа в грунте (ПП1–ПП3) было на уровне 13179,39 ± 6968 мг/кг, марганца – 122,29 ± 47 мг/кг, цинка – 31,21 ± 19 мг/кг, меди – 14,36 ± 9 мг/кг, никеля – 12,39 ± 7 и свинца на уровне 7,59 ± 5 мг/кг. Однако можно отметить более высокие уровни металлов в грунтах на ПП3 (район порта), превышающие фоновые значения по меди, свинцу и цинку и равные 0,4 ОДК цинка, 0,9 ОДК меди, 0,8 ОДК никеля и 0,6 ОДК свинца.

Накопление элементов растениями Aster tripolium L.

Установлена положительная связь между содержанием элементов в среде обитания (грунт + вода) и накоплением металлов астрой солончаковой. Коэффициенты корреляции (r) между содержанием металлов в среде и в растениях астры равны для железа 0,51; марганца 0,33; для цинка 0,83; меди 0,90; никеля 0,64 и свинца 0,95. Рассмотрим накопление каждого металла подробнее.

Железо. Астра солончаковая накапливала железо в количестве 15–32 г. Это очень высокие значения содержания железа у растений (ПДК > 0,5 г). Астра – гипераккумулятор железа на литорали Белого моря. При этом максимальное накопление железа установлено на ПП3 (зона порта) и в целом 90 % от общего содержания в растении железа накапливалось в корнях астры. КБП железа больше единицы и равны 1,06–2,50 (табл. 3).

Марганец. Марганец накапливался в растениях астры в значениях 137– 417 мг/кг, на ПП2 до значений ПДК. КБП 0,91–4,76. Основная часть марганца (70 %) также накапливалась в корнях астры (табл. 3).

Цинк. Содержание цинка в растениях было на уровне 30–250 мг/кг, максимально на ПП3 (зона порта), где накопление марганца превышало критический уровень для растений. КБП 1,36–3,94 и 90–50 % металла накапливалось также в подземных органах астры.

Медь. Медь была на уровне 12–70 мг/кг в растениях астры, при этом максимальные значения были установлены также у растений ПП3 (превышение ПДК). КБП 1,78–3,86. Корни астры накапливали 50–80 % всей содержащейся в растении меди (табл. 3).

Таблица 1

Содержание элементов в морской воде в районе пробных площадей приливно-отливной зоны Белого моря (п. Рабочеостровск)

Пробная площадь	NO_3^- мг/л	Cl^- г/л	Минерализация г/л	Fe мг/л	Mn мг/л	Zn мг/л	Ni мг/л	Cu мг/л	Pb мг/л
ПП1	83,72	2,41	12,4	0,32	0,014	0,008	0,165	0,00068	0,098
ПП2	43,68	1,76	7,8	0,04	0,011	0,028	0,148	0,00001	0,024
ПП3	50,25	2,24	11,8	0,05	0,004	0,003	0,177	0,00027	0,064
M	59,21	2,13	10,67	0,14	0,01	0,01	0,16	0	0,06
σ	21,47	0,34	2,51	0,16	0,01	0,01	0	0	0,04
Фон*	–	> 2,5	–	0,01	0,002	0,010	0,002	0,003	0,00003
ПДК**	39,00	–	–	0,05	0,050	0,050	0,01	0,01	0,01

M – среднее арифметическое, σ – стандартное отклонение, *Фон – естественный уровень исследуемых показателей морской воды, ** ПДК в морской воде водных объектов рыбохозяйственного значения [10].

Таблица 2

Содержание элементов в грунтах пробных площадей приливно-отливной зоны Белого моря (п. Рабочеостровск)

Пробная площадь	Металл	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Pb
	мг/кг						
ПП1	M	19119,39	150,90	21,39	6,94	10,41*	3,93
	σ	4532,39	40,84	4,77	2,60	2,49	0,95
ПП2	M	7263,17*	87,63*	8,91	4,91	3,85*	1,67
	σ	2372,81	25,28	0,54	1,52	0,06	0,57
ПП3	M	13155,60	128,35	63,33*	31,23*	22,90*	17,18*
	σ	5124,40	23,44	10,15	7,81	5,80	3,50
Фон ДО[1]		–	–	62	18	30	15
ОДК[2]		46500	1500	150	35	30	30

[1]Фоновые значения содержания тяжелых металлов в донных отложениях (ДО) морей.

[2]ОДК – ориентировочно допустимые концентрации для незагрязненных донных осадков по SFT [11].

*данные, представленные со звездочкой, достоверно различаются по ПП согласно Fisher's LSD test. ($p \leq 0,05$).

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов (M – среднее арифметическое значение), мг/кг, и коэффициент биологического поглощения металлов (КБП) в целом растении, надземных органах и корнях *Aster tripolium* L. приливно-отливной зоны Белого моря (п. Рабочеостровск)

Элемент	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Pb
мг/кг						
ПП1						
$M_{все\ раст}$	20284 ± 700	137,17 ± 50,11	29,17 ± 7,23	12,38 ± 3,00	66,30 ± 15,14	10,25 ± 3,12
$M_{надз}$	2556 ± 300	49,23 ± 33	13,98 ± 9,00	5,40 ± 2,21	12,53 ± 4,65	1,28 ± 0,50
$M_{корень}$	17728 ± 1500	87,94 ± 21	15,19 ± 5,10	6,97 ± 1,58	53,77 ± 7,02	8,98 ± 1,22
$КБП_{раст}$	1,06	0,91	1,36	1,78	6,27	2,55
$КБП_{надз}$	0,13	0,33	0,65	0,78	1,18	0,32
$КБП_{корень}$	0,93	0,58	0,71	1,00	5,08	2,23
ПП2						
$M_{все\ раст}$	15503 ± 2000	417,42 ± 25,36*	41,57 ± 15,10	18,94 ± 2,01	95,15 ± 10,23	11,23 ± 1,00
$M_{надз}$	1155 ± 256	29,62 ± 3,58	24,39 ± 5,12	7,11 ± 1,15	17,93 ± 3,70	1,36 ± 0,05
$M_{корень}$	14347 ± 1470	387,79 ± 70,25	17,18 ± 3,18	11,83 ± 2,00	77,22 ± 3,15	9,87 ± 2,00
$КБП_{раст}$	2,13	4,76	4,65	3,86	23,80	6,61

Окончание табл. 3

Элемент	Fe	Mn	Zn	Cu	Ni	Pb
мг/кг						
КБП $_{надз}$	0,16	0,34	2,73	1,45	4,48	0,80
КБП $_{корень}$	1,98	4,42	1,92	2,41	19,32	5,81
ПП3						
М $_{все\ раст}$	32905 ± 2589*	162,26 ± 15,20	249,41 ± 35,00*	70,52 ± 15,12*	559,45 ± 63,00*	477,71 ± 30,30*
М $_{надз}$	1471 ± 300	37,52 ± 7,20	21,00 ± 3,58	5,32 ± 1,00	6,01 ± 1,06	2,69 ± 0,63
М $_{корень}$	31433 ± 5000	124,74 ± 10,60	228,41 ± 25,80	65,20 ± 7,78	553,44 ± 80,10	475,01 ± 45,20
КБП $_{раст}$	2,50	1,26	3,94	2,26	24,24	27,70
КБП $_{надз}$	0,11	0,29	0,33	0,17	0,26	0,16
КБП $_{корень}$	2,39	0,97	3,61	2,09	23,98	27,54
ПДК[1]	> 500	300-500	>100	20-100	10-100	20-300

***** данные, представленные со звездочкой, достоверно различаются по ПП согласно Fisher's LSD test. ($p \leq 0,05$)

1 – предельно допустимая концентрация содержания элементов в растениях, мг/кг [12].

Никель. Астра солончаковая накапливала очень высокие количества никеля 66–560 мг/кг, максимально на ПП3. Астра – гипераккумулятор никеля на литорали Белого моря. КБП никеля были очень высокие 6,27–24,24. Никель в растениях превышал критический уровень у растений в 6–56 раз. При этом корень также вмещал 90% всего растительного никеля (табл. 3).

Свинец. 11–478 мг/кг свинца содержалось в растениях астры. На ПП3 превышение критического уровня составило 24 ПДК. Астра – гипераккумулятор свинца на литорали Белого моря. КБП 2,55–27,70. И 90% растительного свинца накапливали корни астры (табл. 3).

Таким образом, астра солончаковая активно накапливает металлы (КБП > 1). Средний ряд (ПП1–ПП3) накопления металлов Ni (15,84) > Pb (8,21) > Zn (2,93) > Cu (2,82) > Mn (2,08) > Fe (1,71). По абсолютным значениям содержания металлов в растениях можно сделать вывод, что астра – гипераккумулятор железа, никеля и свинца в условиях обитания на литорали Белого моря. Корни растений накапливают 70–90% всех поступающих в растение металлов по сравнению с надземной частью астры солончаковой.

Астра солончаковая (*Aster tripolium* L.) доминирует в растительном покрове литорали Белого моря в пределах изученных пробных площадей в окрестностях п. Рабочеостровск [7]. Растения астры обитают в условиях значительного загрязнения морской воды нитратами до 2,1–0,9 ПДК, железом до 6,4–0,8 ПДК, никелем до 17,7–14,8 ПДК и свинцом 9,8–2,4 ПДК (табл. 1). Литоральные грунты не загрязнены тяжелыми металлами. Однако можно отметить, что на ПП3 (зона порта) установлены уровни металлов, превышающие фоновые значения и равные 0,4 ОДК цинка, 0,9 ОДК меди, 0,8 ОДК никеля и 0,6 ОДК свинца (табл. 2).

Поступление загрязняющих веществ в Белое море происходит с течениями крупных рек Северо-Запада России (Кемь, Северная Двина, Кереть, Онега, Нижний Выг, Верхний Выг) [11]. Так, объем сбрасываемых сточных вод в поверхностные водные объекты бассейна Белого моря в 2019 г. составил 73,87 млн м^3 (в 2018 г. – 70,13 млн м^3), в том числе 14,98 млн м^3 приходится на сбросы горнодобывающего металлургического предприятия АО «Карельский окатыш». Основные загрязняющие вещества выбросов АО «Карельский окатыш» – сернистый ангидрид, железо, никель, марганец, свинец, цинк. Согласно данным Государственного доклада о состоянии окружающей среды Республики Карелия, наибольшую массу в составе загрязняющих веществ, сбрасываемых в водоемы бассейна Белого моря в 2019 г., составляют: лигнин сульфатный (3014,88 т), калий (1982,43 т), нитраты (1446,41 т), магний (601,51 т), натрий (524,35 т), железо (30,51 т), нефтепродукты (11,92 т), никель (898,64 кг) [1].

Растения *Aster tripolium* L. активно накапливают тяжелые металлы из среды, о чем свидетельствует КБП > 1 (табл. 3). Средний ряд (ПП1–ПП3) накопления металлов Ni (15,84) > Pb (8,21) > Zn (2,93) > Cu (2,82) > Mn (2,08) > Fe (1,71). Растение *Aster tripolium* – ги-

пераккумулятор железа, никеля и свинца, так как накапливает очень высокие уровни железа (15–32 г/кг), никеля (66–560 мг/кг) и свинца (11–478 мг/кг), особенно на ППЗ (зона порта). Содержание железа в тканях астры в тысячи раз превышает содержание других элементов. Считается, что если растения накапливают металл до значений более чем 1000 мг/кг, то его относят к гипераккумуляторам, а если до значений < 500 мг/кг – то к негипераккумуляторам или вторичным аккумуляторам этого металла [13].

Ранее нами было показано, что растения *Plantago maritima* L. и *Triglochin maritima* L., обитающие на литорали Белого моря в районе п. Кереть, также накапливают железо до уровней 13–22 г/кг соответственно [14]. Есть факты, что галофиты *Salicornia europaea, Suaeda maritima, Salsola soda* и *Halimione portulacoides* с засоленных морских территорий могут накапливать до 2,3 г/кг железа всем растением и в корнях 1,3 г/кг [6]. Хорошо известно, что клеточная стенка растений может депонировать тяжелые металлы [6, 14]. Возможно, связывание атомов железа клеточной стенкой корней и листьев астры солончаковой может повышать её жесткость, обеспечивая повышение прочности органов в условиях наибольшей приливно-отливной динамики моря.

Корни растений *Aster tripolium* L. накапливают 70–90 % всех поступающих в растение металлов по сравнению с надземной частью астры солончаковой. Хорошо известно, что именно корневая система и ее ткани – первый барьер на пути загрязняющих веществ [3, 15]. Адаптация растений на уровне организма направлена на иммобилизацию металлов в корнях, чтобы защитить от токсического действия металлов репродуктивные органы и семена [15]. Следует отметить, что астра солончаковая – корневищное растение, накапливает металлы в корне в течение всей жизни растения, в то время как наземная часть растений отмирает каждый год и её минеральные элементы питают грунты литорали и берега в виде выбросов.

Таким образом, в условиях загрязнения среды обитания нитратами, железом, никелем и свинцом на литорали Белого моря растения-галофиты *Aster tripolium* L. активно накапливают металлы, в основном корнями, и могут рассматриваться как гипераккумуляторы железа, никеля и свинца.

Список литературы / References

1. Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2019 г. (Министерство природных ресурсов и экологии Республики Карелия) / Под ред. Громцева А.Н. Петрозаводск, 2020. 248 с. // ФИЦ «Карельский научный центр Российской академии наук». [Электронный ресурс]. URL: http://www.krc.karelia.ru/publ.php?id=m166&plang=r (дата обращения: 12.10.2021).

State report on the state of the environment of the Republic of Karelia in 2019 (Ministry of Natural Resources and Ecology of the Republic of Karelia) / Ed. A.N. Gromtsev. Petrozavodsk, 2020. 248 p. // FITS «Karel'skiy nauchnyy tsentr Rossiyskoy akademii nauk». [Electronic resource]. URL: http://www.krc.karelia.ru/publ.php?id=m166&plang=r. (date of access: 12.10.2021) (in Russian).

2. Salt D.E., Smith R.D., Raskin L. Phytoremediation. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 1998. Vol. 49 (1). P. 643–668. DOI: 10.1146/annurev.arplant.49.1.643.

3. Van Osten M.J., Maggio A. Functional biology of halophytes in the phytoremediation of heavy metal contaminated soils. Environmental and Experimental Botany. 2015. Vol. 111. P. 135–146. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2014.11.010.

4. Rabhi M., Ferchichi S., Jouini J., Hamrouni M.H, Koyro H.-W., Ranieri A., Abdelly C., Smaoui A. Phytodesalination of a salt-affected soil with the halophyte *Sesuvium portulacastrum* L. to arrange in advance the requirements for the successful growth of a glycophytic crop. Bioresour. Technol. 2010. Vol. 101. P. 6822–6828. DOI: 10.1016/j.biortech.2010.03.097.

5. Alatorre E.B., Shabala S., Chen Z., Pottosin I. Reduced tonoplast FV and SV channels activity is essential for conferring salinity tolerance in a facultative halophyte. Chenopodium quinoa. Plant Physiol. 2013. P. 113–126. DOI: 10.1104 / pp.113.216572.

6. Markovskaya E., Terebova E., Androsova V., Pavlova M., Taskina K. Ecological and physiological features of metal accumulation of halophytic plants on the White Sea coast. Handbook of bioremediation: Physiological, Molecular and Biotechnological Interventions. India, 2020. P. 295–327.

7. Tseyts M.A., Dobrynin D.V. Classification of Marsh Soils in Russia. Eurasian Soil Science. 2005. Vol. 38. № 1. P. 44–48.

8. Таскина К.Б. Динамика приморской растительности на западном побережье Белого моря (окрестности пос. Рабочеостровск) // Карелия глазами ученых: основные результаты экспедиционной деятельности (2019). 2020. [Электронный ресурс]. URL: https://elibrary.karelia.ru/book.shtml?id=47002. (дата обращения: 12.10.2021).

Taskina K.B. The dynamics of coastal vegetation on the western coast of the White Sea (environs of the settlement of Rabocheostrovsk) // Kareliya glazami uchenyh: osnovnye rezultaty ekspedicionnoj deyatelnosti (2019). 2020. [Electronic resource].]URL: https://elibrary.karelia.ru/book.shtml?id=47002. (date of access: 12.10.2021) (in Russian).

9. Морозова К.В., Гуляева Е.Н., Марковская Е.Ф. Анатомо-морфологическая характеристика листьев Астры солончаковой (*Aster tripolium* L.) на побережье Белого моря // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. 2014. № 8. Т. 2. С. 21–26.

Morozova K.V., Gulyaeva E.N., Markovskaya E.F. Anatomical and morphological characteristics of the leaves of seashore aster (*Aster tripolium* L.) on the coast of the White Sea // Uchenyye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 8. Vol. 2. P. 21–26 (in Russian).

10. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 года № 552 // Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. URL: https://docs.cntd.ru/document/420389120 (дата обращения: 12.10.2021).

Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation of December 13, 2016, № 552 // On the approval of water quality standards for water bodies of fishery value, including the standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery value. Electronic fund of legal and normative-technical docu-

ments. [Electronic resource]. URL: https://docs.cntd.ru/document/420389120 (date of access: 12.10.2021) (in Russian).

11. Ильин Г.В., Усягина И.С., Касаткина Н.Е. Геоэкологическое состояние среды морей Российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 2 (21). С. 82–93.

Ilin G.V., Usyagina I.S., Kasatkina N.E. Geoecological state of seas in the environment in the Russian Arctic under the present technogenic stresses // Vestnik Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN. 2015. № 2 (21). P. 82–93 (in Russian).

12. Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th edition. Boca Raton, FL, USA: CRC Press/Taylor & Francis Group. 2010. 548 p. DOI: 10.1201/b10158.

13. Naila A., Meerdink G., Jayasena V., Sulaiman A.Z., Ajit A.B., Graziella Berta, G. A review on global metal accumulators-mechanism, enhancement, commercial application, and research trend. Environmental Science and Pollution Research. 2019. Vol. 26. P. 26449–26471. DOI: 10.1007/s11356-019-05992-4.

14. Terebova E., Markovskaya E., Androsova V., Pavlova M., Oreshnikova N. Cell wall functional activity and metal accumulation of halophytic plant species *Plantago maritima* and *Triglochin maritima* on the White Sea littoral zone (NW Russia). Czech Polar Reports. 2020. Vol. 10 (2). P. 169–188.

15. Yadav S. Heavy Metals Toxicity in Plants: An Overview on the Role of Glutathione and Phytochelatins in Heavy Metal Stress Tolerance of Plants. South African Journal of Botany. 2010. Vol. 76 (2). P. 167–179. DOI: 10.1016/j.sajb.2009.10.007.

УДК 553.3/.4:553.04:528.8

АНАЛИЗ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ И АССОЦИАЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕРСПЕКТИВНОЙ БЕРЕЗОВСКОЙ ПЛОЩАДИ МЕТОДОМ ГЛАВНЫХ КОМПОНЕНТ (КЕМСКИЙ ТЕРРЕЙН, СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС)

Шевырев С.Л., Горобейко Е.В.

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, e-mail: shevirev@mail.ru

Коренные благороднометалльные месторождения внутри ареала стагнированного океанического слэба, подстилающего протяженные части Сино-Корейского и Северо-Азиатского кратонов, и находящиеся между ними складчатые пояса, характеризуются небольшими ресурсами и площадью, что затрудняет их обнаружение. Одной из структур, вмещающей такие объекты, является Сихотэ-Алинский складчатый пояс, включающий террейны различного возраста и генезиса: аккреционного, островодужного и турбидитового, прорванные интрузивными и перекрытые вулканогенно-осадочными породами одноименного вулканоплутонического пояса. Несмотря на сложное строение и расчлененный рельеф территории, геохимические методы поиска по вторичным ореолам имеют критическое значение для выделения рудных объектов в пределах перспективных структур. Островодужный Кемский террейн, охватывающий территории континентального побережья Татарского пролива, вмещает небольшие золотосеребряные месторождения и проявления, связанные с этапом формирования и развития активной вулканической окраины, и имеют эпитермальный генезис, ассоциированный с верхнемеловыми и палеогеновыми интрузивными и вулканическими свитами. Рассматриваемая в нашем исследовании перспективная Березовская площадь находится в 8 км к юго-востоку от вулканического купола известного золотосеребряного месторождения Салют и связана с вулканокупольной структурой меньшего масштаба, локализованной в долине реки Кузнецова. Метод главных компонентов относится к классу методов уменьшения размерности данных и широко применяется в естественных науках. Применение этого метода при обработке результатов спектрального анализа поисковых геохимических проб позволяет выявить ассоциации элементов, объединенных в отдельные компоненты, и установить их пространственное распределение, связанное с размещением на территории структурно-вещественных комплексов и степенью их вторичных изменений. Обоснование количества выделяемых компонент производится с помощью величины общей совокупной дисперсии, описанной этими компонентами. Для компонентов, включающих ассоциации различных элементов, построены карты пространственного распределения и локализации аномалий. Группировка элементов в главных компонентах, выраженная в значениях их векторных нагрузок, предположительно связана с наличием этапности в рудообразовании на Березовской площади и может служить для понимания особенностей минерагении территории.

Ключевые слова: метод главных компонент, вулканические пояса, scikit-learn, геологическое картирование, поисковая геохимия

ANALYSIS OF GEOCHEMICAL DATA AND CHEMICAL ELEMENTS ASSOCIATIONS OF PROSPECTIVE BEREZOVSKY AREA (KEMA TERRAIN, SIKHOTE-ALIN FOLDED BELT)

Shevyrev S.L., Gorobeyko E.V.

Far Eastern Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: shevirev@mail.ru

Native deposits of precious metal inside of the areal of stagnant oceanic slab beneath the vast parts of Sino-Korean and North Asian cratons as well as folded belts located between them are described with smaller resources and areas, which impedes their discoveries. One of such folded structures that possesses precious metal deposits is the Sikhote-Alin folded belt that occupies terrains of different age and genesis: accretionary, island arc and turbidite. Sediments of these terrains are intruded and overlain by magmatic rocks of Sikhote-Alin volcano-plutonic belt. Despite its complicated composition and dissected relief, geochemical methods of exploration of secondary haloes are critical for the outlining of ore objects within prospective structures. Island arc Kema terrain embraces area along the continental shore of Tartar strait and holds epithermal Au-Ag deposits and manifestations associated with forming and development of active volcanic margin, which are associated with Upper Cretaceous and Paleogene intrusive and volcanic rocks. Discussed prospective Berezovsky area is in the distance of 8 km from known Au-Ag deposit of Saluyt and is related to volcanic dome structure of less scale that is situated in the Kuznetsova river valley. Principal component analysis is the method of data dimension decrease and widely applicable in natural sciences. Application of that method in processing of field sampling geochemical data allows to determine the associations of elements and their spatial distribution related to positions of structure and rock complexes as well as their alteration changes. Determining of principal components number was done with the value of related explained variance. For components including associations of various elements maps of spatial distribution and locations of anomalies were built. Integration of chemical elements into various components is supposedly associated with staging of mineralization of Berezovsky area and could serve to general understanding of ore mineralization of the area.

Keywords: principal component analysis, volcanic belts, scikit-learn, geological mapping, exploration geochemistry

Необходимость экономического и инфраструктурного развития территорий Дальнего Востока России требует наращивания их ресурсного потенциала в отношении стратегического сырья благородных металлов. Исследованиями последних десятилетий

обоснованы базовые закономерности размещения крупных и средних месторождений [1–3], их позиция вдоль планетарных дизъюнктивов и региональных сдвигов, а также вдоль границы стагнированного океанического слэба [4]. Поисковые и оценочные работы, проводимые в отношении небольших рудных объектов, являются источником данных об эволюции и сонахождении химических элементов в приповерхностной зоне земной коры, доступной для непосредственных наблюдений и изучения. Исследуемая территория Березовской перспективной площади располагается в пределах Кемской металлогенической зоны (Восточно-Сихотэ-Алинский магма-металлогенический пояс), совпадающей территориально с островодужным Кемским террейном Сихотэ-Алинского горно-складчатого пояса. Цель исследования – описать закономерности распределения химических элементов и формирование ими вторичных ореолов рассеяния, совместное поведение элементов в зоне выветривания и соответствие повышенных концентраций элементов структурно-вещественным комплексам Березовского участка. Для достижения этой цели необходимо решение следующих задач: статистическая обработка результатов поисковой геохимической съемки с помощью метода главных компонент (МГК, PCA); обоснование выбора оптимального количества главных компонент (ГК, PC) для описания совокупности данных; оценка собственных значений главных компонент и вкладов химических элементов в компоненты; графическое представление данных и интерпретация полученных результатов.

Материалы и методы исследования

Как уже указывалось выше, оригинальный исследовательский материал был получен в пределах Березовской перспективной площади, находящейся на территории Кемского террейна, несогласно перекрытого вулканическими породами Восточно Сихотэ-Алинского вулкано-плутонического пояса. Объект исследований граничит с месторождением Салют и, вероятно, обладает с ним историко-геологической общностью и парагенетической близостью [5]. В качестве источника данных выступили проанализированные с помощью электронного зондового микроанализатора JEOL JXA-8100 материалы поисковой геохимической съемки, выполненной в 2016 году полевыми работами Приморской горно-геологической экспедиции.

Данные включили результаты спектрального анализа 17,5 тысяч литогеохимических проб по вторичным ореолам, отобранных по сети 100х20 и 200х50 на площади около 70 км^2. Площадь включила территорию, прилегающую к Березовскому вулкано-купольному поднятию (БВКП), находящемуся в ее центральной и западной частях, образованному вулканогенно-осадочными образованиями мелового, палеогенового и неогенового возраста и местами перекрытому современными аллювиальными отложениями (рис. 1).

Геологическое строение участка включает несколько генераций вулканических пород, а именно самаргинский комплекс и приморскую свиту верхнего мела (переслаивающиеся риолиты, риодациты и андезидациты), прорванные гранитами дальнегорского комплекса, богопольскую свиту (позднемаастрихстско-датского(?) возраста), содержащую лавы и туфы риолитов, кузнецовские эоценовые андезиты и андезибазальты и их туфы, кедровские эоценовые риолиты и риодациты, а также кизинские (нижне-среднемиоценовые) андезибазальты. Региональные исследования, включившие абсолютные датировки с помощью K-Ar метода, определили возраст вулканитов кузнецовской свиты как эоценовый (53,4–42,5 млн лет) [6].

На территории, непосредственно примыкающей к БВКП (центральная часть участка, рис. 1), породы интенсивно метасоматически изменены на участках, примыкающих к сети радиальных и концентрических разрывных нарушений. Метасоматические изменения сопровождаются появлением кварца, серицита и гидрослюд в качестве вторичных минералов. Присутствуют также вторичные хлорит, эпидот, лимонит и каолинит. Рудоконтролирующую роль играют области вторичных изменений, ассоциированные с зонами трещиноватости северо-восточного направления, соответствующего направлению тектонических зон Сихотэ-Алиня первого порядка. Наличие ореолов вторичных изменений, а также зон окварцевания и карбонатизации в меловых и эоценовых породах позволяет предположить возраст вторичных изменений и метасоматизации как послеэоценовый.

В качестве средства для обработки геохимических данных выступила библиотека *Python scikit-learn*, являющаяся эффективным средством для анализа данных и машинного обучения [7]. Расчеты и построение графики выполнялись в среде Jupyter.

Таблица результатов анализа геохимических проб была очищена от неполных записей; для масштабирования разнопорядковых значений содержаний элементов применялся метод стандартизации, который необходимо задействовать перед применением МГК [8]. Результат вывода заголовка и первых пяти строк таблицы стандартизованных данных показан (таблица), выполнено округление до трех символов слева от запятой.

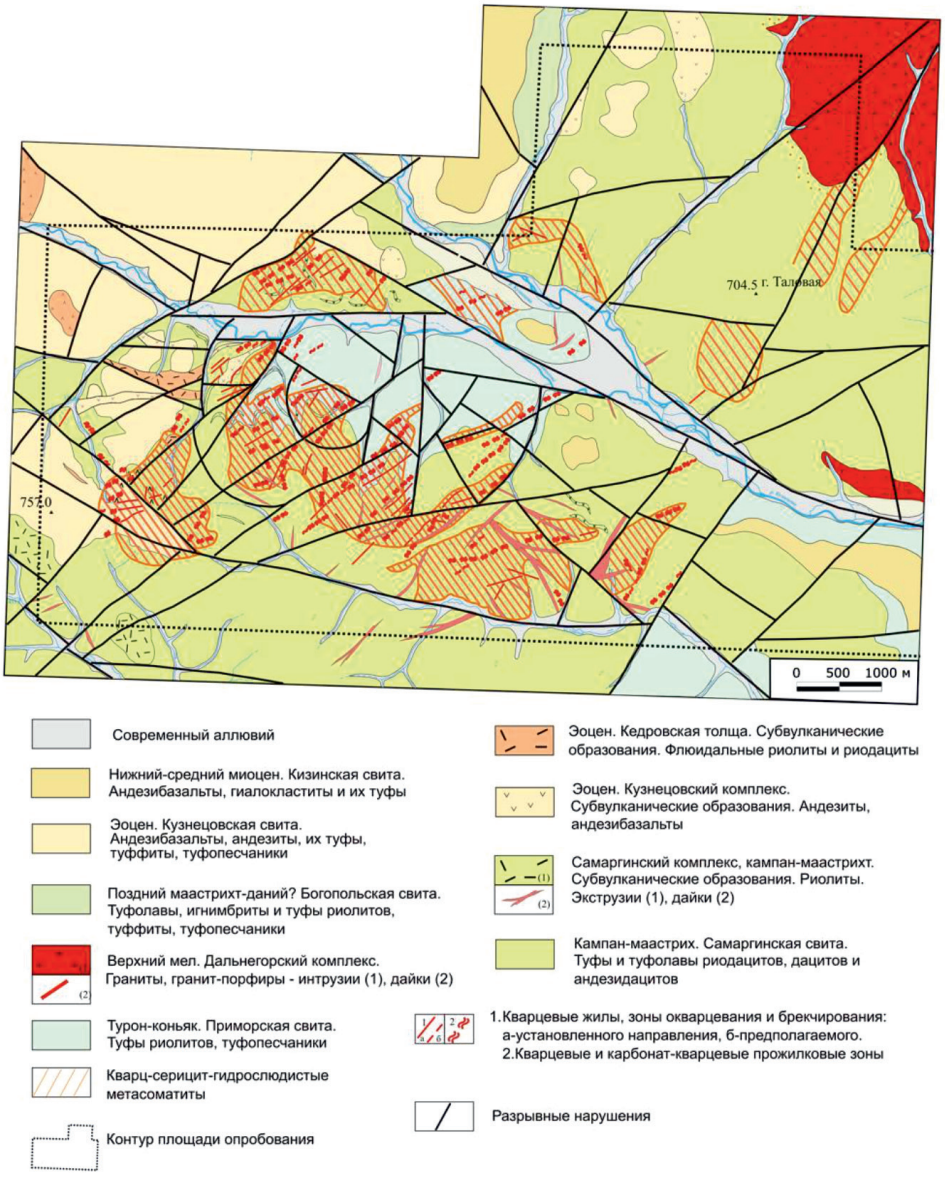
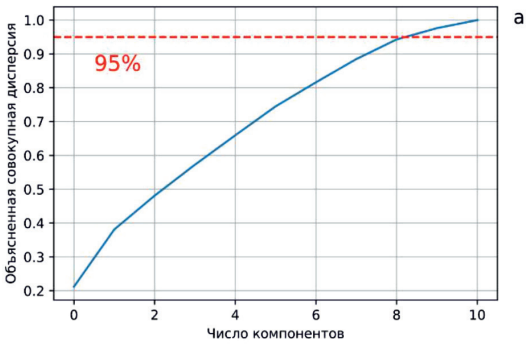


Рис. 1. Геологическая карта Березовской перспективной площади (по материалам Приморской горно-геологической экспедиции, с изменениями)

Стандартизованные результаты спектрального анализа геохимических проб Березовской площади (объект *scaled_features* программы, первые 5 строк из 17507)

	Au	Ag	Sn	Pb	Zn	Cu	Ni	Mn	Co	Mo	Ba
0	-0.087	-0.062	0.815	-0.285	-0.416	-0.174	0.578	0.018	-0.275	0.154	0.791
1	-0.087	-0.375	0.815	-0.344	-0.416	-0.174	-0.295	-0.620	-0.881	-0.328	-0.275
2	-0.087	-0.375	-0.482	-0.344	-0.780	-0.174	-0.513	-0.620	-0.881	-0.328	0.081
3	-0.087	-0.312	-0.482	-0.344	-0.780	-0.174	-0.295	-0.701	-0.881	-0.328	-0.275
4	-0.087	-0.312	0.815	-0.344	-0.780	-0.174	-0.513	-0.620	-0.881	-0.328	-0.275



б

```
from sklearn.decomposition import PCA
PCA=PCA(n_components=8)  #создание 8-компонентной модели
Transformed_PCA=PCA.fit_transform(scaled_features)
Transformed_PCA
```

Рис. 2. Нахождение числа главных компонент (а), создание и обучение модели PCA (б) в Jupyter

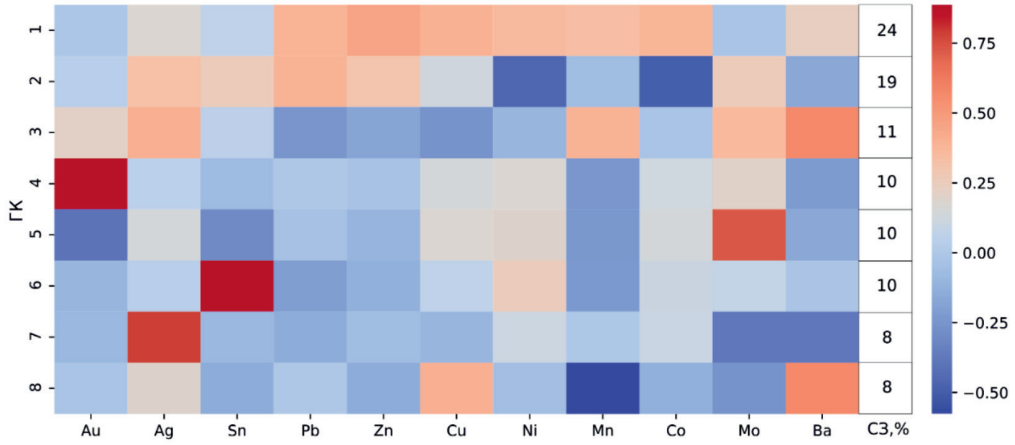


Рис. 3. Векторные нагрузки – вклад элементов в главные компоненты (ГК), а также их собственные значения (СЗ, в %)

Для определения количества главных компонент оценивалась соответствующая им накопленная объясненная совокупная дисперсия (*pca.explained_variance_ratio_*). С помощью оценки дисперсии, описанной определенным количеством компонент [9], было найдено 8 компонент, соответствующих 95 % дисперсии совокупности данных (рис. 2а). Создание модели МГК для необходимого количества главных компонент осуществлялось так, как показано на рис. 2б.

Вклад отдельных элементов в ГК оценивался с помощью векторной тепловой карты, построенной с помощью библиотеки Python *seaborn* (рис. 3), визуализирующей векторные нагрузки компонент и их собственные значения (eigenvalues, EV). Векторные нагрузки демонстрируют вклад элемента в ГК, тогда как собственные значения показывают его долю компоненты в дисперсии данных. Векторные нагрузки элементов, показанные цветом, позволяют оценить группировку элементов в отдельных компонентах.

На основании векторных нагрузок элементов нами были выделены ГК 1, 2, 4, 7. ГК1, обладающий наибольшим вкладом (24 %) в дисперсию, включил халькофильные элементы Pb, Zn, Cu, а также сидерофильные Mn, Ni, Co. ГК2 (19 %) описывает распределение Ag, Sn, Pb и Zn. ГК4 (10 %) включает повышенную векторную нагрузку Au и незначительную Mo, тогда как ГК7 (8 %) – нагрузку Ag с незначительным превышением сидерофилов Ni и Co.

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные в результате применения методов главных компонент таблицы значе-

ний выбранных ГК 1, 2, 4 и 7 были использованы для построения карты распределения геохимических аномалий вторичных ореолов рассеяния на площади исследуемого перспективного Березовского участка.

Для интерполяции и визуализации были использованы библиотеки Python *scipy* (функция *griddata*) и *matplotlib*. Нахождение промежуточных значений ГК на площади осуществлялось с помощью метода «ближайшего соседства» (nearest neighborhood). На полученные карты распределения ГК выносились контуры территории геохимического опробования с целью дальнейшего сопоставления карт значений с геологической картой и картой фактического материала (рис. 4).

свит, и располагающиеся к северо-западу от БВКП.

Как следует из рис. 4, ГК 4 и 7 на территории образуют контрастные, мелкие, не площадные аномалии, разделенные между собой полями значений, близких к фоновым, препятствующих объединению аномальных значений в одном контуре (рис. 4).

Для ГК4, отражающем распределение Au, характерно сгущение аномалий к юго-западу от БВКП, преимущественно в зоне распространения кварцевых жил и кварц-карбонат прожилковых зон среди мел-палеогеновых самаргинских и кузнецовских вулканогенно-осадочных пород. Аномалии ГК7 сгруппированы на юге территории и, незначительно, на северо-востоке, совмещенно

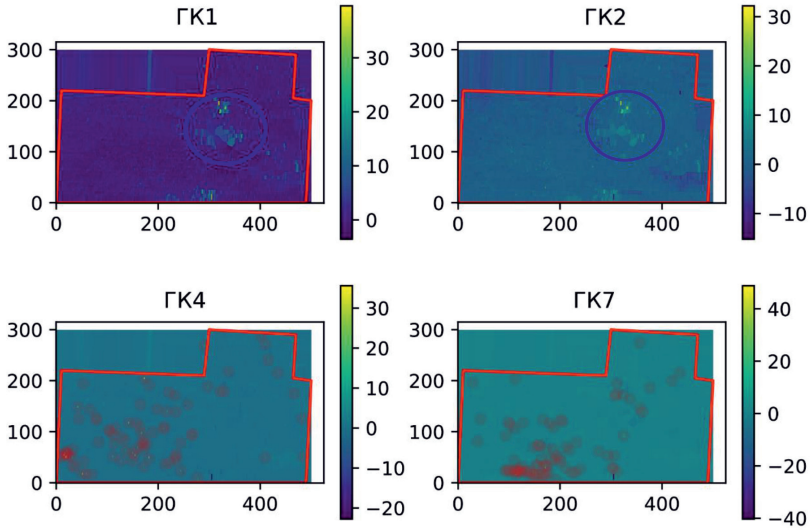


Рис. 4. Результаты интерполяции значений ГК для территории Березовской перспективной площади. Синей окружностью обведены площадные аномалии ГК1 и 2. Красные кружки на ГК4 и 7 показывают их небольшие аномалии, вынесены вне масштаба

В качестве критерия для выделения геохимических аномалий использовалось «правило трех сигм», в соответствии с которым значения, отличающиеся от математического ожидания более чем на три величины стандартного отклонения, рассматриваются как аномальные [10]. В соответствии с этим правилом в центральной части Березовской площади выделены площадные аномалии ГК1 и 2, в пространственном отношении совпадающие с зоной вторичных изменений и кварц-карбонат прожилковыми зонами, непосредственно примыкающими к руслу р. Кузнецова среди вулканогенных образований самаргинской и богопольской

с площадной аномалией ГК2, в котором значимую роль также играет серебро.

Так как опробование проводилось по вторичным ореолам рассеяния, необходимо учитывать возможное гравитационное смещение установленных аномалий вниз по склону относительно коренных источников вместе с чехлом элювиально-делювиальных образований.

Выводы

В результате анализа геохимических данных территории Березовской перспективной площади произведена группировка химических элементов в главные компо-

ненты, вероятно, отражающие их совместное поведение и накопление в процессе рудообразования. Установленные ассоциации элементов демонстрируют различное пространственное распределение на территории, что косвенно свидетельствует о, возможно, различном времени формирования рудных минералов и источниках вещества для их отложения. Подтверждение этих предположений данными минерагафии сможет служить основанием для постановки более детальных работ с целью выяснения этапности формирования Березовской вулканической структуры, необходимости дальнейшего расширения коллекций обнаруженных на ее площади рудных минералов, а также установления степени, с которой эволюция Березовского вулкано-купольного поднятия отражает особенности регионального историко-геологического развития и минерагении Восточно-Сихотэ-Алинского магма-металлогенического пояса.

Список литературы / References

1. Yakubchuk A.S. Revised Mesozoic-Cenozoic orogenic architecture and gold metallogeny in the northern Circum-Pacific. Ore Geology Reviews. 2009. № 35. P. 447–454.

2. Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. The Sikhote-Alin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data. Journal of Asian Earth Sciences. 2016. № 120. P. 117–138.

3. Shevyrev S., Carranza E.J.M. Modelling of geodynamic regimes of precious metal-bearing porphyry deposits: Lazurnoe deposit (Sikhote–Alin Belt, Far East) case study. Geological Journal. 2020. № 55. P. 8309–8328. DOI: 10.1002/gj.3935.

4. Khomich V.G., Boriskina N.G., Santosh M. A geodynamic perspective of world-class gold deposits in East Asia. Gondwana Research. 2014. № 26. P. 816–833.

5. Шевырев С.Л., Шевырева М.Ж., Горобейко Е.В. Картирование структурно-вещественных комплексов территории автоматизированным анализом изображений Landsat 8 OLI (Кемский террейн, Сихотэ-Алинский складчатый пояс) // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 89–94.

Shevyrev S.L., Shevyreva M.Zh., Gorobeyko E.V. Mapping of the structural and substational complexes of the territory by automated analysis of Landsat 8 OLI images (Kema terrane, Sikhote-Alin folded belt) // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2021. № 10. P. 89–94 (in Russian).

6. Чащин А.А., Попов В.К., Будницкий С.Ю., Чащин С.А., Ноздрачев Е.А. Новые данные о возрасте вулканических комплексов кайнозойских рифтогенных впадин восточного Сихотэ-Алиня // Успехи современного естествознания. 2020. № 4. С. 169–175. DOI: 10.17513/use.37381.

Chashchin, A.A., Popov, V.K., Budnitskiy, S.Yu., Chashchin, S.A., Nozdrachev, E.A. New data on the age of volcanic complexes from the Cenozoic rift basins of the Eastern Sikhote-Alin // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2020. № 4. P. 169–175. DOI: 10.17513/use.37381 (in Russian).

7. Scikit-learn, 2021. Scikit-learn. [Electronic resource]. URL: https://scikit-learn.org/ (date of access: 08.11.2021).

8. Hoss Belyadi, Alireza Haghighat. Machine Learning Guide for Oil and Gas Using Python. GPP. 2021. 462 p.

9. Jake VanderPlas Python Data Science Handbook. [Electronic resource]. URL: https://jakevdp.github.io/PythonDataScienceHandbook/05.09-principal-component-analysis.html (date of access: 08.11.2021).

10. Govett G.J.S. Rock Geochemistry in Mineral Exploration. Chapter 3 – Recognition of Geochemical Anomalies. Handbook of Exploration Geochemistry. 1983. Vol. 3. P. 29–47. DOI: 10.1016/B978-0-444-42021-3.50008-2.