УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

№ 3 2020

ISSN 1681-7494

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ - 0,778

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ - 0,279

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
Чернева Ирина Николаевна, к.с.-х.н.
Ответственный секретарь редакции
Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилхасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдосов А. (Алматы); д.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.г.-м.н., доцент, Андреева Е.С. (Ростов-на-Дону); д.г.-м.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., проф. Берсоер Галкин А.Ф. (Ухта); д.г.-м.н., проф. Граришин 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. Сута-Каменогорск); д.т.н., проф. Дростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дростов-на-Дону); д.х.н., проф. Берофеев 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. Заролинский 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. Костицын В.И. (Пермы); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермы); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермы); д.г.-м.н., проф. Костов-на-Дону); д.т.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Кучеренко И.В. (Томск); д.б.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Мусаев В.К. (Москва); д.г.-м.н., проф. Легов-на-Дону); д.т.н., проф. Луговской А.М. (Москва); д.г.-м.н., проф. Перров 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. Партоев К. (Дунанбер); д.г.-м.н., проф. Пертов М.Н. (Красноярск);

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 – 0,778.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,279.

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: 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 -27.03.2020 Дата выхода номера -27.04.2020

Формат 60х90 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.

Способ печати – оперативный. Распространение по свободной цене. Усл. п.л. 14,38 Тираж – 1000 экз. Заказ. УСЕ/3-2020 Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

| Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00) |
|---|
| СТАТЬИ |
| СИДЕРАЦИЯ В МЕЖДУРЯДЬЯХ ПЛОДОВОГО САДА И ВИНОГРАДНИКА |
| Качмазов Д.Г. |
| ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОСТОЯНИЯ, РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ ОРОШАЕМОЙ СТЕПИ САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ |
| Маштаков Д.А., Садыков А.Р. |
| ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ ХЛОПЧАТНИКА |
| Пирахунова Ф.Н., Абзалов А.А., Ибрагимова Ш.А. |
| ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА <i>QUERCUS</i> В УСЛОВИЯХ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ |
| Рунова Е.М., Аношкина Л.В., Коломина А.В. |
| ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ДИКОРАСТУЩЕЙ БРУСНИКИ (<i>VACCINIUM VITIS-IDAEA</i> L.) В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ |
| Смирнов А.И., Орлов Φ .С., Беляев В.В., Бойцова Т.А., Аксенов П.А., Неверов Н.А. |
| ФОРМИРОВАНИЕ ЗАПРОГРАММИРОВАННЫХ УРОЖАЕВ РАЗНЫХ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ |
| Усанова З.И., Черникова Н.С |
| Науки о Земле (25.00.00) |
| СТАТЬИ |
| ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОД РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ И РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ |
| Аракелов М.С., Ахсалба А.К., Долгова-Шхалахова А.В., Липилин Д.А., Яйли Е.А. |
| СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В РАЙОНАХ ТЕХНОГЕННЫХ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ |
| Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Войченко А.А., Войченко Т.Ю., Лескова О.А., Лесков А.П |
| МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ И ШИРИНЫ ЗАТОПЛЕНИЯ ПЛЯЖА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ ДЮН НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КУРШСКАЯ КОСА» |
| Данченков А.Р6. |
| ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИЙ НЕФТЕДОБЫЧИ |
| Дитц Л.Ю., Дудина Т.Н., Цускман Е.И., Катункина Е.В. |
| ИЗМЕНЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕГО УРАЛА |
| Иванова Ю.Р., Скок Н.В., Евдокимова А.М. |
| ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА КООРДИНАТ В ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧКАХ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ ИРОВКА |
| Мазуркин П.М., Георгиева Я.О. |

| О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ В КУРИЛО-КАМЧАТСКОМ РЕГИОНЕ | |
|--|-----|
| Нечаев Г.В., Шестаков Н.В., Такахаши Х., Герасименко М.Д., Сысоев Д.В. | 92 |
| ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СУБЪЕКТА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РОССИИ | |
| Радийчук А.А. | 99 |
| КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЛЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ – АЛАНИЯ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ) | |
| Сергеева Г.А., Андреева Е.С., Адамян В.Л. | 104 |
| АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕГИОНАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РФ | |
| Чибилёв А.А. (мл.), Мелешкин Д.С., Григоревский Д.В. | 110 |

CONTENTS

| Agricultural sciences (66.67.66, 66.66.66) | |
|---|----|
| ARTICLES | |
| SIDERATION BETWEEN ROWS OF FRUIT GARDEN AND VINEYARD | |
| Kachmazov D.G. | 7 |
| PATTERNS IN CONDITION, GROWTH AND PRODUCTIVITY OF TREE SPECIES IN FOREST BELTS OF IRRIGATED STEPPE OF SARATOV TRANS-VOLGA REGION | |
| Mashtakov D.A., Sadykov A.R. | 15 |
| INFLUENCE OF TEMPERATURE UPON THE CHANGE IN CONTENT OF NITROGEN COMPOUNDS IN COTTON LEAVES | |
| Pirakhunova F.N., Abzalov A.A., Ibragimova Sh.A. | 21 |
| ASSESSING CONDITION OF SOME SPECIES OF GENUS <i>QUERCUS</i> IN NATURAL TERMS OF THE IRKUTSK REGION | |
| Runova E.M., Anoshkina L.V., Kolomina A.B. | 27 |
| INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE YIELD OF WILD LINGONBERRY (<i>VACCINIUM VITIS-IDAEA</i> L.) IN TAIGA OF ARKHANGELSK REGION | |
| Smirnov A.I., Orlov F.S., Belyaev V.V., Boytsova T.A., Aksenov P.A., Neverov N.A. | 34 |
| FORMATION OF PROGRAMMED YIELDS OF DIFFERENT POTATO VARIETIES | |
| Usanova Z.I., Chernikova N.S. | 40 |
| Earth sciences (25.00.00) | |
| ARTICLES | |
| HYDROCHEMICAL INDICATORS OF WATERS OF RECREATIONAL ZONES OF THE BLACK SEA COAST OF KRASNODAR TERRITORY AND THE REPUBLIC OF ABKHAZIA | |
| Arakelov M.S., Akhsalba A.K., Dolgova-Shkhalakhova A.V., Lipilin D.A., Yayli E.A. | 50 |
| THE STATE OF THE SOIL COVER IN THE AREAS OF TECHNOGENIC BIOGEOCHEMICAL ANOMALIES IN TRANSBAIKAL REGION | L |
| Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N.N., Voychenko A.A., Voychenko T.Yu., Leskova O.A., Leskov A.P. | 57 |
| WIND WAVES AND BEACH INUNDATION WIDTH MODELLING FOR STUDYING CURONIAN SPIT NATIONAL PARK FOREDUNE STABILITY | |
| Danchenkov A.R. | 65 |
| GEOECOLOGICAL PROBLEMS OF OIL PRODUCTION TERRITORIES | |
| Ditz L.Yu., Dudina T.N., Tsuskman E.I., Katunkina E.V. | 72 |
| CHANGE OF METEOROLOGICAL INDICES OF THE NORTHERN MIDDLE URAL | |
| Ivanova Yu.R., Skok N.V., Evdokimova A.M. | 78 |
| REGULARITIES OF FACTOR ANALYSIS OF COORDINATES AT CHARACTERISTIC POINTS OF THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE CHANNEL OF THE SMALL RIVER IROVKA | |
| Mazurkin P.M., Georgieva Ya.O. | 85 |
| | |

| ON APPLICATION OF METHODS OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS FOR TSUNAMI EARLY WARNING IN THE KURIL-KAMCHATKA REGION | |
|--|-----|
| Nechaev G.V., Shestakov N.V., Takahashi H., Gerasimenko M.D., Sysoev D.V. | 92 |
| NATURAL RESOURCE FACTORS OF FORMATION OF TERRITORIAL AND INDUSTRIAL STRUCTURE OF THE SUBJECT OF THE FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT OF RUSSIA | |
| Radiychuk A.A. | 99 |
| COMPREHENSIVE CHARACTERIZATION OF THE MUD PHENOMENA OF THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA – ALANIA (CENTRAL CAUCASUS) | |
| Sergeeva G.A., Andreeva E.S., Adamyan V.L. | 104 |
| ANALYSIS OF THE WATER USE INDICATORS DYNAMICS IN THE REGIONS OF THE RUSSIA'S STEPPE ZONE | |
| Chibilev A.A. (jr.), Meleshkin D.S., Grigorevskiy D.V. | 110 |

СТАТЬИ

УДК 634.1:631.454:631.8

СИДЕРАЦИЯ В МЕЖДУРЯДЬЯХ ПЛОДОВОГО САДА И ВИНОГРАДНИКА Качмазов Д.Г.

Юго-Осетинский государственный университет им. А.А. Тибилова, Цхинвал, e-mail: dzhoni.kachmazov@mail.ru

Основным условием получения максимальных генетически обусловленных урожаев плодовых культур и винограда является возврат в почву достаточного количества элементов питания. Последствия дефицита органического вещества в агроэкосистемах выражаются в недостатке элементов питания для последующих культур в недалеком будущем. Кроме того, значительно ухудшаются агрохимические, агрофизические, биологические и санитарные качества почвы. В настоящее время в Южной Осетии задачи интенсификации использования возобновляемых биоресурсов, поддерживающих механизмы саморегуляции и круговорот биофильных элементов в агроэкосистемах, приобретают все большую актуальность, а биомасса растительных остатков сельскохозяйственных культур составляет важную приходную часть баланса органического вещества почвы и обеспечивает устойчивость агробиоценозов. По результатам исследований сидерации междурядий плодового сада и виноградника, наибольшее количество органического вещества вносится в почву при запашке фацелии. Так, в течение трех лет в междурядья сада было заделано 6,3 т/га зеленых удобрений. С другими сидеральными культурами было внесено вполовину меньше растительной массы. При переходе от весеннего сезона к летнему выделение углекислоты из почвы по черному пару нарастает, а к осени постепенно снижается. В первой половине вегетационного периода концентрация СО, в почве по бобовому сидерату более высокая, чем на вариантах с озимой рожью, а в конце периода вегетации заметно уменьшается и приближается к контролю. Это свидетельствует о быстрой минерализации растительной массы бобовых культур и накоплении нитратов в почве. По-другому складывается газовый режим на делянках с небобовыми сидеральными культурами. Разложение органической массы происходит замедленно и характеризуется стабильным выделением СО, в течение всего года. Наиболее высокий урожай яблок и винограда был получен на делянках с фацелией и в среднем за годы исследований составил 18,2 и 9,7 т/га соответственно

Ключевые слова: Южная Осетия, сидераты, агроэкосистемы, пожнивно-корневые остатки, однолетний клевер, амарант, чечевица, фацелия, вигна, озимая вика, озимая рожь, люцерна, чина

SIDERATION BETWEEN ROWS OF FRUIT GARDEN AND VINEYARD Kachmazov D.G.

South Ossetian State University named A.A. Tibilova, Tskhinval, e-mail: dzhoni.kachmazov@mail.ru

The main condition of obtaining the maximum genetic yields of fruit crops and grape is a return of sufficient amount of nutrients to the soil. The consequences of deficit of organic matter in agroecosystems is expressed in lack of nutrients for the next crop in the near future. In addition, agrochemical, agrophysical, biological and sanitary quality of the soil deteriorates significantly. Currently, in South Ossetia the problem of intensification of use of renewable biological resources that support self-regulation mechanisms and the cycle biophilic elements in agroecosystems, is becoming increasingly important, and biomass of plant residues of agricultural crops is an important side asset in balance of soil organic matter and it ensures sustainability of agrobiocenoses. The greatest amount of organic matter is incorporated in the soil from phacelia. So, over the course of three years up to 6.3 t/ha green manure was allocated between rows of the garden. For other sidereal cultures green manure in half of their vegetative mass was introduced. During the transition from spring season to summer, separation of carbon dioxide from the soil on the black fallow grows, and by fall it decreases gradually. In the first half of vegetation period concentration of CO2 in the soil for legume siderate is higher than the same indicator for winter rye, and at the end of vegetation period it is reduced significantly and approaches control values. This fact indicates rapid mineralization of legume green mass and accumulation of nitrates in the soil. Gas regime in plots with non-legume sideration cultures is formed differently. Decomposition of organic matter occurs slowly and it is characterized by stable CO2 during the entire year. The highest yields of apples and grapes were obtained on the plots with phacelia and equaled an average of 18.2 and 9.7 t/ha respectively over the course of years.

Keywords: South Ossetia, cover crops, agroecosystems, crop-root residues, annual clover, amaranth, lentil, phacelia, vigne, winter vicia, winter rye, alfalfa, peavine

При получении продукции садоводства из агроэкосистемы с урожаем плодовых культур изымается до 80% всей созданной фотосинтезом биомассы, включая основную и побочную продукцию. По мнению многих исследователей, побочная продукция из отчуждаемой биомассы может и должна вернуться обратно в агроэкосистему в виде органических остатков [1, с. 4]. Именно тот факт, что из агрономических экосистем вы-

носятся значительные количества элементов питания с полученной продукцией, отрицательно влияет на продуктивность всей системы в будущем [2, с. 24].

Получение любых уровней урожайности сельскохозяйственных культур и стремление к получению максимального, генетически обусловленного урожая, даже на высокоо-культуренных почвах, возможно при соблюдении основного закона земледелия — закона

возврата источников энергии и вещества, когда в полной мере удовлетворяется потребность растений в питательных веществах, при своевременном и качественном проведении агротехнических мероприятий для возделываемой культуры [3, с. 47].

Еще в начале века было определено, что для повышения адаптационного потенциала различных агроэкосистем необходимо разработать системы удобрений, включающие в себя максимально рациональное использование побочной продукции и пожнивнокорневых остатков [4, с. 15]. С биомассой разных культур, по данным Г.В. Добровольского и др., от общего количества в урожае в почву возвращается 27...60,5% азота, 18,5...51,7% фосфора, 16,7...48,1% калия и 27,6...54% кальция. С каждой тонной соломы в почву возвращается 8,5 кг азота, 3,8 кг фосфора, 13 кг калия, 4,2 кг кальция, 0,7 кг магния и ряд микроэлементов, которые накапливаются в соломе в большей степени, чем в зерне (железа от 10 до 30 г/т, марганца от 15 до 70 г/т, меди от 2 до 5 г/т, цинка от 20 до 50 г/т, молибдена от 0,2 до 0,4 г/т, бора от 2 до 5 г/т) [5, с. 20].

Дефицит органического вещества и ухудшение его качества способствует падению не только агрохимических и агрофизических, но и биологических свойств почвы, что в свою очередь ухудшает экологическое состояние и снижает почвенное плодородие [6, с. 220]. Биомасса органического вещества, поступающая в почву после той или иной культуры, влияет на процесс гумусообразования, фитосанитарное состояние почвы, а элементы питания, выделенные в процессе разложения растительных остатков, могут использоваться сельскохозяйственными культурами эффективнее, чем из минеральных удобрений [7, с. 37]. Д.Н. Прянишников в середине прошлого века писал о том, что от качества и количества растительного материала, энергии и характера его разложения зависят агрофизические свойства почв, но в большой мере изменяется режим минерального питания последующих культур [8, с. 278]. Эти положения подчеркивал В.И. Кирюшин [9, с. 297–298].

В настоящее время в Южной Осетии задачи интенсификации использования возобновляемых биоресурсов, поддерживающих механизмы саморегуляции и круговорот биофильных элементов в агроэкосистемах, приобретают все большую актуальность, а биомасса растительных остатков сельскохозяйственных культур составляет важную приходную часть баланса органического

вещества почвы и обеспечивает устойчивость агробиоценозов.

Цели и задачи исследований

Оптимизация круговорота органоминеральных веществ в агроэкосистемах явилась движущим фактором проведения наших исследований с целью разработки системы сидерации в плодовом саду и винограднике как агротехнического приема. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) подобрать сидеральные культуры и систему сидеральных посевов для климатических условий Южной Осетии, агротехники плодовых садов и виноградников;
- 2) определить качественный и количественный состав зеленой массы выбранных сидеральных культур;
- 3) изучить последовательность разложения органической массы сидератов и накопление питательных веществ в почве в различные моменты вегетационного периода;
- 4) определить влияние сидератов на динамику биологической активности почвы;
- 5) определить влияние различных сидератов на урожайность, рост и развитие плодовых культур и винограда.

Место и условия проведения исследований

Опыты проводили в течение четырех лет в 2012–2015 гг. в условиях предгорной зоны Южной Осетии. Опытные участки яблоневого сада (0,6 га) и виноградника (0,3 га) прилегали друг к другу и находились в пос. Знаур на склоновых землях с уклонами менее 5°. Яблоневый сад представлен 6–9-летними деревьями поздних сортов (Флорина, Орфей, Марго и Гранатовое), на участке виноградника возделывалось 2 сорта (Ркацители и Саперави Северный) такого же возраста.

Климат территории переходный от степного к умеренно влажному с жарким летом. Среднегодовая температура воздуха колеблется в пределах 9,5–10,3°С. Наиболее высокая степень нарастания температур воздуха наблюдается в мае. Сумма активных температур колеблется в пределах 3500–3700°С. Безморозный период свыше 250 дней, период с активными температурами составляет 185 дней. Годовая сумма осадков варьирует в пределах 481–600 мм с минимумами в декабре и августе, максимум осадков приходится на май и составляет 70–90 мм.

Почвы участков темно-коричневые лесные черноземовидные, мощность горизонта (A + B) составляла 0,6 м. Профиль до 1,5 м

хорошо дифференцирован, структура зернисто-мелкокомковатая. Подстилающие породы - глинистые толщи и лессовидные суглинки, местами сильно обогащенные известью. Содержание гумуса 2,0...3,5%. Общего азота 0,15...0,27%, гидролизуемого азота 41-64 мг/100 г почвы. Содержание подвижных форм фосфора очень низкое (2...7 мг/100 г почвы), обеспеченность калием средняя (30 мг/100 г почвы К₂О). Содержание поглощенного кальция составляет 44,5...52,0 мг-экв./100 г почвы, магния 5,1...7,8 мг-экв./100 г почвы. Соотношение Сак Mg > 9. Наличие высокого содержания кальция обеспечивает прочность структуры черноземовидных почв и благоприятные агрофизические свойства.

Гранулометрический (механический) состав почв участков глинистый, местами тяжело суглинистый. В целом почвы имеют благоприятный микроагрегатный и агрегатный состав, обладают положительными водно-воздушными свойствами, поскольку в них преобладают агрономически ценные частицы (менее 1 мм). Почва имеет высокие показатели скважности, водопроницаемости, достаточно аэрирована. Реакция среды в верхних горизонтах нейтральная (рН 7,0), в нижних – слабощелочная (рН 7,4).

Годы исследований по температурновлажностным характеристикам распределялись следующим образом: 2012 – влажный (ГТК = 1,4); 2013 – засушливый (ГТК = 0,7); 2014 – слабозасушливый (ГТК = 1,0); 2015 – засушливый (ГТК = 0,7).

Методика проведения исследований

На основе имеющихся данных было отобрано для исследований 9 сидеральных

культур, которые высевались в междурядьях сада и виноградника. Площадь учетной делянки составляла $200 \, \mathrm{M}^2$, повторность трехкратная. Полевой опыт двухфакторный: $1 \,$ фактор — вид сидерата, $2 \,$ фактор — сроки высева и запашки сидератов (табл. 1). Контроль — чистый пар. На всех вариантах давался фоновый уровень расчетной дозой минеральных удобрений $N_{90} P_{110} K_{40}$.

Люцерна выращивалась в поукосных посевах. Содержание легкогидролизуемого азота в почве определяли по Тюрину и Кононовой, нитратного азота – дисульфофеноловым методом, подвижного фосфора – по Мачигину, подвижного калия – по Кирсанову. Определение количества углекислоты, выделяемой из почвы, проводилось с помощью стеклянного домика по методике Б.Н. Макарова. Данные урожайности яблони и винограда – поделяночные. Обработку данных проводили по Б.А. Доспехову [10, с. 83].

Особенности технологии возделывания плодового сада и виноградника с сидерацией междурядий

Схема посадки сада и виноградника 3,5×2,0 м на шпалере. Полив осуществлялся микродождеванием с насадками производительностью 560 л/ч, которые располагались в междурядьях через 1 ряд на расстоянии 12 м друг от друга. Поливная норма для сада и виноградника составляла 600 м³/га. Поливы назначали при снижении влажности почвы в слое 1 м до 80% НВ. Сидеральные травы перед запашкой дисковали легкими дисковыми боронами БДМ, а затем запахивали отвальным плугом на глубину 18...20 см.

 Таблица 1

 Изучаемые сидеральные культуры, сроки их посева и заделки в почву

| № п/п | Сидеральная культура | Срок посева | Срок скашивания |
|-------|----------------------|------------------|-----------------------------------|
| 1 | Однолетний клевер | 2 декада августа | 2 декада октября |
| 2 | Амарант | 1 декада августа | 2 декада октября |
| 3 | Чечевица | 2 декада августа | 1 декада октября |
| 4 | Фацелия | 1 декада августа | 2 декада октября |
| 5 | Вигна | 2 декада августа | 2 декада октября |
| 6 | Озимая вика | 2 декада августа | 2 декада октября 1 декада июня |
| 7 | Озимая рожь | 2 декада августа | 2 декада октября 1 декада июня |
| 8 | Люцерна | 1 декада апреля | 2 декада октября |
| 9 | Чина | 1 декада августа | 2 декада октября |

Результаты исследования и их обсуждение

Состав органического вещества сидератов значительно варьирует в зависимости от вида растений, их возраста и условий произрастания. Количество вносимой в почву сидеральной массы не может быть оторвано от ее физико-химических свойств. Поэтому, стремясь к выращиванию наибольшей массы зеленого удобрения, следует обеспечивать ее высокие удобрительные качества. При оценке зеленого удобрения, как источника питания, необходимо знать, насколько элементы питания из него доступны для усвоения растениями и как протекает процесс его разложения в почве.

Высокие урожаи сидератов, которые мы получали ежегодно в наших опытах, позволили отчетливо проследить за разложением органического вещества в почве (табл. 2). Данные таблицы показывают, что вместе с запахиваемой зеленой массой сидератов в почву поступало значительное количество питательных веществ. Так, наибольшее количество азота и фосфора поступало в почву вместе с бобовыми сидератами, а из них — вместе с чечевицей (N147 и P₂O₅ 60 кг/га). Меньше оставалось

азота и фосфора при запахивании фацелии и вигны (N 232...147 и P_2O_5 93...60 кг/га соответственно).

Озимая вика и озимая рожь наращивали значительно меньше зеленой массы, поэтому при их запахивании поступало в почву соответственно меньше азота и фосфора, хотя по процентному содержанию в них количество питательных веществ не уступает другим бобовым сидератам. Небобовые сидераты накапливали значительно больше калия, чем бобовые, при запахивании которых в почву вносилось К от 53 до 60 кг/га. Среди бобовых сидеральных культур по накоплению питательных веществ выделились чечевица, люцерна, чина и амарант.

Одним из важнейших показателей качества зеленого удобрения является отношение в нем углерода к азоту. Чем меньше соотношение этих элементов, тем быстрее идет процесс минерализации органического вещества. Как отмечали Ф.Ю. Гельцер и В.А. Шапиро [11, с. 43], интенсивность разложения зеленой массы хорошо прослеживается по выделению углекислоты, количество которой является показателем для характеристики процесса разложения.

Таблица 2 Количество питательных веществ, поступавших в почву при запашке сидеральных культур (2012–2015 гг.)

| Культура | Урожай зеленой | Поступление і | в почву питательнь | их веществ, кг/га |
|--------------------------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| | массы, т/га | N-NO ₃ | P_2O_5 | K ₂ O |
| Однолетний клевер НСК | 3,3 0,82 | 112 | 88 | 95 |
| Амарант НСЕ | 3,5 1,24 | 128 | 85 | 53 |
| Чечевица НСЕ | 3,6 1,56 | 143 | 79 | 95 |
| Фацелия НСЕ | 6,7 2,30 | 232 | 93 | 84 |
| Вигна НСЕ | 3,4 0,88 | 147 | 60 | 97 |
| Озимая вика НСЕ | 1,4 0,19 | 125 | 81 | 65 |
| Озимая рожь НСЕ | 1,5 0,27 | 151 | 76 | 60 |
| Люцерна НСЕ | 3,6 1,45 | 123 | 75 | 68 |
| Чина НСЕ | 3,7 1,54 | 140 | 112 | 93 |

Таблица 3 Влияние сидеральной культуры на динамику биологической активности почвы (количество углекислоты, выделяемой из почвы, 2015 г.)

| Варианты опыта | Суммарное количество | Отношение | Выд | елялосі | 5 CO ₂ , 0 | бъемн | ые% |
|--------------------------|---|-----------|------|---------|-----------------------|-------|-------|
| | растительной массы, внесенной в почву, т/га | C:N | 9.05 | 19.05 | 8.06 | 5.07 | 26.07 |
| Контроль (без сидератов) | - | _ | 0,56 | 1,10 | 0,93 | 1,12 | 1,15 |
| Однолетний клевер | 3,3 | 5,2 | 1,27 | 2,64 | 2,68 | 3,12 | 2,53 |
| Амарант | 3,5 | 33,1 | 2,41 | 3,18 | 4,50 | 5,21 | 4,17 |
| Чечевица | 3,6 | 10,2 | 2,84 | 4,11 | 7,02 | 4,33 | 3,29 |
| Фацелия | 6,7 | 26,6 | 1,87 | 2,86 | 5,45 | 6,86 | 4,34 |
| Вигна | 3,4 | 34,4 | 2,15 | 2,13 | 2,56 | 3,94 | 3,23 |
| Озимая вика* | 1,4 | 32,2 | 1,33 | 1,23 | 1,45 | 1,20 | 1,24 |
| Озимая рожь* | 1,5 | 23,4 | 1,17 | 1,13 | 1,15 | 1,24 | 1,20 |
| Люцерна | 3,6 | 17,3 | 2,13 | 2,54 | 2,37 | 2,76 | 1,98 |
| Чина | 3,7 | 22,4 | 4,32 | 2,54 | 3,45 | 3,23 | 2,34 |

Примечание. *Озимая вика и озимая рожь запахивались в октябре.

Разложение органической массы протекает в известной последовательности [12, с. 38]. При наличии благоприятных условий (влажность, температура) в первый период идет бурное выделение СО, и значительное выделение аммиака, которое постепенно уменьшается. Увеличение содержания нитратов обнаруживается при уменьшении интенсивности выделения углекислоты и соответственно понижении количества аммиака в почве. Влияние сидеральной культуры на динамику биологической активности почвы представлено в табл. 3. По объемам выделенного количества диоксида углерода динамика различалась в зависимости от сроков отбора образца. Так, наибольший процент выделяемого СО, отмечался в июле и составлял от 1,20 до 6,86% на варианте с фацелией.

Если сравнивать полученные результаты по дыханию почвы, то можно провести сравнительную характеристику с контрольным вариантом, без применения сидеральных культур, на контроле процент выделяемого СО, был отмечен в мае и июне и составил 1,10 и 0,93% соответственно. Показатели дыхания в контрольном варианте были на 60-70% ниже показателей с возделыванием сидеральных культур. По результатам вышеотмеченного можно констатировать, что количество СО, по вариантам опыта будет зависеть от скорости разложения культур. При запашке бобовых культур разложение сидератов будет происходить быстрее, чем небобовых, но в некоторых случаях небобовые культуры по концентрации СО, в почвенном растворе могут

показывать наилучшие результаты вследствие сложившихся климатических условий, соотношения температур и количества выпавших осадков. Выделение углекислоты при разложении растительной массы небобовых и бобовых сидеральных культур протекает в более замедленном темпе и носит длительный характер (рисунок).

При широком отношении С: N в разлагающейся растительной массе азот в первую очередь потребляется микроорганизмами. По данным современных исследователей, накопление аммиака в почве будет происходить лишь при условии, если отношение между углеродом и азотом превысит 25:1. При меньшем отношении аммиак не накапливается, так как их используют микроорганизмы для построения своего тела [13, с. 58; 14, с. 40]. Азот, подвергшийся биологическому связыванию, лишь временно становится недоступным для растений. После отмирания микроорганизмов азотистые соединения микробных тел подвергаются вновь процессам аммонификации и нитрификации, то есть минерализуются с образованием доступного для растений аммиачного и нитратного азота.

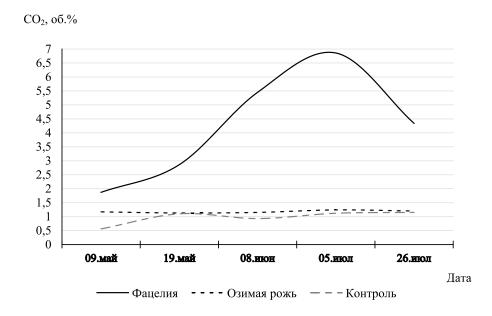
Таким образом, связывание аммиака микробами при разложении органической массы небобовых и бобовых сидератов является положительным явлением для питания плодовых деревьев молодого сада.

В наших исследованиях, согласно данным табл. 3 и рисунка, доказано, что при посеве сидеральных культур во второй половине лета в сочетании с чистым парованием в первой половине вегетационного

периода создаются оптимальные условия для молодого сада. Во второй половине лета почва находится под покровом сидератов, что уменьшает поступление азота к молодым растущим побегам деревьев. В связи с этим приостанавливается их рост, ускоряется созревание древесины, и в результате повышается зимостойкость дерева. При сочетании чистого пара в первую половину лета и зеленого удобрения во вторую плодовые культуры хорошо обеспечиваются питательными веществами и влагой в период завязывания и формирования плодов, в то же время почва междурядий самоочищается от сорняков. При запашке озимой

вики и ржи в весенний период максимум накопления нитратов наблюдался в августе, что отрицательно сказывалось на перезимовке молодых яблоневых деревьев и виноградных лоз.

Система удобрения в междурядьях молодых садов и виноградников при применении сидеральных культур должна быть направлена на улучшение состояния растений, ускоренное плодоношение и получение высоких и устойчивых урожаев. Оценка урожайности и длины приростов различных сортов яблони и винограда в зависимости от сидеральной культуры приведена в табл. 4.



Выделение СО,, объемные % на контроле, в варианте с фацелией и озимой рожью

Таблица 4 Урожайность и средние приросты яблони и винограда в зависимости от сидеральной культуры

| Варианты опыта | Урожайность яблоне- | Средний | Урожайность вино- | Средний |
|--------------------------|---------------------|-------------|-------------------|-------------|
| | вых деревьев, т/га | прирост, см | градных лоз, т/га | прирост, см |
| Контроль (без сидератов) | 12,3 | 17,0 | 7,4 | 0,62 |
| Однолетний клевер | 13,8 | 23,0 | 7,9 | 0,73 |
| Амарант | 16,2 | 28,7 | 8,2 | 0,86 |
| Чечевица | 16,8 | 30,1 | 8,6 | 0,91 |
| Фацелия | 18,2 | 35,7 | 9,7 | 1,23 |
| Вигна | 14,0 | 22,3 | 7,5 | 0,74 |
| Озимая вика | 14,2 | 24,6 | 7,8 | 0,78 |
| Озимая рожь | 15,6 | 28,9 | 8,3 | 0,72 |
| Люцерна | 16,0 | 30,5 | 8,9 | 1,04 |
| чина | 16,6 | 27,4 | 8,6 | 0,83 |
| НСЕ | 0,11 | | HCP_{05} 0,0 |)4 |

Наиболее высокая урожайность яблоневого сада и виноградника была на вариантах с фацелией, чечевицей, чиной и амарантом. При этом яблоневые деревья дали свыше 16 т/га плодов, а виноградные растения — свыше 8 т/га винограда, что превышает контроль на 2-4 т/га. В этих же вариантах были получены наиболее высокие приросты однолетней древесины на плодовых деревьях и виноградных лозах.

Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

- 1. Наибольшее количество органического вещества вносится в почву при запашке фацелии. В течение трех лет в междурядья сада было заделано 6,3 т/га зеленой массы. На вариантах с другими сидеральными культурами растительной массы вносилось меньше на 45–50%.
- 2. Выделение углекислоты из почвы по черному пару нарастает от весны к лету, а затем постепенно снижается. В первой половине вегетационного периода концентрация CO_2 в почве по бобовому сидерату более высокая, чем на варианте с озимой рожью, а к осени заметно уменьшается и приближается к контролю.
- 3. Газовый режим на делянках с небобовыми сидеральными культурами принципиально отличается от такового на бобовых сидератах. Разложение органической массы происходит замедленно и характеризуется стабильным выделением CO₂ в течение всего периода года.
- 4. При высевании сидератов во второй половине вегетации и запашке их в конце октября в плодовом саду и на винограднике обеспечивался благоприятный режим обеспеченности азотом.
- 5. Наиболее высокая урожайность яблони (18,2 т/га) и винограда (9,7 т/га) обеспечивалась при посеве сидеральной культуры фацелии.

На основании полученных выводов можно рекомендовать производству использовать широкий ряд сидератов для выращивания в междурядьях плодовых садов и виноградников с посевом в разработанные сроки.

Список литературы / References

1. Карпова Д.В., Винокуров И.Ю., Батяхина Н.А, Чернов О.С., Волощук А.Т. Улучшенная технология эффективного, экологически безопасного использования различных видов и форм органических удобрений на серых лесных почвах Владимирского ополья. Методические рекомендации. Иваново, 2007. 28 с.

- Karpova D.V., Vinokurov I.Yu., Batyakhina N.A., Chernov O.S., Voloshchuk A.T. Improved technology for the effective, environmentally sound use of various types and forms of organic fertilizers on the gray forest soils of the Vladimir Opole. Guidelines. Ivanovo, 2007. 28 p. (in Russian).
- 2. Лыков А.М. Органическое вещество почвы как важнейшее звено продукционного процесса в современных системах земледелия // Сборник докладов международной научно-практической конференции. М.: Россельхозакадемия, ГНУ ВНИПТИОУ, 2014. С. 23–32.

Lykov A.M. Organic matter of the soil as the most important link in the production process in modern farming systems // Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. M.: Rossel'khozakademiya, GNU VNIPTIOU, 2014. P. 23–32 (in Russian).

3. Хомяков Д.М. Почвенно-климатические аспекты обеспечения продовольственной безопасности России // Аграрий Плюс. Опыт. Инвестиции. Технологии. 2016. № 4 (17). С. 46–49.

Khomyakov D.M. Soil and climatic aspects of ensuring food security in Russia // Agrariy Plyus. Opyt. Investitsii. Tekhnologii. 2016. № 4 (17). P. 46–49 (in Russian).

4. Сычев В.Г., Ефремов Е.Н., Романенков В.А. Итоги и перспективы развития агрохимии // Проблемы агрохимии и экологии. 2013. № 4. С. 11–16.

Sychev V.G., Efremov E.N., Romanenkov V.A. Agrochemical science: results and outlook // Problemy agrokhimii i ekologii. 2013. № 4. P. 11–16 (in Russian).

5. Добровольский Г.В. Русский чернозем и его значение в науке и жизни России // Русский чернозем: материалы III всероссийской научно-практической конференции. М.: Изд. Русский дом, 2009. С. 16–21.

Dobrovolsky G.V. Russian chernozem and its importance in science and life in Russia // Russkiy chernozem: materialy III vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. M.: Izd. Russkiy dom, 2009. P. 16–21 (in Russian).

6. Зинченко С.И., Зинченко М.К. Формирование агрофизических свойств в агроэкосистемах на серой лесной почве // Новая наука: от идеи к результату. Международное научное периодическое издание по итогам Международной научно-практической конференции 22 марта 2017 г. Стерлитамак: АМИ, 2017. № 3-1. С. 217–221.

Zinchenko S.I., Zinchenko M.K. The formation of agrophysical properties in agroecosystems on gray forest soil // Novaya nauka: ot idei k rezul'tatu. Mezhdunarodnoye nauchnoye periodicheskoye izdaniye po itogam Mezhdunarodnoy nauchnoprakticheskoy konferentsii 22 marta 2017 g. Sterlitamak: AMI, 2017. № 3–1. P. 217–221 (in Russian).

7. Тарханов О.В. Концепции питания растений и общество // Национальная безопасность и стратегическое планирование. 2014. № 3 (7). С. 41–56.

Tarkhanov O.V. The concept of power plants and society // Natsional'naya bezopasnost' i strategicheskoye planirovaniye. 2014. № 3 (7). P. 41–56 (in Russian).

8. Прянишников Д.Н. Популярная агрохимия. М.: Наука, 1965. 400 с.

Pryanishnikov D.N. Popular agrochemistry. M.: Nauka, 1965. 400 p. (in Russian).

9. Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. М.: КолосС, 2011. 443 с.

Kiryushin V.I. The theory of adaptive landscape agriculture and the design of agrolandscapes. M.: KolosS, 2011. 443 p. (in Russian).

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

Dospekhov B.A. Methods of field experience (with the basics of statistical processing of research results). M.: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian).

11. Шапиро В.А. Азбука плодородия как азбука выживания. М.: ДеЛиплюс, 2011. 89 с.

Shapiro V.A. The ABC of fertility as the ABC of survival. M.: DeLiplus, 2011. 89 p. (in Russian).

12. Матвиенко А.И. Влияние азота на микроциркуляцию углерода в почвах под лиственницей сибирской и сосной обыкновенной: дис. ... канд. биол. наук. Красноярск: СФУ ФНЦКНЦ СО РАН, 2017. 212 с.

Matvienko A.I. The effect of nitrogen on the microcirculation of carbon in soils under Siberian larch and Scots pine: dis. ... kand. biol. nauk. Krasnoyarsk: SFU FNTSKNTS SO RAN, 2017. 212 p. (in Russian).

13. Масютенко Н.П. Трансформация органического вещества в черноземных почвах ЦЧР и системы его воспроизводства. М.: Россельхозакадемия, 2012. 150 с.

Masyutenko N.P. Transformation of organic matter in chernozem soils of the Central Black Sea and its reproduction systems. M.: Rossel'khozakademiya, 2012. 150 p. (in Russian).

14. Постников Д.А., Темирбекова С.К., Лошаков В.Г., Норов М.С., Курило А.А. Сравнительная агроэкологическая оценка применения традиционных и перспективных сидеральных культур в условиях Московской области // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 8. С. 39–43.

Postnikov D.A., Temirbekova S.K., Loshakov V.G., Norov M.S., Kurilo A.A. Comparative evaluation of traditional agrienvironmental and perspective green manure crops planting in the conditions of Moscow region // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2014. № 8. P. 39–43 (in Russian).

УДК 630*266:633.873.1(470.44)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ СОСТОЯНИЯ, РОСТА И ПРОДУКТИВНОСТИ ДРЕВЕСНЫХ ПОРОД В ЛЕСНЫХ ПОЛОСАХ ОРОШАЕМОЙ СТЕПИ САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Маштаков Д.А., Садыков А.Р.

ФГБОУ ВО Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова, Capamoв, e-mail: lmsus1920@mail.ru

Целью исследований явилось установление закономерностей роста и продуктивности древесных пород в лесных полосах орошаемой степи Саратовского Заволжья на основе исследований 2017-2019 гг. Объект исследования расположен в степи Саратовского Заволжья на территории ЗАО «Племенной завод «Мелиоратор»» Марксовского района Саратовской области. Полевые исследования и обработка материалов проводились в соответствии с методическими указаниями профильных НИИ России (ВНИАЛМИ). Исследуемые лесные полосы имеют древесно-теневой тип смешения с главными породами дубом черешчатым и вязом приземистым и сопутствующей породой – ясенем ланцетным. Лесные полосы, являясь экологическим каркасом агроландшафта, защищают сельскохозяйственные угодья от действия неблагоприятных природных факторов, повышая продуктивность сельскохозяйственных культур и обеспечивая оптимальное использование режима орошения. Важнейшими показателями долговечности, биологической продуктивности и, как следствие, эффективности лесомелиоративного воздействия на прилегающую территорию являются состояние и рост древесных пород в лесных полосах. Исследования показали, что таксационные показатели дуба черешчатого при его смешении с ясенем выше на 20%, чем при смешении дуба с вязом приземистым. Рост дуба по высоте и диаметру при смешении с ясенем начиная с 6-летнего возраста и на протяжении всей жизни превышает аналогичные показатели дуба при его смешении с вязом на 20%. Таксационные показатели вяза приземистого и его рост при его смешении с дубом и ясенем превышают аналогичные показатели вяза в чистых насаждениях на 9-11,5%. Исследование жизненного состояния дуба в лесных полосах показало, что при смешении дуба с ясенем преобладали «слабоугнетенные» деревья (46%) и «здоровые» деревья (45%) дуба, а при смешении дуба с вязом приземистым количество «здоровых» деревьев дуба сократилось на 6%, «слабоугнетенных» и «сильноугнетенных» возросло на 3,6 % и 5,3 % соответственно.

Ключевые слова: лесная полоса, орошаемые почвы, таксационная характеристика, жизненное состояние, ход роста, главная порода, сопутствующая порода

PATTERNS IN CONDITION, GROWTH AND PRODUCTIVITY OF TREE SPECIES IN FOREST BELTS OF IRRIGATED STEPPE OF SARATOV TRANS-VOLGA REGION

Mashtakov D.A., Sadykov A.R.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saratov State Vavilov Agrarian University named after N.I. Vavilov», Saratov, e-mail: lmsus1920@mail.ru

The purpose of the research was to establish regularities of growth and productivity of tree species in forest strips of the irrigated steppe of Saratov Volga region based on 2017-2019 research. The object of research is located in the steppe of the Saratov Volga region on the territory of JSC «Breeding plant» Meliorator» of Marksovsky district of Saratov region. Field research and processing of materials was carried out in accordance with the guidelines of specialized research institutes of Russia (VNIALMI). The studied forest strips have a tree-shadow type of mixing with the main species of oak and elm squat and accompanying species-lanceolate ash. Forest belts, being the ecological framework of the agricultural landscape, protect agricultural land from the effects of adverse natural factors, increasing productivity of crops and ensuring optimal use of irrigation regime. The most important indicator of longevity, biological productivity and, as a result, the effectiveness of forest reclamation impact on the surrounding area is the state and growth of tree species in forest strips. Research has shown that taxational indicators of the cherry oak when it is mixed with ash are 20% higher than when it is mixed with the squat elm. The growth of oak in height and diameter when mixed with ash, starting from 6 years of age and throughout life exceeds the similar indicators of oak when mixed with elm by 20%. Taxational indicators of squat elm and its growth when mixed with oak and ash exceed similar indicators of elm in clean stands by 9-11. 5%. A study of life status of oak in woodlands showed us that when oak and ash were mixed, «low-carbon» trees (46%) and «healthy» trees (45%) of oak prevailed, and when oak and elm were mixed, the number of «healthy» oak trees decreased by 6%, «lowcarbon» and «high-carbon» trees increased by 3.6% and 5.3%, respectively.

Keywords: forest belt, irrigated soils, taxonomic characteristics, vital status, the course of growth, the main species, the related species

Защитные лесные насаждения на территории орошаемых агроландшафтов обеспечивают защиту сельскохозяйственных угодий от действия неблагоприятных природных факторов. Изменяя микроклимат прилегающих к лесным полосам сельхозугодий, они повышают их продуктивность,

снижают расход поливной воды и обеспечивают выполнение режима орошения сельскохозяйственных культур. Важнейшими показателями долговечности, биологической продуктивности и, как следствие, максимальной продолжительности мелиоративного эффекта лесных полос являются состояние и рост древесных пород [1–3]. Исследованием особенностей роста, биопродуктивности древесных пород в защитных лесных насаждениях занимались В.И. Михин, Е.А. Михина, В.В. Танюкевич, В.М. Ивонин, Н.Н. Дубенок и другие ученые [4–6]. В условиях Саратовского Заволжья главными породами в лесных полосах являются дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) и вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), рост и состояние которых во многом зависят от применяемого взаимного смещения этих пород между собой и с сопутствующей породой – ясенем ланцетным (*Fracsinus lanceolata* L.) [2, 7].

Цель исследований: выявление закономерностей состояния, роста и продуктивности древесных пород в защитных лесных насаждениях орошаемой степи Саратовского Заволжья.

Материалы и методы исследований

Объект исследования — система защитных лесных насаждений на орошаемых черноземах ЗАО «Племенной завод «Мелиоратор»» Марксовского района Саратовской области. На опытном участке размещаются 4 лесные полосы 6- и 5-рядные с разными схемами смешения и видовым составом древесных пород. Все полосы имели схему посадки 3х0,8 м, возраст — 39 лет, конструкцию плотную, лесная полоса с дубом черешчатым и ясенем ланцетным имела ажурную конструкцию.

Полоса № 1. 6-рядная, схема смещения Вп-Д-Д-Д-Вп. Ширина полосы – 18 м. Густота посадки на 1 га: дуба – 2750 шт., вяза – 1375 шт. Сохранность дуба – 48%, вяза – 56%. Полоса № 2. 6-рядная. Схема смешения Вп-Вп-Вп-Вп-Вп. Ширина полосы - 18 м. Густота посадки на 1 га – 4125 шт. Сохранность 46%. Полоса № 3 – 5-рядная. Схема смешения Ял-Д-Д-Д-Ял. Ширина полосы – 15 м. Сохранность дуба – 52%, ясеня – 47%. Полоса № 4 – 6-рядная. Схема смешения Ял-Вп-Вп-Вп-Вп-Ял. Ширина полосы – 18 м. Сохранность вяза -50%, ясеня -47%. Техника орошения – дождевальная машина «Фрегат» кругового действия с забором воды из закрытого трубопровода и подачей воды из оросительного канала. Режим орошения – принятый в данном хозяйстве. Почвы опытного участка – темно-каштановые, средне- и тяжелосуглинистые.

Исследования роста, таксационных показателей и продуктивности древесных пород проводились согласно методике ВНИАЛМИ [8]. Закладка пробных площадей и их исследование осуществлялись согласно ОСТ 56-69-83 [9]. Определение жизненного состояния древесных пород в лесных полосах проводилось по методике В.А. Алексеева [10].

Результаты исследования и их обсуждение

В Саратовском Заволжье лесные полосы выполняют различные функции, главная из которых - защита сельскохозяйственных угодий от действия неблагоприятных природных факторов. Древесные породы в лесных полосах обладают разными таксационными показателями, ростом, продуктивностью, состоянием, которые зависят не только от почвенных и климатических условий произрастания, но и от применяемых схем смешения. Исследуемые лесные полосы представлены главными породами дубом черешчатым (Quercus robur L.) и вязом приземистым (Ulmus pumila L.). В качестве сопутствующей породы выступает ясень зеленый (Fracsinus lanceolata L.). Таксационная характеристика исследуемых лесных полос представлена в табл. 1. В лесной полосе с дубом и вязом вяз занимает крайние ряды и имеет высоту на 29,7%, а диаметр – на 22,6% превышающие аналогичные показатели дуба (табл. 1). Дуб, занимающий центральные ряды, имеет высоту 14,8 м и диаметр 21,2 cм, что соответственно на 12,1 % и 7,5% меньше аналогичных показателей дуба в лесополосе с ясенем ланцетным (табл. 1). В смешении с ясенем дуб растет по II классу бонитета, тогда как в смешении с вязом – по III классу бонитета. Вяз как быстрорастущая породы обгоняет дуб по высоте, развивая мощную крону, которая притеняет и охлестывает крону дуба центральных рядов полосы, тем самым оказывая негативное влияние на рост дуба. В чистой вязовой лесополосе высота вяза на 17%, а диаметр на 18,2% меньше аналогичных показателей вяза в смешении с дубом (табл. 1). Вяз, занимающий центральные ряды, находится в более стесненных условиях и имеет меньшую влагообеспеченность по сравнению с вязом в крайних рядах лесополосы с дубом черешчатым, что отражается на его таксационных показателях (табл. 1).

В лесной полосе с вязом и ясенем вяз растет по II классу бонитета и имеет высоту на 11,5% большую высоты вяза в чисто вязовой лесополосе (табл. 1).

Таблица 1 Таксационная характеристика лесных полос на орошаемых темно-каштановых почвах степного Заволжья

| No | Схема смешения | Размещение, м | Поро- | Густота, | Сохран- | Возраст, | Сре | дние | Бони- |
|-----|--------------------------|---------------|-------|----------|---------|----------|------|-------|-------|
| п/п | Число рядов | Ширина, м | да | шт/га | ность,% | лет | Н, м | Д, см | тет |
| 1 | Вп-Д-Д-Д-Вп | <u>3×0,8</u> | Д | 2750 | 48 | 39 | 14,8 | 21,2 | III |
| | 6 | 18 | | | | | | | |
| | | | Вп | 1375 | 56 | 39 | 19,2 | 26,0 | I |
| 2 | Вп-Вп-Вп-Вп-Вп-Вп | <u>3×0,8</u> | | | | | | | |
| | 6 | 18 | Вп | 4125 | 46 | 39 | 16,4 | 22,0 | II |
| 3 | <u>Яз-Д-Д-Яз</u> | <u>3×0,8</u> | Д | 2475 | 52 | 39 | 16,6 | 22,8 | II |
| | 5 | 15 | | | | | | | |
| | | | Яз | 1650 | 47 | 39 | 13,5 | 18,0 | III |
| 4 | <u>Яз-Вп-Вп-Вп-Вп-Яз</u> | <u>3×0,8</u> | Вп | 2750 | 50 | 39 | 18,3 | 23,1 | II |
| | 6 | 18 | | | | | | | |
| | | | Яз | 1375 | 45 | 39 | 14,7 | 19,0 | III |

Примечание: Вп – вяз приземистый; Д – дуб черешчатый; Яз – ясень зеленый.

Таблица 2 Рост древесных пород в разных рядах лесной полосы

| $N_{\underline{0}}$ | Порода | Возраст, | Опушечный ряд | | Центральный ряд | | Различие,% | |
|---------------------|--------|----------|---------------|-------------|-----------------|-------------|------------|-------------|
| п/п | | лет | Высота, м | Диаметр, см | Высота, м | Диаметр, см | По высоте | По диаметру |
| 1 | Вп | 39 | 19,2 | 26,0 | _ | _ | 29,7 | 22,6 |
| | Д | 39 | _ | _ | 14,8 | 21,2 | | |
| 2 | Вп | 39 | 17,9 | 25,3 | 15,0 | 20,2 | 19,3 | 25,2 |
| 3 | Яз | 39 | 13,5 | 18,0 | _ | _ | 22,9 | 26,7 |
| | Д | 39 | _ | _ | 16,6 | 22,8 | | |
| 4 | Яз | 39 | 14,7 | 19,0 | _ | _ | 24,5 | 21,5 |
| | Вп | 39 | _ | _ | 18,3 | 23,1 | | |

Примечание: Вп – вяз приземистый; Д – дуб черешчатый; Яз – ясень зеленый.

Разница в высоте древесных пород крайних и центральных рядов оказывает существенное влияние на форму поперечного профиля лесополосы, который в свою очередь определяет ее мелиоративный эффект и долговечность. Разница высоты крайних рядов вяза приземистого и центральных рядов дуба черешчатого составляет 29,7%, лесополоса имеет вогнутый поперечный профиль, оказывающий негативное влияние на аэродинамические характеристики лесной полосы, на ее устойчивость и долговечность. В вязовой лесной полосе разница в таксационных показателях вяза крайних и центральных рядов составляет по высоте 19,3%, по диаметру 25,2% (табл. 2). Полоса имеет вогнутый поперечный профиль, негативно влияющий на мелиоративную эффективность, устойчивость и долговечность лесополосы.

Разница в таксационных показателях дуба, занимающего центральные ряды, и ясеня, занимающего крайние ряды, составляет: по высоте – 23,0%, по диаметру –

26,7% в пользу дуба (табл. 2). Полоса имеет выпуклый поперечный профиль, который является более эффективным по мелиоративному эффекту, долговечности и устойчивости полосы. Таким же выпуклым поперечным профилем обладает лесополоса с вязом приземистым и ясенем ланцетным (табл. 2), где разница по высоте между крайними рядами ясеня и центральными рядами вяза составляет 24,5%.

Анализ роста дуба черешчатого по высоте в смешении с ясенем и вязом показал, что примерно до 5-летнего возраста высота дуба была идентична при смешении с обечими породами (рис. 1).

С 5-летнего возраста и до возраста 39 лет наблюдается превышение интенсивности роста дуба в смешении с ясенем на 10–20% (рис. 1). Среднегодовой прирост дуба по высоте в смешении с ясенем составил 0,32–0,47 м/год, тогда как прирост дуба по высоте в смешении с вязом – 0,24–0,38 м/год, причем наибольший прирост дуба отмечался с 15 до 25 лет

со снижением к 39 годам. Рост вяза приземистого в высоту был наиболее интенсивен при смешении вяза с дубом, где разница в росте по сравнению с чисто вязовой лесополосой и смешением с ясенем наблюдалась примерно с 3-летнего возраста вяза и составила 4-13 % по сравнению с ростом вяза в смешении с ясенем и 15-19% по сравнению с ростом вяза в чистой вязовой лесополосе (рис. 2). Среднегодовой прирост вяза по высоте в смешении с дубом составил 0,48-0,67 м/год, в смешении с ясенем -0.46-0.66 м/год и в чистой вязовой лесополосе – 0,42–0,61 м/год (рис. 2). Наибольшие приросты вяза отмечались с 5 до 20 лет при его смешении с дубом и ясенем с дальнейшим постепенным снижением к 39-летнему возрасту. В чистой вязовой лесополосе пик среднегодового прироста по высоте произошел к 10-летнему возрасту с постепенным его снижением на протяжении всего возраста полосы (рис. 2).

В исследуемых лесополосах отмечаются различия в состоянии дуба и вяза при разном смешении (табл. 3).

В лесных полосах с дубом преобладают деревья 2-го класса жизненного состояния — «слабоугнетенные», которых отмечалось 46% при смешении дуба с ясенем и 49,6% при смешении дуба с вязом (табл. 3). Деревья 1-го класса жизненного состояния — «здоровые» — составили 45% при смешении дуба с ясенем и 35% при смешении дуба с ясенем и 35% при смешении дуба с вязом (табл. 3). В лесных полосах с вязом при смешении со всеми породами преобладает 2-й класс жизненного состояния (табл. 3). «Здоровые» деревья вяза (41%) преобладали при смешении вяза с дубом.

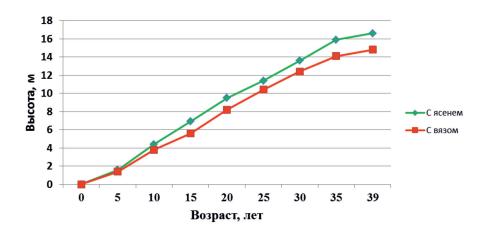


Рис. 1. Ход роста дуба черешчатого по высоте при разном смешении

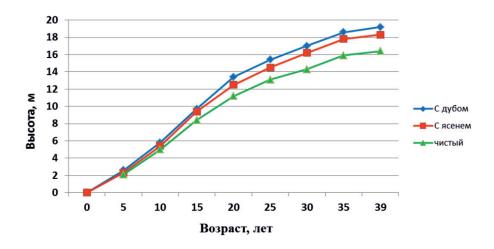


Рис. 2. Ход роста вяза приземистого по высоте при разном смешении

2,0

Порода No Число деревьев по классам жизненного состояния, % Π/Π 5 4,2 2,2 41,0 1 Вπ 43.5 9.5 1,8 35,0 49,6 11,8 Д 1,4 2 6,2 2,5 Вπ 30,0 45,5 15,8 3 Яз 34,5 49,8 10,7 3,2 1,8 45,0 1,5 Д 46,0 6,5 1,0 41,0 7,6 1,8 1,3 4 Яз 48,3 5,0

Таблица 3 Жизненное состояние древесных пород в лесных полосах

10,5

Примечание: Вп – вяз приземистый; Д – дуб черешчатый; Яз – ясень зеленый.

44,5

Смешение дуба с ясенем в условиях орошаемой степи Саратовского Заволжья обеспечило почти идентичное количество «здоровых» и «слабоугнетенных» деревьев дуба – 45 % и 46 % соответственно, которое позволяет сохранить оптимальную устойчивость, долговечность, продуктивность и мелиоративный эффект лесной полосы на должном уровне долгое время. Смешение вяза приземистого с ясенем, дубом и его состояние в чистой вязовой лесной полосе показали его лучшее состояние при смешении с ясенем, где количество «здоровых» деревьев было 38%, а «слабоугнетенных» – 44,5%. В смешении с дубом вяз является сопутствующей породой из-за низкой долговечности и сильным конкурентом дуба.

38,0

Вπ

Заключение

Дуб черешчатый в смешении с вязом растет по III классу бонитета, имеет высоту 14,8 м и диаметр 21,2 см, что на 12,1% и 7.5% ниже соответствующих показателей дуба, растущего по II классу бонитета в смешении с ясенем. Вяз приземистый в смешении с дубом растет по I классу бонитета, имеет высоту 19,2 м и диаметр 26,0 см, что на 17% и 18,2% больше соответствующих показателей вяза, растущего по III классу бонитета в чистой вязовой лесополосе, и на 4,9% и 12,5% больше соответствующих показателей вяза, растущего по II классу бонитета в смешении с ясенем ланцетным. Во всех лесных полосах у дуба и вяза приземистого преобладают деревья 2-го класса жизненного состояния «слабоугнетенные», составляющие от 43,5% для вяза при его смешении с дубом и до 49,5% для дуба при его смешении с вязом. Смешение дуба черешчатого с вязом приземистым на орошаемых темно-каштановых почвах степи Саратовского Заволжья является неблагоприятным для роста дуба ввиду сильной конкуренции со стороны вяза. Лучшим спутником для дуба в условиях орошаемой степи Саратовского Заволжья является ясень ланцетный.

Список литературы / References

1. Михин В.И., Михина Е.А., Михина В.В. Формирование защитных лесных насаждений в Центральном Черноземье России // Успехи современного естествознания. 2018. № 12-1. C. 87-91.

Mikhin V. I., Mukhina E. A., Mikhina V. V. Formation of protective forest plantations in the Central black earth region of Russia // Advances in current natural sciences. 2018. № 12-1. P. 87-91 (in Russian).

2. Проездов П.Н., Карпушкин А.В., Дормидонтова Р.В., Рудько К.И. Биометрия древесных пород лесных полос в орошаемом сухостепном Заволжье // Основы рационального природопользования: сборник материалов V международной конференции (Саратов, 15-16 апреля 2016 г.). Саратов: СГАУ, 2016. С. 169–174.

Proezdov P.N., Karpushkin A.V., Dormidontova R.V., Rudko K.I. Biometrics of wood species of forest strips in the irrigated dry-steppe Zavolzhye // Osnovy ratsional nogo prirodopol'zovaniya: sbornik materialov V mezhdunarodnoy konferentsii (Saratov, 15-16 aprelya 2016 g.). Saratov: SGAU, 2016. P. 169-174 (in Russian).

3. Михин В.И., Михина Е.А., Михин Д.В. Особенности роста древесных пород в полезащитных насаждениях в условиях Среднерусской возвышенности // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5-2. С. 93-96. DOI: 10.12737/15978.

Mikhin V.I., Mukhina E.A., Mikhin D.V. Features of growth of wood species in protective plantings in the conditions of the Central Russian upland // Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. 2015. V. 3. № 5-2. P. 93-96 (in Russian).

4. Михин В.И., Михина Е.А. Формирование защитных насаждений из дуба черешчатого в Центральном Черноземье России // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8. № 4. C. 109-117. DOI: 10.12737/article 5c1a321965cf38.69751554.

Mikhin V.I., Mukhina E.A. Formation of protective plantings from a cherry oak in the Central Chernozem region of Russia // Lesotekhnicheskiy zhurnal. 2018. V. 8. № 4. P. 109-117 (in Russian).

5. Танюкевич В.В., Ивонин В.М. Особенности хода роста основных пород лесных полос в Ростовской области // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2012. № 2. С. 27-31.

Tanyukevich V.V., Ivonin V.M. Features of the growth of the main breeds of forest strips in the Rostov region // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa - Lesnoy vestnik. 2012. № 2. P. 27-31 (in Russian).

6. Дубенок Н.Н., Танюкевич В.В., Тюрин С.В. Состояние и мелиоративная эффективность полезащитных лесонасаждений Краснодарского края // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 1. С. 36–38.

Dubenok N.N., Tanyukevich V.V., Tyurin S.V. State and Reclamation Efficiency of Forest Shelterbelts of Krasnodar Krai. Russian agricultural science. 2017. V. 43. № 2. C. 170–172. DOI: 10.3103/S1068367417020070.

7. Маштаков Д.А., Садыков А.Р. Состояние защитных лесных насаждений в орошаемых условиях степи Саратовского Заволжья // Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования: сборник ІІ международной научно-практической конференции (с. Соленое Займище, 2 февраля 2017 г.). Соленое Займище: ПНИИАЗ, 2017. С. 420–422.

Mashtakov D.A., Sadykov A.R. State of protective forest plantations in the irrigated conditions of the steppe of the Saratov Zavolzhye // Sovremennoye ekologicheskoye sos-

toyaniye prirodnoy sredy i nauchno-prakticheskiye aspekty ratsional'nogo prirodopol'zovaniya: sbornik II mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (s. Solenoye Zaymishche, 2 fevralya 2017 g.). Solenoye Zaymishche: PNIIAZ, 2017. P. 420–422 (in Russian).

8. Баранов В.А., Бялый А.М., Павловский Е.С., Долгилевич М.И. Методика системных исследований лесоаграрных ландшафтов. М.: ВАСХНИЛ, ВНИАЛМИ, 1985. 112 с.

Baranov V.A., Bialyi A.M., Pavlovsky E.S., Dovgilevich M.I. The methodology of system research forest-agrarian landscapes. M.: VASKHNIL, VNIALMI, 1985. 112 p. (in Russian).

- 9. ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные, метод закладки». М.: ЦБНТИлесхоз, 1984. 60 с.
- 10. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 54–57.
- Alekseev V.A. Diagnostics of the life state of trees and stands // Lesovedeniye. 1989. № 4. P. 54–57 (in Russian).

УДК 633.51:581.192

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В ЛИСТЬЯХ ХЛОПЧАТНИКА

Пирахунова Ф.Н., Абзалов А.А., Ибрагимова Ш.А.

Ташкентский фармацевтический институт, Taшкент, e-mail: Farida.piroxunova@mail.ru

Исследованиями установлено, что при высокой температуре окружающей среды происходят существенные изменения в азотистом обмене листьев хлопчатника. При этом с повышением температуры до середины дня имеет место усиление усвоения аммиачного, аминного, нитратного и амидного азота. Дальнейшее повышение температуры в середине дня (в 14 часов) привело к нарушению азотного обмена, выразившемуся в уменьшении содержания белкового и амидного азота. В послеполуденное время (в 17 часов) наблюдалось усиление усвоения нитратного, аминного и аммиачного азота и синтеза белкового и амидного азота. Вечернее и ночное время характеризовалось повышенным содержанием нитратного, аммиачного и аминного азота, т.е. в это время синтетические процессы протекали медленнее, чем до середины дня. Отмечено, что между интенсивностью фотосинтеза и синтезом белкового и амидного азота наблюдается прямая корреляция, а между интенсивностью фотосинтеза и содержанием нитратного, аммиачного и аминного азота обнаружена обратная взаимосвязь. Выявлено, что в середине дня (в 14 часов) в результате резкого снижения интенсивности фотосинтеза из-за недостатка продуктов фотосинтеза типа углеродистых соединений, когда дальнейшее превращение аммиака в органические соединения заторможено, аммиак накапливается в клетке. В дневное время в экспериментах наблюдается отрицательная корреляция между интенсивностью фотосинтеза и содержанием нитратного азота. Восстановленный азот затем используется для построения органических соединений азота, главным образом белков. В дневное время между содержанием нитрата и температурой окружающей среды отмечается обратная взаимосвязь.

Ключевые слова: листья, сорт, белковый азот, плодообразование, бутонизация, плодоэлементы

INFLUENCE OF TEMPERATURE UPON THE CHANGE IN CONTENT OF NITROGEN COMPOUNDS IN COTTON LEAVES

Pirakhunova F.N., Abzalov A.A., Ibragimova Sh.A.

Tashkent Pharmaceutical Institute, Tashkent, e-mail: Farida.piroxunova@mail.ru

Studies have found that at high ambient temperatures, significant changes have occurred in nitrogen metabolism of cotton leaves. At the same time, with increase in temperature until the middle of the day, there is an increase in absorption of ammonia, amine, nitrate and amide nitrogen. A further increase in temperature in the middle of the day (14 hours) led to violation of nitrogen metabolism, which resulted to decrease in content of protein and amide nitrogen protein and amide nitrogen. In the afternoon (17 hours), there was an increase in assimilation of nitrate, amine, and ammonia nitrogen as well as synthesis of protein and amide nitrogen. Evening and night time was characterized by an increased content of nitrate, ammonia and ammonium nitrogen, i.e. at this time, synthetic processes were lower than before mid-day. It is noted that a direct correlation between intensive photo synthesis and protein and amide nitrogen synthesis was observed, as well as inverse relationship was found between the intensity of photosynthesis and the content of nitrate, ammonia, and amine nitrogen. It was revealed that in the middle of the day (14 hours), as a result of a sharp decrease in intensity of photosynthesis and due to the lack of photosynthesis products such as carbon compounds, when the further conversion of ammonia into organic compounds is inhibited, ammonia accumulates in the cell. A negative correlation between the photosynthesis intensify and nitrate nitrogen content in the experiments during daytime was registered. Reduced nitrogen is then used to build organic nitrogen compounds, mainly proteins. In the daytime, an inverse relationship is observed between nitrate content and ambient temperature.

Keywords: leaves, variety, protein nitrogen, fruit formation, budding, fruit elements

Известно, что в формировании урожая хлопчатника содержанию азотных соединений в листьях растений принадлежит ведущая роль. Как недостаточное, так и избыточное их количество оказывает отрицательное влияние на накопление плодовых элементов и тем самым – на урожай хлопка-сырца. В результате проведенных многолетних исследований получен вывод, что удобрения в значительной мере воздействуют на состояние гумуса почвы. Применение органических удобрений положительно влияет на состояние

гумуса. Навоз, приготовленные из различных органических отходов, компосты способствуют увеличению количества гумуса и улучшению его качества. Применение азотных удобрений в больших дозах приводит к ускорению процессов минерализации гумуса и замедлению превращения органических веществ в гумус [1]. Исследователями выявлено, что [2] увеличение доз азотных удобрений способствует нарушению баланса и круговорота питательных элементов, загрязнению окружающей среды нитратами, ухудшению биологи-

ческих свойств почв и возделываемых культур. Сочетание же минеральных удобрений с навозом не только повышает их биологическую активность, но и устраняет негативные свойства. Исследователями установлено [3], что реутилизация (отток) азота удобрений из вегетативных органов в репродуктивные у хлопчатника происходит более интенсивно при внесении в почву органических удобрений, особенно на типичном сероземе, а не на луговой почве. Также выявлено, что в последние годы обеспеченность почв на территориях, где занимаются орошаемым земледелием, содержание азота, фосфора и калия постепенно стало снижаться. Это привело к увеличению площади средне- и малообеспеченных азотом почв на 18%, а площади высокообеспеченных азотом земель уменьшились на 8–10 % [4]. В связи с этим можно считать, что дальнейшее повышение продуктивности хлопчатника в основном зависит от правильного и эффективного использования азотных удобрений.

Цель исследования: изучить влияние температуры окружающей среды на изменение содержания различных азотистых соединений по фазам развития и в течение суток в листьях хлопчатника.

Материалы и методы исследования

Как вегетационные, так и полевые опыты были проведены на учебной и научной сельскохозяйственной опытной станции Ташкентского государственного аграрного университета. Почвы опытного участка – староорошаемый типичный серозем. Участок находится в окрестностях г. Ташкента. Площадь делянок 100 м², повторность опыта 4-кратная. Способы размещения растений на площади, сроки и нормы посева семян, полива и другие агротехнические мероприятия по уходу за растениями осуществляли в соответствии с общепринятыми правилами возделывания хлопчатника. Полив проводили по схеме 2-5-2. В качестве азотного удобрения использовали аммиачную селитру, фосфор в форме суперфосфата, калий в форме КСІ в дозах $N_{200} P_{140} K_{100} \ \kappa \Gamma / \Gamma a. \ \Phi$ осфор полностью вносили осенью под зябь, азот – 30% перед посевом, 35% в фазе бутонизации, оставшиеся 35% – в фазе цветения. Половину дозы калия вносили в период бутонизации, а оставшуюся половину - в период цветения.

С целью изучения влияния температуры окружающей среды на изменение содер-

жания различных азотистых соединений нами были проведены анализы в листьях хлопчатника по фазам развития и в течение суток (через каждые 3 часа) на содержание в них различных форм азота. Интенсивность фотосинтеза определяли в аппарате Варбурга. Температура воды в ванне аппарата Варбурга 24°C.

Результаты исследования и их обсуждение

В наших исследованиях содержание общего, белкового и других форм азота определялось во всех фазах развития хлопчатника. В последующем происходит снижение содержания общего и белкового азота. Несмотря на то что в конце вегетации по содержанию азотистых соединений в относительных единицах обнаружено почти такое же количество общего и белкового азота, все же по сравнению с предыдущими фазами развития хлопчатника к концу вегетации отмечается потеря значительного количества этих соединений. Уменьшение содержания азотистых веществ в листьях хлопчатника в фазе созревания объясняется оттоком питательных веществ из них к коробочкам [5]. Азотный обмен в листьях хлопчатника в течение сутки изменяется под действием высокой температуры. В результате этого нарушаются процессы синтеза белка, что связано с образованием и накоплением промежуточных азотистых продуктов обмена. Интенсивность синтеза азотистых веществ также зависит и от фазы развития хлопчатника. Усиленный синтез как общего, так и белкового азота в листьях наблюдается в фазах бутонизации и цветения, резкое его падение отмечается в фазу созревания. В большинстве фаз развития хлопчатника увеличение содержания общего азота происходит в основном за счет белкового азота.

Экспериментальные данные наших анализов показывают, что максимальное содержание белкового азота во все периоды исследований наблюдалось в утреннее время (в 8 и 11 часов). Позднее оно уменьшалось, минимум отмечался в середине дня (в 14 часов), после чего происходило новое повышение. Однако следующее увеличение синтеза белкового азота не столь велико, как в утреннее время. В течение суток, кроме середины дня (в 14 часов), наблюдается положительная корреляция между интенсивностью синтеза общего и белкового азота и температурой окружающей среды (табл. 1, 2).

Таблица 1 Изменение содержания общего азота в листьях сорта хлопчатника сорта Бухара 102 в течение вегетации и за сутки (в% сухого вещества)

| No | Время анализа | 2-3 настоящих | Бутонизация | Цветение | Плодообразование | Созревание |
|----|---------------|---------------|-------------|----------|------------------|------------|
| | | листа | | | | |
| 1 | 8 часов | 3,15 | 4,67 | 4,57 | 3,01 | 1,62 |
| 2 | 11 часов | 3.56 | 4,90 | 4,75 | 3,21 | 1,79 |
| 3 | 14 часов | 2,71 | 3,72 | 3,61 | 2,97 | 1,58 |
| 4 | 17 часов | 2,94 | 3,84 | 3,70 | 3,01 | 1,65 |
| 5 | 20 часов | 3,06 | 3,91 | 3,69 | 3,07 | 1,70 |
| 6 | 23 часа | 3,05 | 3,80 | 3,66 | 3,00 | 1,61 |
| 7 | 02 часа | 2,90 | 3,86 | 3,62 | 2,94 | 1,60 |
| 8 | 05 часов | 2,88 | 3,73 | 3,58 | 2,84 | 1,46 |

Таблица 2 Изменение содержания белкового азота в листьях сорта хлопчатника сорта Бухара 102 в течение вегетации и за сутки (в % сухого вещества)

| No | Время анализа | 2-3 настоящих | Бутонизация | Цветение | Плодообразование | Созревание |
|----|---------------|---------------|-------------|----------|------------------|------------|
| | | листа | | | | |
| 1 | 8 часов | 3,026 | 4,615 | 4,471 | 2,908 | 1,546 |
| 2 | 11 часов | 3,414 | 4,771 | 4,669 | 3,154 | 1,756 |
| 3 | 14 часов | 2,569 | 3,526 | 3,515 | 2,873 | 1,528 |
| 4 | 17 часов | 2,822 | 3,674 | 3,609 | 2,941 | 1,600 |
| 5 | 20 часов | 2,879 | 3,753 | 3,589 | 2,989 | 1,636 |
| 6 | 23 часа | 2,922 | 3,424 | 3,553 | 2,924 | 1,542 |
| 7 | 02 часа | 2,761 | 3,562 | 3,513 | 2,854 | 1,527 |
| 8 | 05 часов | 2,741 | 3,457 | 3,461 | 1,940 | 1,389 |

Суточные изменения содержания общего и белкового азота определяются в основном изменениями количества азота водорастворимых и неэкстрагируемых (или конституционных) белков. Одной из причин суточных изменений количества этих фракций белков, как и органических соединений фосфора, является, очевидно, изменение температуры воздуха, что отмечается преимущественно днем, когда она сильно повышается. Возможно, и в наших опытах тоже с повышением температуры воздуха происходит гидролиз водорастворимых и конституционных белков, в результате чего наблюдается уменьшение количества белкового азота в жаркое время дня. Можно предположить, что высокая температура влияет на гидролитические процессы не прямо, а косвенно, вызывая усиление транспирации, а вследствие этого происходит обезвоживание растений, усиливающее процессы гидролиза. Данные суточных определений не позволяют разграничить эти две стороны действия температуры. Действие высокой температуры не сопровождалось заметным обезвоживанием растений, но тем не менее вызвало сильное снижение количества белкового азота и значительное повышение количества небелкового азота, т.е. способствовало усилению гидролитических процессов. Эти результаты позволяют говорить о прямом влиянии высокой температуры на гидролитические процессы, что не исключает, разумеется, и косвенного ее влияния. Уменьшение содержания белкового азота в листьях хлопчатника в середине дня (в 14 часов) свидетельствует об усилении процессов расхода, гидролиза белковых соединений, о чем можно судить по повышенному содержанию небелкового азота (табл. 3). Под влиянием высокой температуры во всех фазах развития в середине дня в результате усиления гидролиза белков до аминокислот наблюдалось уменьшение содержания аминного азота. В дальнейшем в результате оттока аминокислот из листа содержание аминного азота падает, но все же точное и раннее утреннее время (5 часов) остается на более высоком уровне. На основании анализа азотистого обмена в листьях можно заключить, что в утреннее время (в 8 часов, особенно в 2 часа утра) параллельно с увеличением уровня белкового азота наблюдается извлечение амидного азота. В последующем (в 14 часов) соединение этих форм резко уменьшается в результате их усиленного гидролиза, о чем свидетельствует высокое содержание небелкового (в том числе и аминного) азота. Снижение количества белкового азота в жаркое время дня показывает, что под влиянием высокой температуры в листьях усиливаются гидролитические процессы. Под действием высокой температуры атмосферы и почвы произошли существенные изменения в азотистом обмене листьев хлопчатника. При постепенном повышении температуры воздуха к середине дня отмечается усиление усвоения нитратного, а также аммиачного, аминного и амидного азота. В послеполуденное время (в 17 часов) наблюдалось усиление усвоения нитратного, а также аминного и аммиачного азота и синтеза белкового и амидного азота. В вечернее и ночное время произошло повышение содержания нитратного, а также аммиачного и аминного азота, т.е. в это время синтетические процессы были ниже, чем до середины дня (табл. 4).

Таким образом, постепенное повышение температуры к 11 часам утра обусловливает повышение содержания таких азотистых соединений, как белковый и амидный азот, в листьях хлопчатника. Следует отметить, что динамика изменения содержания различных азотистых соединений в листьях этого растения во многих случаях схожая, хотя по количеству они резко отличаются друг от друга. Ассимиляцию углерода и азота исследователи считают единым процессом, протекающим при непосредственном участии света. При этом, как они отмечают, в качестве продуктов фотосинтеза, кроме углеводов, образуются белки и другие органические вещества.

Таблица 3 Изменение содержания небелкового азота в листьях хлопчатника в течение вегетации и в сутки (в % сухого вещества)

| No | Время анализа | 2-3 настоящих | Бутонизация | Цветение | Плодообразование | Созревание |
|----|---------------|---------------|-------------|----------|------------------|------------|
| | | листа | | | | |
| 1 | 8 часов | 0,134 | 0,055 | 0,099 | 0,102 | 0,074 |
| 2 | 11 часов | 0,106 | 0,129 | 0,081 | 0,056 | 0,034 |
| 3 | 14 часов | 0,141 | 0,204 | 0.095 | 0,077 | 0,052 |
| 4 | 17 часов | 0,118 | 0,166 | 0,091 | 0,069 | 0,050 |
| 5 | 20 часов | 0,127 | 0,157 | 0,101 | 0,081 | 0,064 |
| 6 | 23 часа | 0,128 | 0,376 | 0,107 | 0,076 | 0,068 |
| 7 | 02 часа | 0,139 | 0,298 | 0,107 | 0,086 | 0,073 |
| 8 | 05 часов | 0,139 | 0,273 | 0,119 | 0,090 | 0,071 |

Таблица 4
Изменение содержания аммиачного азота в листьях хлопчатника в течение вегетации и в сутки (в % сухого вещества)

| No | Время анализа | 2-3 настоящих | Бутонизация | Цветение | Плодообразование | Созревание |
|----|---------------|---------------|-------------|----------|------------------|------------|
| | | листа | | | | |
| 1 | 8 часов | 0,028 | 0,018 | 0,026 | 0,040 | 0,032 |
| 2 | 11 часов | 0,035 | 0,030 | 0,039 | 0,020 | 0,011 |
| 3 | 14 часов | 0,047 | 0,049 | 0,035 | 0,034 | 0,015 |
| 4 | 17 часов | 0,037 | 0,041 | 0,037 | 0,024 | 0,020 |
| 5 | 20 часов | 0,040 | 0,037 | 0,040 | 0,029 | 0,025 |
| 6 | 23 часа | 0,037 | 0,040 | 0,042 | 0,026 | 0,024 |
| 7 | 02 часа | 0,042 | 0,038 | 0,040 | 0,031 | 0,024 |
| 8 | 05 часов | 0,039 | 0,046 | 0,038 | 0,027 | 0,021 |

Изменение содержания нитратного азота в листьях хлопчатника в течение вегетации и в сутки (в % сухого вещества)

| No | Время анализа | 2-3 настоящих | Бутонизация | Цветение | Плодообразование | Созревание |
|----|---------------|---------------|-------------|----------|------------------|------------|
| | | листа | | | | |
| 1 | 8 часов | 0,106 | 0,137 | 0,07 | 0,062 | 0,042 |
| 2 | 11 часов | 0,071 | 0,099 | 0,042 | 0,036 | 0,023 |
| 3 | 14 часов | 0,094 | 0,155 | 0,060 | 0,053 | 0,036 |
| 4 | 17 часов | 0,081 | 0,125 | 0,054 | 0,045 | 0,030 |
| 5 | 20 часов | 0,087 | 0,120 | 0,061 | 0,052 | 0,039 |
| 6 | 23 часа | 0,091 | 0,336 | 0,065 | 0,050 | 0,044 |
| 7 | 02 часа | 0,097 | 0,260 | 0,067 | 0,055 | 0,049 |
| 8 | 05 часов | 0,100 | 0,127 | 0,081 | 0,063 | 0,050 |

Интенсивность фотосинтеза сортов хлопчатника в течение суток и вегетации (мг $\mathrm{CO_2}$ / дм² час)

| No | Время анализа | 2–3 настоя- щих листа | Бутонизация | Цветение | Плодообразование | Созревание | Среднее | | |
|----|------------------|--------------------------|-------------|----------|------------------|------------|---------|--|--|
| | | | Наманган-34 | | | | | | |
| 1 | 8 часов | 2,1 | 5,8 | 8,4 | 7,5 | 5,24 | 5,24 | | |
| 2 | 11 часов | 6,3 | 18,6 | 28,5 | 26,3 | 16,84 | 16,84 | | |
| 3 | 14 часов | 3,2 | 6,4 | 8,2 | 7,0 | 6,18 | 6,18 | | |
| 4 | 17 часов | 4,8 | 9,1 | 14,5 | 16,1 | 9,7 | 9,7 | | |
| 5 | 20 часа | 3,3 | 4,6 | 7,8 | 6,4 | 4,94 | 4,94 | | |
| | | | | Ce | 5524 | | | | |
| 1 | 8 часов | 2,3 | 4,6 | 7,3 | 6,6 | 2,0 | 4,56 | | |
| 2 | 11 часов | 5,4 | 16,2 | 26,1 | 25,0 | 4,1 | 15,36 | | |
| 3 | 14 часов | 3,2 | 5,3 | 7,1 | 6,3 | 5,0 | 5,38 | | |
| 4 | 17 часов | 4,5 | 10,0 | 12,4 | 10,2 | 3,3 | 8,10 | | |
| 5 | 20 часов | 2,6 | 4,6 | 6,0 | 5,4 | 2,1 | 4,41 | | |
| | | | | Буха | pa-102 | | | | |
| 1 | 8 часов | 4,0 | 7,3 | 8,2 | 8,0 | 1,3 | 5,76 | | |
| 2 | 11 часов | 10,1 | 17,8 | 23,2 | 22,1 | 2,4 | 15,12 | | |
| 3 | 14 часов | 5,5 | 8,0 | 9,5 | 6,8 | 4,5 | 9,10 | | |
| 4 | 17 часов | 7,3 | 10,1 | 13,6 | 11,7 | 2,8 | 8,50 | | |
| 5 | 20 часов | 6,0 | 8,5 | 7,4 | 6,7 | 2,0 | 6,12 | | |
| | | | | Омад | | | | | |
| 1 | 8 часов | 2,3 | 4,6 | 7,3 | 6,6 | 2,0 | 4,56 | | |
| 2 | 11 часов | 5,4 | 16,2 | 26,1 | 25,0 | 4,1 | 15,36 | | |
| 3 | 14 часов | 3,2 | 5,3 | 7,1 | 6,3 | 5,0 | 5,38 | | |
| 4 | 17 часов | 4,5 | 10,0 | 12,4 | 10,2 | 3,3 | 8,10 | | |
| 5 | 20 часов | 2,6 | 4,6 | 6,0 | 5,4 | 2,1 | 4,41 | | |

Данные табл. 5 показывают, что в утреннее время (в 8 часов), особенно в 11 часов, когда в условиях Ташкентской области интенсивность фотосинтеза достигает своего максимума, содержание аммиачного азота уменьшается, т.е. эта форма включается в синтез белковых веществ. Дальнейшее повышение температуры в середине дня (в 14 часов) приводит к снижению интенсивности фотосинтеза. Это, естественно,

вызывает снижение образования углеводов в процессе фотосинтеза. В результате в этом отрезке времени (14 час.) сутки наблюдалось увеличение содержания аммиачного азота. В последующем (в 17 часов) в результате некоторого повышения интенсивности фотосинтеза содержание данной формы азота вновь уменьшалось. В вечернее и ночное время при отсутствии фотосинтеза содержание аммиачного азота несколько повы-

силось. Такая картина наблюдается во всех фазах развития хлопчатника, и это служит доказательством способности хлоропластов к синтезу белковых веществ в изолированных хлоропластах. При этом определенная часть азотной кислоты под действием транспирации, поднимаясь, восстанавливается в листьях до аммиака, который затем быстро вступает во взаимодействие с различными органическими соединениями, образуя аминокислоты и амиды. Выявлено, что в середине дня (в 14 часов) в результате резкого снижения интенсивности фотосинтеза и из-за недостатка продуктов фотосинтеза аммиак накапливается в клетках растений. Дальнейшее превращение аммиака в органическое соединение замедлено

Восстановленный азот затем используется для построения органических соединений азота, главным образом белков. Восстановление нитратов до аммиака в зеленых листьях осуществляется как в темноте, так и на свету.

Выводы

Под влиянием высокой температуры окружающей среды произошли существенные изменения в азотистом обмене листьев хлопчатника. При постепенном повышении температуры до середины дня наблюдается усиление усвоения нитратного, аммиачного, аминного и амидного азота. Дальнейшее повышение температуры в середине дня (в 14 часов) привело к нарушению азотного обмена, результатом которого явилось уменьшение содержания белкового и амидного азота. В послеполуденное время (в 17 часов) наблюдалось усиление усвоения нитратного, аминного и аммиачного азота и синтеза белкового и амидного азота. В вечернее и ночное время имело место повышение содержания нитратного, аммиачного и аминного азота, т.е. в этот период процессы синтеза протекали менее интенсивно, чем до середины дня. Между интенсивностью фотосинтеза и синтезом белкового и амидного азота наблюдается прямая корреляция, а между интенсивностью фотосинтеза и содержанием нитратного, аммиачного и аминного азота обнаружена обратная взаимосвязь.

Список литературы / References

1. Хошимов Ф., Ортиков Т. Состояние гумуса почв Зарафшанского оазиса и влияние на них различных факторов // Материалы V съезда общества почвоведов и агрохимиков Узбекистана. Ташкент: Изд. НИИ Почвоведения и агрохимии АН РУз, 2010. С. 163–166.

Khoshimov F., Ortikov T. The state of humus soils of the Zarafshan oasis and the influence of various factors on them // Materialy V s»yezda obshchestva pochvovedov i agrokhimikov Uzbekistana. Tashkent: Izd. NII Pochvovedeniya i agrokhimii AN RUz, 2010. P. 163–166 (in Uzbekistan).

2. Хаджиев Т.Х., Баиров А.Ж. Баланс азота (15И) удобрений в зависимости от форм, доз и срока внесения азотных удобрений под хлопчатник на орошаемых почвах пояса сероземов // Материалы V съезда общества почвоведов и агрохимиков Узбекистана. Ташкент: Изд. НИИ Почвоведения и агрохимии АН РУз, 2010. С. 144–148.

Khadzhiev T.Kh., Bairov A.Zh. Nitrogen balance (15I) of fertilizers, depending on the forms, doses and timing of the application of nitrogen fertilizers for cotton on irrigated soils of the serozem belt // Materialy V swyezda obshchestva pochvovedov i agrokhimikov Uzbekistana. Tashkent: Izd. NII Pochvovedeniya i agrokhimii AN RUz, 2010. P. 144–148 (in Uzbekistan).

3. Сатторов Ж.С., Холикулов Ш. Научные основы определены годовых норм и сроков применения удобрений под хлопчатник и озимой пшеницы // Материалы V съезда общества почвоведов и агрохимиков Узбекистана. Ташкент: Изд. НИИ Почвоведения и агрохимии АН РУз, 2010. С. 23–26.

Sattorov Zh.S., Kholigulov Sh. The scientific basis is determined by annual norms and terms for the use of fertilizers for cotton and winter wheat // Materialy V swyezda obshchestva pochvovedov i agrokhimikov Uzbekistana. Tashkent: Izd. NII Pochvovedeniya i agrokhimii AN RUz, 2010. P. 23–26 (in Uzbekistan).

4. Кариев А. Поглощение и потребление хлопчатником и некоторыми лекарственными растениями азота из мочевины и карбамидноформальдегидных удобрений (КФУ) в различных почвенных условиях // Материалы V съезда общества почвоведов и агрохимиков Узбекистана. Ташкент: Изд. НИИ Почвоведения и агрохимии АН РУз, 2010. С. 160–163.

Kariev A. Absorption and consumption of nitrogen from urea and urea-formaldehyde fertilizers (UF) by cotton and some medicinal plants in various soil conditions // Materialy V swyezda obshchestva pochvovedov i agrokhimikov Uzbekistan. Tashkent: Izd. NII Pochvovedeniya i agrokhimii AN RUz, 2010. P. 160–163 (in Uzbekistan).

5. Зикиряев А. Особенности обменных процессов в плодоорганах хлопчатника: монография. Ташкент, 2011. 140 с.

 $Zikiryaev\ A.\ Features\ of\ metabolic\ processes\ in\ the\ fruit\ organ\ of\ cotton:\ monograph.\ Tashkent,\ 2011.\ 140\ p.\ (in\ Uzbekistan).$

УДК 633.872.1:630*11:630*164(571.53)

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ВИДОВ РОДА *QUERCUS* В УСЛОВИЯХ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

Рунова Е.М., Аношкина Л.В., Коломина А.В.

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

Представлены результаты исследований состояния некоторых видов рода Quercus: дуб монгольский (Ouercus mongolica Fisch. ex Ledeb), дуб черешчатый (Q. robur L.) и дуб красный (Ouercus rubra L.) – в условиях севера Иркутской области на примере дендрария Братского государственного университета. Приведены результаты исследований с 2015 по 2019 гг. Основная цель исследований – оценка состояния представителей рода дуб (Quercus) посадки различных лет и различных способов посадки с использованием морфометрических и биоиндикационных методов. Установлено, что в первые годы роста и развития верхушечный и боковой приросты минимальные, что видно на примере сеянцев, выращенных из желудей. В последующие годы прирост увеличивается, это явление отмечено на примере саженцев, которые были высажены в возрасте 5-7 лет. На основании проведенных исследований по флуктуирующей асимметрии листьев сеянцев и саженцев рода Quercus проведена интерпретация баллов нестабильности развития растений как условий для их развития. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что приживаемость сеянцев рода дуб составила в среднем 71,4%. Приживаемость саженцев дуба черешчатого составила 100%. Определен показатель флуктуирующей асимметрии, характеризующий нестабильность развития исследуемых видов интродуцентов в условиях дендрария Братского государственного университета, который свидетельствует о неблагоприятных условиях для развития саженцев и сеянцев рода дуб. К ним относятся суровые климатические условия, низкое качество почвы. Предложены мероприятия по улучшению условий произрастания для повышения стабильности развития представителей рода дуб, к которым можно отнести внесение плодородного нейтрального грунта и комплексных удобрений, укрытие молодых сеянцев на зиму, что позволит улучшить общее состояние представителей рода дуб в условиях дендрария на севере Иркутской области.

Ключевые слова: род дуб, видовой состав, интродуценты, сеянцы, саженцы, морфометрические показатели, биоиндикация

ASSESSING CONDITION OF SOME SPECIES OF GENUS *QUERCUS* IN NATURAL TERMS OF THE IRKUTSK REGION

Runova E.M., Anoshkina L.V., Kolomina A.B.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Bratsk State University»,
Bratsk, Irkutsk e-mail: runova0710@mail.ru

The results of studying status of some species of Quercus genus are presented: Mongolian oak (Quercus mongolica Fisch. Ex Ledeb) and English oak (Q. robur L.), red oak (Quercus rubra L.) in Northern Irkutsk region were studied at the basis of arboretum of Bratsk State University as an example. The results of studies from 2015 to 2019 are presented. The main objective of the research is to assess the state of species of genus Oak (Quercus), planted in different years and via different planting methods with implementation of morphometric and bio-indicative methods. It was established that in the first years of growth and development, apical and lateral growth is minimal, as it is seen in seedlings grown from acorns; in subsequent years growth increases, and this phenomenon was noted at the example of seedlings that were planted at the age of 5-7 years. Based on the studies on the fluctuating asymmetry of seedling leaves and seedlings of the genus Quercus, the interpretation of instability points in plant development as conditions for their development was interpreted. According to the obtained results, it can be concluded that percentage of survival among oak seedlings averaged 71.4%. The survival rate of apple oak seedlings was 100%. An indicator of fluctuating asymmetry is determined, it characterizes instability in development of the studied introducer species in conditions of the Bratsk State University arboretum, which indicates unfavorable conditions for the development of seedlings of oak genus. The latter include harsh climatic conditions, poor soil quality. Measures have been proposed to improve growing conditions and increase development stability among representatives of oak genus, which include fertile neutral soil, complex fertilizers, sheltering young seedlings for winter. These measures will improve general condition of oak genus specimen in conditions of the arboretum in the North of Irkutsk region.

Keywords: oak genus, species composition, introducers, seedlings, morphometric indicators, bioindication

Интродуценты широко используются при озеленении не только в европейской части России, но и в условиях сибирского резко континентального климата [1–4]. Исследование возможностей роста и развития интродуцентов в этих условиях особенно актуально в связи с относительной бедностью видового состава местной древесной растительности [1–3]. Некоторые виды рода

Quercus, такие как дуб монгольский (Quercus mongolica Fisch. ex Ledeb) и дуб черешчатый (Q. Robur L.), довольно успешно произрастают в условиях Новосибирска, Иркутска и достигают плодоношения [1, 3–5]. Как указывают исследователи, представители рода Quercus страдают от морозов, имеют относительно невысокую приживаемость, замедленный рост и развитие [6–8]. Однако

для условий севера Иркутской области исследование состояния представителей рода *Quercus* не проводились.

Цель исследования: оценка состояния представителей рода дуб (*Quercus*) различных лет посадки и различных способов посадки с использованием морфометрических и биоиндикационных методов на территории дендрария Братского государственного университета.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 2015-2019 гг. Всего обследовано 78 саженцев и сеянцев представителей рода Quercus. По общепринятым методикам определялась приживаемость сеянцев и саженцев [1, 2]. Рассчитаны морфометрические показатели (диаметр стволика у основания корневой шейки (см), высота (в см), диаметр кроны (см), верхушечный и боковой прирост). Диаметр стволиков измерялся электронным штангенциркулем у шейки корня. Высота саженцев определялась мерным шестом. В 2019 г. проведена оценка жизненного состояния саженцев методами биоиндикации с определением показателей флуктуирующей асимметрии и площади листовой пластинки по методике В.М. Захарова [9].

Для представителей рода дуб экспрессоценка развития проводилась по следующим параметрам, указанным на рис. 1.

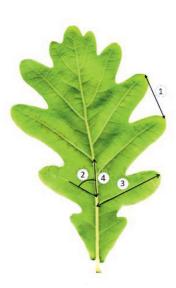


Рис. 1. Схема морфологических признаков для оценки стабильности развития листьев рода Quercus: 1 – расстояние между окончаниями второй и третьей лопасти; 2 – угол между рахисом и первой латеральной жилкой; 3 – длина жилки первой лопасти; 4 – расстояние между основаниями первых двух жилок

Показатель асимметрии указывает на нестабильность развития растений [9]. При балльной оценке использовалась таблица соответствия баллов качества среды значениям коэффициентов асимметрии [9].

Объектом исследования являются посадки рода Quercus в условиях дендрария Братского государственного университета. Братск относится к территориям, приравненным к районам Крайнего Севера. Среднегодовое количество осадков - около 370 мм в год. Холодный период длится в среднем шесть месяцев (со второй декады октября до третьей декады апреля). Среднемноголетняя продолжительность безморозного периода в центральной части города составляет 94 дня. Первые заморозки отмечены 8 сентября, последние – 5 июня. Среднемесячная температура самого холодного месяца-января – составляет –22,6°C (абсолютный минимум в этом месяце зарегистрирован -57 °C), самый теплый месяц – июль – имеет среднемноголетнюю температуру +18,2°C (абсолютный максимум зарегистрирован +37°C). Среднегодовая температура воздуха по многолетним данным составляет -2,2°C. В последнее время наблюдается повышение среднегодовой температуры воздуха примерно на 1.0°C.

На территории дендрария произрастают дубы различного происхождения и различных видов. Видовой состав представлен дубом черешчатым (Quercus robur L.), дубом монгольским (Quercus mongolica Fisch.ex Ledeb.) и дубом красным (*Quercus rubra* L.). Больше всего по численности приходится на посадки дуба черешчатого, который выращен из желудей дуба, посаженного в поселке Куйтун Иркутской области и находящегося в стадии плодоношения. Часть саженцев дуба черешчатого выращены из желудей местного дуба на дачном участке в районе Братска. Часть посадок создана из желудей местного происхождения, выращенных в камере искусственного климата МКГ-240. Дуб монгольский в основном представлен саженцами, которые были закуплены в декоративном питомнике города Иркутска, и саженцами из желудей, полученных из Хабаровского края. В процессе доставки желуди проросли и были высажены осенью, т.е. период прорастания желудей был нарушен. Однако всходы сохранились и в настоящее время произрастают на территории дендрария; ведется учет их состояния и прироста.

В 2015 г. на территории университета были высажены первые саженцы дуба

монгольского из декоративного питомника Иркутска. Всего высажено 3 саженца, сохранилось 2, приживаемость составила 66,6%. В 2016 г. произведены посадки дуба черешчатого: 1 саженец (приживаемость 100%) и 12 штук желудями, из которых сохранились 4 (приживаемость 33,3%). В 2017 г. высажены 2 саженца дуба черешчатого, приживаемость составила 100%. В 2018 г. произведены посадки дуба черешчатого, монгольского и красного путем посадки желудей. Всего высажены 56 желудей, сохранились 40 растений, приживаемость составила 71,4%; в том числе были

высажены 10 желудей дуба красного, привезенных из европейской части РФ, которые также выращены в условиях Братского государственного университета. В 2019 г. произведены посадки саженцев дуба черешчатого в количестве 5 штук, приживаемость составила 100%. Следует отметить, что посадочный материал высаживался на территории университета, плодородный грунт добавлялся только при посадке, так как на территории встречается большое количество строительного мусора. На рис. 2, 3, 4 представлены фото сеянцев и саженцев трех видов дуба.



a)



б)

Рис. 2. Саженцы (а) и сеянцы (б) дуба монгольского (Quercus mongolica Fisch.ex Ledeb.) в 2019 г.





б)

Рис. 3. Саженцы (a) и сеянцы (б) дуба черешчатого (Quercus robur L.) в 2019 г.



Рис. 4. Сеянец дуба красного (Quercus rubra L.) в 2019 г.

Основная задача исследования — это сравнение состояния разнообразных по происхождению дубов.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты измерения морфометрических показателей представлены в табл. 1.

Обобщенные результаты исследований прироста растений представлены в табл. 2.

Как видно из данных табл. 1, сеянцы и саженцы существенно отличаются по высоте, диаметру кроны и диаметру стволика у основания. Морфометрические показатели представлены в динамике с 2015 по 2019 гг., что позволяет проследить постепенное увеличение размерных показателей исследуемых растений рода Ouercus. Определены основные статистические показатели, в частности коэффициент вариации (V), который при малом количестве исследуемых растений может быть значительным. Количество экземпляров дуба монгольского и дуба красного, к сожалению, пока небольшое. В текущем году планируется посадка дополнительного количества растений этих видов.

Как видно из табл. 2, в раннем возрасте дубы дают минимальный прирост по диаметру, верхушечному и боковым приростам, что соответствует биологическим особенностям роста и развития представителей рода *Quercus*, в последующие годы прирост увеличивается на 30% и более. При этом саженцы дают большие значения прироста по сравнению с сеянцами того же вида.

 Таблица 1

 Морфометрические показатели саженцев и сеянцев Quercus (средние значения)

| Год | Высота, | Коэффициент | Диаметр кро- | Коэффициент | Диаметр ство- | Коэффициент |
|------|---------------------|-------------|----------------------|-----------------|----------------------------|-------------|
| 104 | $cM \pm m$ | вариации, V | μ ы, μ μ | вариации, V | π ика, c м \pm m | вариации, V |
| | - | | ий (саженцы из г | | | <u> </u> |
| 2015 | | | $43,150 \pm 3,152$ | 12,654 | $0,650 \pm 0,087$ | 23,077 |
| 2016 | $70,920 \pm 11,120$ | 27,157 | $49,570 \pm 3,533$ | 12,346 | $0,650 \pm 0,087$ | 23,077 |
| 2017 | $71,050 \pm 13,216$ | 26,305 | $55,250 \pm 4,653$ | 11,910 | $0,830 \pm 0,177$ | 30,120 |
| 2018 | $74,100 \pm 13,987$ | 26,694 | $63,750 \pm 4,561$ | 10,118 | $0,970 \pm 0,134$ | 19,588 |
| 2019 | $80,550 \pm 13,046$ | 22,905 | $75,500 \pm 6,350$ | 11,894 | $1,140 \pm 0,113$ | 14,035 |
| | | Д | уб монгольский | (сеянцы) | | |
| 2018 | $8,750 \pm 1,293$ | 60,914 | $7,750 \pm 1,106$ | 58,839 | $0,150 \pm 0,002$ | 6,667 |
| 2019 | $11,380 \pm 1,721$ | 56,591 | $8,670 \pm 1,307$ | 56,401 | $0,170 \pm 0,003$ | 5,882 |
| | | Дуб черешч | чатый (саженцы | с дачного участ | ка) | |
| 2016 | $56,200 \pm 0,000$ | _ | $27,500 \pm 0,000$ | _ | $0,240 \pm 0,000$ | _ |
| 2017 | $60,800 \pm 10,947$ | 31,184 | $32,810 \pm 1,871$ | 9,875 | $0,275 \pm 0,029$ | 2,785 |
| 2018 | $67,300 \pm 12,182$ | 31,352 | $41,780 \pm 2,402$ | 9,957 | $0,330 \pm 0,029$ | 3,314 |
| 2019 | $66,870 \pm 4,257$ | 18,005 | $46,140 \pm 1,939$ | 11,888 | $0,367 \pm 0,014$ | 3,084 |
| | | Дуб черешча | атый (сеянцы из | желудей п. Куйт | гун) | |
| 2016 | $8,420 \pm 0,771$ | 33,017 | $6,250 \pm 0,322$ | 18,560 | $0,040 \pm 0,002$ | 17,000 |
| 2017 | $9,950 \pm 1,180$ | 23,719 | $6,780 \pm 0,890$ | 26,254 | $0,040 \pm 0,004$ | 19,500 |
| 2018 | $11,310 \pm 0,579$ | 26,083 | $7,220 \pm 0,404$ | 28,532 | $0,050 \pm 0,001$ | 11,200 |
| 2019 | $14,330 \pm 0,539$ | 16,399 | $8,000 \pm 0,649$ | 35,375 | $0,050 \pm 0,001$ | 8,400 |
| | | | Дуб красный (с | еянцы) | | |
| 2018 | $9,450 \pm 1,843$ | 43,598 | $1,550 \pm 0,550$ | 79,355 | $0,070 \pm 0,009$ | 28,571 |
| 2019 | $12,800 \pm 1,601$ | 27,969 | $2,670 \pm 0,729$ | 61,049 | $0,080 \pm 0,022$ | 62,500 |

На основании проведенных исследований установлено, что наибольшую высоту, что вполне закономерно, имеют саженцы дуба черешчатого и монгольского, которые дают ежегодный прирост по высоте за последний вегетационный сезон от 5,5 до 21 см. Сеянцы дают минимальный прирост по высоте 2,1—4,3 см. В табл. 3 представлена сводная ведомость состояния дубов на исследуемом участке по материалам биоиндикации.

На основании данных табл. 3 заметны различия по площади листовых пластинок исследованных саженцев и сеянцев. Наибольшую площадь листовой пластинки имеют саженцы дуба монгольского, сред-

няя площадь листовой пластины составляет 95,69 см²; даже у сеянцев, выращенных из желудей, площадь листовой пластины довольно значительная (12,57 см²), на втором месте по размеру листовой пластинки располагаются саженцы и сеянцы дуба черешчатого. Саженцы имеют среднюю площадь листовой пластины от 14,26 до 16,90 см², у сеянцев дуба черешчатого площадь листовых пластин составляет от 10,90 до 14,01 см². Наименьшую площадь имеют листья дуба красного — 6,25 см². В результате были получены баллы флуктуирующей асимметрии, характеризующие состояние листьев представителей рода *Quercus* (табл. 4).

 Таблица 2

 Показатели прироста саженцев и сеянцев Quercus (средние значения)

| Год | Верхушеч- | К-т | Верхушечный | К-т | Боковой | К-т | Боковой | К-т | |
|--|--------------------|----------|-------------------|------------|--------------------|--------|-------------------|--------|--|
| | ный в длину, | вариа- | в диаметре, | вариа- | в длину, | вариа- | в диаметре, | вариа- | |
| | см. ± m | ции, V | см ± m | ции, V | см ± m | ции, V | см ± m | ции, V | |
| Дуб монгольский (саженцы из питомника г. Иркутска) | | | | | | | | | |
| 2016 | 0,000 | _ | 0,000 | _ | $6,420 \pm 2,396$ | 64,642 | $0,160 \pm 0,012$ | 12,500 | |
| 2017 | 0,1300,046 | 61,538 | $0,180 \pm 0,007$ | 5,556 | $5,680 \pm 2,517$ | 62,676 | $0,170 \pm 0,007$ | 5,882 | |
| 2018 | $3,050 \pm 0,710$ | 40,328 | $0,140 \pm 0,011$ | 10,714 | $8,500 \pm ,5474$ | 75,647 | $0,190 \pm 0,007$ | 5,263 | |
| 2019 | $6,450 \pm 3,500$ | 76,744 | $0,170 \pm 0,035$ | 29,412 | $11,450 \pm 1,945$ | 24,017 | $0,220 \pm 0,007$ | 4,545 | |
| | | | Дуб моні | ольский (| сеянцы) | | | | |
| 2019 | $2,630 \pm 0,631$ | 89,734 | $0,020 \pm 0,003$ | 50,000 | $0,920 \pm 0,168$ | 16,189 | $0,050 \pm 0,005$ | 30,000 | |
| | Дуб | черешчат | ый (саженцы с | цачного уч | настка) | | | | |
| 2017 | $8,930 \pm 0,00$ | 17,620 | 0,000 | _ | $14,680 \pm 0,462$ | 5,450 | $0,210 \pm 0,000$ | _ | |
| 2018 | $6,470 \pm 0,838$ | 95,436 | $0,050 \pm 0,004$ | 9,091 | $8,970 \pm 0,641$ | 12,375 | $0,090 \pm 0,010$ | 11,111 | |
| 2019 | $2,483 \pm 1,191$ | 17,620 | 0,000 | _ | $6,937 \pm 0,040$ | 16,189 | $0,050 \pm 0,015$ | 30,000 | |
| | | Дуб | черешчатый (с | еянцы из х | желудей п. Куйт | ун) | | | |
| 2016 | $1,530 \pm 0,000$ | 0,000 | 0,000 | _ | 0,000 | _ | 0,000 | _ | |
| 2017 | $1,360 \pm 0,340$ | 44,444 | 0,000 | _ | $0,530 \pm 0,040$ | 15,094 | 0,000 | _ | |
| 2018 | $3,020 \pm 0,165$ | 61,765 | $0,10 \pm 0,002$ | 10,000 | $0,440 \pm 0,022$ | 25,000 | 0,000 | _ | |
| 2019 | $1,530 \pm 0,149$ | 21,523 | 0,000 | _ | $0,780 \pm 0,023$ | 12,821 | $0,010 \pm 0,003$ | 20,000 | |
| | | | Дуб кр | асный (се | янцы) | | | | |
| 2019 | $3,350 \pm 0,8184$ | 54,627 | $0,010 \pm 0,001$ | 20,000 | $1,120 \pm 0,463$ | 92,410 | $0,010 \pm 0,001$ | 10,000 | |

Таблица 3 Сводная ведомость состояния дубов на территории дендрария

| No | Год | Способ посадки | Средняя площадь листа, | Величина асимметрии |
|----|---------|----------------------------------|------------------------|---------------------|
| | посадки | | $cm^2 \pm m$ | листа |
| | | Дуб монгольскі | нй (Quercus mongolica) | |
| 1 | 2015 | Саженцы из питомника г. Иркутска | $95,69 \pm 6,68$ | 0,13 |
| 2 | 2018 | Сеянцы | $12,57 \pm 1,57$ | 0,11 |
| | | Дуб черешча | тый (Quercus robur) | |
| 3 | 2016 | Саженец с дачного участка | $16,90 \pm 3,38$ | 0,06 |
| 4 | 2017 | Саженцы с дачного участка | $15,45 \pm 2,93$ | 0,09 |
| 5 | 2019 | Саженцы с дачного участка | $14,27 \pm 2,96$ | 0,12 |
| 6 | 2016 | Желуди (Куйтун) | $10,90 \pm 1,27$ | 0,04 |
| 7 | 2018 | Желуди (Куйтун) | $14,01 \pm 1,42$ | 0,09 |
| | | Дуб краснь | ый (Quercus rubra) | |
| 8 | 2018 | Сеянцы | $6,25 \pm 1,37$ | 0,03 |

Виды, способ высаживания, Балл год посадки или посева 4 5 < 0,0018 | 0,0019-0,0089 0,009-0,022 0,022-0,04 > 0.04Саженцы с дачного участка дуб че-0,12 решчатый, 2016 г. посадки Саженцы с дачного участка дуб че-0,09 решчатый, 2019 г.посадки Сеянцы из желудей п. Куйтун, 2016 г. 0,04 посадки Сеянцы дуба монгольского из питом-0,13 ника Иркутск, 2015 г. посадки Сеянцы дуба монгольского из при-0,11морского края, 2018 г. посадки Сеянцы дуба красного из европей-0,03 ской части РФ, 2018 г. посадки

Таблица 4 Качество среды обитания по показателям флуктуирующей асимметрии

Баллы были интерпретированы как условия для развития растений: 1 — отличные условия для произрастания; 2 — хорошие условия для произрастания («норма»); 3 — относительно хорошие условия для произрастания (требуются мероприятия по улучшению условий произрастания); 4 — удовлетворительно (необходим комплекс мероприятий по улучшению условий произрастания); 5 — неудовлетворительно (критическое состояние), требуются срочные меры для повышения устойчивости растений.

Из табл. 4 видно, что наибольшая стабильность развития (балл 4) отмечается у сеянцев дуба черешчатого 2016 г. посадки и дуба красного 2018 г. посадки, все остальные растения характеризуются нестабильным развитием, что можно объяснить суровыми климатическими условиями и низким плодородием почвы.

Выводы

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

- морфометрические показатели сеянцев и саженцев представителей рода *Quercus* свидетельствуют о том, что в раннем возрасте дубы дают минимальный прирост по диаметру, верхушечному и боковым приростам, что соответствует биологическим особенностям роста и развития представителей рода *Quercus* [1, 2, 4, 5];
- в последующие годы прирост увеличивается на 30% и более, при этом саженцы дают большие значения прироста по сравнению с сеянцами того же вида;
- наибольшую площадь листовой пластинки имеют саженцы дуба монгольско-

- го, средняя площадь листовой пластины составляет $95,69~{\rm cm^2}$, на втором месте по размеру листовой пластинки находятся саженцы и сеянцы дуба черешчатого, наименьшую площадь имеют листья дуба красного $-6,25~{\rm cm^2}$;
- в результате замеров листьев были получены баллы флуктуирующей асимметрии, характеризующие состояние листьев представителей рода Quercus. Значение флуктуирующей асимметрии, показывающее нестабильность развития исследуемых видов интродуцентов в условиях дендрария Братского государственного университета, свидетельствует о неблагоприятных условиях для развития саженцев и сеянцев рода дуб. К ним относятся суровые климатические условия, низкое качество почвы, высокая рекреационная нагрузка на территории дендрария, что требует проведения дополнительных агротехнических мероприятий для повышения стабильности развития рода дуб в условиях Братска. К ним следует отнести внесение плодородного нейтрального грунта и комплексных удобрений, укрытие молодых сеянцев на зиму, что позволит улучшить общее состояние представителей рода дуб в условиях дендрария на севере Иркутской области.

Список литературы / References

1. Рунова Е.М., Шабалина Н.П. Оценка состояния среды произрастания некоторых видов интродуцентов в городах Сибири // Плодовоство, семеноводство, интродукция древесных растений: материалы XXI международной научной конференции (26–27 апр. 2018., Красноярск) / отв. ред. Р.Н. Матвеева, зам. отв. ред. О.Ф. Буторова. Сиб ГУ им. М.Ф. Решетнева. Красноярск, 2018. С. 212–215.

Runova E.M., Shabalina N.P. Assessment of the state of the environment in Siberian cities // Plodovostvo, semenovod-

stvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy: materialy XXI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii (26-27 aprelya 2018 g., Krasnoyarsk) / otv. red. R.N. Matveyeva, zam. otv. red. O.F. Butorova. Sib GU im. M.F. Reshetneva. Krasnoyarsk, 2018. P. 212–215 (in Russian).

 Новикова У.Е. Опыт выращивания сеянцев дуба красного в условиях Подмосковья // Лесной вестник. 2010.
 № 5. С. 52–54

Novikova U.E. The experience of growing red oak seedlings in the conditions of Podmoskovya // Lesnoy vestnik. 2010. $N_{\rm 2}$ 5. P. 52–54 (in Russian).

3. Коропачинский И.Ю., Встовская Т.Н. Древесные растения Азиатской России. 2 изд. Новосибирск: «Гео», 2012. 707 с.

Koropachinsky I.Yu., Vstovskaya T.N. Woody plants of Asian Russia. 2 izd. Novosibirsk: «Geo», 2012. 707 p. (in Russian).

4. Скуратов И.В., Крюкова Е.А. Обоснование устойчивости дуба для степного лесоразведения и озеленения населённых пунктов Нижневолжского региона на основе эколого-патологической оценки // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 4. С. 1–6.

Skuratov I.V., Kryukova E.A. Justification of oak stability for steppe afforestation and landscaping of settlements of the Lower Volga region based on environmental and pathological assessment // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. 2013. № 4. P. 1–6 (in Russian).

5. Миленин А.И. Изменчивость морфометрических признаков фенологических разновидностей дуба черешчатого по срокам листораспускания в различных типах леса

Шиповой дубравы // Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: материалы XVI международной научной конференции. Красноярск: СибГТУ, 2013. С. 102–105.

Milenin A.I. Variability of morphometric features of phenological varieties of pedunculate oak according to the timing of leafing in various types of Shipov oak forests // Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy: materialy XVI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Krasnoyarsk: SibGTU, 2013. P. 102–105 (in Russian).

- 6. Tulik M. The anatomical traits of trunk wood and their relevance to oak (*Quercus robur* L.) vitality. Eur. J. Forest Res. 2014. № 133. P. 845–855. DOI: 10.1007/s10342-014-0801-y.
- 7. Tumajer J., Treml V. Response of floodplain pedunculate oak (*Quercus robur* L.) tree-ring width and vessel anatomy to climatic trends and extreme hydroclimatic events. Forest Ecology and Management. 2016. № 379. P. 185–194. DOI: 10.1016/j. foreco.2016.08.013.
- 8. Weissbrod M., Binder F. Auswirkung eines Staustufenbaus auf den Radialzuwachs von Stieleichen (Quercus robur L.) an der bayerischen Donau. Forstarchiv. 2017. T. 88. № 3. P. 102–110.
- 9. Захаров В.М., Баранов А.С., Борисов В.И., Валецкий А.В., Кряжева Н.Г., Чистякова Е.К., Чубинишвили А.Т. Здоровье среды: методика оценки. М.: Центр экологической политики России, 2000. 68 с.

Zakharov V.M., Baranov A.S., Borisov V.I., Valetsky A.V., Kryazheva N.G., Chistyakova E.K., Chubinishvili A.T. Environmental health: assessment methodology. M.: Tsentr ekologicheskoy politiki Rossii, 2000. 68 p. (in Russian).

УДК 630*28:581.5(470.11)

ВЛИЯНИЕ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА УРОЖАЙНОСТЬ ДИКОРАСТУЩЕЙ БРУСНИКИ (*VACCINIUM VITIS-IDAEA* L.) В ТАЕЖНОЙ ЗОНЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

²Смирнов А.И., ²Орлов Ф.С., ¹Беляев В.В., ¹Бойцова Т.А., ³Аксенов П.А., ¹Неверов Н.А.

¹Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова РАН, Архангельск, e-mail:beljaew29@mail.ru;

²OOO «Разносервис», Москва, e-mail: 364-27-37@mail.ru;

 3 Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Мытищи, e-mail: axenov.pa@mail.ru

В представленной работе показаны результаты совместного исследования Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова РАН, МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана и ООО «Разносервис» (г. Москва), которое проводилось в 2017 г. на постоянных пробных площадях, заложенных в сосняке брусничном в 2014—2016 гг. в Устьянском районе Архангельской области на территории Вельско-Устьянского тектонического узла и за его пределами. Целью исследования было изучение влияния низкочастотного электромагнитного поля (ЭМП) на урожайность дикорастущей брусники (Vaccinium vitis-idaea L.). Объектами исследования были кустарнички брусники на опытных и контрольных площадках в фенофазе обильного цветения. Обработка опытных площадок ЭМП проводилась низкочастотным генератором «Рост-Актив» по технологии «ПОСЭП» (предпосевная обработка семян электромагнитным полем). Полученные результаты исследования говорят о положительном влиянии низкочастотного ЭМП на урожайность брусники, причем в разных вариантах опыта, различающихся положением пробных площадей относительно границ тектонического узла. Так же было отмечено, что кроме повышения урожайности, обработка низкочастотным ЭМП оказывает влияние и на качественные характеристики плодов брусники, так в опытных образцах отмечено значительное увеличение содержания аскорбиновой кислоты до 200% относительно контроля. Выявлено значительное падение содержания влаги и увеличение зольности в плодах брусники, произрастающей на территории тектонического узла. С удалением от центра тектонического узла к периферии зольность плодов снижается. Достоверно установлено, что обработка низкочастотным ЭМП может изменить биохимические характеристики плодов брусники в сторону улучшения их потребительских свойств. В этой связи мы надеемся, что наше исследование будет иметь теоретическое и прикладное значение для лесного хозяйства.

Ключевые слова: низкочастотное электромагнитное поле, технология ПОСЭП, брусника (Vaccinium vitis-idaea), урожайность, аскорбиновая кислота

INFLUENCE OF LOW-FREQUENCY ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE YIELD OF WILD LINGONBERRY (*VACCINIUM VITIS-IDAEA* L.) IN TAIGA OF ARKHANGELSK REGION

²Smirnov A.I., ²Orlov F.S., ¹Belyaev V.V., ¹Boytsova T.A., ³Aksenov P.A., ¹Neverov N.A.

¹Federal Center for Integrated Arctic Research after N.P. Laverova RAS, Arkhangelsk, e-mail: beljaew29@mail.ru;

²A limited liability company under the laws of Russian Federation «Raznoservis», Moscow, e-mail: 364-27-37@mail.ru;

³Mytishchi branch of MSTU N.E. Bauman, Mytischi, e-mail: axenov.pa@mail.ru

The presented work shows the results of a joint research of the Federal Research Center for the Integrated Study of the Arctic named after N.P. Laverov RAS, and Moscow State Technical University named after N.E. Bauman and LLC «Raznoservis» (Moscow), which was carried out in 2017 on permanent test plots laid in lingonberry -Pine forest during 2014-2015 in Ustyansky district of Arkhangelsk region on the territory of Velsko-Ustyansky tectonic node and beyond. The aim of the research was to study the effect of low-frequency electromagnetic field (EMF) on the yield of wildgrowing lingonberries (Vaccinium vitis-idaea L.). The objects of research were lingonberry shrubs in experimental and control sites in the phenophase of abundant flowering. The processing of EMF test sites was carried out with «Rost-Aktiv» low-frequency generator using «POSEP» technology (presowing treatment of seeds with electromagnetic field). The results of the study indicate a positive effect of low-frequency EMF on yields of lingonberries, and in different versions of the experiment, which differs in position of the trial plots in relation to the boundaries of the tectonic node. It was also noted that in addition to increasing yield, low-frequency electromagnetic treatment also affects the quality characteristics of lingonberry fruits, so in the experimental samples there was a significant increase in content of ascorbic acid up to 200% in relation to the control. Also, in fruits of lingonberry, depending on position of the experimental registration sites in relation to the center of the tectonic node, a decrease in content of ash elements was registered. A significant drop in moisture content and an increase in ash content in fruits of lingonberry growing on the territory of the given tectonic node were revealed. It has been reliably established that treatment with low-frequency electromagnetic fields can change biochemical characteristics of lingonberry fruits in the direction of improving their consumer properties. In this regard, we hope that our study will have theoretical and applied value for forestry

Keywords: low-frequency electromagnetic field, POSEP technology, lingonberry (Vaccinium vitis-idaea L.), crop yield, ascorbic acid

Использование низкочастотного ЭМП в лесном хозяйстве России является мало изученным, но перспективным направле-

нием. Так, в результате проведенных исследований в лабораториях и в лесных питомниках, авторами статьи была разра-

ботана простая и экологически безопасная технология предпосевной обработки семян и сеянцев электромагнитным полем (ПО-СЭП) [1] и создан прибор «Рост-Актив» – генератор низкочастотного ЭМП.

Изначально технология ПОСЭП применялась для повышения урожайности различных сельскохозяйственных культур [1–3], но в процессе анализа полученных положительных результатов было отмечено, что обработка семян низкочастотным ЭМП оказывает влияние и на качественные характеристики выращиваемой сельхозпродукции. Так исследования показали, что обработка пшеницы ЭМП повышала основной показатель ее качества - клейковину, а при обработке картофеля и сахарной свеклы значительно повышалось содержание крахмала и сахара. С 2012 г. авторами технологии ПОСЭП ведутся исследовательские работы в лесном хозяйстве, результаты которых позволяют говорить об эффективности обработки семян и сеянцев низкочастотным ЭМП по технологии ПОСЭП [4].

Леса России необычайно богаты не только качественной древесиной, но и различными видами недревесных ресурсов, рациональное использование которых может способствовать росту экономического потенциала лесного хозяйства. И здесь особое место занимают пищевые ягодные растения, которые пользуются большим спросом, как на внутреннем, так и на внешнем рынках.

В связи с этим, учитывая положительный опыт применения технологии ПОСЭП в сельском хозяйстве, возникает предположение, что и дикорастущие ягодные кустарнички, обработанные низкочастотным ЭМП, могут увеличить урожайность и улучшить ряд биохимических характеристик плодов в зависимости от воздействия тектонических узлов.

Вместе с тем, в последнее время активно исследуются процессы межгеосферного взаимодействия, как одного из актуальных направлений комплексного изучения окружающей среды [5]. В результате этих исследований установлено, что именно тектонические разломы являются наиболее активным структурообразующим элементом геологической среды, а при увеличении числа пересекающихся разломов степень раздробленности, глубинности и проницаемости тектонического узла возрастает [6, 7]. Также тектонические узлы характеризуются аномальными параметрами окружающей среды [8], непосредственно над тектоническими узлами отмечается постоянный «дефицит» атмосферного давления (до 25 mb) [9, 10]. Что касается частоты выпадения осадков, то их количество в центре и на периферии тектонических узлов, существенно различаются, так в центре тектонических узлов осадки выпадали значительно реже, а их объем до 26% меньше, чем на периферии. В результате такого распределения осадков гидросеть повторяет контуры тектонического узла, снежный покров на периферии устанавливается раньше и большей глубины, а стаивание происходит позже, чем на фоновых территориях. Данные получены при панхроматической съемке со спутника Монитор-Э. По периферии узлов отмечается глубинная дегазация и повышенная частота гроз, именно на этих участках зафиксировано повышенное количество лесных пожаров [10, 11].

Таким образом, в районах тектонических узлов все эти факторы влияют на свойства многих, если не всех, компонентов биогеоценозов.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились на постоянных пробных площадях (ППП), заложенных в 2014—2016 гг. в основных типах леса, в том числе и в сосняках брусничных, на территории Вельско-Устьянского тектонического узла и за его пределами (рис. 1).

При проведении исследований использовались общепринятые методики ботанических и почвенных описаний, мониторинга и учетов урожайности ягод, отбор [12]. Детальное описание их подробно изложено в наших предыдущих работах [13–15]. Из данных табл. 1 видно, что насаждения на ППП имеют практические одинаковые таксационные показатели и различаются только расположением по отношению к тектоническому узлу (центр, узла и вне узла – контроль). Характеристика насаждений на пробных площадях представлена в табл. 1.

В июле 2017 г. в Устьянском районе Архангельской области, включая территорию Вельско-Устьянского тектонического узла в сосняке брусничнике, на указанных выше пробных площадях впервые проведена обработка кустарничков дикорастущей брусники в фенофазе обильного цветения низкочастотным ЭМП генератором «Рост-Актив» по технологии ПОСЭП. Воздействие осуществлялось ЭМП с частотой 16 Гц с возрастающим значением индукции магнитного поля от 0,4 до 2,0 мТл, время экспозиции 11 минут [4] (рис. 2).

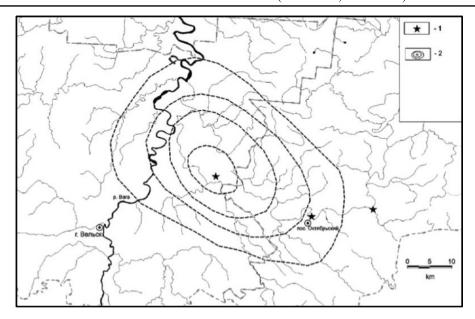


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадей. Обозначения: 1 – местоположения ППП в сосняке брусничнике; 2 – изолинии плотности тектонических нарушений (Вельско-Устьянский узел)

Таблица 1 Таксационные показатели насаждений на постоянных пробных площадях (Устьянский район)

| | Средние | | _ | | eT | | ra |
|----------|---------|----------------|---------|--------|------------|---------|-------------|
| 3 | Высота, | Диаметр, см | Полнота | Состав | Возраст, л | Бонител | Запас, м³// |
| Центр | 18 | 18 | 0,7 | 8С2Б | 80 | III | 220 |
| Контроль | 18 | 16-18 | 0,7 | 8С2Б | 70 | III | 210 |



Рис. 2. Обработка дикорастущей брусники низкочастотным ЭМП

Методикой исследования определялось, что пробная площадь брусничника разделяется на две части, одну часть обрабатывают низкочастотным ЭМП по технологии ПО-СЭП – это опыт, а вторая часть остается в качестве контроля. Это же правило соблюдалось на пробной площади в центре узла и на пробной площади за его пределами. Заложенные

пробные площади имеют координатную привязку (GPS «Garmin Oregon 450») (табл. 2).

В конце вегетационного сезона 2017 г. был проведен учет урожайности брусники. Методика определения урожайности брусники сводилась к сбору плодов на 20 учетных площадках, каждая размером 0.5×0.5 м., которые через равные расстояния закладывались по диагоналям обработанной и не обработанной части пробной площади (рис. 3). Собранные плоды с каждой площадки взвешивали и рассчитывали среднюю урожайность брусники в кг/ га. Содержание влаги в ягодах определяли гравиметрическим методом [16], содержание минеральных веществ - после сухого озоления (500°C) согласно методики [17]. Содержание аскорбиновой кислоты определяли спектральным методом на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония) с использованием 2,6-дихлорфенолиндофенола (краска Тильманса) согласно [18].

Таблица 2 Географические координаты постоянных пробных площадей (ППП)

| No | Координаты ППП | Положение ППП относительно Вельско-Устьянского |
|-----|---------------------------------|--|
| п/п | _ | тектонического узла |
| 1 | N 61° 13' 239"; E 042° 49' 568" | Территория тектонического узла (центр) |
| 2 | N 61° 07' 555"; E 043° 30' 661" | Контроль (за границами территории узла) |



Рис. 3. Учет урожайности брусники

Результаты исследования и их обсуждение

Урожайность брусники на ППП в зависимости от положения относительно Вельско-Устьянского тектонического узла в контроле и после обработки НЧ ЭМП в 2017 г. представлена в табл. 3.

В результате, подтвердились, прежде всего, предыдущие данные о существенном различии в урожайности брусники между центром и периферией тектонического узла [19].

Предварительно, можно говорить о разном влиянии низкочастотного ЭМП на урожайность брусники произрастающей на территории тектонического узла и за его пределами. На всех участках, обработанных низкочастотным ЭМП урожайность брусники значительно увеличилась. Так, в центре узла при воздействии и без него урожайность различается в 5 раз, а на контроле, за территорией узла, на 35% (табл. 3). Различия средних показателей опытов достоверны при Р < 0,001.

На этих же объектах в сентябре 2017 г. были отобраны образцы плодов брусники для последующих химических анализов на содержание витаминов и минеральных элементов.

Проведенные исследования показали увеличение зольности ягод от центра узла к контролю в 1,7–1,8 раза, это возможно обусловлено литохимическими особенностя-

ми осадочных пород, слагающих верхнюю часть разреза тектонического узла и аэрогенным переносом веществ с них в составе пылевых частиц на поверхность ягод брусники. Обработка низкочастотным ЭМП снижает содержание зольных элементов в опыте за границами тектонического узла (табл. 4). Данный факт также связан с увеличением урожайности, преимущественно за счёт увеличения размеров плодов брусники. Содержание влаги в плодах брусники на 13-15% выше в контроле, чем в центре узла, возможно, эту зависимость можно объяснить значительным различием в количестве осадков, особенно в засушливые годы. Обработка ЭМП за границами территории узла повышает концентрацию аскорбиновой кислоты на 5%. В центре узла концентрация повышается в 1,6 раза, а при дополнительной обработке низкочастотным ЭМП содержание аскорбиновой кислоты в ягодах превышает 200% относительно контроля. Наблюдаемое увеличение содержания аскорбиновой кислоты в плодах брусники при воздействии низкочастотного ЭМП указывает на его стимулирующее действие, влияющее на скорость метаболических процессов растений и накопление биологически активных метаболитов.

Заключение

Таким образом, влияние низкочастотного ЭМП повышает урожайность ягод брусники и может изменять биохимические характеристики плодов в сторону улучшения их потребительских свойств. Урожайность брусники, произрастающей в зоне тектонических узлов значительно ниже, при этом плоды имеют более высокую зольность и пониженное содержание влаги в сравнение с контрольными участками. Технологию ПОСЭП можно рассматривать как способ повышения продуктивности и качества недревесных ресурсов леса.

Для лесного хозяйства, использование низкочастотного ЭМП является принципиально новым и перспективным направлением, которое может способствовать развитию и повышению экономической эффективности лесного хозяйства РФ.

Таблица 3

Урожайность брусники на ППП в зависимости от положения относительно тектонического узла в контроле и после обработки НЧ ЭМП в 2017 г.

| No | Вариант опыта | Территория тектонического узла | Контроль (за границами территории | | | |
|----|--|--------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|
| | | (центр), кг/га | узла), кг/га | | | |
| 1 | Контроль | 2 ± 0.08 | 26 ± 1,1 | | | |
| 2 | Обработка ЭМП | 11 ± 0.6 | $35 \pm 1,4$ | | | |
| | % к контролю | 550 | 135 | | | |
| | $T_{\phi a \kappa r.}(t_{st ripu 0,001} = 3,85)$ | 14,8 | 5,1 | | | |

Средние показатели влажности, зольности и содержания аскорбиновой кислоты плодов брусники ($t_{\text{st (при }\alpha=0.05)}=2.05$)

| No | Вариант опыта | Влаж- ность,% | Золь- ность,% | Содержание аскорбиновой кислоты в 100 г, мг |
|----|--|------------------|------------------|---|
| 1 | Контроль (за границами территории узла) | $87,5 \pm 0,12$ | $0,93 \pm 0,01$ | $309,0 \pm 0,37$ |
| 2 | Обработка ЭМП (за границами территории узла) | $87,6 \pm 0,11$ | $0,73 \pm 0,01$ | $326,9 \pm 3,51$ |
| | % к контролю | 100,1 | 78,5 | 105,8 |
| | t _{расчетное} | 0,6 | 14,1 | 5,1 |
| 3 | Территория тектонического узла | $76,2 \pm 0,12$ | $1,64 \pm 0,01$ | $486,7 \pm 3,96$ |
| | % к контролю | 87,1 | 176,3 | 157,5 |
| | t _{расчетное} | 66,5 | 50,2 | 44,7 |
| 4 | Обработка ЭМП в центре тектонического узла | $75,0 \pm 0,15$ | $1,69 \pm 0,06$ | $627,9 \pm 6,75$ |
| | % к контролю | 85,7 | 181,7 | 203,2 |
| | t | 65,1 | 12,5 | 47,2 |

Исследования проведены в ходе выполнения государственного задания $\Phi \Gamma E Y H \Phi U I K U A A A A - A 18-118012390305-7.$

Список литературы / References

- 1. Смирнов А.И., Орлов Ф.С. Способ предпосевной обработки семян и устройство для его осуществления // Патент России № 2591969. Патентообладатель ООО «Разносервис». 2014.
- 2. Рубцова Е.И., Хныкина А.Г. Влияние импульсного электрического поля на энергию прорастания семян сои // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2009. № 12. С. 26–27.

Rubtsova E.I., Hnykina A.G. Influence of pulsed electric field on the energy of soybean seed germination // Mechanization and electrification of agriculture. 2009. № 12. P. 26–27 (in Russian).

3. Старухин Р.С., Белицин И.В., Хомутов О.И. Метод предпосевной обработки семян с использованием эллиптического электромагнитного поля // Ползуновский вестник. 2009. № 4. С. 97–103.

Starukhin R.S., Belitsin I.V., Khomutov O.I. The method of presowing treatment of seeds using an elliptical electromagnetic field // Polzunovskiy vestnik. 2009. № 4. P. 97–103 (in Russian).

4. Смирнов А.И. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на всхожесть семян и рост сеянцев сосны обыкновенной в питомниках зоны смешанных лесов: дис. ... канд. с.-х. наук. Мытищи, 2016. 102 с.

Smirnov A.I. Influence of a low-frequency electromagnetic field on seed germination and growth of common pine seedlings

in nurseries of a mixed forest zone: dis... kand. s.-kh. nauk. Mytishchi, 2016. 102 p. (in Russian).

5. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Комплексная модель процессов межгеосферного взаимодействия в тектонических узлах Севера Русской плиты // Электронное научное издание Альманах Пространство и Время. 2012. Т. 1. Вып. 1. [Электронный ресурс]. URL: http://www.j-spacetime.com/actual %20content/t1v1/1109.php (дата обращения: 20.02.2020)

Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. A complex model of the processes of intergeospheric interaction in the tectonic nodes of the North of the Russian Plate // Electronic scientific publication Almanac Space and Time. 2012. T. 1. Issue. 1. [Electronic resource]. URL: http://www.j-spacetime.com/actual%20content/t1v1/1109.php (date of access: 20.02.2020) (in Russian).

6. Гофаров М.Ю., Кутинов Ю.Г., Болотов И.Н. Ландшафты Беломорско-Кулойского плато: тектоника, подстилающие породы, рельеф и растительный покров. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 167 с.

Gofarov M.Yu., Kutinov Yu.G., Bolotov I.N. Landscapes of the White Sea-Kuloy plateau: tectonics, underlying rocks, relief and vegetation. Yekaterinburg: UrO RAN, 2006. 167 p. (in Russian).

7. Кутинов Ю.Г., Чистова 3.Б. Разломно-блоковая тектоника и ее роль в эволюции литосферы // Литосфера и гидросфера европейского Севера России. Геоэкологические проблемы / Под ред. Ф.Н. Юдахина. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. С. 68–113.

Kutinov Yu.G., Chistova Z. B. Fault-block tectonics and its role in the evolution of the lithosphere // Lithosphere and hydrosphere of the European North of Russia. Geoecological problems / Pod red. F.N. Yudakhina. Yekaterinburg: UrO RAN, 2001. P. 68–113 (in Russian).

8. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б. Геоэкологическое районирование северных территорий земли для организации системы мониторинга // Электронное научное издание Альманах Пространство и время. 2011. № 4 (б). [Электронный ресурс]. URL: https://space-time.ru/space-time/article/view/2226-7271provr_st4-6.2011.86 (дата обращения: 20.02.2020).

Kutinov Yu.G., Chistova Z.B. Geoecological zoning of the Northern territories of the earth for the organization of a monitoring system. // Electronic scientific publication Almanac Space and Time, 2011, No. 4 (6). P. 185–195. [Electronic resource]. URL: https://space-time.ru/space-time/article/view/2226-7271provr_st4-6.2011.86 (date of access: 20.02.2020) (in Russian).

9. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Бурлаков П.С. Влияние тектонических нарушений (дегазация, наведенные токи, вариации геомагнитного поля) севера Русской плиты на окружающую среду (на примере Архангельской области) // Вестник КРАУНЦ. Серия Науки о Земле. 2009. № 2(14). С. 77–89.

Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Burlakov P.S. The influence of tectonic disturbances (degassing, induced currents, variations of the geomagnetic field) of the north of the Russian Plate on the environment (by the example of the Arkhangelsk region). // Vestnik KRAUNTS. Seriya Nauki o Zemle. 2009. № 2(14). P. 77–89 (in Russian).

10. Беляев В.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Хмара К.А. Влияние узлов пересечения тектонических дислокаций на характер выпадения осадков в лесных экосистемах // Вестник Поморского государственного университета. Серия: Естественные и точные науки. 2009. № 2. С. 45–50.

Belyaev V.V., Kutinov Yu.G., Chistova Z.B., Khmara K.A. Influence of tectonic faults junctions on precipitation features in forest ecosystems // Vestnik Pomorskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye i tochnyye nauki. 2009. № 2. P. 45–50 (in Russian).

11. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация Земли и глобальные катастрофы. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 250 с.

Syvorotkin V.L. Deep degassing of the Earth and global catastrophes. M.: OOO «Geoinformtsentr», 2002. 250 p. (in Russian).

12. Старицын В.В. Влияние отдельных геоэкологических факторов на популяции черники (Vaccinium myrtillus L.) и брусники (Vaccinium vitis-idaea L.) на территории Плесецкого тектонического узла // Ломоносова достойные потомки: Материалы X ежегодной региональной молодежной научно-практической конференции. Архангельск: ОАО «Северодвинская типография», 2012. С. 400–402.

Staritsyn V.V. The influence of individual geoecological factors on the populations of blueberries (*Vaccinium myrtillus* L.) and lingonberries (*Vaccinium vitis-idaea* L.) on the territory of the Plesetsk tectonic node // Lomonosova dostoynyye

- potomki: Materialy X yezhegodnoy regional'noy molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Arkhangel'sk: OAO «Severodvinskaya tipografiya», 2012. P. 400–402 (in Russian).
- 13. Беляев В.В., Дурынин С.Н. О влиянии тектонических узлов на популяции некоторых в лекарственных растений Архангельской области // Вестник КРАСГАУ. 2015. № 5. С. 131–135.

Belyaev V.V., Durynin S.N. About thetectonic outgrowth influence on the population of some medicinal plants in Arkhangelsk region // Vestnik KRASGAU. 2015. № 5. P. 131–135 (in Russian).

14. Старицын В.В. Оценка влияния геоэкологических условий (на примере тектонических узлов) на состояние ресурсов лесных ягод Архангельской области: дис ... канд. с.-х. наук. Архангельск, 2013. 168 с.

Staritsyn V.V. Assessment of the influence of geoecological conditions (using tectonic nodes as an example) on the state of forest berries resources in the Arkhangelsk Region: dis. ... kand. s.-kh. nauk. Arkhangelsk, 2013. 168 p. (in Russian).

15. Старицын В.В., Беляев В.В. Ресурсы основных видов ягод в наиболее распространённых условиях местопроизрастания // Вестник Архангельского областного отделения ПАНИ. Вып. 2. Архангельск, 2010. С. 11–15.

Staritsyn V.V., Belyaev V.V. Resources of the main types of berries in the most common conditions of location // Vestnik Arkhangel'skogo oblastnogo otdeleniya PANI. Vyp. 2. Arkhangel'sk, 2010. P. 11–15 (in Russian).

- 16. ГОСТ 16483.7-71 Древесина. Методы определения влажности. 1973. 4 с.
- 17. ГОСТ Р 56881-2016 Биомасса. Определение зольности стандартным методом. 2017. 8 с.
- 18. Воскресенская О.Л., Алябышева Е.А., Половникова М.Г. Большой практикум по биоэкологии: учеб. Пособие. Ч. 1. Йошкар-Ола: МарГУ, 2006. 107 с.

Voskresenskaya O.L., Alyabysheva E.A., Polovnikova M.G. A large workshop on bioecology: Textbook. Ch. 1. Yoshkar-Ola: MarGU, 2006. 107 p. (in Russian).

19. Старицын В.В., Беляев В.В. Урожайность и содержание витамина С в бруснике (*Vaccinium vitis-idaeae* L.) и чернике (*Vaccinium myrtillus* L.) в пределах Плесецкого тектонического узла // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2015. № 1 (343). С. 78–84.

Staritsyn V.V., Belyaev V.V. Productivity and Vitamin C Content in Blueberry (*Vaccinium vitis-idaeae* L.) and Cowberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in the Plesetsk Tectonic Centre // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal. 2015. № 1 (343). P. 78–84 (in Russian).

УДК 631.816.11:633.491

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАПРОГРАММИРОВАННЫХ УРОЖАЕВ РАЗНЫХ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ

Усанова З.И., Черникова Н.С.

ФГБОУ ВО «Тверская ГСХА», Тверь, e-mail: rastenievodstvo@mail.ru

В работе представлены результаты исследований, выполненных в 2017-2019 гг. в полевом опыте на высоко окультуренной супесчаной дерново-подзолистой почве КФХ «Анкинович» Калининского района Тверской области. Цель исследований – выявить особенности формирования климатически обеспеченных урожаев разных по скороспелости сортов картофеля в условиях Верхневолжья при возделывании по экологически безопасной технологии с междурядьями 75 см. На умеренном и повышенном фонах минерального питания (фактор А) возделывали сорта (фактор В): Винета, раннеспелый; Гала, среднеранний; Скарб, среднеспелый; Никулинский, среднепоздний. На умеренном фоне удобрения (N_4, P_2, K_3) вносили на запрограммированный урожай по биогидротермическому потенциалу продуктивности (КУБП) в 30,0 т/га, на повышенном (N $_{103}$ P $_{23}$ K $_{115}$) — на потенциальный урожай (ПУ) с КПД ФАР 2,5% в 40 т/га. Площадь учетной делянки по A $_{23}$ R $_{23}$ C $_{23}$ C матической обеспеченности урожаев картофеля в регионе, уровни (категории) программированной урожайности (ПРУ). Установлена возможность программирования в Верхневолжье климатически обеспеченных урожаев КУ $_{\text{KII}}$ в 30 т/га и ПУ с КПД ФАР 2,5% в 40 т/га. При оптимальном обеспечении агроклиматическими ресурсами в лучшие годы (2019) сформирована урожайность выше ПРУ: на умеренном фоне NPK на 9,9 т/га (на 35,8%), на повышенном — на 12,9 т/га (на 32,4%). Наиболее продуктивными в среднем за 3 года были сорта: на умеренном фоне NPK — Винета (32,8 т/га, +4,0 т/га к ПРУ), на повышенном — Скарб (48,1 т/га, +8,3 т/га к ПРУ). Рост урожайности сортов картофеля был обеспечен более экономным расходованием влаги и питательных веществ на единицу урожая, повышением фотосинтетической активности сортов. Товарный коэффициент водопотребления на повышенном фоне составил: по сорту Винета 106, по сорту Скарб 97 м³/га. На 1 кг действующего вещества NPK по лучшим сортам получено: на умеренном фоне 328 кг, на повышенном – 200 кг клубней картофеля.

Ключевые слова: картофель, сорта, климатическая обеспеченность урожая, уровни (категории) программируемой урожайности, урожайность, товарность, окупаемость NPK

FORMATION OF PROGRAMMED YIELDS OF DIFFERENT POTATO VARIETIES

Usanova Z.I., Chernikova N.S.

Tver Agricultural Academy, Tver, e-mail: rastenievodstvo@mail.ru

The work presents the results of research carried out in 2017-2019 within field experiment on highly cultivated sandy loam sod-podzolic soil of the farm «Ankinovich» of the Kalininsky district of Tver region. The purpose of the research is to identify features of formation of climatically secured yields of different varieties of potatoes in conditions of upper Volga region when cultivated using an environmentally safe technology with row spacing of 75 cm. At moderate and high backgrounds of mineral nutrition (factor a), the following varieties (factor B) were cultivated: Vineta, early-maturing; Gala, medium-early; Skarb, medium-maturing; Nikulinsky, mid-late. A moderate amount of fertilizers (N45P23K35) was added according to a programmed yield biovitroceramics potential productivity (COBP) at 30.0 t/ha, at an elevated (N103P23K115) – a potential crop (PU) with an efficiency of HEADLIGHTS 2.5% in 40 t/ha. Square plot on account of A - 48 m2, on In - 12m2, repeated four times. As a result, indicators of agro-climatic security of potato crops in the region, levels (categories) of programmed yield (PRY) were revealed. The possibility of programming in the upper Volga region of climate-protected crops of 30 t/ha AND PU with a FAR efficiency of 2.5% in 40 t/ha was defined. Under the optimal state of agro-climatic conditions in the best years (2019), the yield was above PRY: at a moderate background, NPK by 9.9 t/ha (35.8%), on an increased one – by 12.9 t/ha (32.4%). The most productive varieties for an average of 3 years were: at a moderate background, NPK - Vineta (32.8 t/ha, +4.0 t/ha to PRY), on an increased one - Skarb (48.1 t / ha, +8.3 t / ha to PRY). The increase in yields of potato varieties was provided by a more economical expenditure of moisture and nutrients per unit of crop, increasing the photosynthetic activity of varieties. The ratio of water use to elevated background made by: Vineta grade 106, grade Belongings a 97 m3/ha, per 1 kg of the active substance NPK at the best grades received: a moderate background of 328 kg in the high – 200 kg of potato tubers.

Keywords: potatoes, varieties, climate security of the crop, levels (categories) of programmable yield, yield, marketability, NPK recoupment

Картофель (Solanum tuberosum L.) – исключительное ценное клубнеплодное крахмалоносное растение семейства Пасленовые (Solanaceae), имеющее большое значение в жизнеобеспечении человека как «второй хлеб», а также как источник важных продуктов переработки – глюкозы, крахмала, этанола, и как высокопитательный корм для животных [0; 2]. Это высокопродук-

тивная культура, про которую в свое время Д.Н. Прянишников [3] писал, что выращивать корнеплоды и картофель на полях – это то же, что получать 3 колоса там, где раньше рос один. В истории картофелеводства нашей страны зафиксированы примеры получения урожайности свыше 80–120 т/га [4]. В настоящее время ещё далеко не исчерпаны резервы повышения урожайности, качества

урожая, рентабельности картофелеводства. По данным ФАО 2020 [5], в мире получают с гектара по 20,1 т, в Российской Федерации — 15,7 т клубней, что значительно ниже потенциальных возможностей современных сортов [6–8]. Реализация потенциальной продуктивности сортов во многом зависит от технологии возделывания, природно-климатических условий и экологической адаптивности выращиваемых сортов [6; 7; 9].

Достижение высоких результатов возможно при применении метода программирования урожайности [10]. Оптимальное программирование предусматривает определение действительно возможных урожаев в каждой конкретной местности, обеспечивающих наиболее полное использование природных и материально-технических ресурсов за счет оптимизации основных факторов жизни растений и управления ходом продукционного процесса [9]. Наиболее мощным фактором получения запрограммированных урожаев является удобрение. По сведению ряда авторов, повышение урожайности в системе агротехнических приемов обеспечивается за счет удобрений в США на 40-50%, в Германии на 50%, во Франции на 50-70% [11; 12]. Определение доз удобрений на программируемый урожай является важнейшим принципом программирования урожайности [4]. Эти вопросы требуют дальнейшего изучения при выращивании современных сортов по экологически безопасной технологии.

Цель работы — выявить особенности формирования климатически обеспеченных урожаев разных по скороспелости сортов картофеля в условиях Верхневолжья при возделывании по экологически безопасной технологии с междурядьями 75 см.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили в 2017–2019 гг. на дерново-подзолистой супесчаной почве КФХ «Анкинович» Калининского района Тверской области. До закладки опыта в почве содержалось 2,5% гумуса (по Тюрину), 107,1 мг/кг легкогидролизуемого азота (по Корнфилду), 482 мг/ кг P_2O_5 и 295 мг/кг K_2O (по Кирсанову), $P_{COR} = 6,43$.

В опыте изучали факторы: А – фон минерального питания: 1 – умеренный, расчетная доза NPK на урожай 30 т/га; 2 – повышенный, NPK на урожай 40 т/га; В – сорт: 1 – Винета, раннеспелый; 2 – Гала, среднеранний; 3 – Скарб, среднеспелый; 4 – Никулинский, среднепоздний. Площадь учетной делянки по А – 48 м², по В – 12 м², повтор-

ность четырехкратная, размещение делянок рандомизированными блоками.

Объекты исследований – сорта картофеля отечественной (Никулинский, ВНИ-ИКХ имени Лорха) и зарубежной селекции (Скарб, Беларусь; Винета, Германия; Гала, Германия, ф. Norica).

Исследования выполнены по современным методикам [13]. Расчеты программируемой урожайности (ПРУ) и показателей климатической обеспеченности проведены по методике [4; 14], дисперсионный и корреляционный анализы по методике [15].

В опыте соблюдали запрограммированную экологически безопасную технологию возделывания картофеля. Удобрения вносили на ПРУ: на умеренном фоне на 30 т/га $(N_{45}P_{23}K_{35})$, на повышенном – 40 т/га $(N_{102}P_{23}K_{115})$. Уровень урожайности в 30 т/га соответствует расчетному ПРУ по биогидротермическому потенциалу продуктивности, в 40 т/га – потенциальному урожаю с КАД ФАР 2,5%. Дозы удобрений определяли балансовым способом [4]. Посадку проводили по схеме 75х28 см, густота стояния 50 тыс. растений на гектаре. Технологические операции при возделывании картофеля выполняли с помощью комплекса современных машин (Grimme, Amazone, Колнаг и др.), применяемых при технологии с междурядьями 75 см. Сажали картофель хорошо подготовленными клубнями семенной фракции (50-80 г - прозеленённые, прогретые, пророщенные), обработанные инсектофунгицидом «Престиж», сажалкой GL – 34 T. В системе ухода за посевами пестициды не применялись. Погодные условия в годы исследований отличались от среднемноголетней нормы, что будет показано в разделе «Результаты исследований».

Результаты исследования и их обсуждение

Программированное выращивание картофеля предусматривает проведение исследований по климатической обеспеченности его в разные годы [4]. Определение этих показателей в условиях Верхневолжья свидетельствует о неодинаковой тепло- и влагообеспеченности картофеля в разные годы (табл. 1).

Наибольшие отклонения от среднемноголетних данных наблюдались по показателям влагообеспеченности картофеля, а именно по суммарному водопотреблению, запасу продуктивной влаги до посадки, сумме осадков, гидротермическому показателю, биогидротермическому коэффициенту продуктивности и гидротермическому коэффициенту, которые были ниже нормы. Обеспеченность растений теплом ($\sum t > 10$ °C), а также показатели радиационного баланса и суммы фотосинтетически активной радиации превышали норму. Наиболее холодным и влажным оказался 2017 г., когда суммарное водопотребление, сумма осадков были на 9,3 и 16,8% больше среднемноголетнего количества.

На основании показателей климата рассчитаны разные уровни (категории) урожайности (табл. 2). Результаты их свидетельствуют о том, что в условиях региона по тепловым ресурсам (КУ_{БП}) раннеспелые, среднеранние и среднеспелые сорта картофеля могут накопить урожай абсолютно сухой фитомассы 9,38, клубней – 29,31 т/га. Близкие к этим могут быть получены урожаи по приходу ФАР с КПД 2,0%.

Более низкую урожайность раннеспелых, среднеранних и среднеспелых сортов картофеля можно получить по условиям влагообеспеченности (KY_B). Потенциальная урожайность, рассчитанная по приходу ФАР с КПД 2,5%, близка к 40 т/га, а с КПД 3,0% – к 50 т/га. На основании анализа полученных данных на умеренном фоне минерального питания дозы удобрений (NPK) мы рассчитывали на ПРУ в 30 т/га, на повышенном — 40 т/га, то есть на KY_{EU} и ПУ

с КПД ФАР 2,5 %. Урожайность, рассчитанная по фактическим показателям климата в годы исследований, в среднем за 3 года, мало отличалась от ПРУ по среднемноголетней норме.

Результаты экспериментальных исследований, полученные в двухфакторном опыте, показали, что фактическая урожайность картофеля в большинстве вариантов значительно отличалась от ПРУ (табл. 3). Различия в продуктивности зависели от биологии сорта, фона минерального питания растений и распределения тепла и влаги в течение вегетации в годы исследований. Так, при разной реакции на изменения тепло- и влагообеспеченности картофеля, на умеренном фоне сорт Скарб, на повышенном - Никулинский сформировали в среднем за 3 года запрограммированную урожайность. Большим недобором урожая к ПРУ отличались сорта на умеренном фоне, особенно в 2017 г. На повышенном фоне в связи с улучшением минерального питания растений фактическая урожайность, как правило, превосходила ПРУ.

Недобор урожайности на умеренном фоне объясняется как погодными условиями, так и несбалансированностью минерального питания растений. Так, первые два месяца вегетации картофеля в 2017 г. характеризовались избыточным увлажнением и колебаниями температуры воздуха, а также недостатком влаги во время созревания (рис. 1).

Таблица 1 Показатели климатической обеспеченности картофеля за вегетационный период в разные годы

| Показатель | Единицы | По среднемноголетним | | Год | | В среднем за 3 года |
|------------------|-----------|----------------------|--------|--------|--------|---------------------|
| | измерения | данным | 2017 | 2018 | 2019 | |
| W | мм/га | 450 | 492 | 409 | 427 | 443 |
| W_0 | мм/га | 200 | 200 | 186 | 183 | 190 |
| E_0 | мм/га | 463,8 | 442,2 | 491,3 | 466,9 | 466,8 |
| R | к Дж/см² | 113,76 | 108,46 | 120,52 | 114,54 | 114,51 |
| $\sum t > 10$ °C | °C | 1642,4 | 1545,1 | 1766,4 | 1656,6 | 1656,0 |
| ∑ФАР | к Дж/см² | 91,21 | 86,96 | 96,63 | 91,84 | 91,81 |
| ∑Oc | MM | 250 | 292 | 223 | 244 | 255 |
| К увл. | ед. | 0,97 | 1,11 | 0,83 | 0,92 | 0,95 |
| ГТП | балл | 4,55 | 5,21 | 3,89 | 4,32 | 4,47 |
| БКП | балл | 4,69 | 5,38 | 4,03 | 4,42 | 4,61 |
| ГТК | ед. | 1,52 | 1,89 | 1,29 | 1,47 | 1,55 |
| Tv | декада | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,2 | 10,2 |

 Π р и м е ч а н и е : W — суммарное водопотребление, W_0 — запас продуктивной влаги в 1 м слое почвы до посадки, E_0 — испаряемость, R — радиационный баланс, Σ t > $10\,^{\circ}$ C — сумма температур > $10\,^{\circ}$ C, Σ ФАР — приход фотосинтетически активной радиации, Σ Oc — сумма осадков, K увл. — коэффициент увлажнения, Γ ТП — гидротермический коэффициент, Σ БКП — биогидротермический (биоклиматический коэффициент), Γ ТК — гидротермический коэффициент (по Селянинову), Γ V — сумма декад от посадки до созревания.

Таблица 2 Уровни программируемой урожайности картофеля в разные годы, т/га

| Категория ПРУ | Вид урожая | По норме | | Год | | В среднем за 3 года |
|---------------|-------------|----------|-------|-------|-------|---------------------|
| | | | 2017 | 2018 | 2019 | |
| КУ | Сухая масса | 9,38 | 10,76 | 8,06 | 8,84 | 9,22 |
| DII | Клубни | 29,31 | 33,62 | 25,19 | 27,62 | 28,81 |
| КУВ | Сухая масса | 7,41 | 8,10 | 6,74 | 7,04 | 7,29 |
| L L | Клубни | 23,17 | 25,31 | 21,06 | 22,51 | 22,96 |
| ПУ с КПД | Сухая масса | 10,13 | 9,66 | 10,74 | 10,20 | 10,20 |
| ФАР 2,0% | Клубни | 29,79 | 30,19 | 33,56 | 31,88 | 31,88 |
| ПУ с КПД | Сухая масса | 12,67 | 12,08 | 13,42 | 12,75 | 12,75 |
| ФАР 2,5% | Клубни | 39,58 | 37,75 | 41,94 | 39,85 | 39,84 |
| ПУ с КПД | Сухая масса | 15,20 | 14,49 | 16,10 | 15,30 | 15,30 |
| ФАР 3,0% | Клубни | 47,50 | 45,28 | 50,31 | 47,81 | 47,81 |

Примечание: сухая масса – это абсолютно сухая масса.

 $KY_{\text{bп}}$ – климатически обеспеченный урожай, рассчитанный по биогидрологическому потенциалу продуктивности; $KY_{\text{в}}$ – климатически обеспеченный урожай по влагообеспеченности; ΠY – потенциальный урожай с $K\Pi Z$ ФАР 2,0; 2,5; 3,0%.

Таблица 3 Фактическая урожайность сортов картофеля и ее отличия от программируемой (ПРУ), т/га

| Фон (А) | Сорт (В) | Сорт (В) 2017 2018 | | 2018 | 2 | 019 | В среднем за 3 г. | | |
|-----------------|--------------------------------|--------------------|--------------|-------|--------------|-------|----------------------|-------|--------------|
| | | факт. | +/_ к ПРУ | факт. | +/_ к ПРУ | факт. | +/_ к ПРУ | факт. | +/_ к ПРУ |
| | Винета | 24,3 | -9,3 | 26,2 | +1,0 | 47,8 | +20,2 | 32,8 | +4,0 |
| I – на 30 т/га | Гала | 22,4 | -11,2 | 23,6 | -1,6 | 37,2 | +9,6 | 27,7 | -1,1 |
| | Скарб | 25,5 | -8,1 | 25,6 | +0,4 | 34,4 | +6,8 | 28,8 | 0,0 |
| | Никулинский | 23,6 | -10,0 | 22,5 | -2,7 | 30,6 | +3,0 | 25,6 | -3,2 |
| | В среднем | 24,2 | -9,6 | 24,5 | -0,7 | 37,5 | +9,9 | 28,7 | -0,3 |
| | Винета | 35,6 | -2,2 | 36,2 | 5,7 | 64,5 | +24,7 | 45,4 | +5,6 |
| II — на 40 т/га | Гала | 43,1 | +5,4 | 45,3 | +3,4 | 42,8 | +3,0 | 43,7 | +3,9 |
| | Скарб | 39,8 | +2,0 | 40,9 | -1,0 | 63,5 | +23,7 | 48,1 | +8,3 |
| | Никулинский | 40,5 | 2,8 | 39,0 | -2,9 | 40,0 | +0,2 | 39,8 | 0,0 |
| | В среднем | 39,8 | +2,0 | 40,4 | -1,55 | 52,7 | +12,9 | 44,3 | +4,5 |
| +/- к 1 фону | т/га | 15,6 | | 15,9 | | 15,2 | | 15,6 | |
| | % | 64,5 | | 64,9 | | 40,5 | | 54,4 | |
| НСР частн. ра | НСР ₀₅ частн. разл. | | | 1,58 | | 1,01 | | 1,31 | |
| факт. А | факт. А | | | 2,02 | | 0,72 | | 1,14 | |
| факт. В | факт. В | | | 0,51 | | 0,51 | | 0,66 | |
| AB | | 0,67 | | 2,03 | | 0,72 | | 1,15 | |

Среднесуточная температура воздуха в период «всходы – бутонизация» была низкой (14,2 °C). О затруднении минерального питания в этом году на умеренном фоне свидетельствует тот факт, что на повышенном фоне все сорта, кроме раннеспелого Винета, накопили урожаи выше ПРУ. Для раннеспелых сортов в начале вегетации сложились менее благоприятные условия, чем для более позднеспелых. Превышение ПРУ сортов 2019 г. объясняется оптимальным сочетанием и распределением тепла и влаги в течение вегетации картофеля. А именно, повышенная температура воздуха после всходов ускорила наступление фазы

бутонизации в сравнении с другими годами календарно на 7–12 дней, а цветение — на 7–26 дней, что продлило рост клубней и накопление урожая по сортам с 8–37 дней в 2017 г. до 50 дней в 2019 г. (табл. 4). Кроме того, в ответственный период для накопления урожая «цветение — созревание» сложилась умеренная температура воздуха (15,3 °C), что соответствовало требованием биологии картофеля [16]. Установлена тесная положительная прямая корреляция между урожайностью картофеля и суммой температур (r = 0,82), суммой осадков (r = 0,87) в период «цветение — созревание» и отрицательная — со среднесуточной тем-

пературой воздуха в этот период (r=-0.82), при фактических значениях t и F, равных 3,76–4,76 и 14,00–22,67, теоретических – $t_{05}=2.4$, $F_{05}=5.6$.

Оптимизация минерального питания растений на повышенном фоне способствовала получению прибавок урожая в среднем по сортам 15,2–15,9 т/га или 40,5–64,9%. Соответственно по сортам в среднем за 3 года они составили, т/га (%): Винета – 12,6 (38,4), Гала – 16,0 (57,8), Скарб – 19,3 (67,0), Никулинский – 14,2 (55,5).

Повышению урожайности в разные годы по фонам минерального питания и сортам содействовало сокращение расхода влаги на единицу товарной продукции, что обозначается товарным коэффициентом водопотребления (Кв тов.) (табл. 5). Он находится в обратной зависимости от урожайности и в прямой от суммарного водопотребления.

Повышение урожайности в 2019 г. способствовало существенному снижению Кв тов. на обоих фонах минерального питания. По сравнению с наиболее влажным 2017 г. они были в 1,5-2,3 раза меньше на умеренном фоне и 1,1-2,1 раза на повышенном. Оптимизация минерального питания растений на повышенном фоне снизила коэффициенты водопотребления в среднем за 3 года на 36,2%. Разница в Кв тов. между сортами меньше, чем между годами и фонами, она не превышает 14,6-19,2% $(14,2-28,5 \text{ м}^3/\text{т}),$ но она была больше HCP 05 (6,7 M^3/T). Ководопотребления эффициенты являются важнейшими параметрами программирования. Полученные по сортам и категориям урожайности Кв тов. можно использовать при программировании урожайности картофеля в Верхневолжском и других регионах со сходными агроклиматическими условиями.

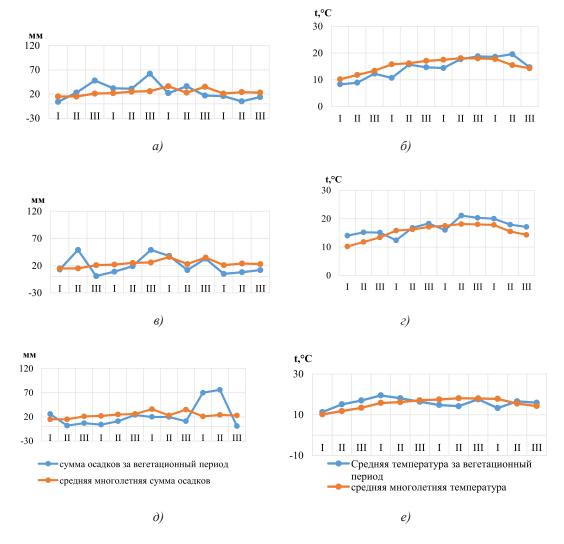


 Таблица 4

 Агроклиматические условия вегетационного периода картофеля в годы исследований

| Показатели ед. | | 2017 | | | 2018 | | | 2019 | |
|------------------------------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|
| измерения | всходы- | бутони- | цвете- | всходы- | бутони- | цвете- | всходы- | бутони- | цвете- |
| | бутони- | зация- | ние-со- | бутони- | зация- | ние-со- | бутони- | зация- | ние-со- |
| | зация | цветение | зревание | зация | цветение | зревание | зация | цветение | зревание |
| Дней в периоде | 27 | 18 | 8 | 30 | 6 | 37 | 27 | 5 | 50 |
| Дата фазы | 01.07 | 19.07 | 27.07 | 25.06 | 01.07 | 07.08 | 18.06 | 23.06 | 12.08 |
| ∑t,°C | 382,6 | 288,9 | 149,3 | 459,5 | 112,6 | 598,3 | 458,8 | 85,4 | 764,6 |
| Среднесут. t,°C | 14,2 | 16,0 | 18,7 | 15,3 | 18,8 | 16,2 | 17,0 | 17,1 | 15,3 |
| $\sum O_c$, mm | 114,4 | 32,4 | 15,5 | 19,0 | 28,3 | 82,7 | 18,4 | 9,4 | 153,0 |
| Осадки, мм/сут. | 4,24 | 1,80 | 1,94 | 0,63 | 4,72 | 2,24 | 0,68 | 1,88 | 3,06 |
| R, кДж/см ³ | 45,14 | 40,04 | 32,43 | 49,33 | 30,44 | 56,89 | 49,29 | 28,95 | 65,95 |
| R, кДж/см ³ /сут. | 1,67 | 2,22 | 4,05 | 1,64 | 5,07 | 1,54 | 1,82 | 5,79 | 1,32 |
| ГТК | 2,99 | 1,12 | 1,04 | 0,41 | 2,51 | 1,38 | 0,40 | 1,10 | 2,00 |

Таблица 5 Товарные коэффициенты водопотребления сортов картофеля на разных фонах в годы исследований, мм х га/ц или м³/т

| Сорт (В) | ф | он 1 – NP | К на 30 т | /га (A) | фс | н 2 – NPk | С на 40 т/ | га (А) |
|--------------------------------|-------|-----------|-----------|-----------|-------|-----------|-------------------|-----------|
| | 2017 | 2018 | 2019 | в среднем | 2017 | 2018 | 2019 | в среднем |
| | | | | за 3 года | | | | за 3 года |
| Винета | 202,5 | 152,6 | 89,3 | 148,1 | 138,2 | 113,0 | 66,2 | 105,8 |
| Гала | 219,6 | 173,3 | 114,8 | 169,2 | 114,2 | 90,3 | 99,8 | 101,4 |
| Скарб | 185,7 | 159,8 | 124,1 | 156,5 | 123,6 | 100,0 | 67,2 | 96,9 |
| Никулинский | 208,5 | 181,8 | 139,5 | 176,6 | 121,5 | 104,9 | 106,8 | 111,1 |
| В среднем по А | 204,1 | 166,9 | 116,9 | 162,6 | 124,4 | 102,0 | 85,0 | 103,8 |
| +/- к 1 фону: т/га | _ | _ | _ | _ | -79,7 | -64,9 | -31,9 | -58,8 |
| % | _ | _ | _ | _ | -39,0 | -38,9 | -27,3 | -36,2 |
| HCP ₀₅ частн. разл. | 13,5 | 15,8 | 10,2 | 13,2 | | | | |
| факт. А | 6,8 | 20,2 | 7,3 | 11,5 | | | | |
| факт. В | 7,5 | 5,8 | 5,2 | 6,7 | | | | |
| ÅB | 6,8 | 2,04 | 7,3 | 11,6 | | | | |

Важными параметрами программирования являются также площадь листьев и фотосинтетический потенциал посева (агроценоза) (ФПП), которые оказывают большое влияние на урожайность картофеля и других сельскохозяйственных культур [9]. По данным ряда авторов, коэффициент корреляции между урожайностью и максимальной, средней площадью листьев посева, ФПП достигают 0,82-0,83 при фактических значениях t и F, равных 7,87-8,21 и 64,42-67,38, теоретических t 05 = 2,05, F05 = 4,26 [17]. В нашем опыте площадь листьев посева в большой степени зависела от влаго- и теплообеспеченности картофеля в разные годы и периоды вегетации и в меньшей - от биологии сорта и уровня минерального питания. Так, в среднем за 3 года максимальная площадь листьев посева колебалась по сортам на умеренном фоне от 33,4 до 35,6 тыс. $m^2/\Gamma a$, на повышенном – от 37,2 до 39,7 тыс. $M^2/\Gamma a$, в год (2017) с избыточным увлажнением

в первой половине вегетации соответственно по фонам от 39,0 до 48,5 (умеренный) и от 41,6 до 50,5 (повышенный фон) тыс. м²/га. Наименьшая площадь листьев посева сформировалась в 2019 г. с резким дефицитом влаги и повышенными температурами воздуха в первой половине вегетации «всходы-цветение». Она составила в среднем по сортам 24,0 тыс. м²/га на умеренном фоне и 27,0 тыс. м²/га на повышенном фоне.

О фотосинтетической активности посева можно судить по производительности ФПП, то есть по количеству урожая клубней, полученному на 1 тыс. единицу ФПП [4].

Исследованиями выявлено, что величина ФПП изменялась от влияния изучаемых факторов в той же закономерности, как площадь листьев посева. Производительность ФПП зависела в первую очередь от агроклиматических условий в годы исследований, во вторую — от обеспеченности растений минеральной пищей и от биологии сорта (табл. 6).

 Таблица 6

 Величина и производительность фотосинтетического потенциала посева (агроценоза) сортов картофеля при программировании разных уровней урожайности в годы исследований

| Фон (А) | Сорт (В) | Ф | ПП, ты | c. M ² X (| сутки/га | Получено клубней на 1 тыс. ед. ФПП, кг | | | |
|-------------------------------------|-------------|------|--------|-----------------------|------------------------|---|-------|-------|------------------------|
| | | 2017 | 2018 | 2019 | в среднем за 3 года | 2017 | 2018 | 2019 | в среднем за 3 года |
| Умеренный | Винета | 1979 | 1405 | 1045 | 1476 | 12,28 | 19,07 | 45,74 | 25,70 |
| | Гала | 1448 | 1512 | 1326 | 1429 | 15,47 | 15,61 | 28,05 | 19,71 |
| | Скарб | 1392 | 1437 | 1225 | 1351 | 15,44 | 17,81 | 28,08 | 20,44 |
| | Никулинский | 1775 | 2184 | 924 | 1628 | 13,30 | 10,30 | 33,12 | 18,91 |
| В среднем по А | | 1648 | 1634 | 1130 | 1471 | 14,12 | 15,70 | 33,75 | 21,19 |
| Повышенный | Винета | 2125 | 1963 | 1347 | 1812 | 16,75 | 23,16 | 47,88 | 29,26 |
| | Гала | 1569 | 1679 | 1368 | 1539 | 27,47 | 26,98 | 31,23 | 28,56 |
| | Скарб | 1593 | 1605 | 1326 | 1508 | 24,98 | 25,48 | 47,91 | 32,79 |
| | Никулинский | 1953 | 2471 | 1157 | 1860 | 20,74 | 15,78 | 34,57 | 23,70 |
| В среднем по А2 | | 1810 | 1930 | 1300 | 1680 | 22,48 | 22,85 | 40,40 | 28,58 |
| A ₂ +/– к A ₁ | | 162 | 296 | 170 | 209 | 8,36 | 7,15 | 6,65 | 7,39 |
| НСР ₀₅ частн. разл | I. | 67,1 | 78,9 | 50,5 | 65,3 | | | | |
| факт. А | | 33,5 | 100,1 | 36,0 | 56,5 | | | | |
| факт. В | | 37,5 | 28,5 | 25,5 | 30,5 | | | | |
| AB | | 33,6 | 100,2 | 36,0 | 56,6 | | | | |

Более высокой фотосинтетической активностью картофель отличался в благоприятном для формирования урожайности 2019 г., когда производительность ФПП на умеренном фоне была в 2,4 раза, на повышенном в 1,8 раза больше, чем в неблагоприятном 2017 г. Улучшение минерального питания растений на повышенном фоне увеличило производительность ФПП в среднем по сортам за 3 года в 1,4 раза, а разница между сортами составляла соответственно по фонам 32,7% и 38,4%. Наиболее высокий фотосинтетической активностью обладали сорта Винета на 1-м фоне, Скарб и Винета на 2-м фоне минерального питания, которые на 1 тыс. ед. ФПП накопили, в среднем 25,1 кг клубней на умеренном и 29,26-32,79 кг на повышенном фоне. Ценным свойством сорта Винета является способность увеличивать выход клубней на 1 тыс. ед. ФПП при более высоких параметрах посева (площади листьев и ФПП), что свидетельствует о более высокой продуктивности фотосинтеза.

Повышение фотосинтетической активности картофеля при возделывании его по экологически безопасной технологии без применения химической защиты посадок сдерживалось поражением растений фитофторозом, эпифитотия которого наблюдалась ежегодно (рис. 2). Этим объясняется недобор урожая к ПРУ, особенно

в годы с коротким периодом созревания (2017) из-за раннего усыхания пораженной фитофторозом листовой поверхности. Для сохранения посадок картофеля от этой болезни обычно рекомендуется применение в течение вегетации не менее 6—8 обработок их фунгицидами [18].

Результаты определения пораженности растений фитофторозом по ботве свидетельствуют о разной устойчивости сортов к этой болезни. Сильноустойчивым оказался сорт Никулинский, у которого на обоих фонах распространение болезни не превышало 23%, а развитие 7%, среднеустойчивым – Скарб: распространение 84–87%, развитие – 30–41%. Сорта Винета и Гала слабоустойчивые к фитофторозу и при применении химических средств защиты растений потенциально способны формировать урожаи запрограммированного уровня. Достоинством этих сортов является способность формировать хозяйственно ценные урожаи до сильного распространения болезни (до начала созревания). Об этом свидетельствует выход товарных клубней из урожая (табл. 7). Во все годы и по всем сортам в среднем он был высокий.

Пониженной товарностью клубней отличались сорта в 2017 г.: среднеспелый Скарб (83,7%) и среднепоздний Никулинский (85,8%), которые не успели реализовать свой фотосинтетический потенциал

из-за короткого периода созревания. Более высокой товарностью клубней на обоих фонах минерального питания отличался сорт Винета. Выход товарных клубней в тоннах с гектара зависел от урожайности сорта и товарности клубней. Высокий, равный ПРУ и выше, урожай товарных клубней обеспечивали сорта: на умеренном фоне Винета (31,3 т/га), на повышенном — Винета, Гала и Скарб (41,7–46,4 т/га).

Эффективность программирования урожайности можно оценить по окупаемости урожаем внесенных удобрений. Анализ этих данных (табл. 8) свидетельствует о том, что при точном соблюдении запрограммированной технологии, посадке по лучшему предшественнику хорошо подготовленными клубнями можно достичь высокой окупаемости урожаем 1 кг действующего вещества удобрений. Так, в среднем по сортам и за 3 года, на умеренном фоне получено 287 кг клубней на 1 кг д.в. удобрений, на повышенном – 185 кг. В среднем по 2 фонам лучшей окупаемостью отличались сорта Винета и Скарб, у которых получено по 259 и 244 кг клубней на 1 кг д.в. удобрений. При программировании более высокого урожая (40 т/га) окупаемость снизилась в среднем на 35.7%, но оставалась высокой – 185 кг на 1 кг д.в. В более благоприятный (2019) год окупаемость возрастала по сравнению с менее благоприятным (2017) годом на умеренном фоне в 1,5 раза, на повышенном – в 1,3 раза.

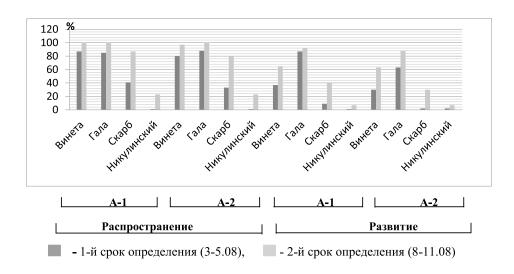


Рис. 2. Пораженность сортов картофеля фитофторозом (ботва) на фонах A-1 и A-2 в разные сроки определения, средняя за 2017–2019 гг.

Таблица 7 Товарность клубней из урожая сортов картофеля в годы исследований

| Фон (А) | Сорт (В) | | в% (то | варности | 5) | | 1 | в т/га | |
|----------------|-------------|---------|---------|----------|-----------|---------|---------|---------|-----------|
| | | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | в среднем | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | в среднем |
| | | | | | за 3 г. | | | | за 3 г. |
| 1 – на 30 т/га | Винета | 92,7 | 92,5 | 98,5 | 94,6 | 22,5 | 24,2 | 47,1 | 31,3 |
| | Гала | 88,8 | 91,8 | 95,1 | 91,9 | 19,9 | 21,7 | 35,4 | 25,6 |
| | Скарб | 83,7 | 92,3 | 100,0 | 92,0 | 22,2 | 23,6 | 31,6 | 25,8 |
| | Никулинский | 85,8 | 91,4 | 95,9 | 91,0 | 28,2 | 20,6 | 29,3 | 26,0 |
| В среднем по | A_1 | 87,8 | 92,0 | 97,4 | 92,4 | 23,2 | 22,5 | 35,8 | 27,2 |
| 2 – на 40 т/га | Винета | 96,2 | 96,0 | 99,2 | 97,1 | 33,3 | 34,8 | 64,0 | 44,0 |
| | Гала | 93,5 | 94,7 | 98,2 | 95,5 | 40,3 | 42,9 | 42,0 | 41,7 |
| | Скарб | 92,7 | 96,5 | 98,8 | 96,0 | 36,9 | 39,5 | 62,7 | 46,4 |
| | Никулинский | 91,5 | 96,3 | 92,2 | 93,3 | 37,1 | 37,6 | 36,9 | 37,2 |
| В среднем по | A_2 | 93,5 | 95,9 | 97,1 | 95,5 | 36,9 | 36,9 | 51,4 | 42,3 |

| , | |
|-------------------|---|
| | |
| | |
| | _ |
| ₁₅ (A) | |
| 15 \ / | |

Таблица 8

Окупаемость урожаем внесенных удобрений

| Сорт (В) | | фон 1 — 1 | $N_{42}P_{23}K_{35}$ | A) | фон $2 - N_{102}P_{23}K_{115}(A)$ | | | | |
|----------------|---------|-----------|----------------------|-----------|-----------------------------------|---------|---------|-----------|--|
| | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | в среднем | 2017 г. | 2018 г. | 2019 г. | в среднем | |
| Винета | 243 | 262 | 478 | 328 | 148 | 151 | 269 | 189 | |
| Гала | 224 | 236 | 372 | 277 | 180 | 189 | 176 | 182 | |
| Скарб | 265 | 256 | 344 | 288 | 166 | 170 | 265 | 200 | |
| Никулинский | 236 | 225 | 306 | 256 | 169 | 162 | 167 | 166 | |
| В среднем по А | 242 | 245 | 375 | 287 | 166 | 168 | 220 | 185 | |

Заключение

Таким образом, обеспеченность картофеля агроклиматическими ресурсами позволяет программировать урожайность по тепловым ресурсам 29,31 т/га, по влагообеспеченности 23,17 т/га, по приходу Φ AP с КПД 2% – 29,79; 2,5% – 39,58; 3% – 47,5 т/га.

На накопление урожая клубней большое влияние оказывает распределение тепла и влаги в течение вегетации. Более высокая урожайность сортов картофеля формировалась в годы (2019) с высокой температурой воздуха в период «всходы — цветение» (17,0–17,1°С) при дефиците влаги и умеренной (15,3°С) в период «цветение — созревание» при оптимальном увлажнении.

Оптимизация агроклиматических условий в лучшие годы способствовала формированию урожайности выше ПРУ на умеренном фоне минерального питания на 9,9 т/га (35,8%), на повышенном — на 12,9 т/га (32,4%). Наибольшую урожайность в среднем за 3 года накопили сорта: на умеренном фоне Винета (32,8 т/га + 4,0 т/га к ПРУ), на повышенном Скарб (48,1 т/га + 8,3 т/га к ПРУ).

Рост урожайности сортов в разные годы был обеспечен более экономным расходованием влаги и питательных веществ (NPK) на единицу урожая, повышением фотосинтетической активности и производительности ФПП, а также биологическими особенностями сортов. При возделывании по экологически безопасной технологии раннеспелые и среднеранние сорта накапливали хозяйственно ценный урожай клубней до начала эпифитотии фитофтороза.

На высоко окультуренных дерново-подзолистых почвах Верхневолжья при строгом соблюдении экологически безопасной технологии с посадкой по лучшим предшественникам хорошо подготовленными (прозелененными, пророщенными, прогретыми) клубнями семенной фракции можно программировать уровни урожайности: по биогидротермическому потенциалу продуктивности ($KY_{\rm BH}$) – 30 т/га и приходу ФАР с КПД 2,5% (ПУ) – 40 т/га, что позволяет получать на 1 кг действующего вещества удобрений по лучшим сортам, в среднем до 330 и 200 кг клубней соответственно.

Список литературы / References

1. Федотова Л.С., Анисимов Б.В. Роль адаптивно-биологизированного земледелия в формировании урожая и повышении пищевой диетической ценности картофеля // Картофелеводство в регионах России. Актуальные проблемы науки и практики. М.: ВНИИКХ РЦСК, 2006. С. 67–82.

Fedotova L.S., Anisimov B.V. The role of adaptive-biologized agriculture in crop formation and increasing the nutritional value of potatoes // Kartofelevodstvo v regionakh Rossii. Aktual'nyye problemy nauki i praktiki. M.: VNIIKKH RTSSK, 2006. P. 67–82 (in Russian).

2. Жевора С.В., Старовойтов В.И. Проблемы и перспективы производства картофеля и топинамбура для продуктов оздоровительного питания // Сборник научных трудов. Мичуринск, 2015. С. 100–105.

Zhevora S.V., Starovoitov V.I. Problems and prospects of production of potatoes and artichokes for the products of health food // Sbornik nauchnykh trudov. Michurinsk, 2015. P. 100–105 (in Russian).

3 Прянишников Д.Н. Избранные труды. Т. 2. Частное земледелие (растения полевой культуры). М.: Сельхозгиз, 1965. 712 с.

Pryanishnikov D.N. Selected Works. T. 2. Private agriculture (field crop plants). M.: Sel'khozgiz, 1965. 712 p. (in Russian).

4. Каюмов М.К. Программирование урожаев сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздит, 1989. 320 с.

Kayumov M.K. Programming yields of agricultural crops. M.: Agropromizdat, 1989. 320 p. (in Russian).

- 5. FAO Setal, FAOSTAT database. Food and Agzikultuze Ozganization of the United Nations, Rome Italy. 2020. [Electronic resource]. URL: http://www.fao.org/faostat/ru/#data/QC (date of access: 20.01.2020).
- 6. Жевора С.В. Экологическая адаптивность перспективных сортов картофеля отечественной селекции и экономическая оценка их возделывания // Земледелие. 2019. № 5. С. 30–34. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10508.

Zhevora S.V. Environmental adaptability of promising potato varieties of domestic selection and economic evaluation of cultivation // Zemledelie. 2019. № 5. P. 30–34 (in Russian).

7. Сташевски З., Кузьминова О.А., Вологин С.Г., Гизатуллина А.Т., Гимаева Е.А., Сафиуллина Г.Ф., Киру С.Д., Шабанов А.Э., Сафонова А.Д., Полухин Н.И., Журавлева Е.В. Первые результаты эколого-географического испытания новых российских сортов картофеля // Земледелие. 2019. № 6. С. 43–48. DOI: 10.24411/0044-3913-2019-10610.

- Stashevski Z., Kuzminova O.A., Vologin S.G., Gizatullina A.T., Gimayeva Ye. A., SafiuMina G.F., Kiru S.D., Shabanov A.E., Safonova A.D., Polukhin N.I., Zhuravleva Ye.V. First results of ecological and geographical testing of new Russian potato varieties // Zemledelie. 2019. № 6. P. 43–48 (in Russian).
- 8. Шабанов А.Э., Киселев А.И., Федотова Л.С. Параметры потенциальной урожайности сортов картофеля селекционного центра ВНИИКХ // Земледелие. 2018. № 5. С. 34–36. DOI: 10.24411/0044-3913-2018-10509.
- Shabanov A. E., Kiselev A. I., Fedotova L. S. Parameters of potential yield of potato varieties of the vniikh breeding center // Zemledelie. 2018. № 5. P. 34–36 (in Russian).
- 9. Усанова З.И., Самотаева Н.В., Филини В.В. Теория и практика создания высокопродуктивных посадок картофеля в Центральном Нечерноземье. Тверь: «Триада», 2013. 528 с.
- Usanova Z.I., Samotaeva N.V., Filini V.V. Theory and practice of creating highly productive potato plantings in the Central Nechernozem. Tver': «Triada», 2013. 528 p. (in Russian).
- 10. Филин В.И. Программирование урожая: от идеи к теории и технологиям возделывания сельскохозяйственных культур // Известия Нижегородсткого агроуниверситетского комплекса. 2014. № 3 (35). С. 26–36.
- Filin V.I. Crop programming: from the idea to the theory and technologies of cultivation of agricultural crops // Izvesti-ya Nizhegorodstkogo agrouniversitetskogo kompleksa. 2014. № 3 (35). P. 26–36 (in Russian).
- 11. Попов П.Д. Агрохимическая наука производительная сила // Агрохимический вестник. 2001. № 3. С. 21–24.
- Popov P.D. Agrochemical science-productive power // Agrokhimicheskiy vestnik. 2001. № 3. P. 21–24 (in Russian).
- 12. Чекмарев П.А. Воспроизводство плодородия залог стабильного развития агропромышленного комплекса России // Плодородие. 2018. № 100. С. 4—7.

- Chekmarev P.A. Fertility recovery is a fundament of sustainable development of Russian agribusiness // Plodorodiye. 2018. N 1(100). P. 4-7 (in Russian).
- 13. Усанова З.И. Методика выполнения научных исследований по растениеводству. Тверь: Тверская ГСХА, 2015. 143 с
- Usanova Z.I. Methods of performing scientific research on crop production. Tver': Tverskaya GSKHA, 2015. 143 p. (in Russian).
- 14. Муха В.Д., Кочетов И.С. Основы программирования урожайности сельскохозяйственных культур. М.: МСХА, 1994. 252 с.
- Mukha V.D., Kochetov I.S. basics of programming yields of agricultural crops. M.: MSKHA, 1994. 252 p. (in Russian).
- 15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Книга по Требованию, 2012. 352 с.
- Dospekhov B.A. Technique of field experience. M.: Kniga po Trebovaniyu, 2012. 352 p. (in Russian).
- 16. Посыпанов Г.С., Долгодворов В.Е., Жеруков Б.Х. Растениеводство. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 612 с.
- Posypanov G.S., Dolgodvorov V.E., Zherukov B.H. Crop Production. M.: NITS INFRA-M, 2015. 612 p. (in Russian).
- 17. Усанова З.И., Козлов В.В. Формирование урожайности сортов картофеля при возделывании по разным технологиям в условиях Верневожья // Достижения науки и техники АПК. 2014. № 4. С. 42–45.
- Usanova Z.I., Kozlov V.V. Formation of productivity of potato varieties when cultivating using different technologies in Vernevozhye conditions // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2014. № 4. P. 42–45 (in Russian).
- 18. Спиглазова С.Ю. Надежная защита картофеля // Картофель и овощи. 2014. № 3. С. 25–26.
- Spiglazova S.U. Protection of potato must be sure // Kartofel' i ovoshchi. 2014. № 3. P. 25–26 (in Russian).

СТАТЬИ

УДК 502.53(470.62+479.224)

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ВОД РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ И РЕСПУБЛИКИ АБХАЗИЯ

¹Аракелов М.С., ²Ахсалба А.К., ¹Долгова-Шхалахова А.В., ^{3,4}Липилин Д.А., ¹Яйли Е.А.

¹Филиал ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет», Tyance, e-mail: kafirnigan@mail.ru;

²Институт экологии Академии наук Абхазии, Сухум, e-mail: asida_cen@mail.ru; ³ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет», Краснодар, e-mail: lipilin_dmitrii@mail.ru; ⁴ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина», Краснодар

Побережье Черного моря в административных границах Краснодарского края и Республики Абхазия является единой целостной природно-экологической, геоморфологической и экономико-социальной системой. В рамках данного исследования были выполнены работы по оценке современного состояния морских вод акватории восточной части Черного моря у побережья Краснодарского края и Республики Абхазия. Проведена оценка гидрохимических показателей вод восточной части Черного моря: в районах городов Анапа, Новороссийск, Геленджик, Туапсе. В статье сравниваются концентрации основных загрязняющих веществ в фоновых точках акваторий исследуемых районов с аналогичными данными, полученными непосредственно в рекреационных зонах побережья. По итогам выполненного исследования становится очевидным, что при дальнейшем воздействии природных факторов и увеличении антропогенной нагрузки в большей части акватории будет наблюдаться деградация морских вод. Наибольший урон Черному морю наносят неканализованные сточные и дождевые воды, нефтепродукты, цементная пыль и остатки химических веществ, используемых в строительстве, поступающие в прибрежную акваторию со стоком рек, впадающих в море. Через речной сток от бытовых и промышленных источников с удобрениями и моющими средствами попадают соединения азота и фосфора. Возникающие периодически аварийные разливы нефти охватывают сравнительно небольшую площадь поверхности. При этом если уровень загрязнения в открытой части акватории (фоновые точки) сравнительно невелик, то в прибрежной зоне, в особенности в устьевой части рек, такого рода ситуации просто недопустимы, так как приводят к тяжелым последствиям для прибрежных экосистем. Кроме того, основные рекреационные объекты находятся именно на этих прибрежных участках. Таким образом, результаты проведенного исследования заключаются в комплексной оценке рисков природного и техногенного характера, возникающих в процессе берегопользования в регионе.

Ключевые слова: гидрохимические показатели, концентрации загрязняющих веществ, Краснодарский край, Республика Абхазия, экологические риски

HYDROCHEMICAL INDICATORS OF WATERS OF RECREATIONAL ZONES OF THE BLACK SEA COAST OF KRASNODAR TERRITORY AND THE REPUBLIC OF ABKHAZIA

¹Arakelov M.S., ²Akhsalba A.K., ¹Dolgova-Shkhalakhova A.V., ^{3,4}Lipilin D.A., ¹Yayli E.A.

¹The Tuapse brunch of The Russian State Hydrometeorological University, Tuapse, e-mail: kafirnigan@mail.ru;

²Institute of ecology of the Academy of Sciences of Abkhazia,Sukhum, e-mail: asida_cen@mail.ru;

³Kuban State University, Krasnodar, e-mail: lipilin_dmitrii@mail.ru;

⁴Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilina, Krasnodar

The black sea coast within the administrative borders of the Krasnodar territory and the Republic of Abkhazia is a single integral natural-ecological, geomorphological, and economic-social system. The assessment of hydrochemical parameters of the waters of the Eastern part of the Black sea. The article compares the concentrations of the main pollutants in the background points of the water areas of the studied areas with similar data obtained directly in the recreational areas of the coast. Based on the results of the study, it becomes obvious that further exposure to natural factors and an increase in the anthropogenic load in most of the water area will be observed degradation of marine waters. The greatest damage to the Black sea is caused by non-channeled sewage and rainwater, oil products, cement dust and residues of chemicals used in construction that fall into the coastal waters with the flow of rivers that flow into the sea. Nitrogen and phosphorus compounds are supplied via river runoff from domestic and industrial sources with fertilizers and detergents. Occasional oil spills cover a relatively small surface area. At the same time, if the level of pollution in the open part of the water area (background points) is relatively small, then in the coastal zone and, in particular, in the estuaries of rivers, such situations are simply unacceptable, since they lead to severe consequences for coastal ecosystems. In addition, the main recreational facilities are confined to these coastal areas.

Keywords: hydrochemical indicators, concentrations of pollutants, Krasnodar territory, Republic of Abkhazia, environmental risks

«2018 год становится одним из самых жарких в истории, с новыми температурными рекордами во многих странах. Это не удивительно. Тепловые волны и высокая температура, которые мы испытываем, согласуются с тем, что мы ожидаем в ре-

зультате изменения климата, вызванного выбросами парниковых газов. Это не сценарий будущего. Это происходит сейчас» – с таким сообщением выступила Всемирная метеорологическая организация (ВМО), являющаяся ключевым специализированным

учреждением Организации Объединенных Наций, занимающимся исследованиями в области метеорологии.

Эпизоды экстремального тепла и осадков учащаются в результате изменения климата. Хотя невозможно связать отдельные экстремальные события 2018 г. с изменением климата, они совместимы с общей долгосрочной тенденцией, вызванной ростом концентрации парниковых газов, как считает ВМО.

Экстремальные погодные условия уходящего года напрямую сказались на результатах определения гидрохимических показателей прибрежных вод Черного моря на участке от Анапы до Туапсе [1].

Черное море является одним из основных рекреационных объектов Краснодарского края и Республики Абхазия, от экологического состояния которого зависит в том числе и экономика региона. Основным видом загрязнения акватории являются нефтепродукты. Факторами, влияющими на концентрацию нефтепродуктов в акватории, служат: сток рек, основное черноморское течение, метеорологические условия и антропогенная нагрузка [2].

Оценка уровня солености морских вод, особенно в относительно небольшой прибрежной акватории, крайне важна ввиду того, что получаемые в рамках таких исследований результаты в перспективе возможно использовать для достижения целей рационального использования туристскорекреационных ресурсов в прибрежных зонах, развития кормовой базы и тем самым увеличения популяции промысловой морской фауны, формирования и развития бальнеологической составляющей как основы прибрежного туризма и рекреации.

Как известно, в поверхностном слое морских вод имеет место годичный цикл динамики содержания кислорода. Причина этого — влияние целого ряда факторов, таких как: годовой ход температуры воды, поступление или частичный отток кислорода в нижний слой атмосферы при избыточной его концентрации, использование кислорода для дыхания и окисления органических веществ.

Необходимо учитывать, что Черноморское побережье Краснодарского края характеризуется в определенной степени целостностью физико-географических особенностей, что является следствием его приморского положения, расположения на юго-западном макросклоне Главного Кавказского хребта, субтропического кли-

мата. Протяженность Черноморского побережья Краснодарского края составляет порядка 350 км, а ширина изменяется в интервале 10–70 км. Площадь территории указанного региона оценивается примерно в 9000 км². При этом суммарная площадь региона, включая 12-мильную зону морских территориальных вод страны, почти в два раза больше – 16780 км² (рис. 1) [3].

С точки зрения широтной зональности регион находится в зоне умеренного климатического пояса, однако благодаря приморскому положению и наличию к северу от побережья мощной горной системы Большого Кавказа создаются все условия для формирования локальной азональности климатических и других природных его условий.

Надо отметить, что географические особенности региона оказывают колоссальное воздействие на его экономико-социальные характеристики. Это имеет место во всей прибрежной зоне региона, от Керченского пролива до границы с Республикой Грузия по реке Ингури. При этом необходимо учитывать то обстоятельство, что Краснодарское Причерноморье и Республика Абхазия не только тесно связаны единообразием физико- и экономико-географических характеристик, но и характеризуются в определенной степени историко-культурной целостностью. Как следствие, имеет место взаимная схожесть природно-хозяйственных особенностей двух регионов.

Цель исследования: анализ пространственно-временной динамики состояния прибрежных вод восточной части Черного моря в пределах побережья Краснодарского края и Республики Абхазия в разрезе значений важнейших гидрохимических показателей.

Материалы и методы исследования

Мониторинг состояния морской акватории в прибрежной зоне производится на постоянной основе за счет деятельности сети станций Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу состояния окружающей природной среды (Росгидромета). Целью функционирования станции является текущий контроль над уровнем загрязнения морской среды. Как правило, станции размещаются в тех районах побережья, которые в большей степени подвержены интенсивной антропогенной нагрузке, с целью оперативного сбора и анализа информации о возникновении очагов загрязнения морских акваторий и устьев рек, а также для оценки динамики гидрохимических и иных параметров в течение года и в многолетний период. Благодаря имеющейся у Росгидромета сети станций осуществляется мониторинг всей прибрежной акватории региона и устьевых участков крупнейших рек побережья, куда в конечном итоге поступают промышленные и хозяйственно-бытовые стоки и откуда они могут распространяться дальше [4].

Оценка проводилась на соответствие значений гидрохимических показателей установленным требованиям и предельно допустимым концентрациям.

К основным показателям, характеризующим качество морских вод в прибрежной акватории Черного моря, относятся фосфаты, нитриты, кремний, азот аммонийный, нефтяные углеводороды, СПАВ и растворенная ртуть — именно по этим веществам аккредитована лаборатория ГМБ—Туапсе, так как они являются актуальными для исследуемого района.

С июня 2018 г. по август 2019 г. анализ проб морских вод проводился в Лаборатории комплексного экологического мониторинга состояния окружающей среды на базе

ГБПОУ КК «Туапсинский гидрометеорологический техникум», гидрохимические съемки осуществлялись один раз в три месяца. Пробы воды отбирались непосредственно в рекреационных пляжных зонах, расположенных в устьях рек в исследуемых районах.

Отбор проб проводили для определения концентраций аммонийного азота, нитритов, нефтяных углеводов (НУ), СПАВ, биохимической потребности кислорода (БПК), взвешенных веществ, также рассчитывали водородный показатель среды. В настоящее время инфракрасный спектрофотометрический (ИК) метод является ключевым инструментом контроля над концентрацией нефтепродуктов в морской воде. Его применение позволяет осуществить скрупулезный анализ и дать оценку параметров нефтяного загрязнения, проводить постоянный мониторинг загрязнения морской акватории нефтяными углеводородами с учетом всех нефтяных фракций, что дает возможность говорить о достоверности и точности полученных результатов измерений [5].



Рис. 1. Карта Черноморского побережья Краснодарского края

Таблица 1 Среднегодовые значения концентрации химических соединений за 2013–2017 гг.

| Территория | Фосфаты, мкг/дм ³ | Нитриты, мкг/дм ³ | Кремний, мкг/дм ³ | Азот ам- монийный мкг/дм ³ | Нефтяные углеводоро- ды, мг/дм ³ | СПАВ, мкг/дм ³ | Растворенная ртуть, мкг/дм ³ | |
|--------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|---|------------------------------|---|--|
| ПДК | 200 | 80 | 1000 | 400 | 50 | 100 | 0,1 | |
| 2013 г. | | | | | | | | |
| Анапа | 9,2 | 4,0 | 243,0 | 43,5 | 0,010 | 5,8 | 0,000 | |
| Новороссийск | 11,4 | 3,3 | 249,0 | 32,3 | 0,010 | 5,7 | 0,000 | |
| Геленджик | 12,0 | 2,7 | 203,0 | 35,9 | 0,010 | 4,7 | 0,010 | |
| Туапсе | 22,0 | 4,0 | 239,1 | 53,0 | 0,020 | 4,8 | 0,005 | |
| | | | 20 | 14 г. | | | | |
| Анапа | 13,0 | 3,1 | 241,0 | 51,8 | 0,010 | 3,5 | 0,004 | |
| Новороссийск | 15,8 | 2,9 | 234,0 | 63,0 | 0,020 | 5,0 | 0,010 | |
| Геленджик | 13,6 | 3,3 | 227,0 | 37,2 | 0,010 | 4,2 | 0,004 | |
| Туапсе | 13,7 | 1,5 | 228,0 | 31,9 | 0,010 | 2,5 | 0,005 | |
| | | | 20 | 15 г. | | | | |
| Анапа | 11,0 | 1,3 | 297,0 | 104,0 | 0,010 | 5,5 | 0,000 | |
| Новороссийск | 12,0 | 1,3 | 266,0 | 94,4 | 0,020 | 6,9 | 0,006 | |
| Геленджик | 13,0 | 1,4 | 240,0 | 114,0 | 0,004 | 6,0 | 0,000 | |
| Туапсе | 40,0 | 2,4 | 114,0 | 51,0 | 0,020 | 6,0 | 0,001 | |
| | | | 20 | 16 г. | | | | |
| Анапа | 54,1 | 3,4 | 436,0 | 74,9 | 0,026 | 6,2 | 0,000 | |
| Новороссийск | 58,3 | 2,8 | 471,0 | 78,4 | 0,034 | 5,2 | 0,000 | |
| Геленджик | 48,6 | 2,4 | 339,0 | 72,4 | 0,013 5,1 | | 0,000 | |
| Туапсе | 37,3 | 2,1 | 303,0 | 53,6 | 0,025 | 11,9 | 0,000 | |
| | 2017 г. | | | | | | | |
| Анапа | 12,8 | 1,9 | 203,7 | 100,8 | 0,013 | 10,0 | 0,005 | |
| Новороссийск | 14,3 | 2,1 | 185,8 | 197,9 | 0,003 | 10,0 | 0,010 | |
| Геленджик | 12,4 | 0,9 | 183,4 | 183,9 | 0,004 | 10,0 | 0,010 | |
| Туапсе | 12,9 | 0,7 | 278,5 | 81,0 | 0,015 | 10,0 | 0,006 | |

Для определения солености основным методом является аргентометрический, или метод оценки солености морской воды по концентрации хлора. Данный метод оценки «хлорности» воды основан на титровании отмеренной пробы морской воды (15 мл) раствором азотнокислого серебра (AgNO3) заданной концентрации. Эта процедура производится, пока не прекратится образование белого творожистого осадка хлорного серебра (AgCI), иными словами, до полного выпадения в осадок всех галогенидов.

Для оценки условий обитания морских организмов, прежде всего рыб, а также косвенной оценки качества морской воды, интенсивности процессов образования и разложения органических веществ, способности к самоочищению водоемов и иного определяется концентрация кислорода в поверхностных водах на основе метода Винклера, который также включен в программу наблюдений.

Результаты исследования и их обсуждение

Среднегодовые значения концентрации вышеуказанных загрязнителей в период 2013–2017 гг. были рассчитаны на основе выполненных исследований в гидрохимической лаборатории ГМБ-Туапсе (табл. 1).

Характерной особенностью результатов анализа является тот факт, что все значения исследуемых показателей значительно ниже ПДК. При более детальном рассмотрении показателей в динамике наблюдаются относительные вариации. Так, видно, что 2017 г. характеризуется уменьшением концентрации углеводородов нефти, а также кремния, фосфатов и нитритов, при этом значения по аммонийному азоту и ртути, наоборот, увеличились по сравнению с 2016 г.

Состояние морских вод в исследуемом периоде анализировалось с помощью соотнесения полученных значений гидрохимических показателей с установленными

нормативами и предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Усредненные значения исследуемых гидрохимических показателей представлены в табл. 2.

На сегодняшний день Абхазским государственным центром экологического мониторинга (АГЦЭМ) 2 раза в месяц осуществляются мониторинг и комплексная оценка состояния акватории Сухумской бухты Черного моря на основании гидрохимических параметров (в первых числах и в середине месяца) следующим образом. В пунктах «Айтар», «Большой причал», в районе аварийного сброса «Эльбрус», «ГИАНА» (Сухумский мыс), Новый Афон отбираются пробы воды и затем направляются для анализа в лабораторию Института экологии АНА.

Независимо от времени года доля концентрация растворенного кислорода в пробах морской воды должна быть не ниже 4 мг/л. Минимальный предел выявления растворенного кислорода при этом составляет $0.05 \, \text{мг/л}$.

БПК (биохимическая потребность кислорода) – количество кислорода в миллиграммах, требуемое для окисления находящихся в 1 л воды органических веществ в аэробных условиях, без доступа света, при 20°С, за определенный период в результате протекающих в воде биохимических процессов [6].

Анализ полученных данных показывает, что наиболее критичным загрязняющим компонентом морских вод на исследуемом участке является аммонийный азот, который служит индикатором стока неканализованных вод суши. Так, в Анапе концентрация аммонийного азота составила 6,0 ПДК, в Новороссийске – 4,0 ПДК, в Геленджике – 4,5 ПДК. в Туапсе – 6,75 ПДК.

Концентрация нитритов превышена в Геленджике – 1,75 ПДК.

К сожалению, в 2018 г. нарушилась тенденция сокращения попадания НУ в прибрежные воды Черного моря: зафиксированы значительные превышения ПДК по концентрации НУ в Новороссийске (5,6 ПДК) и Туапсе (3,6 ПДК). Такое положение сохранялось в течение всего периода наблюдений.

Повышенная концентрация аммонийного азота вызвала, как следствие, повышение уровня биологического потребления кислорода (БП K_5): во всех исследуемых точках среднегодовой показатель этого процесса превышен не менее чем в два раза.

Значительным колебаниям подвергся водородный показатель среды (рН), его максимальное значение зафиксировано на уровне 8,8 в сентябре 2018 г. в рекреационных водах г. Туапсе (центральный городской пляж, устье реки Туапсе) при допустимых верхних значениях — 8,5.

Что же касается основных источников пополнения поверхностного слоя морских вод кислородом, то здесь необходимо отметить процессы поглощения его из атмосферы и продуцирование в процессе фотосинтеза водными организмами, прежде всего синезелеными водорослями. Однако оба этих процесса имеют место только лишь в поверхностном слое воды. К тому же на их скорость оказывают сильное воздействие колебания температуры и атмосферного давления.

Наибольший урон Черному морю наносят загрязнения рек, попадающие в него с неканализованными сточными и дождевыми водами, нефтепродуктами, цементной пылью и остатками химических веществ, используемых в строительстве. Через речной сток от бытовых и промышленных источников с удобрениями и моющими средствами поступают соединения азота и фосфора (рис. 2).

Усредненные значения гидрохимических показателей за период с июня 2018 г. по август 2019 г.

| Показатель | В ₃ В, мг/дм ³ | Нитриты, мг/дм³ | БПК ₅ мг/дм³ | Азот аммоний- ный, мг/дм ³ | Нефтяные углево- дороды, мг/дм ³ | СПАВ, мг/дм³ |
|--------------|---|---------------------------|----------------------------------|--|--|-----------------|
| ПДК | 8,0 мг/дм³ | 0,08 _{мг/дм³} | не более 3 мг/дм ³ | 0,4 мг/дм³ | 0,05 мг/дм ³ | 0,1 мг/дм³ |
| | | | Террито | рия | | |
| Анапа | 8,2 | 0,07 | 6,2 | 2,4 | 0,04 | 0,04 |
| Новороссийск | 8,0 | 0,03 | 6,8 | 1,6 | 0,28 | 0,08 |
| Геленджик | 7,9 | 0,14 | 6,4 | 1,8 | 0,03 | 0,06 |
| Туапсе | 9,3 | 0,04 | 6,5 | 2,7 | 0,18 | 0.05 |

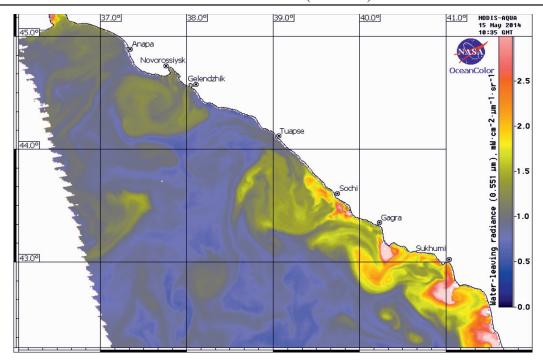


Рис. 2. Распределение концентрации взвешенного вещества, поступающего в прибрежные воды с речной водой, по данным MODIS-Aqua за 15 мая 2019 г. [7]

Выводы

Обобщая полученные гидрохимические показатели рекреационных прибрежных вод Черного моря на участке от Анапы до Туапсе, можно сделать вывод, что в настоящий момент значения концентраций аммонийного азота и НУ значительно превышены, а значения БПК_5 и рН выходят за границы нормы.

Как показали исследования, в период с декабря по июнь в прибрежной акватории восточной части Черного моря наблюдается процесс снижения уровня солености морской воды. При этом минимальный уровень солености приходится на май, что связано, как правило, с прохождением паводковых явлений на реках Черноморского побережья региона. К тому же необходимо учитывать тот факт, что речной сток оказывает компенсирующее воздействие прежде всего на степень солености морской воды именно в акватории, примыкающей к береговой зоне. Уровень солености в «открытом море» в основном изменяется под влиянием ряда других факторов. В периоде с июня по сентябрь отмечается обратная ситуация - происходит снижение уровня содержания соли в прибрежных слоях морских вод, что объясняется уменьшением

объемов стока рек побережья в летний засушливый период.

Полученные данные о годовой динамике уровня солености прибрежных слоев морской воды свидетельствуют о том, что минимальное значение солености (12,7%) имеет место в весенний период, что объясняется, как было указано выше, увеличением объемов речного стока и осадков в прибрежной зоне. Максимальное значение уровня солености (17,6%) отмечается в зимний сезон, ведь именно в этот период происходят значительное уменьшение объема речного и поверхностного стока и, как следствие, повышение содержания солей в прибрежных водных слоях исследуемого региона.

Из сравнительного анализа среднемесячного распределения солености можно сделать обобщающий вывод о том, что за последний год в целом показатель солености морских вод снизился в сравнении с прошлым периодом примерно на 2,3%.

Экологическая роль уровня солености морской воды заключается в его влиянии на биологическую продуктивность моря, в частности на видовое разнообразие биоресурсов в целом и рыб в частности. Несмотря на сравнительную видовую обедненность Черного моря (что, кстати, является

следствием низкой солености), данный факт ни в коей мере не влечет за собой недостаток биоресурсов в целом (так называемого суммарного объема биомассы). Это происходит за счет притока органических и минеральных веществ, продуцируемого речными стоками, что в свою очередь нейтрализует негативное влияние замедленного вертикального водообмена, характерного для Черного моря [8].

В акватории исследуемого региона аварийные разливы нефтепродуктов – явление довольно частое. При этом уровень загрязнения нефтью и нефтепродуктами в открытой части акватории сравнительно невелик, тогда как в прибрежных областях и в устьевых зонах рек побережья он подчас бывает критическим, что совершенно недопустимо. Последствия этих и без того вопиющих чрезвычайных ситуаций усугубляются тем, что в прибрежной зоне сосредоточены основные туристско-рекреационные объекты.

Исследование было выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 19-55-40007 Абх_а) и Академии наук Абхазии (грант № 19-00-34) «Разработка научных основ комплексной оценки геоэкологических рисков природного и техногенного характера для целей обеспечения устойчивого развития береговых систем восточной части Черного моря при планировании хозяйственно-экономического комплекса»).

Список литературы / References

1. Сергин С.Я., Цай С.Н., Магулян А.О., Земцов Р.В. Умеренный и субтропический типы климата Азово-Черноморского бассейна // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2018. № 51. С. 58–62.

Sergin S.Ya., Tsai S.N., Magulyan A.O., Zemtsov R.V. Temperate and Subtropical Climates of the Azov-Black Sea Basin // Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2018. № 51. P. 58–62 (in Russian)

2. Аракелов М.С., Долгова-Шхалахова А.В., Ахсалба А.К., Марандиди С.И. Комплексная оценка качества прибрежных вод восточной части Черного моря на участке от Анапы до Туапсе для снижения рисков природного и техногенного характера // Теоретические и прикладные проблемы географической науки: демографический, социальный, правовой, экономический и экологический аспекты материалы международной научно-практической конференции: материалы международной научно-практической конференции. Воронеж, 2019. С. 59–62.

Arakelov M.S., Dolgova-Shkhalakhova A.V., Akhsalba A.K., Marandidi S.I. Complex assessment of the quality of coastal waters in the Eastern part of the Black sea from Anapa

to Tuapse to reduce the risks of natural and technogenic nature // Teoreticheskiye i prikladnyye problemy geograficheskoy nauki: demograficheskiy, sotsial'nyy, pravovoy, ekonomicheskiy i ekologicheskiy aspekty materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Voronezh, 2019. P. 59–62 (in Russian).

3. Аракелов М.С., Ахсалба А.К., Гогоберидзе Г.Г., Долгова-Шхалахова А.В., Жиба Р.Ю., Яйли Е.А. К вопросу анализа геоморфологического и геоэкологического состояния и оценки природных и антропогенных рисков снижения устойчивости береговых систем восточной части Черного моря // Успехи современного естествознания. 2018. № 12–2. С. 333–338. DOI: 10.17513/use.37017.

Arakelov M.S., Ahava A.K., Gogoberidze G.G. Dolgova-Shkhalakhova A.V., Giba R.Yu., Yaili E.A. Analysis of geomorphological and geo-ecological condition and natural and anthropogenic risks reducing the resilience of coastal systems of the Eastern part of the Black sea // Advances in current natural sciences. 2018. № 12–2. P. 333–338 (in Russian).

4. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2017 / под ред. Коршенко А.Н. М.: Наука, 2018. 226 с.

The quality of marine waters according to hydrochemical indicators. Yearbook 2017 / pod red. Korshenko A.N. M.: Nauka, 2018. 226 p. (in Russian).

5. Церенова М.П., Музалевский А.А. К вопросу комплексной геоэкологической оценки урбанизированной территории в прибрежной зоне. Экологический и экономический аспекты // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2015. № 38. С. 189–200.

Tserenova M.P., Muzalevsky A.A. On the issue of complex geo-ecological assessment of urbanized territory in the coastal zone. Ecological and economic aspects // Uchenyye zapiski Rossiyskogo gosudarstvennogo gidrometeorologicheskogo universiteta. 2015. № 38. P. 189–200 (in Russian).

6. Гицба Я.В., Экба Я.А. Оценка загрязнения нефтепродуктами Сухумской акватории Черного моря // Материалы всероссийской научной конференции: Экология 2011 – море и человек. Таганрог, 2011. С. 49–53.

Gitsba Ya.V., Ekba Ya.A. Assessment of oil product contamination in the Sukhumi black sea area // Materialy vserossiyskoy nauchnoy konferentsii: Ekologiya 2011 – more i chelovek. Taganrog, 2011. P. 49–53 (in Russian).

7. Гицба Я.В., Экба Я.А. Гидрофизические процессы в Абхазской акватории Черного моря // Доклады Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи имени А.С. Попова. Материалы Международного симпозиума. Серия «Научные Международные симпозиумы. Инженерная экология». Под ред. Ф.А. Мкртчяна. 2019. С. 237–242.

Gitsba Ya.V., Ekba Ya.A. Hydrophysical processes in the Abkhaz Black sea // Doklady Rossiyskogo nauchno-tekhnicheskogo obshchestva radiotekhniki, elektroniki i svyazi imeni A.S. Popova. Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma. Seriya «Nauchnyye Mezhdunarodnyye simpoziumy. Inzhenernaya ekologiya». Pod red. F.A. Mkrtchyana. 2019. P. 237–242 (in Russian).

8. Экба Я.А., Гицба Я.В. Влияние регионального потепления климата на изменения температуры и солености поверхностных вод сухумской акватории Черного моря // Вестник Академии наук Абхазии. 2011. № 3. С. 201–207.

Ekba Ya.A., Gitsba Ya.V. Influence of regional climate warming on changes in temperature and salinity of surface waters of the Sukhumi water area of the Black sea // Vestnik Akademii nauk Abkhazii. 2011. № 3. P. 201–207 (in Russian).

УДК 550.4.02:504.53(571.54/.55)

СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В РАЙОНАХ ТЕХНОГЕННЫХ БИОГЕОХИМИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Войченко А.А., Войченко Т.Ю., Лескова О.А., Лесков А.П.

ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия», Чита, e-mail: bondarevich84@mail.ru

Районы Забайкалья, где велась интенсивная горнопромышленная деятельность, характеризовались высокими концентрациями в почвенном покрове и технозёмах токсичных элементов: серебра, мышьяка, кадмия, свинца, сурьмы и цинка. По всем элементам имелся следующий характер распределения: максимальные значения в составе техноземов, далее в почвах буферных зон хвостохранилищ, и минимальные количества в условно фоновых районах сбора проб. Техноземы большинства горно-обогатительных комбинатов представляют собой антропогенные обеднённые полиметаллические месторождения. Интенсивнее всего загрязнение токсичными элементами отмечалось в условиях отвалов сереброплавильных рудников, расположенных в окрестностях села Нерчинский Завод, где добыча и переработка руды осуществлялась более 170 лет назад (с 1704 по 1853 г.). По величине индекса геоаккумуляции (I_{geo}) сверхвысокие значения в 21,33 единицы отмечены по кадмию в отвалах рудника Кадая, очень сильное загрязнение отмечено также и практически по всем точкам пробоотбора, за исключением поселка Ново-Орловск, для которого степень загрязнения по сурьме имела значения от умеренного до сильного. Чрезвычайно опасными по интенсивности загрязнения были техноземы сёл Нерчинский Завод, Кадая и Воздвиженка и поймы реки Средняя Борзя, с максимумом в 702 единицы (Нерчинский Завод). Также отмечалась интенсивная миграция микроэлементов и в воду реки Средняя Борзя, что увеличивает площадь загрязнённого района и приводит к перемещению ксенобиотиков в реку Аргунь. Значения коэффициента суммарного токсикологического загрязнения имели максимумы для техноземов и почв буферных зон – 385,24 (село Нерчинский Завод), 306,90 (село Кадая), 319,33 (село Воздвиженка), что относит их к территориям, имеющим опасный уровень загрязнения. Исследованная территория характеризуется сложной природной геохимической обстановкой, йодо- и селенодефицитом и микроэлементозом (болезнью Кашина-Бека), приводящим к развитию у населения экологозависимых патологий, которые могут быть усилены техногенно созданными источниками высокотоксичных элементов.

Ключевые слова: токсичные элементы, почвы, техноземы, горнопромышленный комплекс Забайкалья, микроэлементозы

THE STATE OF THE SOIL COVER IN THE AREAS OF TECHNOGENIC BIOGEOCHEMICAL ANOMALIES IN TRANSBAIKAL REGION

Bondarevich E.A., Kotsyurzhinskaya N.N., Voychenko A.A., Voychenko T.Yu., Leskova O.A., Leskov A.P.

Chita State Academy of Medicine, Chita, e-mail: bondarevich84@mail.ru

The Transbaikal region areas, where intensive mining activity was carried out, were characterized by high concentrations of toxic elements - silver, arsenic, cadmium, lead, antimony, and zinc in the soil cover and technozems. All elements were distributed as follows: the maximum values were detected in the composition of technozems, then in the soils of the buffer zones of the tailings, and the minimum quantities were found in conditionally background sampling areas. The most mining and processing enterprises technozems of are anthropogenic depleted polymetallic deposits. The most intense toxic elements pollution was noted in the conditions of dumps of silver smelters located in the vicinity of the village of Nerchinsky Zavod, where ore was mined and processed more than 170 years ago (from 1704 to 1853). According to the geo-accumulation index (I_{geo}) , ultrahigh values of 21,33 units were noted for cadmium in the dumps of the Kadaya mine, very strong pollution was also observed at almost all sampling points, except for the village of Novo-Orlovsk, for which the pollution degree by antimony had values from medium to high. Extremely hazardous in terms of pollution intensity were technozems from the villages of Nerchinsky Zavod, Kadaya and Vozdvizhenka and the floodplains of the Srednyaya Borzya River, with a maximum of 702 units (Nerchinsky Zavod). Intensive migration of trace elements into the water of the Middle Borzya River was also noted, which increases the area of the contaminated area and leads to the movement of xenobiotics into the Argun River. The values of the total toxicological pollution coefficient had maximums for technozems and soils of buffer zones -385,24 (Nerchinsky Zavod village), 306,90 (Kadaya village), 319,33 (Vozdvizhenka village), which refers them to territories with a dangerous level of pollution. The territory under consideration is characterized by a challenging natural geochemical situation, iodine and selenium deficiency, and microelementosis (Kashin - Beck disease), which causes the development of environmentally dependent pathologies in the population that can be amplified by technologically created sources of highly toxic elements.

Keywords: toxic elements, soils, technozems, mining complex of Transbaikalia, microelementosis

Восточное Забайкалье является важной сырьевой базой России, на территории которой производится добыча и переработка ряда ценных минеральных ресурсов: цветных и драгоценных металлов, полуметал-

лов и минералов [1]. Однако масштабная добыча привела к формированию на поверхности значительных по объемам отвалов пустой и частично переработанной породы. Содержащиеся в этих техногенных

скоплениях химические элементы подвергаются химической и биологической трансформации, что приводит к их интенсивной миграции и накоплению в почве и растительных объектах. По трофическим цепям многие токсичные соединения поступают в организмы животных и человека, приводя к нарушению металло-лигандного гомеостаза и провоцируя патологические состояния (биоэлементозы) [2]. Опасность отвалов также связана с их расположением относительно населенных пунктов, в которых организована переработка добываемой руды. В связи с экономическим кризисом в постсоветский период многие из предприятий горнопромышленного комплекса были закрыты и разрушены, а мероприятия по уменьшению негативного воздействия техногенных объектов на экосистемы и населенные пункты не проводились.

Целью исследования было изучение химического состава почв и техноземов из окрестностей населенных пунктов, где производится добыча и частичная переработка полиметаллических руд, и оценка их негативного воздействия на прилегающие территории.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовались почвы и технозёмы, отобранные в населённых пунктах, подвергающихся техногенному воздействию из-заработыгорно-обогатительных комбинатов (ГОКов), или где ведётся добыча руды, а также в окрестностях хвостохранилищ и отвалов. Отбор проб из техногенных геохимических аномалий был проведён в 2018 г. в следующих пунктах: Приаргунский район – село Кличка, Газимуро-Заводский район - посёлок Новоширокинский и село Тайна (фон), Нерчинско-Заводский район – сёла Нерчинский Завод и Воздвиженка и пойма реки Уров (фон), Калганский район – сёла Кадая, Калга (фон) и пойма реки Средняя Борзя, Агинский район – поселки городского типа (пгт) Ново-Орловск и Агинское (фон). Масса отходов горного производства и содержание в них приоритетных загрязнителей имеют крайне высокие значения, характеризующие хвостохранилища и отвалы горно-обогатительных комбинатов как месторождения, имеющие техногенное происхождение [1; 3]. Всего в работе использовано 24 пробы в 2-кратной повторности. Аналитическое определение 32 химических элементов (Ag, Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, K, La, Li, Mg,

Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Sr, Ti, V, W, Y, Zn и Zr) проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Perkin Elmer NexION 300D (США) в аккредитованной лаборатории ЗАО «СЖС Восток Лимитед» (г. Чита).

Распределение концентраций загрязняющих веществ статистически значимо отличалось от нормального, в связи с чем, кроме значения величины среднего и ошибки среднего ($M\pm\sigma$), определялись медиана (Me) и интерквартильный размах (Q_{25} - Q_{75}), а для оценки значимых различий применялся непараметрический U-критерий Манна-Уитни, достоверными считали выборки при 95%-ном пороге вероятности (p < 0.05) [4].

Для анализа данных использовались эколого-геохимические коэффициенты — техногенной концентрации химических $C_{\text{пробы}}$

элементов: $K_c = \frac{C_{\text{пробы}}}{C_{\text{фон}}}$, и суммарного пока-

зателя загрязнения $(Z_{\scriptscriptstyle CT})$ с учётом токсичности химических элементов, которые рассчитывали с использованием поправочных коэффициентов: $Z_{CT} = \Sigma (K_{C(i)} \cdot K_{T(i)}) - (n-1)$, где $K_c > 1,5$, n- число химических элементов. В расчётах использовали следующие коэффициенты токсичности ($K_{T(t)}$): для химических элементов 1-го класса опасности (As, Cd, Pb, Zn) равны 1,5; для 2-го класса (Cu, Sb) – 1 [5]. Суммарный показатель загрязнения имел следующую градацию критических значений: менее 16 – допустимая, наиболее низкий уровень заболеваемости у детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений; от 16 до 32 – умеренно опасная, увеличение общей заболеваемости; от 32 до 128 - опасная, увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечно-сосудистой системы; более 128 – чрезвычайно опасная категория загрязнения, увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение числа токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости, гипертрофии новорождённых).

Для учёта содержания, токсичности и буферности конкретной почвы рассчитывался индекс суммарной токсикологической оценки загрязнённости почв токсичными

элементами:
$$P_t = \sum_{i} \left[\frac{(C_{\text{почва}} - C_{\text{фон}})}{(C_{\text{фон}} + \Pi ДД)} \right] - (n-1),$$

где $C_{\text{почва}}$ и $C_{\phi \text{он}}$ – содержание химического элемента (мг/кг) в условиях исследуемой

площадки в сравнении с фоновыми территориями, стандартная величина предельно допустимого дополнения (ПДД), которая для Zn составляла 16 мг/кr, As-4,5 мг/кr, Cd-0,76 мг/кr, Sb-0,53 мг/кr, Pb-55 мг/кr [6]. Градации почв по токсикологической оценке имеют следующие степени: допустимая <10, слабая 10-40, средняя 40-80, опасная 80-200, очень опасная 200-500, чрезвычайно опасная 500-3000 [7]. Индекс геоаккуму-

ляции (I_{geo}) [8, c. 142]: $I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_m}{1.5 \cdot B_m} \right]$ где B_{m} — фоновая концентрация элемента в почве по A.П. Виноградову [9]; C_m – измеренная концентрация химического элемента в почве; 1,5 – коэффициент коррекции, позволяет анализировать естественные отклонения в содержании элемента в природе и снижать антропогенное влияние. Градация интенсивности загрязнения в зависимости от значений индекса имеет следующие значения: <0 − практически незагрязненная, > 0-1 – от незагрязненной до умеренной, > 1-2 – умеренная, > 2-3 – от умеренной до сильной, > 3-4 сильная, > 4-5 – от сильной до очень сильной, > 5 - очень сильная [8, с. 143].

Степень опасности загрязнения почв определялась в соответствии с ориентировочной оценочной шкалой опасности загрязнения почв по МУ 2.1.7.730-99 «Почва. Очистка населённых мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населённых мест», ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» и ГН 2.1.7.2042-06 «Ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве».

Результаты исследования и их обсуждение

Химический состав почв и техноземов населенных пунктов, входящих в состав горнопромышленного комплекса Забайкальского края, выявил аномально высокие количества серебра, мышьяка, кадмия, свинца, сурьмы и цинка (табл. 1). Превышение нормирующих показателей по содержанию серебра отмечено в 8 пробах (от 10,8 до 118,9 раза по сравнению с кларком для городских почв), максимальные цифры по мышьяку отмечались для техноземов из хвостохранилищ и отвалов сёл Нерчинский Завод, Воздвиженка и Кадая. Следует отметить, что содержание это-

го элемента превышало все нормирующие показатели и для сравнительно экологически благополучных территорий, например в почве с. Калга зарегистрировано более чем двукратное превышение ОДК (As), в пойме р. Уров – 18,4-кратное превышение ОДК (Аs) (табл. 1). Высокотоксичный кадмий в сверхвысокой концентрации присутствовал в технозёмах сёл Нерчинский Завод, Кадая и Воздвиженка, превышая ПДК более чем в 60 раз. Очень высокие значения по свинцу получены для техноземов п. Кличка и сёл Нерчинский Завод и Кадая, с максимальным содержанием в образцах из поймы р. Средняя Борзя, где отмечено 75-кратное превышение ОДК. Концентрация сурьмы превышала ПДК в технозёмах сёл Нерчинский Завод, Кадая и Воздвиженка, с максимумом превышения ПДК в 128 раз. Избыток цинка зафиксирован в технозёмах всех горно-обогатительных комбинатов с максимумом превышения ОДК в 45,5 раз для проб из сёл Нерчинский Завод и Кадая. Кроме того, в исследованных пробах зафиксировано количество элементов, многократно превышающее медианные значения для природных малонарушенных почв Забайкалья (табл. 1).

Анализ обобщённых данных по каждому типу изученных субстратов выявил следующие особенности. Максимальные значения среднего содержания и медианы токсичных элементов отмечались в технозёмах и в почвах буферных зон, расположенных по их периферии (табл. 2). Сравнение трёх групп данных (без учёта Ag) для оценки достоверности различий между ними с помощью критерия Манна-Уитни по величинам среднего содержания химических элементов показало значимые различия между технозёмами и фоновыми участками (U = 2, p = 0.037). Сравнение остальных совокупностей не имело достоверных отличий («фон-почвы населённых пунктов»: U = 8, p = 0.40, «технозём-почвы населённых пунктов»: U = 5, p = 0.14). По совокупностям медиан значимых отличий не выявлено.

Тем не менее медианы уровня загрязнённости техноземов всеми токсичными элементами многократно превышали уровни ПДК и ОДК, что характеризует эти объекты как техногенные пустыни, неблагоприятные для жизни микробиоты и растений. Почвы в населённых пунктах можно охарактеризовать как урбанозёмы, обогащённые As, Pb, Sb и в меньшей мере Zn, при сравнении с медианным содержанием и кларком для

городских почв [9]. Фоновые участки характеризовались небольшим избыточным содержанием мышьяка, по остальным элементам превышения нормирующих показателей не отмечалось (табл. 2).

Относительный уровень загрязнения почв и техноземов биогеохимических горно-промышленных аномалий оценивали с помощью индекса геоаккумуляции (табл. 3). Максимальные значения по данному геохимическому коэффициенту отмечались для технозёмов и почв, сформировавшихся возле хвостохранилищ и отвалов. Сверхвысокое значение ($I_{geo} = 21,33$) отмечено по кадмию в отвалах рудника Кадая, очень сильное загрязнение отмечено также и практически по всем точкам проботбора, за исключением пгт Ново-Орловск, для которого значение степени загрязнения по сурьме было от умеренного до сильного.

Технозёмы у сёл Нерчинский Завод и Кадая имели по всем приоритетным загрязнителям крайне высокие величины. Также следует отметить, что почвы относительно благополучных площадок имели сверхвысокие значения индекса геоаккумуляции ряда токсичных элементов, что, в свою очередь, может оказывать влияние на минеральный обмен растений, животных и человека, обитающих и проживающих в этих районах. Лесные почвы посёлка Новоширокинский и села Калга сильно загрязнены серебром, а в посёлке Кличка на фоне загрязнения садовой почвы серебром отмечается высокий уровень геоаккумуляции сурьмы. Для почвы села Воздвиженка сильное загрязнение зафиксировано по мышьяку, кадмию и сурьме, в аллювиальных почвах поймы реки Уров имелось загрязнение мышьяком, свинцом и сурьмой (табл. 3).

Таблица 1 Среднее содержание приоритетных неорганических загрязнителей в почвах и технозёмах, в мг/кг

| почва с терр. ГОКа гадовая почва гехнозём гехнозём гесная почва гесная почва гесная почва гехнозём гехнозём гехнозём гехнозём | мг/кг - - - - - 4,00 5,00 - - | МГ/КГ 169,00 110,00 401,00 167,00 13,00 186,00 416,00 83,00 43,00 | 2,00 2,00 7,00 5,00 <1,00 3,00 2,00 | мг/кг 247,00 114,00 1510,00 110,00 24,00 859,00 | мг/кг 34,00 15,00 22,00 14,00 5,00 35,00 | мг/кг 426,00 260,00 1220,00 1210,00 80,20 |
|--|---|--|--|---|--|--|
| адовая почва технозём утвалы песная почва почва с терр. ГОКа технозём утвалы рон технозём | - - - 4,00 5,00 - - | 110,00 401,00 167,00 13,00 186,00 416,00 83,00 | 2,00 7,00 5,00 <1,00 3,00 2,00 | 114,00 1510,00 110,00 24,00 859,00 | 15,00 22,00 14,00 5,00 | 260,00 1220,00 1210,00 |
| ехнозём отвалы почва почва с терр. ГОКа технозём отвалы орон ехнозём | - - 4,00 5,00 - | 401,00 167,00 13,00 186,00 416,00 83,00 | 7,00 5,00 <1,00 3,00 2,00 | 1510,00 110,00 24,00 859,00 | 22,00 14,00 5,00 | 1220,00 1210,00 |
| отвалы песная почва почва с терр. ГОКа технозём отвалы рон технозём | - 4,00 5,00 - - | 167,00 13,00 186,00 416,00 83,00 | 5,00 <1,00 3,00 2,00 | 110,00 24,00 859,00 | 14,00 5,00 | 1210,00 |
| песная почва почва с терр. ГОКа технозём отвалы рон технозём | 4,00 5,00 - | 13,00 186,00 416,00 83,00 | <1,00 3,00 2,00 | 24,00 859,00 | 5,00 | |
| очва с терр. ГОКа гехнозём отвалы рон ехнозём | 5,00 | 186,00 416,00 83,00 | 3,00 | 859,00 | | 80,20 |
| ехнозём утвалы рон ехнозём | 5,00 | 416,00 83,00 | 2,00 | | 35.00 | |
| отвалы рон ехнозём | _ _ | 83,00 | | | 55,00 | 995,00 |
| рон ехнозём | _ | | <1.00 | 879,00 | 85,00 | 616,00 |
| ехнозём | | 43.00 | <1,00 | 45,00 | 15,00 | 85,40 |
| | | 15,00 | 2,00 | 291,00 | 18,00 | 443,00 |
| готта а таки ГОИ. | 44,00 | 3460,00 | 120,00 | 10050,0 | 372,00 | 10000,0 |
| ючва с терр. ГОКа | 10,00 | 443,00 | 17,00 | 2770,00 | 150,00 | 3560,00 |
| юн | _ | 68,00 | <1,00 | 297,00 | 15,00 | 323,00 |
| адовая почва | _ | 26,00 | <1,00 | 14,00 | 5,00 | 50,50 |
| ЮН | _ | 17,00 | <1,00 | 22,00 | 5,00 | 108,00 |
| ехнозём | 20,00 | 2680,00 | 61,00 | 4890,00 | 577,00 | 10000,0 |
| твалы | 12,00 | 1490,00 | 16,00 | 4580,00 | 31,00 | 2030,00 |
| адовая почва | _ | 24,00 | 9,00 | 307,00 | 5,00 | 2230,00 |
| ехнозём поймы р. Ср. Борзя | 36,00 | 2220,00 | 135,00 | 9830,00 | 226,00 | 10000,0 |
| твалы | 17,00 | 2310,00 | 26,00 | 4450,00 | 378,00 | 4840,00 |
| юн | _ | 158,00 | <1,00 | 232,00 | 20,00 | 305,00 |
| юйма | _ | 184,00 | <1,00 | 253,00 | 24,00 | 338,00 |
| клон | _ | 10,00 | <1,00 | 17,00 | 5,00 | 94,90 |
| юн | _ | 10,00 | <1,00 | 16,00 | 4,50 | 58,50 |
| ехнозём | _ | 21,00 | <1,00 | 8,00 | 5,00 | 40,40 |
| Кларк в почве (*в земной коре) [9] | | | 0,50 | 10,00 | 0,50* | 50,00 |
| Кларк в городских почвах [9] | | | 0,90 | 54,50 | 1,00 | 158,00 |
| алья [10, с. 215] | _ | _ | 0,07 | 30,00 | | 75,00 |
| <u>ПДК</u> ОДК | | | 2,00 | 32,00 | 4.50 | |
| be the control of the | адовая почва он ехнозём гвалы адовая почва ехнозём поймы р. Ср. Борзя гвалы он ойма слон он ехнозём й коре) [9] х [9] | лдовая почва | ддовая почва — 26,00 он — 17,00 окнозём 20,00 2680,00 гвалы 12,00 1490,00 ддовая почва — 24,00 ехнозём поймы р. Ср. Борзя 36,00 2220,00 гвалы 17,00 2310,00 он — 158,00 ойма — 184,00 спон — 10,00 он — 10,00 ехнозём — 21,00 й коре) [9] 0,07* 5,00 х [9] 0,37 15,90 лыя [10, с. 215] — — | ддовая почва - 26,00 <1,00 | Адовая почва — 26,00 <1,00 | ддовая почва — 26,00 <1,00 |

Таблица 2 Уровни содержания (в мг/кг) химических элементов в почвах и технозёмах мониторинговых точек восточных районов Забайкалья

| Тип проб | Показатели | Ag | As | Cd | Pb | Sb | Zn |
|--------------------|---|---------------------------|--------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Технозёмы | $M \pm \sigma$ | 18,50 ± 5,12 | 1168,75 ± 346,79 | 32,92 ± 13,67 | 3351,67 ± 1026,38 | 161,58 ± 54,07 | 3748,53 ± 1155,07 |
| | Me (Q ₂₅ -Q ₇₅) | 14,50 (6,25– 32,00) | 429,50 (173,25– 2287,50) | 11,50 (2,25–52,25) | 2140,00 (400,00– 4812,50) | 60,00 (24,25– 335,50) | 1625,00 (710,75– 8710,00) |
| Почвы населённых | $M \pm \sigma$ | _ | 95,00 ± 27,47 | 2,50 ± 1,31 | 202,83 ± 47,13 | 14,00 ± 3,16 | 584,42 ± 331,93 |
| пунктов | Me (Q ₂₅ -Q ₇₅) | - | 89,00 (25,50– 164,50) | 1,00 (<1,00–3,75) | 242,50 (89,00– 299,50) | 15,00 (5,00–21,00) | 314,00 (207,63– 811,00) |
| Фоновые участки | $M \pm \sigma$ | _ | 18,60 ± 6,23 | 1,20 ± 0,20 | 74,00 ± 54,27 | 7,50 ± 2,63 | 156,92 ± 71,99 |
| | Me (Q ₂₅ -Q ₇₅) | _ | 13,00 (10,00– 30,00) | <1,00 (<1,00-1,50) | 22,00 (16,50– 157,50) | 5,00 (4,75–11,50) | 94,90 (69,35– 275,50) |

Таблица 3 Величины индекса геоаккумуляции (I_{geo}) элементов-токсикантов в почвах и технозёмах, суммарного коэффициента загрязнения (Z_{CT}) и коэффициента суммарной токсикологической оценки загрязнённости почв токсичными элементами (P_{t})

| Населенн | ый пункт и тип проб | Ag | As | Cd | Pb | Sb | Zn | $\frac{Z_{CT}}{P_t}$ |
|---------------------|---------------------|------|------|------|-------|------|-------|-----------------------|
| | почва с терр. ГОКа | 5,25 | 4,49 | 1,42 | 4,04 | 5,50 | 2,50 | 34,76 9,12 |
| п. Кличка | садовая почва | 5,57 | 3,88 | 1,42 | 2,93 | 4,32 | 1,80 | 18,15 2,21 |
| п. кличка | технозём | _ | 5,74 | 3,22 | 6,65 | 4,87 | 4,02 | 78,40 34,60 |
| | отвалы | 8,71 | 4,48 | 2,74 | 2,87 | 4,22 | 4,01 | <u>26,65</u> 11,54 |
| | лесная почва | 6,57 | 0,79 | 0,41 | 0,68 | 2,74 | 0,10 | <u>4,65</u> – |
| пгт. Новоширокинск | почва с терр. ГОКа | _ | 4,63 | 2,00 | 5,84 | 5,54 | 3,73 | 55,23 18,52 |
| | технозём | _ | 5,79 | 1,42 | 5,87 | 6,82 | 3,04 | 85,77 32,16 |
| | отвалы | _ | 3,47 | 0,41 | 1,59 | 4,32 | 0,19 | 13,70 1,02 |
| | фон (с. Тайна) | _ | 2,52 | 7,49 | 4,28 | 4,59 | 2,56 | <u>21,64</u> |
| | технозём | 7,57 | 8,85 | 7,32 | 9,39 | 8,95 | 7,06 | 701,91 385,24 |
| с. Нерчинский Завод | почва с терр. ГОКа | 6,84 | 5,88 | 4,50 | 7,53 | 7,64 | 5,57 | 182,73 80,76 |
| | фон | _ | 3,18 | 0,41 | 4,31 | 4,32 | 2,11 | 20,44 1,66 |
| с. Калга | фон | 7,34 | 1,18 | 0,41 | 0,56 | 2,74 | 0,53 | <u>4,94</u> – |
| C. Najii a | садовая почва | _ | 1,79 | 0,41 | -0,11 | 2,74 | -0,58 | <u>4,90</u> – |

| Окончание табл. | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|------|------|-------|-------|------|-------|-------------------------|
| Населенный пункт и тип проб | | | As | Cd | Pb | Sb | Zn | $\frac{Z_{CT}}{P_t}$ |
| | технозём | 8,42 | 8,48 | 6,35 | 8,35 | 9,59 | 7,06 | <u>557,34</u> 306,90 |
| | отвалы | _ | 7,63 | 21,33 | 8,25 | 5,37 | 4,76 | 235,26 115,94 |
| с. Кадая | садовая почва | _ | 1,68 | 4,42 | 4,36 | 2,74 | 4,89 | 55,91 13,7 |
| | технозём поймы р. Ср. Борзя | _ | 8,21 | 0,41 | 9,36 | 8,24 | 7,06 | <u>518,37</u> 214,99 |
| а Возивителите | отвалы | _ | 8,27 | 3,59 | 8,21 | 8,98 | 6,01 | 452,95 319,33 |
| с. Воздвиженка | фон | _ | 4,40 | 5,12 | 3,95 | 4,74 | 2,03 | 123,44 5,57 |
| n Vnon | пойма | _ | 4,62 | 1,42 | 4,08 | 5,00 | 2,17 | 29,72 7,55 |
| р. Уров | склон | _ | 0,41 | 0,41 | 0,18 | 2,74 | 0,35 | <u>4,40</u> – |
| 11 0 | фон | - | 0,41 | 0,41 | 0,10 | 2,59 | -0,36 | <u>3,94</u> – |
| п. Ново-Орловск | технозём | _ | 1,49 | 0,41 | -0,92 | 2,74 | -0,89 | <u>4,45</u> – |

Высокую информативность о степени воздействия на биосистемы имеет суммарный показатель загрязнения (Z_{CT}) , рассчитанный по коэффициентам техногенной концентрации в сравнении с кларками приоритетных загрязнителей для почв и урбаноземов (табл. 3). Чрезвычайно опасными по интенсивности загрязнения были технозёмы сёл Нерчинский Завод, Кадая и Воздвиженка и поймы реки Средняя Борзя, с максимумом в 702 единицы. Оценка суммарного показателя загрязнения по кларкам в урбанозёмах имела гораздо более скромные значения, однако для всех перечисленных точек отбора проб он характеризовался чрезвычайной опасностью (табл. 3). Для большинства пунктов данный показатель лежал в пределах умеренной и высокой опасности, которые имели меньшие величины в сравнении с урбанозёмами.

Отмечается [7], что суммарный показатель загрязнения, даже с учётом коэффициента токсичности элементов (Z_{CT}), не учитывает фоновое содержание конкретного элемента в субстрате. Это приводит к завышению его содержания, а в районах техногенных биогеохимических аномалий величины выходят за пределы нормирующих значений. Также формула не учитывает различие в токсичности поллютантов и влияние на их подвижность типа почвы. В связи

с этим полученные значения коэффициента суммарного токсикологического загрязнения имели максимумы для техноземов и почв буферных зон – 385,24 (с. Нерчинский Завод), 306,90 (с. Кадая), 319,33 (с. Воздвиженка), что характеризовало их как имеющих опасный уровень загрязнения (табл. 3). В среднем технозёмы имели величину этого коэффициента 127,34 единицы. Для участка р. Средняя Борзя, где осуществляется добыча золота драгой, отмечается не только очень опасное загрязнение технозёмов $(Z_{CT} = 518,37, P_{t} = 214,99)$, но и воды [11]. Авторы зафиксировали значительную загрязнённость водоёма ниже участка золотодобычи такими элементами, как Мп, Fe, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Hg и Pb, при этом выше участка превышения выявлены только по Cu и Mn [11]. Эти данные позволяют охарактеризовать интенсивность перемещения токсичных элементов из твёрдой фазы в жидкую водную, и их дальнейшую миграцию с водотоком в реку Аргунь, что влияет на состояние местных экосистем и здоровье жителей района. При этом отмечается, что река Средняя Борзя является самой загрязнённой из 12 исследованных в российской части бассейна р. Аргунь. Причина интенсивной миграции As, Pb и Zn, вероятно, связана с локальной геохимической аномалией, сульфидные минералы в которой обогащены токсичными химическими элементами [12].

Для почв населённых пунктов уровень загрязнения имел допустимую или слабую степень загрязнения (среднее значение для этой группы почв составило 4,25) (табл. 3). Почвы фоновых участков имели крайне малые величины показателя и характеризовались как экологически чистые.

Данные по иным поверхностным и подземным водам [13], пункты отбора проб которых были расположены рядом с исследованными нами районами, не отражают зависимости между уровнем загрязнённости почвы или техноземов и воды.

Заключение

Таким образом, абсолютные и относительные показатели для почв и техноземов в условиях горно-обогатительных предприятий Забайкалья имели высокую степень загрязненности шестью токсичными элементами. Все химические элементы-загрязнители характеризуются как высокотоксичные, имеющие тенденцию к кумулятивному накоплению и вызывающие аутоиммунные патологии, нарушения обмена биогенных макро- и микроэлементов, способствуют канцерогенезу, оказывают тератогенный, нейротоксический и эмбриотоксический эффекты (в особенности мышьяк, свинец и кадмий). Большая часть исследованных районов находятся в границах биогеохимической аномалии, проявляющейся в форме йодо- и селенодефицита и болезнью Кашина-Бека [13–15]. Геохимические условия, возникающие в результате интенсификации миграции токсичных микроэлементов, в перспективе могут значительно ухудшить негативное действие природной аномалии.

Список литературы / References

1. Геологические исследования и горно-промышленный комплекс Забайкалья: История, современное состояние, проблемы, перспективы развития / Отв. ред. Г.А. Юргенсон. Новосибирск: Наука, 1999. 574 с.

Geological research and the mining and industrial complex of Transbaikalia: History, current status, problems, development prospects / Otv. red. G.A. Yurgenson. Novosibirsk: Nauka, 1999. 574 p. (in Russian).

2. Ермаков В.В., Тютиков С.Ф., Сафонов В.А. Биогеохимическая индикация микроэлементозов. М.: ГЕОХИ РАН, 2018. 386 с.

Ermakov V.V., Tyutikov S.F., Safonov V.A. Biogeochemical indication of microelementhoses. M.: GEOKHI RAN, 2018. 386 p. (in Russian).

3. Михайлова Л.А., Солодухина М.А., Алексева О.Г., Бурлака Н.М., Лапа С.Э. Гигиеническая оценка содержания химических элементов в почве горнопромышленных районов Забайкальского края // Гигиена и санитария. 2019. № 4. С. 400–410. DOI: 10.18821/0016-9900-2019-98-4-400-410.

- Mikhailova L.A., Solodukhina M.A., Alekseeva O.G., Burlaka N.M., Lapa S.E. Hygienic assessment if the content of chemicals in the soil of mining areas of the Trans-Baikal region // Gigiyena i sanitariya. 2019. № 4. P. 400–410 (in Russian).
- 4. Hammer O., Harpe D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. Palaeontologia Electronica. 2001. vol. 4. no. 1. P. 1–9.
- 5. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжёлыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276—1280.

Vodyanitsky Yu.N. Equations for assessing the total contamination of soils with heavy metals and metalloids. Eurasian Soil Science. 2010. V. 43. № 10. C. 1184–1188. DOI: 10.1134/S106422931010011X.

6. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжёлых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368-375.

Vodyanitskii Yu.N. Standards for the contents of heavy metals and metalloids in soils. Eurasian Soil Science. 2012. T. 45. № 3. C. 321–328. DOI: 10.1134/S1064229312030131.

7. Водяницкий Ю.Н. Оценка суммарной токсикологической загрязнённости почв тяжёлыми металлами и металлоидами // Агрохимия. 2017. № 2. С. 56–63.

Vodyanitskii Yu.N. The evaluation of total toxicological contamination of soils with heavy metals and metalloids // Agrohimia. 2017. № 2. P. 56–63 (in Russian).

8. Биогеохимический мониторинг в районах хвостохранилищ горнодобывающих предприятий с учётом микробиологических факторов трансформации минеральных компонентов / Под ред. Рихванова Л.П. Новосибирск: СО РАН, 2017. 426 с.

Biogeochemical monitoring of tailings of mining industry, taking into account microbiological factors of the mineral component transformation / Pod red. Rikhvanova L.P. Novosibirsk: SO RAN, 2017. 426 p. (in Russian).

9. Алексеенко В.А., Алексеенко А.В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет. 2013. 388 с.

Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soil residential landscapes. Rostov-na-Donu: Yuzhnyy federal'nyy universitet. 2013. 388 p. (in Russian).

10. Иванов Г.М. Микроэлементы-биофилы в ландшафтах Забайкалья. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2007. 239 с.

Ivanov G. M. Microelements-biophiles in the landscapes of Transbaikalia. Ulan-Ude: BNTS SO RAN, 2007. 239 p. (in Russian).

11. Куклин А.П., Цыбекмитова Г.Ц. Содержание токсичных элементов в воде и макроводорослях в водных объектах бассейна трансграничной реки Аргунь (Россия) // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 30–35. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-030-035.

Kuklin A.P., Tsybekmitova G.Ts. Content of toxic elements in water and macroalgae of the Argun River (Russia) basin water courses // Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya. 2019. № 1. P. 30–35 (in Russian).

12. Абрамов Б.Н., Цыренов Т.Г. Оценка экологической опасности на окружающую среду хвостохранилищ некоторых сульфидных месторождений Восточного Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2019. № 5. С. 35—41.

Abramov B.N., Tsyrenov T.G. Environmental hazard assessment on the environment of tailings of some sulfide deposits of Eastern Transbaikalia // Advances in current natural sciences. 2019. № 5. P. 35–41 (in Russian).

13. Замана Л.В., Рихванов Л.П., Соктоев Б.Р., Барановская Н.В., Эпова Е.С., Солодухина М.А., Михайлова Л.А., Копылова Ю.Г., Хващевская А.А. Новые данные об элементном составе природных вод в районе распространения уровской (Кашина-Бека) болезни (Забайкальский край) //

Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 1. С. 121–133. DOI: 10.18799/24131830/2019/1/56.

Zamana L.V., Rikhvanov L.P., Soktoev B.R., Baranovskaya N.V., Epova E.S., Solodukhina M.A., Mikhailova L.A., Kopylova Yu.G., Khvashchevskaya A.A. New data on chemical composition of natural waters in the area of distribution of Urov (Kaschin-Beck) disease (Transbaikal region) // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. 2019. vol. 330. № 1. P. 121–133 (in Russian).

14. Михайлова Л.А., Солодухина М.А. Среда обитания и экологически обусловленные заболевания: проблемы диагностики и профилактики // Забайкальский медицинский вестник. 2014. № 3. С. 176–181.

Mihajlova L.A., Soloduhina M.A. Habitat and environmentally caused diseases: problems of diagnosis and prevention // Zabajkal'skij medicinskij vestnik. 2014. № 3. P. 176–181 (in Russian).

15. Михайлова Л.А., Солодухина М.А. Природные и антропогенные аномалии Забайкальского края // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 5. [Электронный ресурс]. URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id = 25224 (дата обращения: 25.02.2020).

Mihajlova L.A., Soloduhina M.A. Natural and anthropogenic anomalies of the Transbaikal Territory // Modern problems of science and education. 2016. № 5. [Electronic resource]. URL: http://science—education.ru/ru/article/view?id = 25224 (date of access: 25.02.2020) (in Russian).

УДК 502.53

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕТРОВОГО ВОЛНЕНИЯ И ШИРИНЫ ЗАТОПЛЕНИЯ ПЛЯЖА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИБРЕЖНЫХ ДЮН НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КУРШСКАЯ КОСА»

1,2Данченков А.Р.

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, e-mail: aldanchenkov@mail.ru; ²Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград

Рассматриваемая в работе геоморфологическая компонента геоэкологической береговой системы Куршской косы, в морфосистемном понимании, является частью береговой литодинамической системы. В условиях особого характера природопользования на территории национального парка «Куршская коса» социального и культурного значения высока геоэкологическая роль дюнного вала, выступающего как первая линия защиты внутренних территорий от штормовых воздействий и эолового ветропесчаного потока. Песчаные пляжи, литодинамически связанные с вдольбереговой литодинамической системой, являются отправной точкой естественного восстановления дюнного вала. Гидродинамические процессы воздействуют на морфодинамическую систему пляжа и дюнного вала, что обуславливает значимость их изучения в исследовании всей береговой геоэкологической системы, в части динамизма протекающих на ней факторов природного происхождения. Гидродинамическим режимом и геоморфологическим строением определяется как наличие наносов на пляже, так и ширина незатопленной части пляжа, являющаяся лимитирующим фактором развития дюнного вала. Ширина незатопленной части пляжа зависит от ширины пляжа, его уклона, уровня моря и высоты волнового наката. При возможности измерений большей части параметров, наблюдения за высотой волнового наката в долгосрочном периоде являются технически и экономически затратной процедурой, что обуславливает использование моделей. В работе использовалась регионально адаптированная модель волнового наката, а также модель, рекомендованная национальным стандартом. Для получения гидродинамических условий в акватории Балтийского моря было выполнено численное моделирование с использованием модели SWAN, а также сравнение результатов с натурными наблюдениями и региональным анализом. Была отмечена приемлемая сходимость с данными натурных наблюдений. Для исследования дюнного вала Национального парка «Куршская коса» хорошо соотносились сведения о ширине пляжа, полученные с использованием региональной адаптации, в сравнении с измеренными значениями. В моделировании ширины затопления пляжей в условиях различных морей рекомендуется использовать региональные адаптации моделей волнового наката.

Ключевые слова: ветровое волнение, прибрежные дюны, песчаные пляжи, моделирование, волновой накат

WIND WAVES AND BEACH INUNDATION WIDTH MODELLING FOR STUDYING CURONIAN SPIT NATIONAL PARK FOREDUNE STABILITY

1,2 Danchenkov A.R.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: aldanchenkov@mail.ru; ²Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad

The geomorphological component of the geoecological coastal system of the Curonian Spit considered in the work, in the morphosystem understanding, is part of the coastal lithodynamic system. Due to the special nature of nature management in the territory of the Curonian Spit National Park, social and cultural significance, the geoecological role of the dune rampart is high. Since it acts as the first line of defense of inland from storms and aeolian wind and sand flow. Sandy beaches lithodynamically associated with the coastal lithodynamic system are the starting point for the natural restoration of the foredune. Hydrodynamic and processes affect the morphodynamic system of the beach and foredune. This determines the significance of their research in the study of the entire coastal geoecological system, in terms of the dynamism of factors of natural origin occurring on it. The hydrodynamic regime and geomorphological structure determines both the presence of sediments on the beach and the width of the uninundated part of the beach, which is a limiting factor in the development of the foredune. The width of the uninundated part of the beach depends on the width of the beach, its slope, sea level and the height of the wave run-up. If it is possible to measure most of the parameters, monitoring the wave run-up height in the long term is technically and economically costly, which leads to the use of models. In the work, a regionally adapted model of the wave run-up was used, as well as a model recommended by the national standard. To obtain hydrodynamic conditions in the Baltic Sea, a numerical simulation was performed using the SWAN model, as well as comparing the results with field observations and regional analysis. Acceptable convergence with field observations was noted. To study the Curonian Spit National Park foredune, the information about the width of the beach obtained using regional adaptation in comparison with the measured values was well correlated. In modeling the beach inundation width in different seas using regional adaptations of wave run-up models is recommended.

 $Keywords: wind \ waves, \ coastal \ dunes, \ sandy \ beaches, \ numerical \ modelling, \ wave \ run-up$

Из определения прибрежных дюн – форм рельефа, сформировавшихся посредством переноса и переотложения песков у песчаных пляжей, состояние пляжей для устойчивости дюн играет важнейшую роль [1].

Развитие дюны происходит у пляжей при синхронизации транспортирующего потенциала (силы и направления ветра) с наносами, доступными на пляже или поступающими при воздействии гидродинамических

процессов. Доступность наносов для эолового перемещения связано с понятием полосы насыщения ветропесчаного потока [2]. В формировании полосы насыщения – ширина незатопленной части пляжа является важнейшим параметром, наряду со скоростью и направлением ветра [3; 4]. Ширина затопления пляжа зависит от прибрежных гидродинамических условий (высоты и длины волнения) и высоты нагона моря, соответственно может сокращать доступность наносов для эолового перемещения либо быть фактором абразии прибрежных дюн.

В районах, где не ведется регулярных наблюдений за прибрежным волнением, к которому относится и исследуемый в настоящей работе район (морской аккумулятивный берег Куршской косы), возможно выполнить математическое моделирование для получения параметров ветрового волнения в акватории с целью определения ширины затопления пляжа. Для целей работы было выполнено численное моделирование ветрового волнения с использованием волновой спектральной модели третьего поколения SWAN версии 41.20A [5]. Модель создана для расчета параметров ветрового волнения в прибрежной зоне исходя из рельефа дна и скорости ветра. Модель SWAN для расчета параметров ветрового волнения в прибрежной зоне моря широко используется в мире и доказала свою эффективность [6-8]. С использованием данной модели в юго-восточной части Балтийского моря ранее производились расчеты различных параметров ветрового волнения [9–11]. Модель была верифицирована для использования в Балтийском море [11–13], в том числе в прибрежной зоне.

Для использования в условиях мелководья в модели SWAN реализованы трехкомпонентные схемы взаимодействия волн и две схемы, отвечающие за трение о дно и обрушение волн или диссипацию. При расчете учитываются следующие процессы: распространение волн в пространстве, рефракция (дно и течения), дифракция и др. Среди процессов диссипации и генерации: ветровая генерация, нелинейное взаимодействие (триады), диссипации из-за: обрушения, обрушения, связанного с изменением глубин, диссипация из-за трения о дно.

Цель исследования состояла в применении модельного подхода для определения ширины затопления пляжа на морском аккумулятивном берегу в задачах научно обоснованного управления прибрежной зоной и дюнным валом Куршской косы.

Материалы и методы исследования

Исходные гидрометеорологические данные

Поскольку пространственные размеры исследуемого района находятся в пределах 16х27 км, а в непосредственной близости в отрытом море находится действующая метеостанция, в качестве входных данных модели используются сила и направление ветра, полученные с МЛСП Д-6. Результаты реанализа метеополей (например, NCEP/ CFSR), как это используется в ряде работ [11–15], покрывают исследуемый район лишь двумя ячейками, а СКО (среднеквадратическая ошибка), в сравнении с метеопостами, составляет 3,43-1,33 м/с [16]. Дискретность данных по силе и направлению ветра составляла 3 часа. От пунктов наблюдения за шириной затопления пляжа (14 и 42 км Куршской косы) станция удалена на 26.6 и 15.8 км соответственно. Данные по уровню Балтийского моря получены с поста 86179 Пионерский (Калининградский ЦГМС). Дискретность данных уровня моря составляет 6 часов, а «0» поста установлен на отметке 500 см.

Исходная батиметрическая основа и расчетная сетка модели SWAN

Цифровая модель рельефа дна была построена с использованием ESRI ArcGIS 10.0 по объединенным батиметрическим данным из различных источников: сечением 5 м для глубин более 50 м [17], сечением 1 м, построенным по морским планам ГУНиО, сечением 0,1–0,2 м до глубин 2 м (на основе собственных измерений). Батиметрические данные были объединены (рис. 1, а) с использованием инструмента Merge, на основе чего была построена цифровая модель дна на регулярной сетке (размер ячейки 5 м).

Для исследуемой области была построена нерегулярная расчетная сетка ADCIRC, с. Конечно элементная сетка выполнена триангуляцией, которая хорошо аппроксимирует кривую береговой линии, поскольку количество узлов рассчитывается исходя из количества точек на береговой линии. В областях интереса (полигоны наблюдения за шириной затопления пляжа, платформа Д6) расчетная сетка сгущена для лучшего отображения рельефа дна, в особенности вблизи береговой линии. Вблизи полигонов, а также у платформы Д6 шаг сетки составляет 20–100 м, в глубоководной части сетка разряжена до шага 5 км. Радиус окружности расчетной сетки выбран таким образом, чтобы длина разгона ветровых волн могла составлять не менее 150 км. Всего расчетная сетка состоит из 73 200 расчетных узлов.

Параметры моделирования: координаты прямоугольные, зональные WGS84 UT-M34N, режим GEN3, со следующими параметрами: экспоненциальная схема роста Komen [18] с включенным правилом Agrow. Донное трение принято Friction Jonswap Constant cf 0.071. Включены процессы: забурунивание: трехкомпонентное волновое взаимодействие, разрушение волн. Выходные данные в модели общего расчета формируются в виде файла граничных условий и волнового спектра, а также таблицы с основным и дополнительными параметрами волнения: время (Т); высота значительных волн (Hs), м; длина волны (Wlen), среднее направление волны (WDir), гр., и др. Моделирование с использованием волновой модели SWAN выполнялось для пятилетнего периода 2014-2019 гг., с шагом 3 часа.

Моделирование высоты волнового наката и ширины затопления пляжа

Расчет высоты волнового наката был выполнен согласно приложению Д, СП 38.13330.2018 [19], применяемого в проектировании берегозащитных сооружений в России, а также по адаптированной для юго-восточной Балтики модели волнового наката [20] (уравнение 1):

$$R = 1,29H_s \left(\tan \beta / \sqrt{\frac{H_s}{L}} \right)^{0.72},$$
 (1)

где H_s — высота значительных волн, м; L — длина волны, м; β — уклон пляжа.

По результатам полученной высоты волнового наката был выполнен расчет ширины затопления пляжа (BI) (уравнение 2):

$$BI = (R + S) * \operatorname{ctg}(\beta), \tag{2}$$

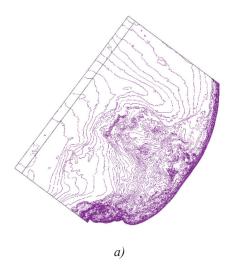
где R – высота волнового наката, полученная посредством расчетов по СП 38.13330.2018 или адаптированной модели; S – высота уровня моря, м; β – уклон пляжа.

Уклон пляжа определялся по данным мониторинга за состоянием дюнного вала Куршской косы, выполнявшегося с 2014 г., в рамках которого выполнялись наблюдения за шириной затопления пляжа *in situ* [4; 21].

Результаты исследования и их обсуждение

Моделирование ветрового волнения

Первым этапом выполняемого исследования являлось сравнение результатов выполненного моделирования ветрового волнения с использованием волновой модели SWAN (далее - SWAN) с данными по ветровому волнению из общедоступных источников (E.U. Copernicus Marine Service (далее - Copernicus) - использующих волновую модель WAM 4.6), а также измерений с использованием уровнемера-волнографа, установленного на морской платформе Д6 (рис. 1). Сравнение и сопоставление результатов проводилось для результатов 2019 г., с шагом 3 часа. Всего использовалось 2375 пар сравнения наблюдений и модельных значений (рис. 2).



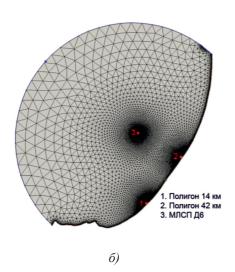


Рис. 1. Цифровая модель рельефа дна: а) исходные батиметрические данные для построения модели дна; б) нерегулярная расчетная сетка ADCIRC

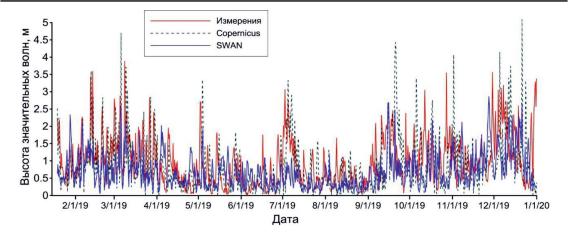


Рис. 2. Значительная высота волн у платформы Д6 в 2019 г. по данным измерений, материалам Copernicus и выполненного моделирования SWAN

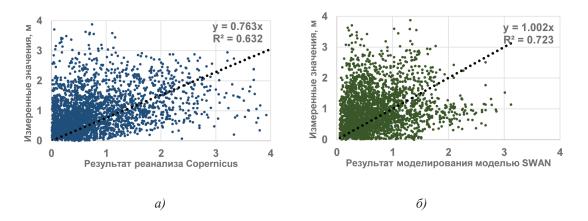


Рис. 3. Скаттер диаграммы измеренных и моделированных значений: а) Сорегпісиѕ и измеренные значения; б) SWAN и измеренные значения

По графику годового хода значительной высоты волн наблюдаемая разница между полученными с использованием SWAN высотами значительных волн и полученная по результатам прямых измерений, вероятно, связана с дискретностью используемых метеорологических данных. Моделированные значения имеют более плавный ход, в отличие от наблюдаемых, что свидетельствует о том, что локальные флуктуации волнения не передаются в полном объеме [11]. Существенно выбиваются пики максимальных значений по данным Copernicus, что может быть связано с существенно более грубой используемой сеткой моделирования (2x2 км у Copernicus, 0,02x0,02 км у SWAN). Скаттер диаграммы измеренных и моделированных значений приведен на рис. 3.

Величины коэффициентов корреляции между измеренными значениями и данными моделирования SWAN и Copernicus составили 0,81 и 0,69 соответственно, что весьма удовлетворительно, с учетом использования данных одной метеорологической станции в качестве входных данных. Наклоны линейных трендов между измеренными и моделированными значениями находились в пределах 1-0,7, с достоверностью аппроксимации R² 0,723 и 0,632, что демонстрирует более высокое качество работы используемой модели SWAN для моделирования ветрового волнения в сравнении с данными Copernicus. Для статистической оценки качества моделирования был рассчитан ряд статистических параметров - среднеквадратическая ошибка (СКО), средняя ошибка и средняя абсолютная ошибка (табл. 1).

Таблица 1 Статистические характеристики сравнения измеренных данных с моделированными

| Статистический показатель | Значение |
|--|----------|
| СКО (Измерения/Copernicus) | 0,54 |
| СКО (Измерения/SWAN) | 0,38 |
| Средняя ошибка (Измерения/Copernicus) | 0,35 |
| Средняя ошибка (Измерения/SWAN) | 0,31 |
| Средняя абсолютная ошибка (Измерения/Copernicus) | 0,45 |
| Средняя абсолютная ошибка (Измерения/SWAN) | 0,29 |

По результатам проведенных статистических тестов данные по глобальному анализу для рассматриваемой части акватории Балтийского моря имеют большее отклонение от измеренных значений (СКО = 0,54); для анализа, основанного на WAM, это является приемлемым показателем [22; 23]. При этом полученные посредством SWAN результаты (СКО = 0,38) сопоставимы, а также несколько выше, чем в ранее приводимых исследованиях [11; 24], что связано с использованием густой расчетной сетки

и относительно локализованного, прибрежного участка моделирования. Эти факты обоснованно позволили принять результаты моделирования ветрового волнения с использованием модели SWAN в качестве гидродинамических условий для моделирования ширины затопления пляжа.

Моделирование ширины затопления пляжа и сравнение полученных результатов

На втором этапе был выполнен расчет ширины затопления пляжа на основе стандарта СП 38.13330.2018, а также по адаптированной для юго-восточной Балтики модели. Результаты моделирования были сопоставлены с данными натурных наблюдений на берегу Куршской косы (рис. 4).

По результатам сравнения ширины затопления пляжа по адаптированной модели и СП 38.13330.2018 первая показала существенное преимущество в точности определения ширины затопления пляжа. СКО составила по результатам сравнения 0,73, при средней абсолютной ошибке определения ширины в 0,52 м. Статистические характеристики приведены в табл. 2.

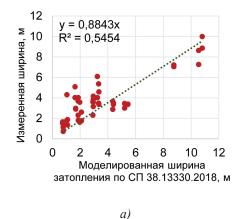




Рис. 4. Скаттер диаграммы измеренных и моделированных значений: а) СП 38.13330.2018 и измеренные значения; б) [20] и измеренные значения

 Таблица 2

 Статистические характеристики сравнения измеренных данных с моделированными

| Статистический показатель | Значение |
|--|----------|
| СКО (Измерения/СП 38.13330.2018) | 1,82 |
| СКО (Измерения/[20]) | 0,73 |
| Средняя ошибка (Измерения/СП 38.13330.2018) | 0,16 |
| Средняя ошибка (Измерения/[20]) | 0,02 |
| Средняя абсолютная ошибка (Измерения/СП 38.13330.2018) | 1,61 |
| Средняя абсолютная ошибка (Измерения/[20]) | 0,52 |

Несмотря на рекомендацию по использованию при расчете высоты наката волн использовать натурные наблюдения, которые чаще всего отсутствуют, СП 38.13330.2018 предлагает расчетную методику, которая может быть обобщена на побережье морей России. По проведенному сравнению с натурными данными локальные адаптации расчета существенно превосходят полученные при руководстве нормой результаты (СКО для СП 38.13330.2018 составила 1,82). Таким образом, при проведении научных исследований следует подбирать локальные адаптации моделей волнового наката, точнее характеризующие гидродинамический процесс [20; 25].

Заключение

Проведенное исследование показало возможность и непосредственное сочетание моделирования ветрового волнения с использованием спектральной волновой модели с моделированием ширины затопления пляжа. По результатам сравнения с натурными данными уровнемера-волнографа на платформе Д6, данными E.U. Copernicus Marine Service результаты моделирования SWAN существенно выше, чем в глобальной модели, несмотря на использование данных одного метеопоста, установленного в открытом море. Выполненное моделирование ширины затопления пляжа с использованием национальных методик и регионально адаптированной модели волнового наката показало значительное улучшение качества определения ширины с использованием локальных моделей. При проведении исследования ширины затопления пляжа как лимитирующего фактора развития прибрежных дюн большую репрезентативность результатов можно получить при использовании региональной адаптации. Однако для большей достоверности расчетов следует производить регулярные наблюдения за состоянием пляжей, что позволит существенно улучшить качество производимых оценок. Научно обоснованные и точные оценки могут позволить принять рациональное решение по защите и восстановлению прибрежных дюн Национального парка «Куршская коса», имеющих важное экологическое и культурное значение.

Исследование выполнено при финансовой поддержке $P\Phi\Phi U$ и Калининградской области в рамках проекта № 19-45-393001. Сбор данных волнографа был выполнен при поддержке госзадания ИО РАН (тема № 0149-2019-0013).

Список литературы / References

- 1. Hesp P. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. Geomorphology. 2002. vol. 48. № 1–3. P. 245–268.
- 2. Delgado-Fernandez I. A review of the application of the fetch effect to modelling sand supply to coastal foredunes. Aeolian Research. 2010. vol. 2. № 2–3. P. 61–70.
- 3. Bauer B.O., Davidson-Arnott R. G. D. A general framework for modeling sediment supply to coastal dunes including wind angle, beach geometry, and fetch effects. Geomorphology. 2003. vol. 49. № 1–2. P. 89–108.
- 4. Danchenkov A., Belov N., Stont Z. Using the terrestrial laser scanning technique for aeolian sediment transport assessment in the coastal zone in seasonal scale. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2019. vol. 223. P. 105–114. DOI:10.1016/j. ecss.2019.04.044.
- 5. Booij N., Ris R.C., Holthuijsen L.H. A third-generation wave model for coastal regions: 1. Model description and validation. Journal of geophysical research: Oceans. 1999. vol. 104. № C4. P. 7649–7666.
- 6. Zijlema M. Computation of wind-wave spectra in coastal waters with SWAN on unstructured grids. Coastal Engineering. 2010. vol. 57. № 3. P. 267–277.
- 7. Booij N., Holthuijsen L.H., Ris R. . The «SWAN» wave model for shallow water. Coastal Engineering. 1997. Vol. 1. № 4. P. 668–676.
- 8. Van der Westhuysen A. Modeling nearshore wave processes. ECWMF Workshop on Ocean Waves, European Centre for medium-range weather forecasts, Reading. 2012. Vol. 1. № 1. P. 50–61.
- 9. Cieślikiewicz W., Dudkowska A., Gic-Grusza G., Jedrasik J. Extreme bottom velocities induced by wind wave and currents in the Gulf of Gdańsk. Ocean Dynamics. 2017. vol. 67. № 11. P. 1461–1480. DOI: 10.1007/s10236-017-1098-4
- 10. Kasiulis E., Kofoed J., Povilaitis A., Radzevicius A. Spatial Distribution of the Baltic Sea Near-Shore Wave Power Potential along the Coast of Klaipėda, Lithuania. Energies. 2017. vol. 10. no. 12. P. 2170. DOI: 10.3390/en10122170.
- 11. Медведева А.Ю., Архипкин В.С., Мысленков С.А., Зилитинкевич С.С. Волновой климат Балтийского моря на основе результатов, полученных с помощью спектральной модели SWAN // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2015. № 1. С. 12–22.

Medvedeva A.Y., Arkhipkin V.S., Myslenkov S.A., Zilitinkevich S.S. Wave climate of the Baltic sea following the results of the SWAN spectral model application // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5 Geografiya. 2015. № 1. P. 12–22 (in Russian).

12. Медведева А.Ю., Мысленков С.А., Медведев И.П., Архипкин В.С., Кречик В.А., Добролюбов С.А. Моделирование ветрового волнения в Балтийском море на прямоугольной и неструктурной сетках на основе реанализа NCEP/CFSR // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. 2016. № 362. С. 37–54.

Medvedeva A.Yu., Myslenkov S.A., Medvedev I.P., Arkhipkin V.S., Krechik V.A., Dobrolyubov S.A. Modeling of wind waves in the Baltic sea on rectangular and non-structural grids based on the reanalysis of NCEP/CFSR // Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo tsentra Rossiyskoy Federatsii. 2016. № 362. P. 37–54 (in Russian).

- 13. Myslenkov S.A., Medvedeva A.Yu. Wave energy resources of the Baltic Sea and coastal zone of the Kaliningrad Region. Fundamentalnaya i Prikladnaya Gidrofizika. 2019. vol. 12. № 2. P. 34–42. DOI: 10.7868/S2073667319020059.
- 14. Kutupoglu V., Cakmak R.E., Akpınar A., van Vledder G.P. Setup and evaluation of a SWAN wind wave model for the Sea of Marmara. Ocean Engineering. 2018. vol. 165. P. 450–464.
- 15. Akpınar A., Bingölbali B., Van Vledder G. P. Wind and wave characteristics in the Black Sea based on the SWAN wave model forced with the CFSR winds. Ocean Engineering. 2016. vol. 126. P. 276–298.

- 16. Sharp E., Dodds P., Barrett M., Spataru C. Evaluating the accuracy of CFSR reanalysis hourly wind speed forecasts for the UK, using in situ measurements and geographical information. Renewable Energy. 2015. vol. 77. P. 527–538. DOI: 10.1016/j.renene.2014.12.025.
- 17. Gelumbauskaitė L.Z., Grigelis A., Cato I. Topography and sediment maps of the Central Baltic Sea. 1999. 20 p.
- 18. Komen G.J., Hasselmann K., Hasselmann K. On the existence of a fully developed wind-sea spectrum. Journal of physical oceanography. 1984. vol. 14. № 8. P. 1271–1285.
- 19. СП 38.13330.2018. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). СНиП 2.06.04-82. М.: ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2019, 106 с.
- 20. Paprotny D., Andrzejewski P., Terefenko P., Furmańczyk K. Application of empirical wave run-up formulas to the Polish Baltic Sea coast. PloS one. 2014. vol. 9. № 8. P. e105437. DOI: 10.1371/journal.pone.0105437.

- 21. Danchenkov A.R., Belov N.S. Morphological changes in the beach-foredune system caused by a series of storms. Terrestrial laser scanning evaluation. Russ. J. Earth Sci. 2019. vol. 19. ES4003. DOI: 10.2205/2019ES000665.
- 22. Soomere T. Extremes and decadal variations of the northern Baltic Sea wave conditions. Springer, Dordrecht: Extreme Ocean Waves. 2008. P. 139–157. DOI: 10.1007/978-1-4020-8314-3_8.
- 23. Blomgren S., Larson M., Hanson H. Numerical modeling of the wave climate in the Southern Baltic Sea. Journal of coastal research. 2001. vol. 17. № 2. P. 342–352.
- 24. Saremi S. Development of a Wave Database in Coastal Areas around Sweden Using the SWAN Wave Model: Master's Thesis. Göteborg, 2010. 56 p.
- 25. Aniskiewicz P., Benedyczak R., Furmańczyk K., Andrzejewski P. Validation of empirical wave run-up formulas to the Polish Baltic Sea coast. Journal of Coastal Research. 2016. vol. 75. № sp1. P. 243–247.

УДК 553.982:504.054

ТЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИЙ НЕФТЕДОБЫЧИ

Дитц Л.Ю., Дудина Т.Н., Цускман Е.И., Катункина Е.В.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный университет экономики и управления», Hовосибирск, e-mail: l.ditz@mail.ru

В статье рассмотрены геоэкологические проблемы загрязнения болотных комплексов территории Варынгского нефтяного месторождения ХМАО. Большинство технологических площадок нефтяных месторождений расположены на олиготрофных болотах, которые защищают природные и межпластовые воды от проникновения химических загрязнителей. Дана характеристика источникам поступления химических элементов, к которым относятся кустовые площадки эксплуатационных скважин, буровые шламовые амбары и нефтегазопроводы. К основным загрязнителям относятся нефть и нефтепродукты, пластовые воды, буровые шламовые растворы, технологические жидкости. Основной причиной засоления болот являются неконтролируемый сброс высокоминерализованных пластовых вод и аварийные выбросы буровых шламовых растворов при разведывательном нефтяном бурении скважин. Проведенный анализ поведения биоиндикаторов (мхи, лишайники) позволил установить основные зоны зассления. Было выявлено, что на участках среднего и сильного засоления ионами хлора и натрия отмечается гибель болотной растительности. Особое внимание уделено проблемам аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. В состав нефтепродуктов входят низкомолекулярные метановые углеводороды, нафтеновые и ароматические углеводороды, асфальтены и нефтяные смолы. Негативное влияние нефтезагрязнения оценивается по содержанию в нефти тяжелых металлов. Экологическую опасность представляют последствия сжигания разливов нефти, в результате чего повышаются токсичные концентрации ванадия, никеля, бензапирена, кадмия, бериллия, мышьяка, марганца, свинца. К перспективным методам снижения негативного воздействия при разработке нефтяных месторождений относятся безамбарный способ бурения эксплуатационных скважин, использование малотоксичных реагентов. Для восстановления нефтезагрязненных земель и восстановления фитоценозов возникает необходимость внедрения альтернативных технологий для активизации процессов метаболизма.

Ключевые слова: нефтедобыча, кустовые площадки, буровые скважины, шламовые амбары, источники загрязнения, засоление, тяжелые металлы

GEOECOLOGICAL PROBLEMS OF OIL PRODUCTION TERRITORIES Ditz L.Yu., Dudina T.N., Tsuskman E.I., Katunkina E.V.

Novosibirsk State University of Economics and Management, Novosibirsk, e-mail: l.ditz@mail.ru

The article considers the geoecological problems of pollution of wetland complexes in the territory of the Varyngsky oil field of the Khanty-Mansi Autonomous Okrug. Most of the technological platforms of oil fields are located on oligotrophic bogs, which protect natural and interstratal waters from the penetration of chemical pollutants. The characteristic is given to the sources of supply of chemical elements, which include wellbores of production wells, drill cuttings and oil and gas pipelines. The main pollutants include oil and petroleum products, produced water, drilling mud, and process fluids. The main reason for salinization of the marshes is the uncontrolled discharge of highly mineralized formation water and accidental discharges of drill cuttings during exploratory oil drilling. The analysis of the behavior of bioindicators (mosses, lichens) made it possible to establish the main salinization zones. It was found that in areas of moderate and severe salinization by chlorine and sodium ions, the death of marsh vegetation is noted. Particular attention is paid to the problems of emergency oil and oil product spills. The composition of petroleum products includes low molecular weight methane hydrocarbons, naphthenic and aromatic hydrocarbons, asphaltenes and petroleum resins. The negative effect of oil pollution is estimated by the content of heavy metals in the oil. The consequences of burning oil spills pose an environmental hazard, resulting in increased toxic concentrations of vanadium, nickel, benzapyrene, cadmium, beryllium, arsenic, manganese, and lead. Promising methods for reducing the negative impact in the development of oil fields include the pitless method of drilling production wells, the use of low-toxic reagents. To restore oil-contaminated lands and restore phytocenoses, it becomes necessary to introduce alternative technologies to activate metabolic processes.

Keywords: oil production, well pads, boreholes, sludge pits, pollution sources, salinization, heavy metals

На территории Россия сосредоточено около 8% мировых запасов нефти, из которых почти две трети находятся в Западной Сибири. Добыча нефти и газа в Западной Сибири несет в себе потенциальную опасность катастрофического нарушения состояния крайне ранимой и неустойчивой к техногенному воздействию природной среды её северных районов [1]. Разведка, добыча и транспортировка нефтепродуктов являет-

ся основной причиной деградации и загрязнения болотных геосистем.

Нефтяная и газовая промышленность, являясь составной частью топливно-энергетического комплекса, представляет собой сложную отрасль производства. Наряду с качественным истощением минеральных ресурсов нефтедобывающие комплексы являются источниками повышенной экологической опасности [1].

Географической особенностью ландшафтов северных районов Западной Сибири является широкое распространение болотных комплексов. Болота занимают обширные водоразделы, террасы и ступени рельефа, долины местных рек. Большая часть из них представлена мерзлыми торфяниками с лишайниковым покровом плоских бугров и мезоолиготрофными осоково-сфагновыми сообществами мочажин. В природоохранном и ресурсном аспекте наличие многолетней или сезонной мерзлоты препятствует поступлению нефтяных и солевых загрязнений в водоносные горизонты грунтовых и межпластовых вод. Поэтому в районах нефтедобычи с высоким процентом заболоченных земель техногенное воздействие требует тщательного изучения с позиций экологии и охраны недр.

Йзучение геохимического состояния природных сред в районах нефтедобычи имеет большое как теоретическое, так и практическое значение.

Объектом исследования является территория месторождения нефти «Варынгское», расположенная в северной части Нижневартовского района Ханты-Мансийского автономного округа. Площадь территории составляет 157,5 км².

Воздействие нефтегазовой промышленности на природные экосистемы в пределах территории данного месторождения было рассмотрено на локальном уровне, так как экосистемы испытывают негативное влияние не всей нефтедобывающей промышленности, а только какого-то конкретного ее проявления.

Разработка нефтяных месторождений приводит к негативной трансформации ландшафтов. Экологическую опасность загрязнения территории представляют промышленные объекты нефтегазодобывающих комплексов, к которым относятся буровые площадки, нефтепроводы, буровые шламовые амбары.

Целью исследования является оценка воздействия буровых шламовых растворов, в состав которых входят водно-солевые смеси, и аварийных разливов нефти, содержащей большое количество ароматических углеводородов и тяжелых металлов, на болотные экосистемы кустовых участков нефтедобычи.

В настоящей работе ставилась задача оценить экологические последствия влияния химических загрязнений на состояние болотных комплексов.

Материалы и методы исследования

Загрязнение техногенными продуктами было выявлено почти на всех технологических этапах нефтедобычи, которые отличаются масштабами и интенсивностью нарушений, содержанием и токсичностью химических элементов.

Основными загрязнителями являются нефть и нефтепродукты, пластовые воды, буровые шламовые растворы, химические реагенты. В зоне нефтедобычи севера Западной Сибири еще одним источником минеральных элементов на торфяных болотах являются технологические жидкости [2].

Большинство технологических площадок расположено на олиготрофных грядово-мочажинных болотах. Детальное обследование месторождения выявило локальные участки разливов нефти площадью менее 1 га, которые приурочены к буровым площадкам.

Для выявления степени негативного воздействия был проведен отбор проб природных и загрязненных вод вблизи кустовых площадок разведывательного и эксплуатационного бурения, а также растительных проб торфов на содержание тяжелых металлов. Образцы воды для анализа загрязненных вод отбирались в экосистемах, окружающих источники загрязнения, и в самих источниках загрязнения.

Результаты исследования и их обсуждения

Отрицательное влияние на окружающую среду оказывают производственнотехнологические отходы бурения. В процессе бурения эксплуатационных скважин буровые растворы используются для создания пластового давления. Химические добавки и реагенты, содержащиеся в буровых растворах, по степени токсичности относятся к IV классу опасности [3].

Отработанные буровые и сточные буровые воды поступают в амбары-накопители, или шламовые амбары. Шламовые амбары устраиваются в углублениях песчаной насыпи кустовых площадок без гидроизоляции (рис. 1). Амбары являются открытыми водно-солевыми системами. Наряду с отработанными буровыми растворами пополнение солевых запасов происходит в результате поверхностного стока с кустовой площадки и сброса продукции скважин при их технологическом обслуживании [4]. Удаление солей из амбаров происходит в результате вертикальной и боковой фильтрации, сброса воды при прорыве обваловки.



Рис. 1. Шламовый амбар без гидроизоляции

Шламовые амбары, сооруженные для хранения отходов бурения в течение длительного времени, являются источником повышенной опасности для окружающей среды. Поступление токсичных веществ из шламовых амбаров, в которых скапливаются отходы бурения, является причиной отсутствия гидроизоляционной прослойки.

Непосредственную экологическую опасность представляют высокоминерализованные нефтяные и пластовые воды. Главной причиной засоления территории концентрированными пластовыми водами на кустовых площадках являются неконтролируемый сброс минерализованных попутных пластовых вод (5–80 г/л) и аварийные выбросы буровых шламовых растворов при разведывательном нефтяном бурении скважин.

Благодаря хорошей водопроницаемости верхних слоев торфяных почв пластовые воды свободно растекаются по окружающей территории. Дальность рассеивания

солей зависит от многих факторов: времени объема выброса, геоморфологических условий, направления и скорости потока болотных вод. По мере продвижения солевого потока концентрация солей уменьшается в результате смешивания с ультрапресными фоновыми болотными водами и атмосферными осадками, что приводит к образованию обширных очагов загрязнения с различной степенью засоления.

Болотные почвы территории неустойчивы к химическому загрязнению и способны аккумулировать такие загрязнители, как Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- и HCO_3 , которые попадают в торф с буровыми растворами и подземными засоленными водами [5].

Химический состав пластовых вод имеет ряд характерных особенностей. В составе солей практически отсутствуют сульфаты. Степень засоления буровыми и пластовыми водами определяется в основном содержанием ионов хлора и натрия (табл. 1). На их долю приходится 95% солевого состава.

Проведенный сравнительный анализ химического состава природных и техногенно загрязненных вод выявил изменение реакции среды при разливе буровых растворов или пластовых вод. Если в незагрязненных аналогах реакция среды (рН) в основном слабокислая (4,6–5,7), то в техногенно загрязненных пробах рН с поверхности и до глубины 50 см изменяется до щелочных показателей (7,6–8,3).

Хлоридно-натриевое засоление оказывает токсичное действие на состояние растительного покрова. На участках сильного засоления отмечается гибель растительности олиготрофных болот, которая адаптирована к ультрапресным природным водам.

Таблица 1 Сравнительный анализ природных и техногенных вод (источников солей), мг/л

| | рН | HCO3- | C1- | SO ₄ - | Ca ⁺⁺ | Mg ⁺⁺ | Na ⁺ | K ⁺ |
|------------------|-----|-------|---------|-------------------|------------------|------------------|-----------------|----------------|
| | 5,7 | 19,91 | 5,16 | 7,44 | 1,28 | 0,19 | 1,00 | 0,54 |
| Природные воды | 4,6 | 3,95 | 2,62 | 2,59 | 0,83 | 0,19 | 0,79 | 0,64 |
| | 4,9 | 3,99 | 2,39 | 2,67 | 0,78 | 0,11 | 0,62 | 0,47 |
| | 8,1 | 192,3 | 8917,6 | 0,4 | 290,0 | 55,5 | 5250,0 | 51,0 |
| | 7,6 | 175,7 | 8502,2 | 0,2 | 285,0 | 51,0 | 5150,0 | 40,0 |
| | 8,2 | 122,0 | 9762,5 | 1,1 | 340,0 | 55,0 | 5850,0 | 61,0 |
| Техногенные воды | 7,9 | 87,8 | 12780,0 | 87,8 | 440,0 | 86,0 | 7500,0 | 85,0 |
| | 8,2 | 107,4 | 2967,8 | 3,5 | 110,0 | 15,0 | 1825,0 | 20,0 |
| | 8,0 | 183,0 | 155,0 | 20,2 | 24,0 | 2,4 | 144,0 | 11,2 |
| | 8,3 | 378,0 | 404,0 | 12,5 | 25,6 | 11,7 | 375,0 | 13,0 |
| | 8,1 | 256,0 | 290,0 | 18,5 | 21,9 | 7,8 | 260,0 | 12,4 |

Более чувствительными к щелочному загрязнению являются верховые торфяники, сфагновые мхи и лишайники. С этой целью, для выявления локальных очагов загрязнения и переноса загрязняющих веществ на большие расстояния, проводится анализ количественного и качественного состава биоиндикаторов (растений, мхов и лишайников) и концентрации в них загрязнителей. На болотах происходит снижение роли сфагновых мхов и мохового покрова в целом, возрастает роль осоковых, главным образом пушиц, из которых на наиболее минерализованных субстратах преобладает Eriophorum scheuchzerii, происходит внедрение аллювиафильных видов (ивы, вейники, хвощи, ситники) и сорных заносных видов, среди которых самыми заметными постепенно становятся виды рогоза.

Повышенная концентрация солей и нефтепродуктов в торфяниках отмечается на расстоянии 5–10 метров от источников загрязнения за счет перемещения их по цепочке болотных озер и мочажин.

Высокую потенциальную опасность представляют аварийные разливы нефти и нефтепродуктов в результате порывов нефтепроводов.

При попадании нефти на поверхность торфяника происходит заполнение мочажин и пониженных элементов рельефа, а также небольших озер и ручьев (рис. 2).



Рис. 2. Аварийный разлив нефти на заболоченном участке

Нефть состоит из фракций, которые обладают различной подвижностью и степенью токсичности. Подвижная часть нефти включает простые по строению низкомолекулярные углеводороды, парафиновые и ароматические углеводороды. При массивном разливе нефти (более 10 л/м²) на загрязненной территории наиболее чувствительные к солнечному излучению легкие

фракции нефти подвергаются фотохимическому разложению.

На глубине 20–40 см накапливаются низкомолекулярные метановые углеводороды и более устойчивые циклопарафины, нафтеновые и ароматические углеводороды, асфальтены и нефтяные смолы [6].

Основные физико-химические свойства ароматических углеводородов определяют асфальтены и смолистые соединения, которые содержат большое количество тяжелых металлов (Co, Pb, Mn, Cu, V, As, Hg, Mo).

Исходя из особенностей химического состава нефтяных фракций, особое внимание было уделено содержанию тяжелых металлов.

Негативное изменение экологической обстановки на нарушенных территориях оценивалось по содержанию тяжелых металлов, которые при высоких концентрациях оказывают токсичное действие на биоценозы (табл. 2).

По данным табл. 2, распределение и количество элементов зависит от временного фактора. Высокое содержание элементов в пробе 1, особенно в слое 0-10 см, свидетельствует о накоплении смолистых и нафтеновых соединений на поверхности свежего нефтяного разлива. Через 3 месяца после аварийного разлива в пробе 2 отмечается наибольшее содержание тяжелых металлов уже на глубине 10-20 см, что свидетельствует о частичном разложении тяжелых фракций нефти и перемещении их вниз по профилю. Невысокое содержание тяжелых металлов в пробе 3 значительно меньше, так как отбор был проведен через 1 год после аварийного разлива. Это явление вызвано, по мнению многих исследователей, восстановлением и усилением микробиологической активности деструкторов.

Согласно проведенным исследованиям, ведущими загрязнителями болотных комплексов являются Ва, Мп и Sr, относящиеся к 3 классу опасности. Их концентрация в загрязненном торфе, по сравнению с другими элементами, значительно выше остальных элементов. Перечисленные элементы являются основными загрязнителями природной среды при нефтедобыче. При извлечении на поверхность все они способны к избыточному накоплению в объектах природной среды – почвах и водах. Происходит нарушение сложившегося биогеохимического цикла элементов в ландшафтах, а в катастрофических случаях – гибель растительных и животных организмов, деградация почв и водоемов. Самовосстановление экосистем на таких участках наиболее длительно.

| | Mn | V | Ba | Mo | Zn | Cu | Со | Cr | Ni | Cd | Pb | Sr |
|---------|-----|-----|-----|-----|----|-----|------|------|------|------|------|-----|
| Проба 1 | 250 | 163 | 992 | 4,8 | 45 | 7,0 | 10,5 | 22,5 | 26,2 | 0,10 | 22,5 | 243 |
| | 150 | 10 | 842 | 1,9 | 95 | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 10,0 | 0,07 | 4,0 | 795 |
| Проба 2 | 83 | 15 | 178 | 2,7 | 15 | 4,2 | 1,5 | 10,2 | 5,5 | 0,03 | 7,0 | 82 |
| | 208 | 107 | 926 | 8,2 | 25 | 5,0 | 7,2 | 14,0 | 20,0 | 0,10 | 14,0 | 420 |
| Проба 3 | 75 | 10 | 46 | 1,9 | 17 | 3,0 | 1,5 | 1,5 | 2,5 | 0,02 | 2,2 | 24 |
| | 68 | 23 | 69 | 2,6 | 12 | 1,0 | 1,5 | 4,5 | 4,5 | 0,04 | 3,5 | 29 |

Таблица 2 Содержание тяжелых металлов в загрязненном торфе в слое 0–10, 10–20 см, мг/кг

При аварийных разливах нефти большая часть растительности торфяных болот погибает. Глубина проникновения нефти и нефтепродуктов зависит от плотности и мощности торфяного горизонта и достигает в среднем 10–15 см. Тяжелые фракции нефти на торфяной залежи постепенно затвердевают, образуя битумообразную корку.

На некоторых участках месторождения при разведывательном бурении нефть, локализованную на дневной поверхности, сжигают. Токсичные и канцерогенные вещества, аккумулированные в нарушенных землях на месте сжигания разливов нефти, растворяются в воде и могут через гидросеть, дренирующую территорию, распространяться на значительные расстояния.

Экологическую опасность представляют отдаленные последствия сжигания нефтяных разливов и нефтяных попутных газов. Установлено, что на месте сжигания 1 тонны сырой нефти в нарушенной земле аккумулируется 75 г ванадия, 25 г никеля, 0,1-0,5 г бензапирена, токсичные концентрации кадмия, бериллия, мышьяка, марганца, свинца, кобальта и других химических элементов, ассоциированных с золой нефти. В каждом кубическом метре попутного нефтяного газа содержится несколько миллиграммов газообразной ртути, которая при сжигании нефтяного газа аккумулируется в образовавшейся золе и выпадает в форме твердых атмосферных осадков на земную поверхность.

Для решения геоэкологических проблем территории нефтедобычи необходимо применение альтернативных технологий использования и восстановления нефтезагрязненных земель, к которым относятся безамбарная технология бурения эксплуатационных скважин и использование модифицированного торфа для активизации микробиологических процессов биодеградации нефти [7].

Заключение

В результате проведенных исследований было выявлено, что к наиболее распространенным геоэкологическим проблемам нефтедобывающих районов Западной Сибири относятся технологические процессы эксплуатационного и разведывательного бурения нефтяных скважин, приводящие к загрязнению болотных комплексов.

Одним из источников поступления солей в ландшафты при нефтедобыче является содержимое шламовых амбаров, состоящее из отработанного бурового раствора, пластовых и поверхностных вод.

Результаты химического анализа техногенных загрязненных водных проб выявили высокое содержание хлоридов натрия, что явилось причиной щелочной реакции среды и, как следствие, гибели растительного покрова. Среди тяжелых металлов в асфальтеновых фракциях ароматических углеводородов высокое содержание характерно для Ва, Мп и Sr, которые относятся к 3 классу опасности. Накопление данных элементов может привести к гибели животных организмов.

Болота выполняют функцию ландшафтно-геохимических барьеров и способны аккумулировать большой спектр загрязняющих веществ. Поэтому для обеспечения экологической безопасности на производственно-технологических участках нефтедобычи возникает необходимость разработки иных, нежели сейчас применяются, критериев рекультивации торфяных болот.

Список литературы / References

1. Черданцев В.А., Цускман Е.И., Катункина Е.В., Дитц Л.Ю. Система экологического менеджмента как инструмент эффективного развития нефтегазодобывающей отрасли // Идеи и идеалы. 2015. Т. 2. № 3. С. 75–81.

Cherdantsev V.A., Tsuskman E.I., Katunkina E.V., Ditz L. Yu. Environmental management system as a tool for the effective development of the oil and gas industry // Ideas and Ideals. 2015. V. 2. N 3. P. 75–81 (in Russian).

2. Пичугин Е.А., Шенфельд Б.Е. К вопросу различия буровых и нефтяных шламов // Экология и про-

мышленность России. 2017. Т. 21. № 7. С. 14–19. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-7-14-19.

Pichugin E.A., Schoenfeld B.E. To the question of differences between drill and oil sludge // Ecology and Industry of Russia. 2017. V. 21. № 7. P. 14–19 (in Russian).

3. Лопатин К.И., Женихов Ю.Н, Панов В.В., Толстограй В.И., Юсупов И.А. Проблемы территориального и технологического обустройства объектов нефтедобычи в условиях высокой заболоченности среднего Приобья // В книге: Геоэкологические основы использования торфяных болот и лесов Среднего Приобья. Тверь, 2012. С. 4–68.

Lopatin K.I., Zhenikhov Yu.N., Panov V.V., Tolstograi V.I., Yusupov I.A. Problems of territorial and technological arrangement of oil production facilities in conditions of high bogging of the middle Ob region // In the book: Geoecological basis for the use of peat bogs and forests of the Middle Ob. Tver, 2012. P. 4–68 (in Russian).

4. Добыча нефти. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М.: Бюро НДТ, 2017. 273 с.

Oil production. Information and technical reference on the best available technologies. Federal Agency for Technical Regulation and Metrology. M.: Byuro NDT, 2017. 273 p. (in Russian).

5. Водяницкий Ю.Н., Аветов Н.А., Савичев А.Т., Трофимов С.Я., Шишконакова Е.А. Содержание химических

элементов в торфяных почвах, засоленных буровыми сточными водами на участке добычи нефти в среднем Приобье // Агрохимия. 2013. N2 1. C. 75–84.

Vodyanitsky Yu.N., Avetov N.A., Savichev A.T., Trofimov S.Ya., Shishkonakova E.A. The content of chemical elements in peat soils saline with drilling wastewater in the oil production area in the middle Priobye // Agrochemistry. 2013. № 1. P. 75–84 (in Russian).

6. Федорова О.С., Рязанова Т.В. Динамика микробиоценоза гетеротрофов в модельных опытах с применением биосорбента на основе смешанной бактериальной культуры // Системы. Методы. Технологии. 2017. № 1. С. 157–164. DOI: 10.18324/2077-5415-2017-1-157-164.

Fedorova O.S., Ryazanova T.V. Dinamics of heterotrophs microbiocenosis in model experiments with application of biosorbent on basis of mixed bacterial culture // Sistemy. Metody. Tekhnologii. 2017. № 1. P. 157–164 (in Russian).

7. Лопатин К.И., Толстограй В.И., Женихов Ю.Н., Суворов В.И., Панов В.В. Альтернативная технология рекультивации нефтезагрязненных торфяных болот // Вестник Нижневартовского государственного гуманитарного университета. 2009. № 1. С. 58–61.

Lopatin K.I., Tolstograi V.I., Zhenikhov Yu.N., Suvorov V.I., Panov V.V. Alternative technology for the rehabilitation of oil-contaminated peat bogs // Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo gumanitarnogo universiteta. 2009. № 1. P. 58–61 (in Russian).

УДК 551.582:551.583.1

ИЗМЕНЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕГО УРАЛА

Иванова Ю.Р., Скок Н.В., Евдокимова А.М.

ФГБОУ ВО «Уральский государственный педагогический университет», Екатеринбург, e-mail: miss.nocentra@list.ru

Большая часть территории России находится под влиянием изменяющегося климата. В разных частях страны они более или менее значительны и проявляются в виде изменения отдельных показателей и увеличения числа погодных аномалий. На основе долговременных рядов метеорологических наблюдений, проводимых Уральской гидрометеорологической службой на метеостанции г. Нижнего Тагила с 1839 г., охарактеризованы современные тренды основных метеорологических параметров. Представлена характеристика и тренд-анализ температуры воздуха, атмосферных осадков, снежного покрова и некоторых агроклиматических показателей за три непрерывных периода: 26-летний с 1840 по 1865 г., 82-летний с 1877 по 1958 г. и 49-летний с 1969 по 2018 г. Выявлены тенденции изменения значений, для которых рассчитаны средние многолетние значения со средними квадратическими отклонениями. Для характеристики временных рядов метеорологических показателей проанализирован коэффициент наклона линейного тренда изменения средней месячной и среднегодовой температур воздуха и степень достоверности аппроксимации на изучаемой территории за период инструментальных наблюдений. Обнаружены волнообразные колебания в рядах среднемесячных и среднегодовых температур воздуха, цикличные колебания и увеличение годового количества атмосферных осадков. Высота снежного покрова также имеет тенденцию к повышению, хоть и менее выраженную. Продолжительность безморозного периода значительно варьирует и в среднем составляет 105 дней. Для анализа современных изменений среднегодовой температуры воздуха были рассчитаны значения отклонений последних тридцати лет от показателей базового периода. В заключение сделан вывод на основе комплексного анализа всех метеорологических показателей для территории северной части Среднего Урала.

Ключевые слова: Средний Урал, Нижний Тагил, метеорологические показатели, тренд-анализ, аномалии температур, количество осадков, изменения климата

CHANGE OF METEOROLOGICAL INDICES OF THE NORTHERN MIDDLE URAL Ivanova Yu.R., Skok N.V., Evdokimova A.M.

Ural State Pedagogical University, Yekaterinburg, e-mail: miss.nocentra@list.ru

Most of the territory of Russia is influenced by a changing climate. In different parts of the country, they are more or less significant and manifest themselves in the form of changes in individual indicators and an increase in the number of weather anomalies. Based on long-term series of meteorological observations conducted by the Ural Hydrometeorological Service at the weather station of Nizhny Tagil since 1839, modern trends of the main meteorological parameters are characterized. The characteristics and trend analysis of air temperature, precipitation, snow cover and some agroclimatic indicators for three continuous periods are presented: 26-year-old from 1840 to 1865, 82-year-old from 1877 to 1958 and 49 years old from 1969 to 2018. Trends in the values have been identified for which long-term average values with mean square deviations have been calculated. To characterize the time series of meteorological indicators, the slope coefficient of the linear trend of changes in the average monthly and average annual air temperatures and the degree of reliability of the approximation in the study area for the period of instrumental observations are analyzed. Wavy fluctuations were found in the series of monthly average and annual average air temperatures, cyclical fluctuations and an increase in the annual amount of precipitation. Snow depth also tends to increase, albeit less pronounced. The duration of the frost-free period varies significantly and, on average, is 105 days. To analyze current changes in the average annual air temperature, the deviations of the last thirty years from the indicators of the base period were calculated. In conclusion, a conclusion is drawn based on a comprehensive analysis of all meteorological indicators for the territory of the northern part of the Middle Urals.

Keywords: Middle Urals, Nizhny Tagil, meteorological indicators, trend analysis, temperature anomalies, precipitation

На территории России и ближнего зарубежья в последнее десятилетие было опубликовано достаточно большое количество работ об изменениях регионального климата. Примерами таких исследований за различные временные периоды могут служить: в республике Татарстан 48-летние наблюдения с 1966 по 2013 г. [1]; в Кыргызстане 80-летние наблюдения с 1930 по 2010 г.; на Северном Кавказе за 54 года с 1961 по 2015 г. [2]; на территории Среднего Поволжья с 1955 по 2004 г. (49 лет) [3]; в Обь-Иртышском междуречье с 1936 по 2006 г. [4]; на Чукотке за 1951–2013 г.

(62 года) [5]. Большинство исследователей, рассматривая современные изменения отдельных метеорологических показателей, отмечают их циклический характер.

Цель исследования: проанализировать изменения ряда метеорологических показателей по данным метеостанции г. Нижнего Тагила.

Материалы и методы исследования

Первые регулярные инструментальные наблюдения в северной части Среднего Урала начали проводиться в конце 1839 г. на территории Нижнетагильского метал-

лургического завода в южной части усадьбы заводоуправления [6]. В 1856–1862 гг. метеостанция была перенесена на 1,2 км на юго-восток и по-прежнему осталась в непосредственной близости от Нижнетагильского пруда. В 1934 г. метеостанция вновь была перенесена, теперь уже на постоянное место — 10,2 км юго-восточнее прежнего местоположения. В настоящее время метеостанция г. Нижнего Тагила находится в поселке Зональный и имеет координаты 57°53' с.ш. 60°04' в.д., абсолютная высота 258 м.

Информационная база для изучения тенденций изменения метеорологических показателей северной части Среднего Урала была получена из различных источников: государственной наблюдательной сети Росгидромета за основной период 1966-2009 гг. [7], климатологических справочников [8], ежегодных обзоров состояния и тенденций изменения климата России ФГБУ «Институт глобального климата и экологии» [1; 9-11] и данных Университета Восточной Англии [12]. Для статистических расчетов были использованы исходные временные ряды средних годовых и средних месячных значений температуры приземного воздуха, данные о количестве атмосферных осадков, высоте снежного покрова и дате его полного разрушения, а также продолжительность безморозного периода.

Динамические ряды метеорологических показателей характеризуются значительным уровнем «шума». Для его устранения и повышения наглядности ряда было применено одиннадцатилетнее сглаживание среднегодовых значений. Для обработки данных использовалось ПО Microsoft Excel, в частности надстройка «Пакет анализа» — описательная статистика, регрессия. При построении графиков для выявления устойчивых тенденций изменения в качестве основных методов использовались сравнительный, линейных и кусочнолинейных трендов [13].

Результаты исследования и их обсуждение

Температуры приземного воздуха. В связи с тем, что метеостанция дважды меняла свое местоположение, в рядах имеются пропуски, поэтому были проанализированы отдельные непрерывные массивы. Первый из них 26-летний — с 1840 по 1865 г., второй, наиболее длинный, 82-летний — с 1877 по 1958 г., и последний,

49-летний - с 1969 по 2018 г. Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха для этих временных промежутков приведены в табл. 1. Данные таблицы свидетельствуют о постоянном и значительном повышении среднегодовой температуры приземного воздуха (СГТВ) на протяжении всего периода наблюдений. Первые два ряда различаются незначительно – на 0,2°C, последний же характеризуется резким увеличением показателя более чем в 2 раза. Средние температуры отдельных месяцев имеют разнонаправленные тенденции к изменению: показатели января, марта, апреля и октября-декабря стремятся к устойчивому повышению. Средняя температура февраля до последнего временного ряда оставалась неизменной, мая и сентября - колеблется в пределах 0,1-0,2°С. Температуры летних месяцев имеют устойчивые тенденции к понижению.

Таблица 1 Среднемесячные и среднегодовые температуры воздуха (°C) для непрерывных рядов данных метеостанции г. Нижний Тагил

| | 1840- | 1877– | 1969- |
|---------------|----------|----------|----------|
| | 1865 гг. | 1958 гг. | 2018 гг. |
| (Irmonr | | | |
| Январь | -16,8 | -16,2 | -14,5 |
| Февраль | -13,7 | -13,7 | -12,8 |
| Март | -7,7 | -7,4 | -5,0 |
| Апрель | +1,4 | +2,2 | +2,9 |
| Май | +9,4 | +9,4 | +9,5 |
| Июнь | +15,1 | +15,1 | +14,9 |
| Июль | +18,4 | +17,1 | +16,8 |
| Август | +14,8 | +14,7 | +14,0 |
| Сентябрь | +8,6 | +8,9 | +8,7 |
| Октябрь | +0,6 | +1,1 | +1,4 |
| Ноябрь | -7,9 | -7,3 | -6,8 |
| Декабрь | -15,2 | -14,2 | -12,2 |
| Среднегодовая | +0,6 | +0,8 | +1,4 |

С помощью тренд-анализа становится возможным достаточно точно охарактеризовать тенденции изменения значений СГТВ на изучаемых отрезках времени (рис. 1). Линия тренда свидетельствует о постоянном повышении показателя. Однако сглаженные одиннадцатилетние значения середины XIX века имеют тенденцию к понижению, период 1877—1958 гг. характеризуется волнообразными колебаниями, а с 1980 г. наблюдается устойчивое повышение. СГТВ последнего периода уже не принимают отрицательные значения, а колеблются в диапазоне от 0°С до +2,8°С.



Рис. 1. Фактические и сглаженные значения среднегодовых температур воздуха в 1840–2018 гг. в г. Нижний Тагил

Среднемесячные температуры воздуха в основном характеризуются значительными изменениями: коэффициент наклона линейного тренда имеет устойчивую тенденцию к повышению в декабре, январе, марте и апреле и, наоборот, к понижению в конце лета — начале осени. Тренды мая и июня за весь период наблюдений выражены слабо (табл. 2).

Таблица 2 Коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ) средней месячной температуры воздуха (°С/10 лет) и степень достоверности аппроксимации в 1840–2018 гг.

| Месяц | КНЛТ | R ² | Месяц | КНЛТ | \mathbb{R}^2 |
|---------|------|----------------|----------|-------|----------------|
| Январь | 0,26 | 0,67 | Июль | -0,01 | 0,41 |
| Февраль | 0,05 | 0,05 | Август | -0,06 | 0,23 |
| Март | 0,22 | 0,62 | Сентябрь | -0,02 | 0,04 |
| Апрель | 0,09 | 0,34 | Октябрь | 0,08 | 0,20 |
| Май | 0,01 | 0,01 | Ноябрь | 0,07 | 0,07 |
| Июнь | 0,02 | 0,03 | Декабрь | 0,18 | 0,48 |

Для изучаемой территории, как и для России в целом, в последние десятилетия наблюдается определенное замедление повышения СГТВ: температура колеблется на уровне достигнутых ранее высоких значений. Во временном ряду среднегодовых аномалий температуры период после 1970 г. характеризуется наиболее интенсивным потеплением и уменьшением количества отрицательных отклонений (рис. 2).

Атмосферные осадки. Для оценки изменений количества атмосферных осадков были использованы данные за 82-летний

период с 1937 по 2018 г. На территории Среднего Урала, как и в России в целом, характерно увеличение годовой суммы осадков (рис. 3).

Суммы осадков, по данным метеостанции, варьируют в диапазоне 269–869 мм в год, а их среднее многолетнее значение составляет чуть более 500 мм. Межгодовые колебания до конца 70-х годов имеют выраженный волнообразный характер: из 10 лет только 2–3 имеют избыточное количество осадков (Σ O \geq 120%). Линия тренда свидетельствует об устойчивом увеличении годовой суммы атмосферных осадков. В последние 40 лет волновые колебания имеют большую длину: влажные годы встречаются все чаще, а в 2015—2016 гг. зафиксировано рекордное количество осадков – более 800 мм.

Снежный покров. Для оценки изменения высоты снежного покрова и продолжительности его залегания был проанализирован ряд данных за 46 лет с 1973 по 2018 г. В среднем высота снежного покрова за данный период составляет 47 см. Минимальное значение было зафиксировано в 1974 г. — 13 см, максимальное в 2001 г. — 91 см. Данный показатель, как и ранее рассмотренные, имеет тенденцию к увеличению, однако гораздо менее выраженную (рис. 4).

В северной части Среднего Урала продолжительность залегания устойчивого снежного покрова составляет 170—190 дней, а его разрушение в среднем происходит 13 апреля [14]. Ряд данных, соответствующий последним 46 годам, свидетельствует, что полное разрушение постоянного снежного покрова происхо-

дит раньше (рис. 5). Самая ранняя дата зафиксирована в 2011 г. — 14 марта, а в 1998 г. снежный покров растаял полностью только 5 мая. В 44% случаев снежный покров полностью разрушается во вторую декаду

апреля, в то время как на первую и последнюю приходится 24 и 15% случаев соответственно. Однако раннее таяние — во вторую-третью декады марта — встречается значительно чаще, чем запаздывание.

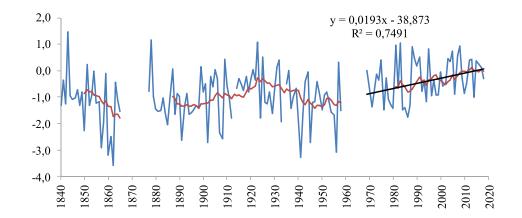


Рис. 2. Изменения аномалий СГТВ в течение 1840–2018 гг. Красная кривая показывает сглаженный ход температуры, черная линия – тренд за 1969–2018 гг.



Рис. 3. Годовое количество осадков в г. Нижнем Тагиле

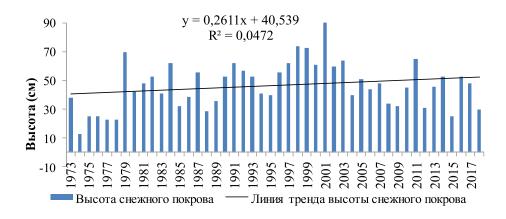


Рис. 4. Высота снежного покрова за 1973-2018 гг.

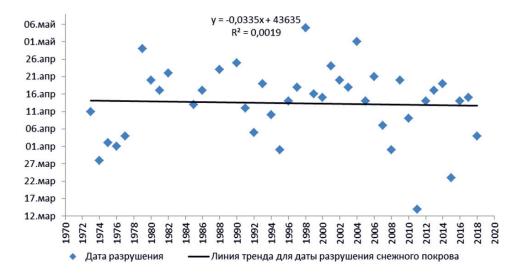


Рис. 5. Даты разрушения снежного покрова в 1973-2018 гг.

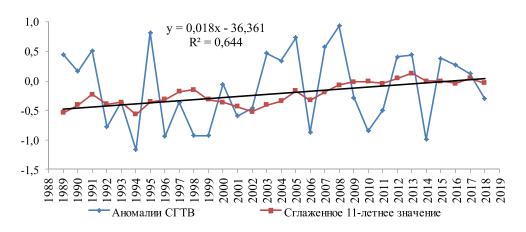


Рис. 6. Изменения аномалий СГТВ за 1989-2018 гг.

Таблица 3 Коэффициент наклона линейного тренда (КНЛТ) средней месячной температуры воздуха и степень достоверности аппроксимации на изучаемой территории за 1989-2018 и 2000-2018 гг. (°C/ 10 лет)

| Месяц | КНЛТ ₁₉₈₉₋₂₀₁₈ | R ² ₁₉₈₉₋₂₀₁₈ | КНЛТ ₂₀₀₀₋₂₀₁₈ | R ² ₂₀₀₀₋₂₀₁₈ |
|----------|---------------------------|-------------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| Январь | -0,08 | 0,04 | -1,69 | 0,65 |
| Февраль | -0,21 | 0,07 | -0,99 | 0,43 |
| Март | 0,15 | 0,12 | 0,00 | _ |
| Апрель | -0,35 | 0,30 | -0,30 | 0,11 |
| Май | 0,46 | 0,58 | 0,75 | 0,66 |
| Июнь | -0,56 | 0,23 | 0,35 | 0,09 |
| Июль | -0,19 | 0,15 | 0,40 | 0,45 |
| Август | 0,34 | 0,39 | 0,93 | 0,79 |
| Сентябрь | 0,34 | 0,46 | 0,58 | 0,54 |
| Октябрь | 0,45 | 0,53 | 0,14 | 0,04 |
| Ноябрь | 1,32 | 0,58 | 2,53 | 0,79 |
| Декабрь | 0,33 | 0,15 | 0,87 | 0,41 |

Для оценки изменения метеорологических показателей необходимо сравнить современные данные со значениями базового тридцатилетнего периода. Для оценки изменений климата ВМО рекомендует использовать официальный базовый климатический период 1961-1990 гг. или любой не менее чем тридцатилетний период [15]. В качестве современного был принят последний полный тридцатилетний ряд данных с 1989 по 2018 г. Анализ его среднемесячных и среднегодовых температур воздуха показывает некоторое повышение температур зимних месяцев и понижение температур летних месяцев по сравнению с базовым периодом. СГТВ на этих тридцатилетних отрезках неизменна и составляет +1,8°C. Для более точной оценки различий между СГТВ современного и базового периодов были рассчитаны значения отклонений последних тридцати лет от климатической нормы (рис. 6). Несмотря на то что положительные отклонения выявлены менее чем в половине случаев, сглаженные значения демонстрируют устойчивый рост за последние 16 лет.

Сила и направленность тенденций к изменению среднемесячных температур воздуха в современный период может быть определена по угловым коэффициентам линейного тренда (табл. 3).

Заключение

Анализ имеющихся метеорологических данных позволяет сделать вывод об устойчивых тенденциях их изменения на исследуемой территории. Для северной части Среднего Урала, как и для России в целом, свойственно усиление аномалий среднегодовой температуры воздуха, а период после 1970 г. характеризуется наиболее интенсивным потеплением и уменьшением количества отрицательных отклонений. Увеличение годовой суммы осадков также сопоставимо с данными, осредненными для территории России. В последние десятилетия чаще встречаются аномально влажные годы. Мощность осадков холодного периода увеличивается, а полное его разрушение происходит раньше. В последние десятилетия чаще встречается аномально раннее разрушение постоянного снежного покрова.

Список литературы / References

1. Мустафина А.Б. Изменения основных климатичских показателей на территории Республики Татарстан за пери-

од 1966–2013 гг. // Географический вестник. 2017. № 2(41). С. 99–108. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-99-108.

Mustafina A.B. Changes of the main climatic indicators in the territory of the Republic of Tatarstan during 1966–2013 // Geographical bulletin. 2017. № 2(41). P. 99–108 (in Russian).

2. Миненкова В.В. Современные климатические изменения и их возможные последствия для рекреационного использования горных теплоумеренных колхидских ландшафтов Российского Кавказа // Известия ДГПУ. Естественные и точные науки. 2017. Т. 11. № 2. С. 88–96.

Minenkova V.V. Modern Climate Changes and Their Possible Consequences for Recreational Use of Mountains Warm-moderate Colchian Landscapes of the Russian Caucasus // Izvestiya DGPU. Yestestvennyye i tochnyye nauki. 2017. Vol. 11. № 2. P. 88–96 (in Russian).

3. Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Шерстюков Б.Г., Наумов Э.П. Мониторинг современных изменений климата Среднего Поволжья // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2010. Т. 152. № 3. С. 251–260.

Perevedentsev Y.P., Shantalinskij K.M., Sherstjukov B.G., Naumov Je.P. Monitoring of Modern Climate Changes of the Average Volga Region // Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki. 2010. Vol. 152. № 3. P. 251–260 (in Russian).

4. Литвинова О.С., Гуляева Н.В. Анализ временных рядов осадков Обь-Иртышского междуречья в XX-начале XXI вв. // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2010. № 1 (1). С. 45–54.

Litvinova O.S., Gulyaeva N.V. The analysis of time numbers of deposits Ob-Irtysh interfluves in XX – beginning XXI centuries // Environmental dynamics and global climate change. 2010. Vol. 1. No. 1. P. 45–54 (in Russian).

5. Ушаков М.В. Современные изменения термического режима вегетационного и зимнего периодов на Чукотке // Географический вестник. 2017. № 2 (41). С. 81–91. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-81-91.

Ushakov M.V. Modern changes of thermal regime of the vegetation and winter periods in Chukotka // Geographical bulletin. 2017. № 2(41). P. 81–91 (in Russian).

6. Романец А.А., Еговцева Р.Н., Жукова Л.А. Климат Нижнего Тагила / под ред. Ц.А. Швер. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 135 с.

Romanec A.A., YEgovceva R.N., ZHukova L.A. Climate of Nizhny Tagil / edited by C.A. SHver, L.: Gidrometeoizdat, 1984. 135 p. (in Russian).

7. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД) [Электронный ресурс]. URL: http://meteo.ru/it/178-aisori/ (дата обращения: 03.02.2020).

 $Russian\ Institute\ of\ Hydrometeorological\ Information-World\ Data\ Center\ (RIHM-WDC)\ [Electronic\ resource].\ URL:\ http://meteo.ru/it/178-aisori/\ (date\ of\ access:\ 03.02.2020)\ (in\ Russian).$

8. Научно-прикладной справочник по климату СССР / под ред. З.Н. Пильникова. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 557 с.

Scientific-applied reference on the climate of the USSR / edited by Z.N. Pil'nikov. L.: Gidrometeoizdat, 1990. 557 p. (in Russian).

9. Изменения климата 2010 год (декабрь 2009 – ноябрь 2010). Обзор состояния и тенденций изменения климата России. М., 2011. 38 с.

Climate change 2010 (December 2009 – November 2010). Overview of the status and trends of climate change in Russia. M., 2011. 38 p. (in Russian).

10. Изменения климата 2012 год (декабрь 2011 – ноябрь 2012). Обзор состояния и тенденций изменения климата России. М., 2013. 39 с.

Climate change 2012 (December 2011 – November 2012). Overview of the status and trends of climate change in Russia. M., 2013. 39 p. (in Russian).

11. Изменения климата 2016 год (декабрь 2015 – ноябрь 2016). Обзор состояния и тенденций изменения климата России. М., 2017. 42 с.

Climate change 2016 (December 2015 – November 2015). Overview of the status and trends of climate change in Russia. M., 2017. 42 p. (in Russian).

- 12. Climatic Research Unit. [Electronic resource]. URL: http://www.cru.uea.ac.uk/data (date of access: 03.02.2020).
- 13. Чертко Н.К., Карпиченко А.А. Математические методы в географии. Минск: Издательский центр БГУ, 2008. 202 с.
- CHertko N.K., Karpichenko A.A. Mathematical Methods in Geography. Minsk: Izdatel'skiy tsentr BGU, 2008. 202 p.
- 14. Гурьевских О.Ю., Капустин В.Г., Скок Н.В., Янцер О.В. Физико-географическое районирование и ланд-

шафты Свердловской области / под ред. О.Ю. Гурьевских. Екатеринбург: ФГБОУ ВО УГПУ, 2016. 280 с.

Gur'evskih O.Yu., Kapustin V.G., Skok N.V., Yancer O.V. Physical-geographical zoning and landscapes of the Sverdlovsk region / edited by O.Yu. Gur'evskih. Ekaterinburg: FGBOU VO UGPU, 2016. 280 p. (in Russian).

15. Новый двухуровневый подход к «климатическим нормам» // Гидрометцентр России. [Электронный ресурс]. URL: https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/11151-03062015-1-г. (дата обращения: 03.02.2020).

A new two-tier approach to «climate standards» // Hydrometcenter of Russia, [Electronic resource]. URL: https://meteoinfo.ru/news/1-2009-10-01-09-03-06/11151-03062015-l-r. (date of access: 03.02.2020) (in Russian).

УДК 504.064.2:502.2.08:551.4.044:528.854.2:519.876.5

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА КООРДИНАТ В ХАРАКТЕРНЫХ ТОЧКАХ ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ РУСЛА МАЛОЙ РЕКИ ИРОВКА

Мазуркин П.М., Георгиева Я.О.

Поволжский государственный технологический университет, Йошкар-Ола, e-mail: kaf po@mail.ru, yanageorgieva2017@yandex.ru

Цель статьи – анализ асимметричных вейвлетов в бинарных соотношениях между тремя координатами по 290 характерным точкам от истока до устья малой реки Ировка. Гипсометрическая характеристика – важнейшее свойство рельефа. Река Ировка относится к низменному уровню, в устье высота равна 89 м, а в истоке – 148 м над уровнем моря. Моделирование бинарных отношений широтой, долготой и высотой показало, что наибольшую квантовую определенность получает местная широта. При этом все парные закономерности получили коэффициент корреляции более 0,95. Такая высокая адекватность волновых закономерностей показывает, что геоморфология может перейти на волновое некратное фрактальное представление рельефа. Река Ировка отличается малым антропогенным воздействием, поэтому рельеф на длине 69 км имеет есгественный характер колебательной адаптации малой реки к поверхности Вятского увала с его восточной стороны. Это позволяет перейти к анализу четырех притоков малой реки Ировка, а также моделировать рельеф всего водосборного бассейна площадью 917 км². Наибольшую адекватность с коэффициентом корреляции 0,9976 получило влияние широты на долготу, то есть географическое расположение рельефа русла реки относительно геоморфологии Вятского увала. На втором месте с корреляцией 0,9967 оказалось влияние высоты точек русла малой реки на местную долготу, и оно в основном также определяется рельефом Вятского увала. На третьем месте находится влияние широты на высоту с коэффициентом корреляции 0,9859. И на последнем - шестом - месте находится обратное влияние высоты на местную широту в направлении Север-Юг.

Ключевые слова: малая река, космоснимок, русло, точки, широта, долгота, высота, отношения, вейвлеты

REGULARITIES OF FACTOR ANALYSIS OF COORDINATES AT CHARACTERISTIC POINTS OF THE LONGITUDINAL PROFILE OF THE CHANNEL OF THE SMALL RIVER IROVKA

Mazurkin P.M., Georgieva Ya.O.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf po@mail.ru, yanageorgieva2017@yandex.ru

The purpose of the article is the analysis of asymmetric wavelets in binary relations between three coordinates at 290 characteristic points from the source to the mouth of the small river Irovka. The hypsometric characteristic is the most important property of the relief. The Irovka River belongs to a low level, at the mouth it is 89 m high, and at the source it is 148 m above sea level. Modeling of binary relations with latitude, longitude, and height has shown that local latitude receives the greatest quantum certainty. In this case, all paired regularities received a correlation coefficient of more than 0.95. Such a high adequacy of wave patterns shows that geomorphology can go over to the wave multiple fractal representation of the relief. The Irovka River is characterized by a small anthropogenic impact, therefore, the relief over a length of 69 km has the natural character of the oscillatory adaptation of a small river to the surface of the Vyatka Uval from its eastern side. This allows us to proceed to the analysis of the four tributaries of the small river Irovka, as well as to model the relief of the entire catchment basin of 917 km². The greatest adequacy with a correlation coefficient of 0.9976 was obtained by the influence of latitude on longitude, that is, the geographical location of the relief of the river channel with respect to the geomorphology of the Vyatka Uval. In second place with a correlation of 0.9967 was the influence of the height of the points of the channel of the small river on local longitude and it is also mainly determined by the relief of the Vyatka Uval. In third place was the effect of latitude on height with a correlation coefficient of 0.9859. And in last sixth place is the inverse effect of altitude on local latitude in the North-South direction.

Keywords: small river, space image, channel, points, latitude, longitude, altitude, relations, wavelets

Малые реки – наиболее уязвимое звено в речных системах, что связано с их небольшой водностью и невысокой эрозионнотранспортирующей способностью. Этим объясняется особая чувствительность русел малых рек к антропогенным воздействиям: строительству земляных плотин, мостов, обустройству бродов, местному водозабору и сливу неочищенных (как правило, сточ-

ных) вод, вырубке лесов и распашке водосборов [1]. При этом фрактальные распределения рек по длинам в речной сети имеют определенные преимущества [2].

Нами по космическим снимкам были измерены координаты (широта, долгота, высота) [3] по методическим рекомендациям [4]. По измерениям составлена таблица координат для идентификации закономерностей [5].

Цель исследования: анализ асимметричных вейвлетов у бинарных отношений между тремя координатами по 290 характерным точкам от истока до устья малой реки Ировка.

Материалы и методы исследования

В табл. 1 даны результаты измерения трех координат.

Таблица 1 Координаты характерных точек русла малой реки Ировка

| Ранг точки | Широта α, минута | Долгота β, минута | Высота <i>h</i> , м |
|---------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| 0 | 0 | 17.39 | 59 |
| 1 | 0.02 | 17.50 | 52 |
| 2 | 0.19 | 17.62 | 48 |
| | | | |
| 287 | 23.84 | 2.019 | 4 |
| 288 | 23.87 | 2.035 | 2 |
| 289 | 23.89 | 2.017 | 0 |

Гипсометрическая характеристика — одно из важнейших свойств рельефа. По приподнятости поверхности суши над уровнем океана выделяют *низменный* (абсолютная высота от 0 до 200 м) рельеф [6, с. 24–25]. Река Ировка имеет в устье высоту 89 м, а в истоке — 148 м (рис. 1).

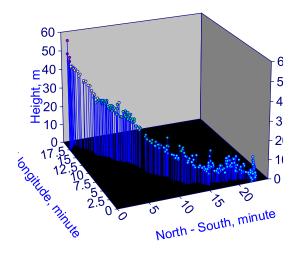


Рис. 1. Пространственная гипсометрия реки

Ировка по гипсометрической картине на рис. 1 протекает внутри прямоугольника 23.89 минут длиной (по местной широте) и 18.89 минут шириной (по местной долготе). Резкие изменения кривизны русла в плане по 290 характерным точкам дали несколько волновых уравнений.

Далее рассмотрим бинарные отношения. Колебания (вейвлет-сигналы) записываются волновой формулой [5] вида

$$y_{i} = A_{i} \cos(\pi x / p_{i} - a_{8i}),$$

$$A_{i} = a_{1i} x^{a_{2i}} \exp(-a_{3i} x^{a_{4i}}),$$

$$p_{i} = a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}},$$
(1)

где y — показатель (зависимый фактор), i — номер составляющей модели (1), m — количество членов в (1), x — объясняющая переменная (влияющий фактор), a_1 ... a_8 — параметры (1), принимающие значения при структурно-параметрической идентификации в CurveExpert-1.40, A_i — амплитуда (половина) вейвлета (ось y), p_i — полупериод колебания (ось x).

Результаты исследования и их обсуждение

После идентификации общей модели (1) из трех координат в табл. 2 были получены шесть бинарных отношений.

Наибольшую адекватность с коэффициентом корреляции 0,9976 получило влияние широты на долготу. На втором месте с корреляцией 3.9967 оказалось влияние высоты точек русла малой реки на местную долготу, и оно в основном определяется рельефом Вятского увала. На третьем месте оказалось влияние широты на высоту с коэффициентом корреляции 0,9859.

И на последнем, шестом, месте находится обратное влияние высоты на местную широту в направлении Север-Юг. Все двухи трехчленные модели имеют сильнейшую адекватность, то есть коэффициент корреляции составляет более 0,95.

Влияние высоты от устья до истока реки и долготы от левой точки русла

На рис. 2 и 3 приведены графики влияния высоты и долготы по моделям из табл. 2.

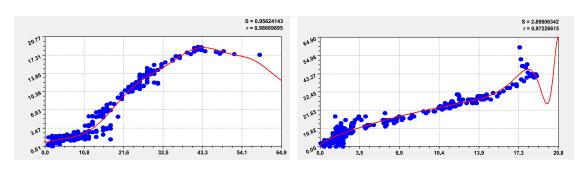
Высокая адекватность позволяет сделать вывод о том, что координаты русла малой реки обладают общими свойствами. Одним из них является непрерывность водного потока.

Влияние широты Север-Юг от истока до устья

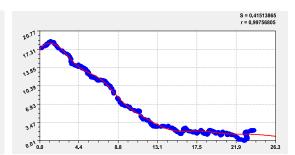
Широта влияет на два остальных параметра (высоту и долготу) фрактально (табл. 3 включает 11 членов, табл. 4 — 13 вейвлетов). Причем эта фрактальность определяется некратной структурой составляющих (1).

Таблица 2 Параметры моделей бинарных отношений координат реки Ировка

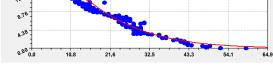
| Номер і | | Вейвлет | $y_i = a_{1i} x^{a_{2i}} e$ | $xp(-a_{3i}x^{a_{4i}}$ | $\cos(\pi x/($ | $(a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}})$ | $-a_{8i}$) | | Коэф. корр. | |
|---|---|-------------|-----------------------------|------------------------|----------------|-------------------------------|-------------|----------|----------------|--|
| | Ампли | итуда (поло | вина) колеба | кини | Полу | период колеб | бания | Сдвиг | r | |
| | $a_{_{1i}}$ | a_{2i} | a_{3i} | $a_{_{4i}}$ | a_{5i} | a_{6i} | a_{7i} | a_{8i} | | |
| | Влиян | ие высоты | от устья до | истока рек | и на долгот | у характернь | ых точек ру | /сла | | |
| 1 | 0.036510 | 1.84872 | 0.00015250 | 2.25378 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9967 | |
| 2 | 2.17901 | 0 | 0.060421 | 0.28602 | 10.34394 | -0.0034879 | 1.50771 | 1.02204 | | |
| | Влияни | е высоты о | т устья до ис | тока реки і | на широту | Север-Юг от | истока до | устья | | |
| 1 | 24.11765 | 0 | 0.021872 | 1.28116 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9693 | |
| 2 | -4.11571e-20 | 33.78062 | 3.19877 | 1 | 10.11218 | -0.14566 | 1.41996 | -3.87447 | | |
| Влияние долготы от левой точки русла на высоту от устья реки Ировка | | | | | | | | | | |
| 1 | 4.58566 | 0.73085 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9723 | |
| 2 | 2.03445 | 0 | -1.75365e-5 | 3.90439 | 42.76414 | -1.60613 | 1/03524 | -1.26285 | | |
| | Влияни | ие долготы | от левой точ | ки русла н | а широту С | Север-Юг от 1 | истока до у | /СТЬЯ | | |
| 1 | 22.87329 | 0 | 0;0022749 | 2.42253 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9724 | |
| 2 | -9.48597 | 3.81920 | 2.13995 | 0.64925 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 3 | 3.10268e8 | 6.37127 | 19.73370 | 0.25275 | 0.41871 | 0.019294 | 1.94415 | 0.14850 | | |
| | Влияни | е широты (| Север-Юг от | истока до | устья на вы | соту от усты | я до истока | а реки | | |
| 1 | 58.96563 | 0 | 0.11761 | 0.85812 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9859 | |
| 2 | -1.71136e6 | 0.70048 | 12.14870 | 0.057545 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 3 | 1.46900e-34 | 38.87949 | 1.67667 | 1.03588 | 83.45225 | -4.18801 | 0.91671 | -2.73588 | | |
| | Влияние широты Север-Юг от истока до устья на долготу от левой точки русла реки | | | | | | | | | |
| 1 | 19.08116 | 0 | 0.039811 | 1.32388 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9976 | |
| 2 | -1.61185e-6 | 26.25390 | 14.89933 | 0.49461 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| 3 | -2.09089 | 0 | 0.82090 | 0.40884 | 2.36913 | 0.0028086 | 1.55183 | -0.35993 | | |



Тренд и колебание влияния на долготу



Тренд и колебание влияния на высоту



Тренд и колебание влияния на широту

Рис. 2. Графики влияния высоты реки

Тренд и колебание влияния на широту

Рис. 3. Графики влияния долготы русла

 Таблица 3

 Влияние широты Север-Юг от истока до устья на высоту реки Ировка

| Номер <i>i</i> | I | Вейвлет y_i | $= a_{1i} x^{a_{2i}} $ ex | $\exp(-a_{3i}x^{a_{4i}}$ | $)\cos(\pi x/(a))$ | $a_{5i} + a_{6i}x^{a_{7i}})$ | $-a_{8i}$) | | Коэф. корр. |
|-------------------|-------------|---------------|---------------------------|--------------------------|--------------------|------------------------------|-------------|----------|----------------|
| | Амплит | уда (полови | на) колеба | кин | Полуп | ериод колеб | ания | Сдвиг | r |
| | $a_{_{1i}}$ | a_{2i} | a_{3i} | a_{4i} | a_{5i} | a_{6i} | a_{7i} | a_{8i} | |
| 1 | 58.96563 | 0 | 0.11761 | 0.85812 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9859 |
| 2 | -1.71136e6 | 0.70048 | 12.14870 | 0.057545 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 3 | 1.46900e-34 | 38.87949 | 1.67667 | 1.03588 | 83.45225 | -4.18801 | 0.91671 | -2.73588 | |
| 4 | 0.156044 | 3.10878 | 0.486002 | 1 | 2.82186 | 1.20712e-4 | 2.76209 | 1.22940 | 0,3909 |
| 5 | 2.89862e-15 | 20.01880 | 1.28894 | 1.01392 | 0.0715423 | 0.00979152 | 1.07050 | 13.45603 | 0,3601 |
| 6 | 5.09823e-99 | 116.00022 | 2.35448 | 1.33230 | 0.0777732 | 0 | 0 | 4.71515 | 0,2785 |
| 7 | 5.26586e-6 | 4.85253 | 0.153153 | 0.990526 | 0.106066 | 0 | 0 | 1.39946 | 0,1704 |
| 8 | 2.71862e-81 | 0 | 4.18864 | 1 | 0.113739 | 2.66500 | 0 | 0 | 0,1474 |
| 9 | 5.20858e-23 | 35.73529 | 3.03928 | 1.01566 | 4.04816 | 0.0655608 | 1.23614 | -3.85008 | 0,1035 |
| 10 | 0.0921386 | 1.56575 | 0.172271 | 1 | 0.524478 | 4.53850 | 0 | 0 | 0,1791 |
| 11 | 0.896703 | 2.36906 | 0.877726 | 0.901428 | 0.771798 | 0 | 0 | 2.92625 | 0,1891 |

Адекватность влияния широты может достичь коэффициента корреляции 1. И этот факт показывает, что влияние местной широты обладает высокой определенностью квантования волновыми уравнениями (рис. 4—7). Это называется полным факторным анализом.

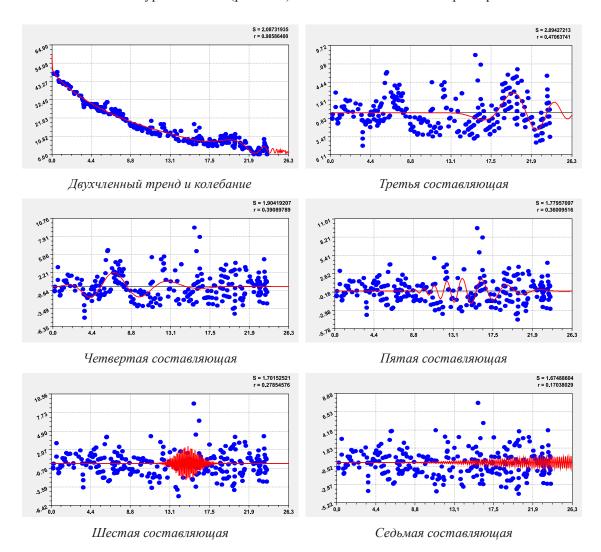


Рис. 4. Графики влияния широты Север-Юг от истока до устья на высоту реки Ировка

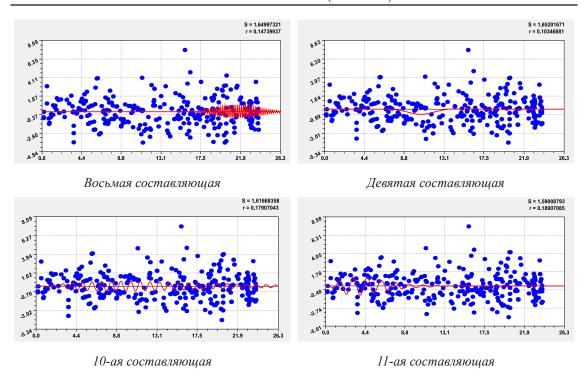


Рис. 5. Графики влияния широты Север-Юг на высоту от устья до истока реки Ировка

 Таблица 4

 Влияние широты Север-Юг от истока до устья на долготу реки Ировка

| Номер | | Вейвлет | $y_i = a_{1i} x^{a_{2i}} $ ex | $xp(-a_{3i}x^{a_{4i}}$ | $(\cos(\pi x/(a))$ | $a_{5i} + a_{6i} x^{a_{7i}}$ | $-a_{8i}$) | | Коэф. корр. |
|-------|-------------|------------|-------------------------------|------------------------|--------------------|------------------------------|-------------|-------------|----------------|
| | Амплит | гуда (поло | вина) колеба | RИН | Полупе | ериод колеб | ания | Сдвиг | r |
| | $a_{_{1i}}$ | a_{2i} | a_{3i} | $a_{_{4i}}$ | a_{5i} | a_{6i} | a_{7i} | $a_{_{8i}}$ | |
| 1 | 19.08116 | 0 | 0.039811 | 1.32388 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,9976 |
| 2 | -1.61185e-6 | 26.25390 | 14.89933 | 0.49461 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 3 | -2.09089 | 0 | 0.82090 | 0.40884 | 2.36913 | 0.0028086 | 1.55183 | -0.35993 | |
| 4 | 1.95823e-5 | 0 | 0.448432 | 1.00282 | 0.0820466 | 0.0119878 | 1.00090 | 5.45636 | 0,4873 |
| 5 | 0.0168527 | 3.08551 | 0.378919 | 1.00055 | 1.58592 | 6.89209e-5 | 2.25901 | 2.74470 | 0,5584 |
| 6 | 4.51507e-6 | 4.65846 | 0.00126702 | 2.65421 | 0.156256 | 0.232502 | 0.219714 | 12.08418 | 0,3172 |
| 7 | 0.00742864 | 0 | 2.07429 | 0.127857 | -0.0334208 | 1.99360 | 0.079573 | 6.22674 | 0,3006 |
| 8 | 1.14486e-8 | 7.88750 | 0.253085 | 1.12234 | 5.64354 | 1.01837 | 0 | 0 | 0,2100 |
| 9 | 1.59713e-7 | 5.97718 | 0.379652 | 0.825954 | 0.857850 | 0 | 0 | 6.11295 | 0,2035 |
| 10 | 1.28249 | 0.788528 | 1.19686 | 0.595343 | 0.772734 | 0.0263791 | 0.913011 | 1.77834 | 0,3538 |
| 11 | 1.79254e-13 | 11.76514 | 0.564683 | 0.905328 | 0.375291 | 0 | 0 | 2.47176 | 0,1360 |
| 12 | 0.0264789 | 1.10650 | 0.119784 | 0 | 0.497133 | 0 | 0 | 1.05946 | 0,2198 |
| 13 | 1.31795e-8 | 11.27609 | 2.044278 | 0.735657 | 0.594690 | 0 | 0 | 0.978506 | 0,0465 |

Таким образом, из трех координат для 290 характерных точек русла малой реки Ировка наибольший уровень некратной фрактальности имеет множество из 13 вейвлетов влияния местной широ-

ты Север-Юг на местную долготу. Сравнение ранговых распределений показало, что модель (1) для широты получила 25 членов, для долготы 18 и для высоты — 12 членов.

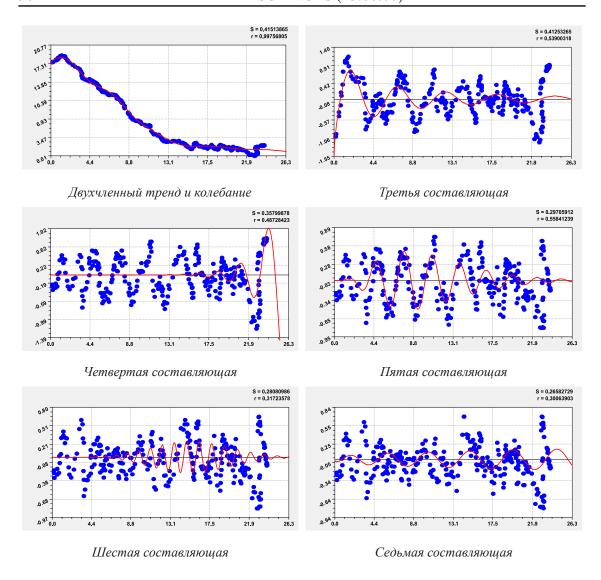


Рис. 6. Графики влияния широты Север-Юг на долготу от левой точки русла реки Ировка

Заключение

Гипсометрическая характеристика — важнейшее свойство рельефа. Река Ировка относится к низменному уровню, в устье высота равна 89 м, а в истоке — 148 м над уровнем моря. В статье показана возможность получения закономерностей гипсометрии.

Моделирование бинарных отношений между тремя координатами (широтой, долготой и высотой) характерных точек малой реки Ировка показало, что наибольшую квантовую определенность получает местная широта. При этом все парные закономерности имеют коэффициент корреляции более 0,95. Такая высокая адекватность волновых закономерностей показывает,

что геоморфология может перейти на некратное фрактальное представление рельефа. Река Ировка отличается малым антропогенным воздействием, поэтому рельеф на длине 69 км имеет естественный характер колебательной адаптации малой реки к поверхности Вятского увала с его восточной стороны. Это позволяет перейти к анализу четырех притоков малой реки Ировка, а также моделировать рельеф всего водосборного бассейна 917 км².

Наибольшую адекватность с коэффициентом корреляции 0,9976 получило влияние широты на долготу, то есть географическое расположение рельефа русла реки относительно геоморфологии суши на восточной стороне Вятского увала.

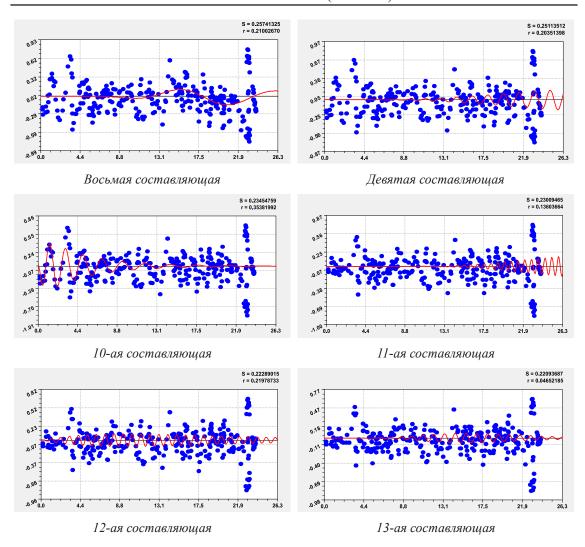


Рис. 7. Графики влияния широты Север-Юг на долготу от левой точки русла реки Ировка

На втором месте с корреляцией 0,9967 оказалось влияние высоты точек русла малой реки на местную долготу, и оно в основном тоже определяется рельефом Вятского увала. На третьем месте оказалось влияние широты на высоту с коэффициентом корреляции 0,9859.

Список литературы / References

1. Азизов З.К. Строение долин малых рек Ульяновской области: дис. ... канд. геогр. наук. Казань: КГУ, 2000. 177 с. [Электронный ресурс]. URL: https://www.dissercat.com/content/stroenie-dolin-malykh-rek-ulyanovskogo-predvolzhya (дата обращения: 11.02.2020).

Azizov Z.K. The structure of the valleys of small rivers of the Ulyanovsk region: dis. ... kand. geogr. nauk. Kazan': KGU, 2000. 177 p. [Electronic resource]. URL: https://www.dissercat.com/content/stroenie-dolin-malykh-rek-ulyanovskogo-predvolzhya (date of access: 11.02.2020) (in Russian).

2. Сидорчук А.Ю. Фрактальная геометрия речных сетей // Геоморфология. 2014. № 1. С. 3–14. DOI: 10.15356/0435-4281-2014-1-3-14.

Sidorchuk A.Y. Fractal geometry of the river network // Geomorfologiya. 2014. $N\!\!_{2}$ 1. P. 3–14 (in Russian).

3. Мазуркин П.М., Георгиева Я.О. Измерение координат по спутниковым снимкам вдоль русла малой реки Ировка в Республике Марий Эл // Успехи современного естествознания. 2019. № 12–2. С. 294–300.

Mazurkin P.M., Georgieva Y.O. Measurement of coordinates by satellite imagery along the bed of the small river Irovka in the Republic of Mari El // Advances in current natural sciences. 2019. N 12–2. P. 294–300 (in Russian).

4. Карты высот, уклонов. [Электронный ресурс]. URL: http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l (дата обращения: 11.02.2020).

Maps of heights, slopes. [Electronic resource]. URL: http://votetovid.ru/#56.201192,48.95536,17z,51v30l (date of access: 11.02.2020) (in Russian).

- 5. Mazurkin P.M. Wavelet Analysis Statistical Data. Advances in Sciences and Humanities. 2015. Vol. 1. No. 2. P. 30–44. DOI: 10.11648/j.ash.20150102.11.
- 6. Рычагов Г.И. Геоморфология. Учебник для академического бакалавриата. М.: Юрайт, 2018. 396 с.

Rychagov G.I. Geomorphology. Textbook for academic undergraduate. M.: Yurayt, 2018. 396 p. (in Russian).

УДК 528.344:551.24.02

О ПРИМЕНЕНИИ МЕТОДОВ ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О ЦУНАМИ В КУРИЛО-КАМЧАТСКОМ РЕГИОНЕ

^{1,2}Нечаев Г.В., ^{1,2}Шестаков Н.В., ³Такахаши Х., ²Герасименко М.Д., ^{1,2}Сысоев Д.В.

¹ФГАОУ ВО Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, e-mail: henley_grange@mail.ru;

²ФГБУН Институт прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук, Владивосток;

³Институт сейсмологии и вулканологии Хоккайдского университета, Саппоро

Действующая система предупреждения о цунами (СПЦ) в Курило-Камчатском регионе основана на применении сейсмических методов и не позволяет получить в режиме реального времени точные параметры очага землетрясения, необходимые для надежного прогнозирования цунами. Кроме того, сейсмическим методам свойственна недооценка магнитуды события при возникновении сильных землетрясений (М, > 8,0), нередко происходящих в Курило-Камчатской зоне субдукции. В последние годы для решения вышеописанных проблем рядом зарубежных СПЦ широко применяются методы Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС-методы). Суть данной методологии заключается в инвертировании детектированных ГНСС-станциями косейсмических смещений в параметры очага землетрясения и последующем расчете начальных смещений морского дна и параметров цунами. В данной работе на примере Камчатского землетрясения 1952 г. М_8,7-9,0 рассматривается возможность применения ГНСС-методов в региональной СПЦ. Косейсмические смещения на местах расположения региональных ГНСС-станций, смоделированные программой Coulomb3.0 по опорной модели, были инвертированы с использованием различной точности их определения. По инвертированным плоскостям землетрясений далее были рассчитаны косейсмические смещения дна и сравнены со смещениями, соответствующими опорной модели. В результате определено, что инвертирование данных даже простой одноплоскостной моделью очага способно удовлетворительно описать реальный очаг, а соответствующие инвертированным очагам начальные движения морского дна довольно точно повторяют реальные смещения. Точности определения смещений в 3 см по горизонтали и 5 см вертикали достаточно для адекватной оценки параметров землетрясения. Таким образом, подтверждено, что применение ГНСС-методов и использование существующей региональной ГНСС-сети способны существенно улучшить надежность СПЦ при нынешних возможностях ГНСС-технологий.

Ключевые слова: ГНСС-методы, предупреждение о цунами, моделирование землетрясений, инверсия, косейсмические смещения

ON APPLICATION OF METHODS OF GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS FOR TSUNAMI EARLY WARNING IN THE KURIL-KAMCHATKA REGION

^{1,2}Nechaev G.V., ^{1,2}Shestakov N.V., ³Takahashi H., ²Gerasimenko M.D., ^{1,2}Sysoev D.V.

¹Far Eastern Federal University, Vadivostok, e-mail: henley_grange@mail.ru;

²Institute for Applied Mathematics of Far Eastern branch of Russian Academy of Science, Vladivostok;

³Institute of seismology and volcanology of Hokkaido University, Sapporo

Current Kuril-Kamchatka region's tsunami warning system (TWS) is based on seismic methods that don't allow to get accurate seismic source parameters in real-time that are needed for precise tsunami forecast. In addition, seismic methods utilization lead to magnitude underestimation in case of strong earthquakes (M_w > 8.0) which often occur in the Kuril-Kamchatka subduction zone. Over the last years, methods of Global Navigation Satellite Systems (GNSS-methods) are applied for solving of abovementioned issues in a number of foreign TWSs. The core of methodology is inversion of coseismic displacements detected by GNSS-stations into the earthquake source parameters and following calculation of sea bottom displacements and tsunami characteristics. Possibility of GNSSmethods application for regional TWS is considering in this work as an example of 1952 Kamchatka earthquake M_w8.7-9.0. Coseismic displacements at the locations' of regional GNSS-stations modeled by Coulomb3.0 software and reference earthquake model were inverted according to different accuracy of offsets' determination. Next, coseismic displacements of sea bottom were calculated using inverted fault planes and were compared with offsets corresponding to reference model. It was defined that adaptation of simple single plane fault's model for inversion was possible to describe real source well. Initial sea bottom's movements corresponding to inverted planes can to describe real offsets quite precisely. Accuracy of displacements' determination of 3 cm in horizontal plane and 5 cm in vertical plane if enough for adequate estimation of earthquake's parameters. Thereby, we confirmed that application of GNSS-methods and utilizing of existed regional GNSS-network is able to improve reliability of TWS significantly under current GNSS-techniques abilities.

Keywords: GNSS-methods, tsunami warning, earthquake modelling, inversion, coseismic displacements

Полуостров Камчатка и Курильские острова расположены в районе высокой сейсмической активности. Регулярные землетрясения происходят здесь в результате

сложного взаимодействия Тихоокеанской и Северо-Американской плит и Берингийской и Охотской микроплит. Наиболее сильные землетрясения с магнитудой

до М_9,0 генерируются в Курило-Камчатской зоне субдукции, в зоне контакта Тихоокеанской и Охотской плит и являются наиболее частым источником цунами. Также регион подвержен воздействию телецунами, возникающих в результате катастрофических землетрясений, исходящих у берегов Северной и Южной Америки. Так, в 1960 г. высота заплесков Чилийского цунами на побережье Камчатки достигала 6 м [1]. Однако наиболее сильные и разрушительные для Курило-Камчатского побережья цунами генерируются именно в близлежащей одноименной зоне субдукции. Наиболее разрушительными в XX в. стали Камчатское землетрясение М., 8,7–9,0 и цунами 1952 г., когда г. Северо-Курильск был разрушен и погибли более 2000 человек. В связи с этим случаем к 1958 г. была разработана региональная система предупреждения о цунами (СПЦ-1958). После трагических событий 2004 г., связанных с Суматра-Андаманским землетрясением и цунами, система была усовершенствована. Однако и сейчас она основана на использовании сейсмических методов, и ее главной задачей является определение магнитуды и местоположения сейсмического события. Подобный подход имеет значительные недостатки, главным из которых является недооценка магнитуды сразу после сильного землетрясения $(M_{...} > 8,0)$ в связи с насыщением сигнала. Другим несовершенством таких систем является невозможность определения геометрических параметров сейсморазрыва, а также величины смещения в очаге.

В последние годы развивается принципиально новая методика определения параметров очага землетрясения в реальном времени, основанная на применении технологий Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Суть метода заключается в использовании вызванных землетрясением косейсмических смещений, зафиксированных ГНСС-станциями, для определения магнитуды события и параметров очага, которые далее применяются для моделирования смещений морского дна и расчета характеристик цунами. Данный способ свободен от проблемы насыщения сигнала и потому хорошо работает в случае сильнейших землетрясений, которые происходят в зонах субдукции. Особенно активно системы, использующие ГНСС-методы, начали разрабатываться после 2004 и 2011 гг., когда действовавшие на тот момент СПЦ существенно недооценили магнитуду землетрясений, что привело к огромным человеческим жертвам. На сегодняшний день существует несколько развивающихся и работающих систем раннего предупреждения о землетрясениях и цунами, основанных на ГНСС-методах: GITEWS (Индонезия), G-larmS и G-FAST (США), REGARD (Япония), из которых последняя является наиболее развитой и находится в опытной эксплуатации с 2017 г. [2]. Ретроспективная оценка магнитуды землетрясения Тохоку 2011 г. системой REGARD составила M_8,7, что намного ближе к реальной магнитуде М, 9,0, чем оценка, полученная Японским Метеорологическим Агентством (М.,.7,9) сразу после события. Подобный опыт позволяет предположить перспективность использования ГНСС-методов для предупреждения о цунами в Курило-Камчатском регионе, что даст возможность сократить число ложных тревог и повысить надежность и скорость оценки опасности цунами.

В данной работе на примере Камчатского землетрясения 1952 г. М_w8,7–9,0 рассмотрены возможность применения ГНСС-методов для целей предупреждения о цунами, а также влияние точности определения косейсмических смещений на оценку параметров землетрясения и движений морского дна.

Методология

Искомые параметры очага землетрясения получают посредством инверсии наблюденных косейсмических смещений. Таким образом, смещения на станциях наблюдений являются наиболее важной информацией для рассматриваемого типа систем. К сожалению, для события 1952 г. подобных данных не существует. Поэтому косейсмические смещения были смоделированы на местах положения действующих (либо прекративших работу по различным причинам) станций постоянных ГНССнаблюдений региональных сетей (ДВО РАН, KamNET). Расчеты производились с помощью программного пакета Соиlomb3.0, в котором модель Земли представлена однородным полупространством с жесткостью $\mu = 3.5 \times 10^{10} [3]$. В качестве опорной (эталонной) была использована многоплоскостная модель очага, определенная MacInnes [3] (рис. 1).

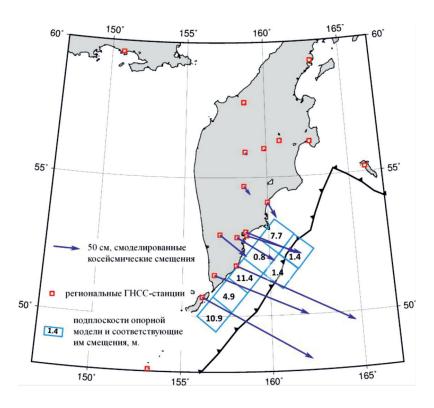
Согласно расчетам горизонтальные косейсмические смещения в ближней зоне землетрясения составляли десятки сантиметров, а на отдельных станциях достигли 2,5 м (рис. 1). Столь большие величины смещений могут быть легко зафиксированы современными ГНСС-методами.

$$M_0 = \mu L W D, \tag{1}$$

$$M_{w} = \frac{2}{3} \log M_{0} - 10,7. \tag{2}$$

Для инверсии рассчитанных смещений применялся метод, предложенный Matsuura & Hasegawa [4], в котором так же, как и в Coulomb3.0, модель Земли представлена однородным полупространством. Данный способ является одним из наиболее распространенных; кроме того, он позволяет довольно быстро определить параметры землетрясения, что важно для целей раннего предупреждения о цунами. В качестве начальных параметров для инверсии была задана сейсмофокальная плоскость, соответствующая событию М, 7,5 (длина $L = 70 \, \text{км}$, ширина $W = 37,6 \, \text{кm}$, смещение D = 2,17 м, формулы 1, 2), центр которой соответствует положению эпицентра землетрясения, представленному в каталоге USGS (рис. 3). Остальные параметры заданы в соответствии с типичными значениями для зоны субдукции: направление простирания плоскости str = 180°, угол падения dip = 15° и направление дислокации в очаге rake = 90°.

Поскольку указанные смещения в реальности отягощены ошибками измерений, необходимо присвоить смоделированным сдвигам точность их определения. Величины ошибок зависят от разных факторов, наиболее значимым из них является способ обработки ГНСС-данных. К примеру, используемый системой REGARD программный пакет RTK-lib позволяет определить горизонтальные смещения с точностью 5 см, вертикальные - 8 см. Однако существуют методы, например VADASE [5], способные достичь точности 5 мм в горизонтальной плоскости и 1,5 см по вертикали. Принимая во внимание существующие возможности ГНСС-технологий, в работе мы использовали три варианта точности определения косейсмических смещений: 1) 2 см и 4 см (условие I), 2) 3 см и 5 см (условие II), 3) 5 см и 8 см (условие III) по горизонтали и вертикали соответственно. Применяя разные величины ошибок измерений при инверсии одного и того же набора косейсмических смещений, мы выяснили, каким образом точность определения смещений влияет на результат инверсии.



Puc. 1. Региональные ГНСС-станции (красно-белые квадраты) и соответствующие им косейсмические смещения (синие стрелки) рассчитанные по модели очага землетрясения MacInnes [3] (голубые квадраты). Цифрами обозначены смещения в каждой подплоскости (в метрах)

 Таблица 1

 Параметры инвертированных плоскостей землетрясений

| Условия | h, км | L, км | W, км | str,° | dip,° | D, м | $M_{_{ m w}}$ |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| I | 17,76663 | 362,5566 | 151,0067 | 204,2511 | 16,21113 | 8,65518 | 8,78 |
| II | 18,547 | 343,8774 | 144,2041 | 201,7034 | 15,80829 | 8,99657 | 8,76 |
| III | 18,79407 | 188,2681 | 110,3264 | 185,9245 | 15,52989 | 42,08663 | 8,95 |

Результаты инверсии

В результате инверсии были получены три сейсмофокальные плоскости (рис. 2), соответствующие каждому условию точности ГНСС-наблюдений. Их параметры (h – глубина верхнего края, L – длина, W – ширина, str – направление простирания, dip – угол падения, D – смещение в очаге) и моментные магнитуды, вычисленные по формулам 1, 2, приведены в табл. 1.

Согласно данным табл. 1 и рис. 2, а параметры инвертированных плоскостей I и II хорошо совпадают, их положение согласуется с положением подплоскостей референсной модели с максимальными смещениями. Однако положение плоскости III (рис. 2, б) не коррелирует с положением опорных плоскостей и плоскостей I и II. Таким образом, магнитуды всех инвертированных событий превосходят опорное значение.

Очевидно, что третье условие точности привело к значительной переоценке как магнитуды, так и величины смещения в очаге. Тем не менее при всех условиях опорное значение магнитуды было достигнуто путем инверсии косейсмических значений региональных ГНСС-станций, что свидетельствует об уверенном преодолении проблемы недооценки магнитуды, свойственной действующей СПЦ, с помощью ГНСС-методов. Стоит отметить, что моментная магнитуда, соответствующая опорной модели (опорная магнитуда), согласно формулам 1, 2 равна M_wref 8,72. Магнитуда события, инвертированного по второму условию М. II 8,76, является наиболее приближенной к M_ref, несмотря на большие ошибки определений смещений, чем по условию I (3 и 2 см по горизонтали соответственно).

Расчет мгновенных смещений морского дна

Косейсмические смещения морского дна непосредственно связаны с начальной высотой волны цунами и далее с высотами заплесков на побережье. Сравнивая инвертированные и опорные смещения дна (рас-

считанные по инвертированным и опорной моделям землетрясений соответственно), можно оценить, насколько успешно и надежно была произведена инверсия.

Для этих целей в ближней зоне землетрясения были рассчитаны поля косейсмических смещений, соответствующие опорной и инвертированным плоскостям сейсморазрывов (рис. 2). Согласно рис. 2, а условия I и II показывают примерно одинаковое распределение и величины горизонтальных смещений, поэтому далее из этих двух вариантов рассматриваться будет только условие II как менее требовательное к возможностям ГНСС-методов. Инвертированное по второму условию и опорное поля смещений частично соответствует. Наилучшее согласие горизонтальных смещений наблюдается в центральной части эталонной модели в местах наибольших смещений в очаге, а также в южной части п-ова Камчатка и северных Курильских островов. Значительные расхождения приходятся на места, где опорная и инвертированная модели не перекрывают друг друга: в северной части поля и к юго-востоку от опорной модели.

Данное разногласие легко объясняется невозможностью точного повторения сложной референсной модели одной плоскостью. Вертикальные смещения в целом неплохо соответствуют (рис. 3, а). Максимальные смещения практически идентичны (табл. 2). Инвертированное поле не описывает локальный максимум северной части опорного поля и расходится по долготе с южным максимумом за счет разности направлений простирания эталонной и инвертированных плоскостей.

Инвертированное по третьему условию поле горизонтальных смещений значительно расходится с опорным везде, кроме юга п-ова Камчатка. Некорректно определенные пространственные параметры события и значительно переоцененная величина дислокации в очаге привели к неадекватно завышенным величинам косейсмических смещений по горизонтали и вертикали.

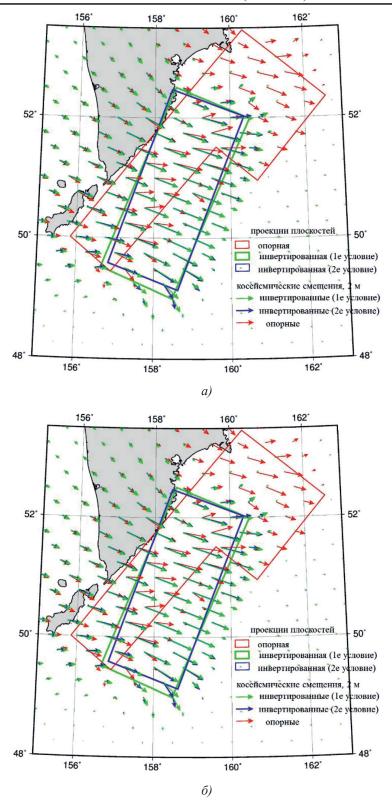


Рис. 2. Смоделированные косейсмические смещения и инвертированные по ним плоскости очагов землетрясений. а) эталонная (красный контур) и инвертированные по I и II условиям (зеленый и синий прямоугольники соответственно) плоскости землетрясений. Эталонные (красные стрелки) и инвертированные по I и II условиям (зеленые и синие стрелки соответственно) косейсмические смещения; б) эталонная (красный контур) и инвертированная по III условию (синий прямоугольник) плоскости землетрясений. Эталонные (красные стрелки) и инвертированные по III условию (синие стрелки) косейсмические смещения

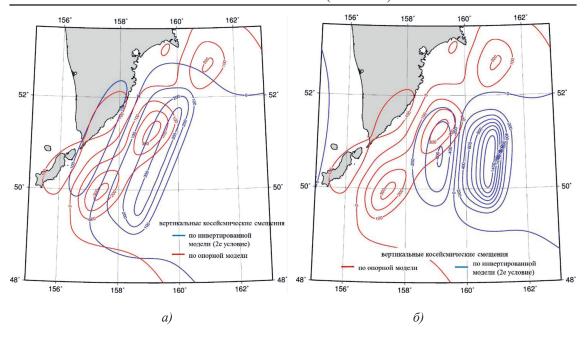


Рис. 3. Вертикальные косейсмические смещения: а) эталонные (красный контур) и инвертированные по II условию (синий контур), горизонтали проведены через 1 м; б) эталонные (красный контур, горизонтали проведены через 1 м) и инвертированные по III условию (синий контур, горизонтали проведены через 2 м)

Таблица 2 Максимальные горизонтальные и вертикальные косейсмические смещения, соответствующие опорной и инвертированным моделям очага

| Модель | Горизонтальные | Вертикальные |
|----------------|----------------|--------------|
| землетрясения | смещения, см | смещения, см |
| условие I | 376,5 | 381,9 |
| условие II | 378,6 | 391,6 |
| условие III | 1483,6 | 1738,4 |
| опорная модель | 360,3 | 391,1 |

В табл. 2 представлены максимальные горизонтальные и вертикальные движения морского дна, соответствующие инвертированным и опорной плоскостям землетрясений.

Заключение

Рассчитанные косейсмические смещения значительно превосходят по точности смещения, определенные ГНСС-методами, что делает их легко детектируемыми в режиме реального времени. Однако ошибки определения смещений значительным образом влияют на результаты инверсии. Расчеты показали, что точности определения в реальном времени косейсмических смещений в 3 см и 5 см в горизонтальной и вертикальной плоскостях достаточно для удовлетворительной

оценки параметров землетрясения, а главное, величины смещения в очаге.

Следует отметить, что данная работа опирается на реально существующие и существовавшие ГНСС-станции, которые могут быть использованы в перспективе для модернизации существующей СПЦ. Несмотря на простоту модели очага и методологии, использованной для инверсии, косейсмические смещения морского дна, посчитанные по инвертированной (условие I и II) и референсной моделям, очень близки, что позволяет получить близкие к реальным параметры цунами в источнике.

Таким образом, можно уверенно заключить, что уже сейчас ГНСС-методы могут быть использованы для целей раннего предупреждения о цунами в Курило-Камчатском регионе и решения ныне существующей проблемы недооценки магнитуды при сильных землетрясениях. Мы подтвердили, что существующее состояние ГНСС-технологий и ГНСС-сетей в регионе способно значительно улучшить надежность работы нынешней СПЦ.

Данная работа выполнена при поддержке Японско-Российского центра молодежных обменов, а также Института прикладной математики Дальневосточного отделения Российской академии наук.

Список литературы / References

1. Пинегина Т.К., Базанова Л.И. Новые данные о параметрах исторических цунами на побережье Авачинского залива (Камчатка) // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2016. № 3 (31). С. 5–17.

Pinegina T.K., Bazanova L.I. New data about parameters of historical tsunamis at the Avachinskii Bay (Kamchatka) // Vestnik KRAUNTS. Nauki o Zemle. 2016. № 3 (31). P. 5–17 (in Russian).

2. Kawamoto S., Ohta Y., Hiyama Y., Todoriki M., Nishimura T., Furuya T., Sato Y., Yahagi T., Miyagawa K. RE-GARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET. Journal of Geophysical Research: Solid Earth. 2017. vol. 122. P. 1–26. DOI:10.1002/2016JB013485.

- 3. MacInnes B., Weiss R., Bourgeois J., and Pinegina T.K. Slip distribution of the 1952 Kamchatka Great earthquake based on near-field tsunami deposits and historical records. Bulletin of the Seismological Society of America. 2010. vol. 100. no. 4. P. 1695–1709. DOI: 10.1785/0120090376.
- 4. Matsuura M., Hasegawa Y. A maximum likelihood approach to nonlinear inversion under constraints. Physics of the Earth and planetary interiors. 1987. vol. 47. P. 179–187.
- 5. Fratarcangeli F., Savastano G., Chiara D'Achille M., Mazzoni A., Crespi M., Riguzzi F., Devoti R., Pietrantonio G. VADASE reliability and accuracy of real-time displacement estimation: application to the central Italy 2016 earthquakes. Remote sensing. 2018. 10(8). 1201. P. 1–20. DOI: 10.3390/rs10081201.

УДК 911:622(571.56)

ПРИРОДНО-РЕСУРСНЫЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИАЛЬНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ СУБЪЕКТА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА РОССИИ

Радийчук А.А.

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, e-mail: alfychka@mail.ru

Образование территориально-производственной структуры в субъектах Дальневосточного федерального округа России происходит под непосредственным воздействием природно-ресурсных факторов. Это отражается на территориально-производственной структуре экономики субъектов Российской Федерации, в которой преобладают добывающие виды экономической деятельности. В качестве такого субъекта можно рассматривать Республику Саха (Якутию), где представлена преимущественно ресурсная экономика, которая имеет характер сложной по своей структурной организации и сочетанию природно-климатического, территориально-отраслевого, поселенческого и производственно-ресурсного потенциалов, регионализации, а также пространственной кластеризации социально-экономического комплекса региона. На территории данного субъекта выделены экономические зоны (Центральная, Южная, Западная, Восточная, Арктическая), которые различаются по сочетанию экономико-географических факторов и территориально-производственной структуре производства. Социально-экономические районы республики сравнимы по площади, природно-ресурсному потенциалу с некоторыми субъектами Федерации, а также с отдельными государствами мира. Экономические регионы развивают конкуренцию между собой, что позволяет внедрению новых инвестиций в более развитые регионы Республики Саха (Якутия). Эффективное социально-экономическое развитие территориально-производственной структуры субъекта требует перехода от преимущественно экономики ресурсного типа к более сбалансированной, с развитыми обрабатывающими производствами и инфраструктурой. Таким может быть кластерная стратегия развития экономики региона для организации и кооперации труда, обеспечивающая накопление и эффективное использование ресурсов территории. При определении возможных направлений развития территориально-производственной структуры субъекта можно использовать методы энергопроизводственных циклов и цепочек добавленной стоимости, которые позволяют выделить, на основе территориальных сочетаний природных ресурсов, совокупность взаимосвязанных видов деятельности, последовательно перерабатывающих добываемое на месте сырьё в готовую продукцию. Энергопроизводственный цикл (или его ветви) объединяет все те производственные процессы, которые необходимо и целесообразно развивать в конкретном районе (Республика Саха (Якутия)) при переработке рассматриваемого вида сырья.

Ключевые слова: территориально-производственные структуры, природно-ресурсные факторы, территориальные сочетания природных ресурсов, виды экономической деятельности, цепочки добавленной стоимости, кластер, инвестиции, энергопроизводственные циклы, экономические зоны, Республика Саха (Якутия)

NATURAL RESOURCE FACTORS OF FORMATION OF TERRITORIAL AND INDUSTRIAL STRUCTURE OF THE SUBJECT OF THE FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT OF RUSSIA

Radiychuk A.A.

Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, e-mail: alfychka@mail.ru

The formation of the territorial-production structure in the subjects of the Far Eastern Federal District of Russia occurs under the direct influence of natural resource factors. This is reflected in the territorial-production structure of the economy of the constituent entities of the Russian Federation, in which extractive economic activities predominate. As such a subject, the Republic of Sakha (Yakutia) can be considered, where a resource economy is predominantly characterized by a complex structural organization and a combination of natural-climatic, territorial-sectoral, settlement and production-resource potentials, regionalization, as well as spatial clustering of social -economic complex of the region. On the territory of this subject, economic zones are distinguished: (Central, Southern, Western, Eastern, Arctic), which differ in a combination of economic and geographical factors and the territorial and production structure of production. The socio-economic regions of the republic are comparable in area, natural resource potential with some subjects of the federation, as well as with individual states of the world. Economic regions are developing competition among themselves, which allows the introduction of new investments in more developed regions of the Republic of Sakha (Yakutia). Effective socio-economic development of the territorial-production structure of the subject requires a transition from a predominantly resource-based economy to a more balanced one, with developed manufacturing industries and infrastructure. This may be a cluster strategy for the development of the region's economy for the organization and cooperation of labor, ensuring the accumulation and efficient use of the territory's resources. When determining possible directions for the development of the territorial-production structure of the subject, it is possible to use methods of energy production cycles and value chains that allow, based on territorial combinations of natural resources, to distinguish a set of interrelated activities that sequentially process the raw materials extracted on the spot into finished products. The energy production cycle (or its branches) combines all those production processes that are necessary and appropriate to develop in a specific area (Republic of Sakha (Yakutia)) during the processing of this type of raw material.

Keywords: territorial and production structures, natural resource factors, territorial combinations of natural resources, types of economic activity, value chains, cluster, investments, energy production cycles, economic zones, republic of sakha (yakutia)

Наиболее актуальная проблема социально-экономического развития восточных регионов России — низкая эффективность производства из-за преобладания в структуре экономики добывающих видов экономической деятельности. Слабое развитие обрабатывающих производств и объектов инфраструктуры в отраслевой структуре регионов не обеспечивает развитие здесь производств с высоким уровнем добавленной стоимости, которая создается в процессе глубокой и комплексной переработки добываемого местного сырья в разнообразную готовую продукцию, в основном за пределами не только региона, но и страны [1–2].

Примером региона с экономикой ресурсного типа может служить Республика Саха (Якутия), где в отраслевой структуре производства валового регионального продукта (ВРП) важнейшую роль играют добывающие виды деятельности (в 2016 г. региона доля добычи природных ресурсов в ВРП достигла 48,2%, здесь работало 10% всего занятого в экономике населения республики). Республика Саха (Якутия) вместе с Сахалинской областью среди субъектов Дальневосточного федерального округа отличаются наиболее высоким уровнем развития добывающего производства (рисунок).

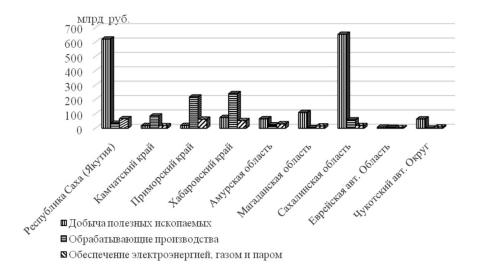
Отраслевая структура республики носит ярко выраженный ресурсный характер, который не обеспечивает в процессе производства создание более высокой доли добавленной стоимости. Поэтому Стратегия социально-экономического развития Республики Саха (Якутии) на период до 2030 г. [2] предполагает принятие управленческих решений и реализацию инвестиционных проектов по созданию в регионе собственных обрабатывающих производств и развитию инфраструктурной базы. С этой целью на территории Республики Саха (Якутии) выделяются экономические зоны, отличающиеся сочетанием экономико-географических факторов и территориальнопроизводственной структурой видов экономической деятельности.

Материалы и методы исследования

При работе над статьей использовались статистическая информация Росстата России и Республики Саха (Якутии), а также материалы «Стратегии социально-экономического развития Республики Саха (Якутии) на период до 2030 года».

В качестве основных методов изучения проблем отраслевых регионов ресурсного типа использовались теория цепочек добавленной стоимости (ЦДС) и энергопроизводственных циклов (ЭПЦ). Основное в теории ЦДС — это выделение вертикальной цепочки добавленной стоимости на уровне отдельной компании, производственного кластера или промышленного региона — как совокупности различных видов деятельности, которая обеспечивает весь процесс создания стоимости [4]. В структуре ЦДС выделяются элементы, которые можно объединить в три группы:

- 1) инновационные элементы (НИОКР, производство новой техники и модернизация технологий) инновационные ЭПЦ;
- 2) производственно-технологические элементы (традиционные ЭПЦ);



Объем отгруженных товаров собственного производства в субъектах Дальневосточного федерального округа, 2017 г. Составлено по: [3]

3) маркетинговые элементы (рыночные ЭПЦ).

Для анализа структуры экономики субъекта с преимущественно ресурсной экономикой, представленной в виде совокупности ЦДС, можно использовать метод энергопроизводственных циклов. Метод позволяет изучить все производственные элементы ЦДС, как совокупность производственных процессов, которые происходят в экономическом районе, основой которого являются сочетания данного вида энергии и сырья: от первичных форм – добычи и обработки сырья, до получения всех видов готовой продукции [5]. Данные эффективного производства готовой продукции можно разместить локально, исходя из требований приближения производства к источникам сырья и комплексного использования всех компонентов сырьевых и энергетических ресурсов данного типа.

Далее теория ЭПЦ использовалась при изучении и типологии экономических районов. В.Л. Бабурин [1] предложил инновационные циклы, С.Н. Соколов [6] – рыночные циклы. Также метод ЭПЦ обеспечивает доступ дополнительного экономического эффекта, для лучших условий жизни населения, повышения качества жизни, и создает предпосылки для обоснованного прогноза развития оптимальной структуры кластеров. Циклы меняются со временем: меняется структура (появляются новые материалы, ветви, звенья), одни циклы заменяются другими, появляются новые. По мнению С.Н. Соколова [6], в концепцию ЭПЦ необходимо ввести непроизводственную сферу, именно непроизводственная сфера является приоритетной при постиндустриальном развитии мировой экономики. Циклы непроизводственной сферы рыночной экономики охватывают совокупность производственных и непроизводственных процессов, которые развиваются в определенном социально-экономическом и экологическом районе на основе складывающихся пространственно-временных воспроизводственных кластеров.

Использование теории цепочек добавленной стоимости и энергопроизводственных циклов при анализе ресурсного производственного региона, в т.ч. и в разрезе экономических зон, позволяет более полно определить все необходимые виды деятельности для их локализации в пределах субъекта. Подобные исследования проводились на примере сибирских [6] и дальневосточных регионов России [7–8]. В то же время изучение природно-ресурсной и энергетической базы

формирования элементов структуры ЭПЦ, как производственных звеньев ЦДС, не проводилось в структуре экономических зон субъекта Дальневосточного федерального округа (Республики Саха (Якутии)).

Результаты исследования и их обсуждение

Экономические зоны на территории Республики Саха (Якутия) состоят из совокупности муниципальных образований (улусов), объединенных общностью природно-ресурсных факторов и сложившейся территориально-производственной структурой экономики. Выделяются несколько экономических зон: Центральная, Западная, Восточная, Южная и Арктическая [9–2]. В Республике Саха (Якутия) такие экономические зоны (в т.ч. «индустриальные округа» и «промышленные кластеры») формируются на базе территориальных сочетаний природных ресурсов и энергетической базы, которые могут вовлекаться в хозяйственный оборот посредством межрайонного и международного разделения труда. В таблице представлены территориальные сочетания природных ресурсов и элементы энергетической базы, в разрезе выделенных экономических зон.

Следует отметить, что по разнообразию сочетаний природных ресурсов и наличию энергетической базы (электростанции и подстанции) на территории Республики Саха (Якутия) выделяются Центральная, Южная и Восточная экономические зоны. Например, в «западной» экономической зоне формируется «индустриальный округ», где представлены специализированные виды экономической деятельности, относящиеся к добыче полезных ископаемых (топливных ресурсов – добыча угля, нефти и природного газа; добыча алмазов, драгоценных и цветных металлов). В состав этой экономической зоны входят следующие муниципальные районы (улусы): Мирнинский, Ленский, Вилюйский, Олекминский. На их долю в 2015 г. приходилось 49% добычи полезных ископаемых в Республике Саха (Якутия), 5% обрабатывающих производств, 20% сельского хозяйства, 18% строительства и 8% производства и распределения электроэнергии, газа и воды [9]. На территории экономической зоны сосредоточены основные запасы стратегических природных ресурсов: алмазы, золото, нефть, природный газ. В этих видах деятельности развиваются следующие совокупности производственно-технологических процессов, формирующихся на основе разработки определенных сочетаний природных ресурсов и энергии, их последующей переработки в готовую продукцию: металлургия цвет-

ных металлов, топливно-энергетический цикл, нефтеэнергохимический, углеэнергохимический, газоэнергохимический.

Территориальные сочетания природных ресурсов и энергетическая база по муниципальным образованиям (улусам) Республики Саха (Якутии) в разрезе экономических зон

| Муниципальные | Территориальные сочетания | Теплоэлек- | Мощность силовой | | | |
|---------------------|---|---------------------------------------|------------------|----------|--------|-----|
| образования (улусы) | природных ресурсов | тростанции | | дстан | ции, н | CBT |
| | | | 500 | 200 | 110 | 35 |
| | Центральная экономическая зон | a | | | | |
| Амгинский | 51, 10, 42, 44, 43, 6 | + | | + | | + |
| Горный | 41, 30, 6, 31, 32, 33, 34, 35 | + | | | + | |
| Кобяйский | 52, 53, 54, 55, 44, 19, 1, 3, 5, 17, 18, 31, 35 | - | | | + | + |
| Мегино-Кангаласский | 28, 2, 10, 31, 56, 35, 13, 25, 44, 57 | + | + | | + | + |
| Намский | 51, 43, 44, 12, 35 | + | | | + | + |
| Таттинский | 43, 12, 1, 2, 7 | + | | | + | + |
| Усть-Алданский | 42, 45, 6, 2, 44, 42, | - | | | | + |
| Хангаласский | 44, 42, 43, 5, 20, 6 | + | + | + | + | + |
| Чурапчинский | 42, 43, 44, 45, 34, 35, 55, 31 | + | | + | + | + |
| | Южная экономическая зона | | | | | |
| Алданский | 3, 10, 25, 26, 22, 27, 28, 43, 39 | + | | + | + | + |
| Нерюнгрийский | 39, 13, 2, 19, 47, 28, 6, 35 | + | + | + | | |
| Олекминский | 24, 49, 50, 3, 43, 10, 31, 35, 34, 6 | + | | + | | |
| | Западная экономическая зона | | | | | |
| Верхневилюйский | 43, 44, 42, 31, 29, 10, 19, 13 | - | | + | + | + |
| Вилюйский | 7, 19, 13 | + | + | + | + | |
| Ленский | 29, 1, 2, 14 | + | | + | + | |
| Мирнинский | 13, 7, 19, 6, 44 | + | + | + | + | |
| Нюрбинский | 45, 13, 2, 19, 58, 20, 35 | - | | + | | + |
| Сунтарский | 13, 29, 46, 7, 19, 1, 2, 48, 28, 12 | - | | + | + | + |
| | Восточная экономическая зона | | | | | |
| Оймяконский | 16, 3, 5, 4, 15, 17, 18, 43, 12 | + | | + | + | |
| Томпонский | 3, 5, 10, 1, 24, 15, 34, 35, 31 | + | | | + | |
| Усть-Майский | 3, 17, 18, 36, 10, 5, 38, 9, 22, 31, 39, 7, 19 | + | | | + | + |
| | Арктическая экономическая зон | a | | | | |
| Абыйский | 1, 2, 3, 6, 12, 43 | - | + | + | | + |
| Аллаиховский | 1, 2, 3, 4, 5, 6, 12, 43, 44 | - | | + | | |
| Анабарский | 1, 2, 12, 7, 8, 13, 9, 3, 10, 29, 43, 44, 43 | - | | + | | + |
| Булунский | 1, 2, 11, 14, 8, 3, 13, 12, 43, 44 | + | | + | | + |
| Верхнеколымский | 1, 3, 6, 12, 43 | + | | + | + | + |
| Верхоянский | 2, 4, 3, 15, 16, 17, 18, 12, 44 | _ | | + | | |
| Жиганский | 7, 19, 1, 2, 13, 12, 6 | + | | + | + | |
| Момский | 1, 4, 17, 18, 20, 12 | + | | + | + | |
| Нижнеколымский | 1, 2, 10, 4, 39, 40, 6, 7, 19, 3, 44, 42, 43 | + | | + | | |
| Оленекский | 1, 2, 11, 13, 20, 21, 22, 12 | _ | | + | + | |
| Среднеколымский | 19, 7, 6, 12 | + | | | + | + |
| Усть-Янский | 1, 4, 3, 16, 23, 15, 24, 12, 44, 43, 42 | + | | + | + | |
| | 1, 7, 5, 10, 25, 15, 27, 12, 77, 75, 72 | , , , , , , , , , , , , , , , , , , , | | <u> </u> | 1 | |

Примечание. Цифрами обозначены природные ресурсы. *Топливно-энергетические*: 1 – каменный уголь, 2 – бурый уголь, 7 – нефть, 8 – газогидраты, 19 – природный газ, 11 – богхеды. *Цветные, драгоценные и редкоземельные металлы*: 3 – золото, 4 – олово, 5 – серебро, 21 – редкоземельные руды, 36 – германий, 37 – кадмий, 38 – тантал, 39 – уран, 9 – ниобий, 16 – сурьма, 17 – свинец, 18 – цинк, 15 – вольфрам, 23 – ртуть, 24 – медь. *Черные металлы*: 10 – железная руда. *Драгоценные и поделочные камни, материалы*: 13 – алмазы, 20 – самоцветы, 49 – чароит, 50 – нефрит (дианит), 40 – мамонтовая кость, 47 – прочие драгоценные камни. *Строительные материалы*: 6 – строительный песок, 14 – битум, 25 – слюда, 26 – графит, 27 – мрамор, 30 – горелые породы, 31 – песок, 32 – известняк, 33 – доломиты, 34 – суглинки, 35 – глина, 41 – карбонаты, 46 – цеолит, 48 – гранит, 52 – кирпичное сырье, 53 – керамзитное сырье, 54 – стекольное сырье, 55 – гравийная смесь, 56 – кварц, 57 – известняк. *Химическое сырье*: 22 – апатиты, 29 – галит. *Лесные ресурсы*: 12 – пушнина, 42 – лесные (древесина). *Бальнеологические*: 28 – бальнеологические, 58 – минеральные воды. *Водные*: 43 – водные. *Агроклиматические*: 45 – агроклиматические, 51 – земельные.

Участие Республики Саха (Якутия) в мировых интеграционных процессах, особенности международного разделения труда ставят новую цель перед экономикой этого субъекта РФ по достижению сбалансированного устойчивого развития экономики, социальной сферы и рационального природопользования. Здесь предполагается формирование всех элементов ЦДС. Для достижения этой цели требуется решить следующие задачи [2]:

- 1) технологическая модернизация базовых отраслей экономики четвертого технологического уклада с одновременным стартом секторов экономики пятого и шестого технологического укладов;
- 2) пространственная организация расселения и производительных сил, обеспечивающая кластерную активацию на основе полного комплекса производств, инноваций и инфраструктуры, в том числе:
- развитие глобально конкурентоспособных базовых отраслей экономики с расширенной сервисной средой при рациональном природопользовании и высокой социальной ответственности бизнеса;
- строительство новых конкурентоспособных перерабатывающих производств с длительными технологическими цепочками;
- создание развитой производственной и социальной инфраструктуры, обеспечивающей условия жизни населения и нормальную хозяйственную деятельность;
- позиционирование региона с «умной экономикой», как «магнит технологий» по обеспечению нового качества жизни с формированием научно-инновационной системы, обеспечивающей лидерство по конкурентоспособным направлениям науки, технологий и креативной экономики.

Выводы

- 1. В территориально-отраслевой структуре экономики «восточных» регионов России сохраняют свое важнейшее значение добывающие виды деятельности. Однако рост эффективности экономики субъектов Российской Федерации может быть достигнут только за счет увеличения доли добавленной стоимости, которое обеспечивают обрабатывающие производства.
- 2. Использование при анализе сложившейся структуры экономики регионов теории ЭПЦ и ЦДС обеспечивает выявление и обоснование всей территориальной совокупности возможных стадий производственного процесса: от НИОКР, производственно-технологического преобразования природного сырья в готовую продукцию, до её реализации.

3. Применение теории ЭПЦ и ЦДС при анализе сложившейся структуры экономики Республики Саха (Якутия) позволяет определить рациональные направления «Стратегии социально-экономического развития региона» с целью повышения эффективности производства, роста качества и уровня жизни населения.

Список литературы / References

1. Бабурин В.Л. Инновационные циклы в российской экономике. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 120 с.

Baburin V.L. Innovation cycles in the Russian economy. M.: Editorial URSS, 2002. 120 p. (in Russian).

2. Стратегия социально-экономического развития Республики Саха (Якутия) на период до 2030 года с определением целевого видения до 2050 г. (проект). Якутск, 2016. [Электронный ресурс]. URL: https://mineconomic.sakha.gov.ru/Strategiya-2030 (дата обращения: 15.02.2020).

The strategy of socio-economic development of the Republic of Sakha (Yakutia) for the period until 2030 with the definition of the target vision until 2050 (draft). Yakutsk, 2016. [Electronic resource]. URL: https://mineconomic.sakha.gov.ru/Strategiya-2030 (date of access: 15.02.2020) (in Russian).

3. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2017. М.: Росстат, 2017. 1402 с.

Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2017. M.: Rosstat, 2017.1402 p. (in Russian).

4. Никитенко С.М., Гоосен Е.В., Пахомова Е.О., Колеватова А.В. Цепочки добавленной стоимости как инструмент развития экономики региона сырьевой специализации // Фундаментальные исследования. 2017. № 10. С. 375–380.

Nikitenko S.M., Goosen E.V., Pakhomova E.O., Kolevatova A.V. Value chains as a tool for developing the economy of a region of raw material specialization // Fundamental Research. 2017. № 10. P. 375–380 (in Russian).

5. Мошков А.В. Формирование и развитие территориально-производственных цепочек добавленной стоимости Дальнего Востока России // Пространственная организация общества: теория, методология, практика: сборник материалов междунар. науч.-практ. конф. (7–11 нояб. 2018 г.) / под ред. Т.В. Субботиной, Л.Б. Чупиной. Пермь, 2018. С. 77–82. Moshkov A.V. Formation and development of territorial-

Moshkov A.V. Formation and development of territorial-production value chains of the Far East of Russia // Prostranstvennaya organizatsiya obshchestva: teoriya, metodologiya, praktika: sbornik materialov mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (7–11 noyab. 2018 g.) / pod red. T.V. Subbotinoy, L.B. Chupinoy. Perm', 2018. P. 77–82 (in Russian).

6. Соколов С.Н. Теоретико-методологические основы территориальной организации общества // Вестник Нижневартовского государственного университета. 2013. № 3. С. 32–42.

Sokolov S.N. Theoretical and methodological foundations of the territorial organization of society // Vestnik Nizhnevartovskogo gosudarstvennogo universiteta. 2013. № 3. P. 32–42 (in Russian).

7. Романова Е.Р. Специализация и перспективы развития отраслей западной экономической зоны Республики Саха (Якутии) // Проблемы современной экономики. 2018. № 1 (65). С. 119–123.

Romanova E.R. Specialization and development prospects of industries of the western economic zone of the Republic of Sakha (Yakutia) // Problemy sovremennoy ekonomiki. 2018. № 1 (65). C. 119–123 (in Russian).

8. Радийчук А.А. Отраслевая структура цепочек добавленной стоимости региона ресурсного типа (на примере Республики Саха (Якутия) // Геосистемы Северо-Восточной Азии: особенности их пространстивенно-временных структур, районирование территории и акватории. Владивосток: Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, 2019. С. 437—444.

Radiychuk A.A. Sectoral structure of value chains of a resource-type region (on the example of the Republic of Sakha (Yakutia) // Geosystems of North-East Asia: features of their spatial-temporal structures, zoning of the territory and water area. Vladivostok: Tikhookeanskiy institut geografii DVO RAN, 2019. P. 437–444 (in Russian)/

9. Колосовский Н.Н. Избранные труды. Смоленск: Ойкумена, 2006. 336 с.

Kolosovsky N.N. Selected Works. Smolensk: Oikumena, 2006. 336 p. (in Russian).

УДК 551.58:504.064.2(470.65)

КОМПЛЕКСНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕЛЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ СЕВЕРНАЯ ОСЕТИЯ – АЛАНИЯ (ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ)

Сергеева Г.А., Андреева Е.С., Адамян В.Л.

ФБГОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на-Дону, e-mail: sergeeva ga@mail.ru

В статье рассмотрены морфологические типы селевых очагов, генетические типы селевых потоков, причины формирования дождевых, ледниковых, снеговых селей на территории Республики Северная Осетия – Алания. Даны комплексная характеристика селевых явлений и их количественная оценка по основным речным бассейнам Республики. Основной особенностью селевых потоков в горной части является то, что они формируются не на главных реках, а на их притоках и даже на притоках притоков, во время движения по которым они размывают днища русел, значительно увеличивая свою твердую составляющую. Как показали проведенные исследования, объемы единовременных выносов грязекаменных потоков и максимальные расходы наносоводных потоков наряду с некоторыми другими характеристиками определяют степень опасности селевых бассейнов. Описываемые в статье явления схода селевых потоков наносят значительный ущерб хозяйствам отдельных районов Республики, иногда их прохождение сопровождается человеческими жертвами. В дальнейшем, по мере возрастания рекреационного и хозяйственного освоения горных районов Республики Северная Осетия - Алания, особенно при развитии горнорудной промышленности, строительстве автомобильных дорог, интенсивных лесоразработках и выпасе скота, будет возрастать и активность селеопасных районов, а следовательно, и селевая опасность. Данная статья опирается на результаты проведенных ранее исследований, включает в себя обзор научно-технических отчетов, а также научных публикаций отдела высокогорных гидрометеорологических исследований Северо-Кавказского УГМС, содержит данные о селепроявлениях, изложенные в ряде литературных источников, архивных и справочных материалах, и представляет собой опыт обобщения и систематизации имеющихся материалов о селевой деятельности на территории Северо-Кавказского региона.

Ключевые слова: селевые явления, селеформирование, наносоводные селевые потоки, грязекаменные сели, антропогенное вмешательство

COMPREHENSIVE CHARACTERIZATION OF THE MUD PHENOMENA OF THE REPUBLIC OF NORTH OSSETIA – ALANIA (CENTRAL CAUCASUS)

Sergeeva G.A., Andreeva E.S., Adamyan V.L.

Donskoy State Technical University, Rostov-on-Don, e-mail: sergeeva ga@mail.ru

The article deals with the morphological types of mudslides, genetic types of mudflows, the causes of the formation of rain, glacial, snow mudslides on the territory of the Republic of North Ossetia-Alania. A comprehensive description of mudflow phenomena and their quantitative assessment for the main river basins of the Republic is given. The main feature of mudflows in the mountainous part is that they are formed not on the main rivers, but on their tributaries and even on the tributaries of tributaries, during the movement of which they erode the bottoms of the channels, significantly increasing their solid component. As shown by the research, the volume of simultaneous outflows of mudstone flows and the maximum expenditure of sediment flows, along with some other characteristics, determine the degree of danger of mudflow basins. The phenomena of mudslides described in the article cause significant damage to the economy of certain regions of the Republic, sometimes their passage is accompanied by human casualties. In the future, as the recreational and economic development of the mountainous regions of the Republic of North Ossetia-Alania increases, especially by the mining industry, road construction, intensive logging and livestock grazing, the activity of mudslide-prone areas will also increase, and, consequently, the mudflow hazard. This article is based on the results of previous research, includes a review of scientific and technical reports, as well as scientific publications of the Department of high-altitude hydrometeorological research of the North Caucasus UGMS, contains data on mudslides described in a number of literary sources, archival and reference materials, and represents an experience of generalization and systematization of available materials on mudslide activity in the North Caucasus region

 $Keywords: village\ phenomena, seleforming, nano-water\ mudflows, mud-stone\ villages,\ anthropogenic\ intervention$

Хозяйственное освоение горных и предгорных территорий Северо-Кавказского региона определяет необходимость глубокого и всестороннего изучения стихийных бедствий, к числу которых относятся селевые потоки.

Селевая активность территории связана с наличием рыхлообломочного материала гравитационного и эрозионного происхож-

дения, расположенного в верховьях многочисленных притоков основных рек, и с обилием выпадающих атмосферных осадков. Водная составляющая селей поступает за счет интенсивных ливней, обложных дождей, таяния сезонного снежного покрова, снежников и ледников, прорыва плотин горных озер и запруд обвально-оползневых масс.

В связи со смягчением зимних температур, которое, по имеющимся долгосрочным прогнозам, будет продолжаться, селевая деятельность усиливается и еще больше возрастет в середине XXI столетия. Для снижения риска существенных социально-экономических последствий, как представляется, необходимо резко увеличить объемы противоселевых мероприятий [1], направленных на строительство селезащитных дамб, селепропускных лотков, отселение части населения в безопасные районы, а также на проведение экспертизы на селеопасность в отношении строящегося жилья и хозяйственных объектов в горных районах.

С учетом всего вышесказанного настоящее исследование нацелено на изучение особенностей формирования селевых потоков Республики Северная Осетия — Алания. Для достижения этой цели были решены такие задачи, как: анализ имеющихся материалов об особенностях селевой деятельности в горных районах Кавказа; обобщение и оценка факторов регионального селеформирования; многокомпонентная характеристика специфики селепроявлений.

Материалы и методы исследования

Данная статья основана на проведенных ранее научных изысканиях, научно-технических отчетах, документах и публикациях отдела высокогорных гидрометеорологических исследований Северо-Кавказского УГМС, а также на данных о селепроявлениях, содержащихся в литературных источниках, архивных и справочных материалах о селевой деятельности в долинах главных рек Республики Северная Осетия — Алания за 1834—2014 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

В Республике Северная Осетия – Алания селевые явления образуются практически на всех склонах горных хребтов, к числу которых можно отнести: северные и южные слоны Бокового и Главного хребтов; северные склоны Южного Бокового хребта с такими его отрогами, как: Скалистый, Пастбищный, Лесистый. Кроме прочего, формирование селевых потоков отмечено в пределах Терского, Кабардино-Сунженского хребтов и депрессиях между ними, а также в Аргуданской предгорной холмистой возвышенности.

В пределах изучаемой горной Республики Северная Осетия – Алания, как показали

проведенные ранее геоморфологические исследования [1], нашли распространение такие морфологически обусловленные типы селеопасных областей, расположенных в непосредственной близости друг к другу, как: врезы, рытвины, скальные очаги, а также эродированные поверхности. В свою очередь области рассредоточенного проявления селевых очагов отмечены намного реже, однако возможно их взаимодействие с селевыми областями других морфологических типов. Как известно, селевые врезы, сосредоточенные в высокогорьях и присутствующие в моренных и флювиогляциальных толщах отложений ледников, обусловливают формирование наиболее крупных селей. В высокогорьях, где часто преобладают весьма крутые скальные склоны, распространены скальные селевые очаги, неотъемлемой частью которых являются так называемые обвально-скальные ниши. Развитие и распространение селевых рытвин, упомянутых выше, наблюдается повсеместно, однако их морфологический вид и особенности весьма различны в зависимости от тех или иных горных зон. Наконец, эродированные поверхности приурочены к относительно пологим склонам средне- и низкогорий, а также встречаются в пределах межгорных депрессий.

Все рассмотренные выше морфологически обусловленные типы селевых очагов в пределах Республики Северная Осетия — Алания в настоящее время испытывают весьма серьезную антропогенную нагрузку, что, безусловно, приводит во многом к интенсификации процессов селепроявлений.

Основную роль в горной части рассматриваемой Республики играют так называемые сели низкой плотности — наносоводные, которые формируются на территории всех морфоструктур Республики, но преобладают в зонах средне- и низкогорий или межгорных депрессий. Как известно, в пределах Северной и Южной юрских депрессий возможно образование в равной мере как наносоводных, так и грязекаменных селей. В высокогорной зоне в свою очередь ведущую роль играют грязекаменные сели. В частности, грязевые потоки были зафиксированы в районах Пастбищного и Лесистого хребтов.

Твердой составляющей селей в высокогорной зоне являются рыхлообломочные накопления скального пояса, флювиогляциальные, древние и современные моренные отложения ледников, иногда куски и глыбы льда, обрушивающиеся при пульсации

ледников или обвалов некоторых висячих ледников (например, Майлинского и Колкинского в бассейне р. Геналдон); в зонах средне- и низкогорий наиболее распространен грубообломочный материал осыпей, коллювия и террасового речного аллювия, включая рыхлый и обломочный материал обвалов, оползней, оплывин и отвалов горных выработок.

Основной особенностью селевых потоков в горной части является то, что они формируются не на главных реках, а на их притоках и даже на притоках притоков, во время движения по которым они размывают днища русел, значительно увеличивая свою твердую составляющую. Так, начальный объем селевого потока по пути своего движения увеличивается в несколько раз по сравнению с изначальным объемом в очаге зарождения. При попадании в русло водотока более крупного порядка селевой поток трансформируется. Селевые паводки, как известно, формируются в русле главной реки в результате трансформации грязекаменных и наносоводных потоков, а также при размыве русловой самоотмостки, пойменных отложений и рыхлообломочных пород, слагающих ее берега. Поэтому населенные пункты и другие хозяйственные особенно Военно-Грузинская объекты, и Военно-Осетинская автомобильные дороги, страдают не столько от селевых потоков, сколько от обусловленных ими катастрофических селеподобных паводков (как, например, имевших место на реках Урух, Белая (приток р. Терек), Ардон, Фиагдон, Гизельдон, Геналдон, Терек в 1953, 1967, 2002 гг.).

В Республике Северная Осетия – Алания имеется 196 основных селевых русел, из них соответственно в бассейнах Хазнидона – 1, Уруха –58, Белой – 7, Ардона – 80, Фиагдона – 27, Гизельдона – 14, Терека – 6, Камбилеевки – 3, по которым за период 1834—2014 гг. зафиксировано 643 схода селевых потоков (табл. 1).

По генезису выделяют четыре генетических типа селей, к которым относят следующие: дождевые, ледниковые, снеговые, а также сели, возникающие от прорыва запруд. Они имеют зональный характер распространения и существенные различия в селевом режиме. В среднем на дождевые сели приходится 94% случаев их схода, на ледниковые – 4%, на снеговые – 1,5% и от прорыва естественных запруд – 0,5% (табл. 2).

На территории исследуемой Республики преобладают селевые потоки дождевого генезиса, распространяясь на всех высотных интервалах, во всех селевых бассейнах и очагах любого типа, формируясь после длительных затяжных дождей. Описываемые сели обеспечивают предварительное увлажнение рыхлообломочного материала, завершающегося ливнем, с выпадением не менее 30 мм атмосферных осадков за дождь интенсивностью 0,1-0,2 мм/мин. Примером этого могут служить сели, прошедшие 5 августа 1967 г., 18–19 июня 2000 г. и 20–22 июня 2002 г., когда отмечалось прохождение особо крупных селевых потоков, причем во всех основных речных бассейнах Республики [2, 3].

Таблица 1 Частота селевых потоков в долинах главных рек Республики Северная Осетия – Алания за 1834—2014 гг. (составлена автором по данным СК УГМС)

| Годы | Урух | Ардон | Фиагдон | Гизельдон | Геналдон | Терек (истоки) | Число случаев ВСЕГО |
|-----------|------|-------|---------|-----------|----------|----------------|------------------------|
| 1834–2014 | 98 | 397 | 70 | 32 | 25 | 21 | 643 |

Таблица 2
Генетические типы селевых потоков на территории
Республики Северная Осетия – Алания (1834–2014 гг.)

| Генетический тип селевого потока | Случаи проявления | | |
|----------------------------------|-------------------|-----|--|
| | Число | % | |
| Дождевой | 605 | 94 | |
| Ледниковый | 23 | 4 | |
| Снеговой | 11 | 1,5 | |
| Прорыв естественной запруды | 4 | 0,5 | |

 Таблица 3

 Частота проявления катастрофических селей в наиболее опасных селевых бассейнах

| Бассейн реки | Селевой бассейн | Годы катастрофических проявлений селей |
|--------------|-------------------|--|
| Ардон | Касайкомдонский | 1937, 1953, 1967, 1975 |
| | Малый Лабагомский | 1937, 1953, 1967, 1975 |
| | Сказский | 1953, 1967, 1973 |
| | Орахкомдонский | 1953, 1973 |
| | Садонский | 1914, 1958 |
| | Мизурский | 1907, 1914, 1958, 1980 |
| Гизельдон | Геналдон | 1834, 1902, 2002 |
| Терек | Чмийский | 1953, 1972 |

Значительно реже в чистом виде возникают ледниковые и снеговые сели. Причинами формирования ледниковых селей являются как высокие температуры воздуха, которые обеспечивают активное таяние снега и льда на ледниках, достигая абсолютных максимумов значений до 30-32°C при средней температуре воздуха за одну-две предшествующие декады в 20-25°C, так и прорывы ледниковых запруд, внутриледниковых вод, ледниковых и приледниковых озер; пульсация ледников и обвалы висячих ледников. Снеговые сели во многом обусловливаются интенсивным снежного покрова достаточной мощности, а также способствующей селепроявлениям метеорологической ситуацией. Однако чаще всего отмечаются не только ледниковые или снеговые, но и смешанные сели, возникающие и развивающиеся после продолжительного периода с весьма высокими температурами воздуха, когда фронтальные или конвективные ливни провоцировали образование селевого потока.

Селеопасный период на территории Республики с учетом единичных селепроявлений длится с марта по октябрь, хотя иногда его продолжительность в условиях преобладания дождевых селей определяется изменением высоты нулевой изотермы и продолжительностью периода выпадения жидких осадков, варьируя от четырех месяцев в высокогорной зоне до семи-восьми месяцев в пределах средне- и низкогорий с нарушенным почво-растительным покровом. Стоит отметить, что в пределах Северной Осетии – Алании сели различной интенсивности, возникающие и развивающиеся в разнородных условиях, наблюдаются практически ежегодно. При этом повторяемость селепроявлений характеризуется от очень низкой (30-100 лет) до высокой (ежегодно, несколько раз в год из одного селевого района), составляя в среднем по территории 1 раз в 3–5 лет (табл. 3).

Наиболее часто сели формируются в бассейне р. Ардон. На их долю приходится около 62% всех зарегистрированных случаев селеформирований. В долинах притоков р. Ардон они случаются практически ежегодно.

Установлено, что сели небольших объемов (менее 10 тыс. м³) возникают и развиваются на всей территории ежегодно; сели средних (10–100 тыс. м³) и значительных $(100-1000 \text{ тыс. } \text{м}^3)$ объемов в свою очередь -1 раз в 3-5 и 5-8 лет соответственно. Катастрофические сели с очень значительными объемами (более 1 000 000 м³) формируются в среднем 1 раз в 25 лет. В наиболее селеактивных районах, в бассейне р. Ардон: Касайкомдонском, Малом Лабагомском, Сказском - в среднем возникают и развиваются 1 раз в 10-12 лет. По количеству катастрофических селей весьма известно Цейское ущелье бассейна р. Ардон, в котором за последние 50 лет зарегистрировано 6 селевых выносов объемами более 1 000 000 m³ [4].

Меру опасности селевых очагов определяют объемы единовременных выносов грязекаменных потоков и максимальные расходы наносоводных потоков наряду с некоторыми другими характеристиками.

Селевые потоки, формирующиеся в районах Бокового и Главного хребтов, котловинах Северной юрской сланцевой депрессии (Донифас-Фаснальской на р. Урух; Садоно-Унальской на р. Ардон; Верхне-Фиагдонской на р. Фиагдон, Даргавской на р. Гизельдон, Канидонской на р. Геналдон; Армхи-Джайраховской на р. Терек) и Южной Юрской сланцевой депрессии (Туальской на р. Ардон), отличаются весьма существенными объемами материала. Здесь преобладают сели сред-

ней активности с объемами 100-100 000 м³, а в отдельных случаях образуются сели высокой степени опасности, с объемами от 1 000 000 м³ (р. Ардон) до 65–70 млн м³ (р. Геналдон). В районе Скалистого хребта образуются сели низкой активности со средними объемами 100-10 000 м3, но в общем в районе Скалистого, Пастбищного, Лесистого, Кабардино-Сунженского, Терского хребтов, Аргуданской предгорной холмистой возвышенности преобладают селевые потоки очень низкой активности с небольшими, менее 10 тыс. м³, объемами. Толщина выносов отдельных селевых потоков может достигать 5-6 м, а в среднем составляет 0,4-3,0 м [5].

Селевые процессы обусловливают для всех отраслей экономики горных районов Северной Осетии – Алании значительный ущерб, иногда их прохождение сопровождается человеческими жертвами. Хорошо известны катастрофические селевые потоки, прошедшие в августе 1953 г. в долине р. Цеядон. Тогда со склонов Цейского ущелья сошло 10 селевых потоков. Наиболее разрушительным из них был «Медик», сформировавшийся по ручью, впадающему в р. Цеядон в 0,5 км выше устья р. Сказдон. При выходе этого ручья из узкой теснины в долину р. Цеядон располагался альпинистский лагерь «Медик». Сель начался в 2 часа ночи. Проснувшиеся от страшного грохота альпинисты выбежали из палаток и помещений. На них двигалась огромная серая масса из валунов и камней. Она накрыла все палатки и ворвалась в окна и двери домов. Отдельные валуны достигали 3,5-4,0 м в диаметре. Два одноэтажных финских домика были перемещены на расстояние 30-50 м. Селевой поток двигался с перерывами до 5 часов утра. Проливной дождь не прекращался ни на минуту. Высокие валы щебня и валунов образовали широкую просеку в лесу. Длина селевого выноса достигала 500 м при ширине около 50 м и средней мощности 3,5-4 м [6].

В середине июля 1958 г. селями были поражены склоны Скалистого хребта в бассейне р. Ардон. Особенно разрушительный сель прошел в долине р. Садон — левого притока р. Ардон. Он сформировался в русле небольшого ручья Ходка, впадающего в р. Садон. Со слов местных жителей, очевидцев селя, 12 июля в 5 часов утра вода в р. Ходка начала быстро прибывать. Раздался страшный грохот, и ручей моментально изменился до неузнаваемости. Вода в нем как бы вскипела, стала черной и гу-

стой от грязи, ила и камней. Она с шумом и грохотом врывалась в близлежащие поселения, при этом конус выноса Ходкинского селя практически полностью покрыл поселок Садон, достигая в длину около 200 м, в ширину – 100–200 м, а его толщина составила 4,5–4,0 м [7]. Как показано в ряде научных работ [7, 8], этим селем было вынесено около 120 тыс. м³ твердого материала.

Довольно крупный сель прошел в это время и по руслу ручья Ногкау — левому притоку р. Ардон, впадающему в нее у г. Мизур. Вынесенный этим селем твердый материал разрушил всю северную часть г. Мизур, размыл на значительном протяжении дорогу Алагир — Мизур [8].

Таким образом, в представленном выше исследовании показано, что около 60% территории Республики Северная Осетия – Алания подвергаются или могут быть подвергнуты прохождению селевых потоков разной степени опасности. При этом наносится огромный ущерб 103 объектам экономики, в том числе: 70 населенным пунктам, 5 хозяйственным объектам, 5 оздоровительным учреждениям, 23 участкам автомобильных дорог.

Заключение

Периодичность схода селевых потоков на территории горной части Республики Северная Осетия - Алания составляет в среднем 1 раз в 3-5 лет, а катастрофических -1 раз в 25 лет. В отдельные годы отмечается массовый сход селевых потоков, всегда связанный с выпадением большого количества атмосферных осадков редкой повторяемости. Необходимо отметить, что в дальнейшем, по мере возрастания рекреационного и хозяйственного освоения горных районов Республики Северная Осетия – Алания, особенно в связи с развитием горнорудной промышленности, строительством автомобильных дорог, интенсивными лесоразработками и выпасом скота, будет возрастать и активность селевых явлений, а следовательно, и селевая опасность. Этому также способствует и нестабильность погодно-климатического режима изучаемой территории.

Список литературы / References

1. Сергеева Г.А., Волобуева Л.Л., Кривошеева Е.А. Долгосрочный прогноз развития и направления изучения селевых явлений на горной территории Карачаево-Черкесии. Меры защиты от селей // Инженерный вестник Дона. 2012. № 4–1 (22). [Электронный ресурс]. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1155 (дата обращения: 21.01.2020).

Sergeeva G.A., Volobueva L.L., Krivosheeva E.A. Longterm forecast of development and direction of study of mud phenomena in the mountainous territory of Karachay-Cherkessia. Measures of protection against mudslides / Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. № 4–1 (22). [Electronic resource]. URL: http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1155 (date of access: 21.01.2020) (in Russian).

2. Андреев С.С., Попова Е.С. Колебания среднегодовой температуры воздуха по данным г. Махачкала/Уйташ в 1882–2015 гг. // Успехи современного естествознания. 2017. № 5. С. 72–77.

Andreev S.S., Popova E.S. Fluctuations in the average annual air temperature according to the data of Makhachkala/ Uytash in 1882–2015 // Advances in current natural sciences. 2017. № 5. P. 72–77 (in Russian).

3. Андреев С.С., Андреева Е.С. Биоклиматическая характеристика Ростовской области по индексу патогенности метеорологической ситуации // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2003. № 9. С. 67–69.

Andreev S.S., Andreeva E.S. Bioclimatic characteristics of the Rostov region according to the pathogenicity index of the meteorological situation // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. 2003. № 9. P. 67–69. (in Russian).

4. Бойнагрян В.Р., Бойнагрян А.В., Манукян Н.В. Селевая активность в Армении // Сборник трудов III Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита». 22–26 сентября 2014. Южно-Сахалинск: Изд. Сахалинский филиал ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 2014. С. 10–13.

Bojnagryan V.R., Bojnagryan A.V., Manukyan N.V. Mudflow activity in Armenia // Sbornik trudov III Mezhdunarodnoy konferentsii «Selevyye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita». 22–26 sentyabrya 2014. Yuzhno-Sakhalinsk: Izd.Sakha-

linskiy filial FGBUN Dal'nevostochnyy geologicheskiy institut DVO RAN, 2014. P. 10-13 (in Russian).

5. Кононова Н.К. Связь стихийных бедствий в России в 2013 и 2014 гг. с циркуляцией атмосферы северного полушария // Сложные системы. 2014. № 4 (13). С. 46–60.

Kononova N.K. Connection of natural disasters in Russia in 2013 and 2014 with the circulation of the atmosphere of the Northern hemisphere // Slozhnye sistemy. 2014. Ne 4 (13). P. 46–60 (in Russian).

6. Бероев Б.М., Казахова М.Г. О состоянии и перспективах развития туристско-экскурсионного дела в Северной Осетии-Алания // Географический вестник. 2012. № 2 (21). С. 93–101.

Beroev B.M., Kazahova M.G. About the state and prospects of development of tourist and excursion business in North Ossetia-Alania // Geograficheskij vestnik. 2012. № 2 (21). P. 93–101 (in Russian).

7. Геккиев А.Б. Влияние рельефа на климат республики Северная Осетия-Алания // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 1. С. 5–7.

Gekkiev A.B. Influence of terrain on the climate of the Republic of North Ossetia-Alania // Modern high technologies. 2012. № 1. P. 5–7 (in Russian).

8. Гуцаева А.Б. Потенциал Республики Северная Осетия — Алания для формирования конкурентоспособного туристско-рекреационного комплекса в рамках Северо-Кавказского федерального округа // Молодой ученый. 2013. № 6. С. 797—799.

Gucaeva A.B. Potential of the Republic of North Ossetia-Alania for forming a competitive tourist and recreational complex within the North Caucasus Federal district // Molodoj uchenyj. 2013. № 6. P. 797–799 (in Russian). УДК 504.062(470)

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ВОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕГИОНАХ СТЕПНОЙ ЗОНЫ РФ

Чибилёв А.А. (мл.), Мелешкин Д.С., Григоревский Д.В.

Институт степи ОФИЦ УрО РАН, Оренбург, e-mail: a.a.ml@mail.ru, aventureiro@mail.ru, grag92@mail.ru

В статье проведен анализ использования водных ресурсов в регионах степной зоны России. Основными показателями, характеризующими водопользование, являются забор воды из природных водных объектов, использование и очистка воды, сброс сточных вод. В регионах степной зоны водопотребление осуществляется в большей степени за счет пресной воды, изъятой из поверхностных источников (87,7% от всей добытой воды). По сравнению с 2010 г. в исследуемом мезорегионе наблюдается снижение использования пресной воды на 8%. Проведен сравнительный анализ объемов водопотребления, представлена структура водопользования по регионам. Этот показатель минимален в Курганской области, наибольшие его значения отмечены в Ставропольском и Краснодарском краях. Построены картосхемы, отражающие диспропорции использования водных ресурсов между юго-западными и восточными степными регионами России. Дана оценка динамики объемов сброса сточных вод в поверхностные водоемы регионов за период 2010-2018 гг., в результате которой выявлено его сокращение на 15,7% за указанный период. Построены диаграммы, отображающие динамику и структуру водопотребления и сброса загрязненных сточных вод в степных регионах России в 2010-2018 гг. Наибольшее увеличение объемов водопотребления произошло в Белгородской и Воронежской областях. В сбросе загрязненных сточных вод наблюдается сокращение объемов как загрязненных сточных вод без очистки, так и недостаточно очищенных сточных вод. По отношению к 2010 г. существенное сокращение соответствующих показателей отмечено в Краснодарском крае и Челябинской области. Проведен анализ и построена картосхема использования пресной воды населением и водоемкости валового регионального продукта.

Ключевые слова: регионы степной зоны, водные ресурсы, водопотребление, сброс сточных вод, плотность сброса загрязненных сточных вод

ANALYSIS OF THE WATER USE INDICATORS DYNAMICS IN THE REGIONS OF THE RUSSIA'S STEPPE ZONE

Chibilev A.A. (jr.), Meleshkin D.S., Grigorevskiy D.V.

Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, e-mail: a.a.ml@mail.ru, aventureiro@mail.ru, grag92@mail.ru

The article analyzes the use of water resources in the regions of the steppe zone of Russia. The main indicators characterizing water use are water withdrawal from natural water bodies, the use and treatment of water, and the discharge of wastewater. In the regions of the steppe zone, water consumption is carried out to a greater extent due to fresh water withdrawn from surface sources, 87.7% of all produced water. Compared to 2010, a decrease in the use of fresh water by 8% is observed in the studied mesoregion. A comparative analysis of water consumption was carried out, the structure of water use by region was presented. In the Kurgan region, this indicator is minimal; its highest values are noted in the Stavropol and Krasnodar territories. Map schemes are constructed that reflect the imbalances in the use of water resources between the southwestern and eastern steppe regions of Russia. The dynamics of wastewater discharges to surface water bodies of the regions for the period 2010-2018 is estimated, which resulted in a decrease of 15.7%. Charts were constructed showing the dynamics and structure of water consumption and discharge of polluted wastewater in the steppe regions of Russia in 2010-2018. The largest increase in water consumption occurred in Belgorod and Voronezh regions. In the discharge of contaminated wastewater, there is a reduction in the volume of both polluted wastewater without treatment and insufficiently treated wastewater. In relation to 2010, a significant reduction in relevant indicators was noted in the Krasnodar Territory and Chelyabinsk Region. The analysis is carried out and a map of freshwater use by the population and the water consumption of the gross regional product is constructed.

Keywords: regions of the steppe zone, water resources, water consumption, waste water discharge, density of polluted wastewater discharge

Проблемы рационального использования и загрязнения водных ресурсов в Российской Федерации стоят довольно остро. Специфика влияния отраслей народного хозяйства на водные ресурсы раскрывается в соотношении превалирующих видов водопользования. Основными показателями, характеризующими использование воды, являются забор воды из природных водных объектов, использование и очистка воды, сброс сточных вод.

Цель исследования: провести анализ динамики показателей водопользования в регионах степной зоны России в 2010—2018 гг.; оценить водообеспеченность исследуемых регионов; осуществить анализ динамики сброса сточных вод в поверхностные водные объекты в 2010—2018 гг. Для достижения цели были решены следующие задачи:

- составлена база данных показателей, отражающих структуру водопользования

за 2010–2018 гг. по регионам степной зоны России, на основе актуальной и достоверной информации из официальных источников [1, 2];

- проведен анализ динамики объемов сброса загрязненных сточных вод в поверхностные водные объекты исследуемой территории;
- составлена картосхема плотности сброса загрязненных сточных вод и структуры водопользования.

Материалы и методы исследования

Для анализа динамики водопользования были использованы сравнительно-географический, картографический и статистический методы исследования. Материалом для исследований послужили данные из государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году» [1]. Показатель использования свежей воды включает в себя забор и использование пресных вод из различных источников для удовлетворения хозяйственных нужд, кроме оборотного и повторного водопотребления. Загрязненные сточные воды представляют собой неочищенные или недостаточно очищенные от загрязняющих веществ коммунальные стоки, сброшенные в поверхностные водные объекты. В данный показатель не включается вода, отводимая с орошаемых земель после полива. Показатель водо-

емкости валового регионального продукта (ВРП) рассчитывался как отношение объемов водопотребления (м³) к единице ВРП (тыс. руб.) [3]; показатель водоемкости промышленности - как отношение объема воды, направленной на производственные нужды (м³), к объему отгруженных товаров собственного производства по 3 основным видам экономической деятельности (добыча полезных ископаемых, обрабатывающие производства, производство и распределение электроэнергии, газа и воды, тыс. руб.); показатель водоемкости сельского хозяйства – как отношение суммы объемов воды, направленной на сельскохозяйственное водоснабжение и орошение (м³), к продукции сельского хозяйства (тыс. руб.).

Результаты исследования и их обсуждение

В регионах степной зоны (рис. 1) водопотребление осуществляется в большей степени за счет пресной воды, изъятой из поверхностных источников, — 17797,3 млн м³ (87,7% от всей добытой воды) [4,5]. Масштабы использования воды в регионах степной зоны уменьшились за последние годы, общее использование пресной воды в 2018 г. составило 15696,1 млн м³, что на 8% меньше, чем в 2010 г. Основной объем пресной воды в структуре водопользования приходится на производственные нужды — 6849,0 млн м³.

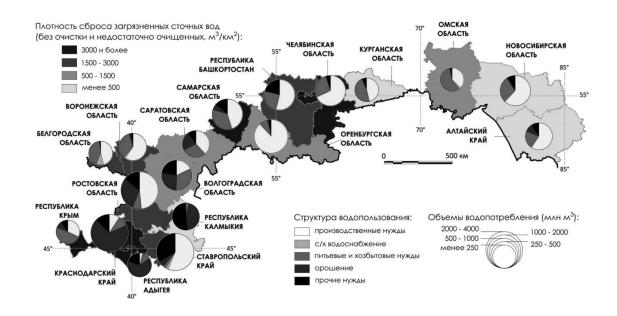


Рис. 1. Картосхема плотности сброса загрязненных сточных вод и структуры водопользования в степных регионах РФ в 2018 г.

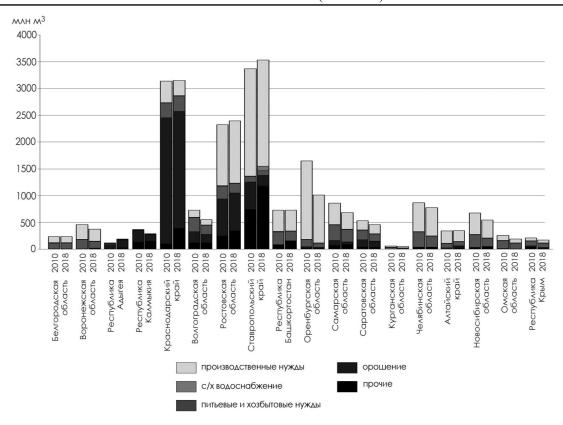


Рис. 2. Диаграмма структуры и динамики водопотребления в степных регионах России в 2010—2018 гг.

С 2010 г. данный показатель сократился на 26,7% [1]. Такое снижение связано с уменьшением количества предприятий и организаций (деятельность которых предусматривает использование водных ресурсов) в исследуемых регионах, за рассматриваемый период их количество сократилось с 178,3 тыс. до 130, 4 тыс. (26,9%). На орошение сельскохозяйственных угодий приходится 3724,2 млн м³ от общего объема всей используемой воды. Данный показатель занимает второе место в структуре водопользования. За период 2010—2018 гг. произошло его сокращение на 14,8%.

Необходимо отметить, что тенденция изменения объемов использованной пресной воды, направленная в сторону сокращения за рассматриваемый период, характерна для большинства регионов степной зоны. Незначительное увеличение использования отмечено в Ростовской, Белгородской, Воронежской, Курганской областях и в Республике Адыгея (рис. 2).

Диспропорции в объемах водопотребления наблюдаются между юго-западными и восточными регионами исследуемой территории. В Курганской области этот показа-

тель минимален и составляет 49,9 млн м³, наибольшие его значения отмечены в Ставропольском (3535,2 млн м³) и Краснодарском (3152,2 млн м³) краях. В Краснодарском крае значительная доля объемов водопотребления приходится на орошение (70%). В среднем по регионам степной зоны на производственное водопотребление направлено 43% забираемой пресной воды, максимальная доля наблюдается в регионах с развитыми водоемкими отраслями производства (такими как электроэнергетика, черная и цветная металлургия, нефтехимическая промышленность и др.) — Оренбургской (88%) и Челябинской (68%) областях.

Максимальные объемы воды на производственные нужды тратятся в Ставропольском крае (1984,6 млн м³) и Ростовской области (1160,1 млн м³). В Ставропольском крае при сравнительно небольших показателях промышленного производства и ВРП (7-е место среди исследуемых регионов) на производственные нужды забираются объемы воды, сопоставимые с объемами всего водопотребления Оренбургской, Новосибирской и Саратовской областей, вместе взятых. Большие значения показателя

объема воды, использованной на производственные нужды в Ставропольском крае, также связаны с развитием производств химической отрасли (производство пластмасс, синтетических смол, красок, лаков, азотных удобрений и др.). В регионе остро стоит проблема потери воды при транспортировке. В 2017 г. соответствующий показатель составил 1188,6 млн м³ [6]. Это нашло свое отражение в увеличении показателей водоемкости промышленного производства и водоемкости ВРП (4,9 м 3 /тыс. руб. и 5,3 м 3 /тыс. руб. соответственно), максимальных среди исследуемых регионов. По показателю водоемкости сельского хозяйства наблюдаются ярко выраженные диспропорции и увеличение значений в сторону южных регионов: Краснодарский край $-5.8 \text{ м}^3/\text{тыс.}$ руб., Республика Адыгея – 5,7 м³/тыс. руб., Республика Калмыкия -4,9 м 3 /тыс. руб., Ростовская область -2,8 м³/тыс. руб. (рис. 3).

Объем сброса сточных вод в поверхностные природные водоемы регионов степной зоны РФ в 2018 г. составил 3254,3 млн м³. По сравнению с 2010 г. данный показатель сократился на 607,1 млн м³, или на 15,7% [2]. Максимальный объем сброса загрязненных сточных вод наблюдается в Краснодарском крае (718 млн м³, основными источниками загрязнения являются предприятия ЖКХ) и Челябинской области (647 млн м³, основными источниками загрязнения являются предприятия ЖКХ и металлургической отрасли промышленности). Меньше всего сброшено загрязненных сточных вод в Республике Калмыкия (13,9 млн м³) и в Алтайском крае (17,3 млн м³). В целом по регионам степной зоны за рассматриваемый период наблюдается положительная динамика сокращения объемов сброса загрязненных сточных вод (рис. 4). Значительный объем сброшенных сточных вод приходится на недостаточно очищенную воду — 75,4%, где также по регионам отмечалось снижение. Наибольшее сокращение произошло в Краснодарском крае (34,6%), Республике Башкортостан (28,2%), а также в Волгоградской (43,2%) и Курганской (36,1%) областях.

Одной из причин снижения объемов сброса загрязненных сточных вод являются строительство и ввод в эксплуатацию новых, а также модернизация устаревших водоочистных сооружений. В Саратовской области объемы сброшенных сточных вод выросли с 14 млн $м^3$ до 92,4 млн $м^3$, или в 6,6 раза. По данным Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области 96 % от общего объема сброшенных сточных вод приходится на бассейн р. Волга. Основными источниками загрязнения являются предприятия, занимающиеся забором, очисткой и распределением воды [7]. Колоссальные объемы сброса загрязненной сточной воды без очистки наблюдаются в Краснодарском крае – 623,97 млн м³, что составляет объем всего водоотведения Новосибирской и Омской областей.

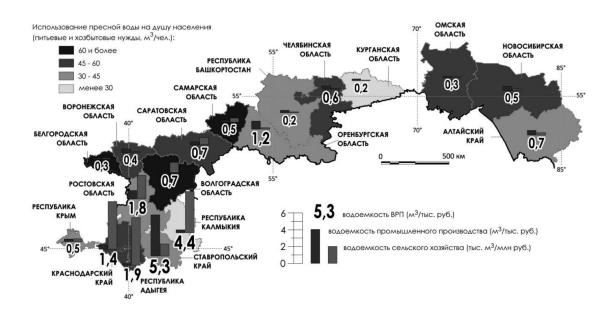


Рис. 3. Картосхема использования населением пресной воды и водоемкости ВРП, промышленного производства и сельского хозяйства в степных регионах России в 2018 г.

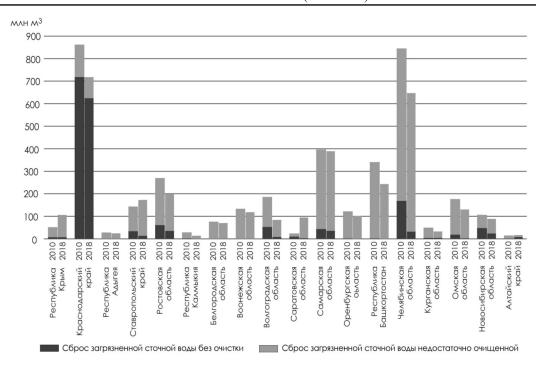


Рис. 4. Диаграмма динамики сброса загрязненных сточных вод в степных регионах России в 2010—2018 гг.

Несмотря на максимальные показатели водопотребления, водоемкости ВРП и водоемкости промышленного производства, в Ставропольском крае отмечается минимальный показатель доли сброса загрязненных (без очистки и недостаточно очищенных) сточных вод от объема водоотведения — 8,2%. Максимальные показатели — в Курганской и Омской областях: 99,7% и 98,3% соответственно.

За исследуемый период среди рассматриваемых регионов произошло сокращение водопотребления, направленного на производственные нужды (на 12,6%, с 7838,8 млн $м^3$ до 6849 млн $м^3$), на питьевые и хозяйственно-бытовые нужды (на 22,4%, с 2900,8 млн м³ до 2250,3 млн м³) и на орошение (на 14,8%, с 4368,9 млн $м^3$ до 3424,2 млн $м^3$). С 2010 г. водопотребление по регионам степной зоны на сельскохозяйственные потребности увеличилось на 38,3% (с 109,9 млн м³ до 178 млн м³). Наибольшее увеличение объемов водопотребления в 2018 г. по сравнению с 2010 г. произошло в Белгородской и Воронежской областях. В сбросе загрязненных сточных вод в 2018 г. наблюдается сокращение объемов как загрязненных сточных вод без очистки, так и недостаточно очищенных сточных вод. По отношению к 2010 г. существенное сокращение соответствующих показателей отмечено в Краснодарском крае и Челябинской области.

Большое значение для решения прорационального водопользования в степной зоне РФ имеет эффективное использование инвестиций в основной капитал, направленных на охрану и рациональное использование водных ресурсов. В 2018 г. их объем составил 12691,8 млн руб. Из всех регионов степной зоны максимальные показатели инвестиций, направленных на охрану и рациональное использование водных ресурсов, отмечены в Республике Башкортостан -3704 млн руб., Омской – 2252,5 млн руб., Воронежской – 1131,6 млн руб. и Челябинской областях – 1031,1 млн руб. Меньше всего на охрану водных ресурсов инвестируют в Республике Калмыкия – 4,2 млн руб. По сравнению с 2010 г. в регионах степной зоны количество инвестиций на охрану водных ресурсов сократилось более чем в 2,5 раза (с 33 до 12 млн руб.). Более чем в 33 раза произошло сокращение в Оренбургской области (с 1926 до 57 млн руб.), рост данного показателя наблюдается только в Воронежской области (в 1,6 раза), Омской области (в 1,8 раза) и Республике Калмыкия (в 4,2 раза).

В целом на территории исследования в структуре водопользования отмечаются уменьшение доли забираемой воды на орошение и увеличение доли на производственные нужды по регионам в северо-восточном направлении. Значительная площадь степных водоемов при их относительной маловодности свидетельствует о расточительности по отношению к водным ресурсам степной зоны и наличии проблем, связанных с рациональным водопользованием. Большое значение в их решении имеет эффективное использование инвестиций в основной капитал, направленных на охрану и рациональное использование водных ресурсов.

Статья подготовлена в рамках темы «Степи России: ландшафтно-экологические основы устойчивого развития, обоснование природоподобных технологий в условиях природных и антропогенных изменений окружающей среды» (№ ГР АААА-А17-117012610022-5).

Список литературы / References

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году». М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», 2019. 844 с.

State report «On the State and Environmental Protection of the Russian Federation in 2018». M.: Minprirody Rossii; NPP «Kadastr», 2019. 844 p. (in Russian).

2. Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2012 году». М.: НИА-Природа, 2013. 370 с.

State report «On the state and use of water resources of the Russian Federation in 2012». M.: NIA-Priroda, 2013. 370 p. (in Russian).

3. Фомина В.Ф. Эффективность использования водных ресурсов в регионах Северо-Западного федерального округа в свете Водной стратегии // Экономические и социаль-

ные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2010. № 3 (11). С. 75–89

Fomina V.F. Efficiency of water resources' use in the regions of the North-West federal district in view of the Water strategy. Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast. 2010. № 3. P. 65–78.

4. Чибилёв А.А., Чибилёв А.А. (мл.), Руднева О.С., Соколов А.А., Падалко Ю.А., Мелешкин Д.С., Григоревский Д.В. Проблемы устойчивого развития социально-экономических геосистем степной зоны Российской Федерации. Оренбург: ИС УрО РАН, 2018. 128 с.

Chibilyov A.A., Chibilyov A.A. (ml.), Rudneva O.S., So-kolov A.A., Padalko Yu.A., Meleshkin D.S., Grigorevsky D.V. Problems of sustainable development of socio-economic geosystems of the steppe zone of the Russian Federation. Orenburg: IS UrO RAN, 2018. 128 p. (in Russian).

5. Падалко Ю.А. Региональная специфика водопользования в степной зоне Европейской части России // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов: труды VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Пермь, 2019. С. 32–37.

Padalko Yu.A. Regional specifics of water use in the steppe zone of the European part of Russia // Sovremennyye problemy vodokhranilishch i ikh vodosborov: trudy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem. Perm', 2019. P. 32–37 (in Russian).

6. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края [Электронный ресурс]. URL: http://www.mpr26.ru/ministerstvo/informatsiya/news/chto-nesut-nam-reki.html (дата обращения: 20.02.2020).

The Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Stavropol Territory [Electronic resource]. URL: http://www.mpr26.ru/ministerstvo/informatsiya/news/chtonesut-nam-reki.html (date of access: 20.02.2020) (in Russian).

- 7. Костина Н.В., Кудинова Г.Э., Розенберг А.Г., Розенберг Г.С., Хасаев Г.Р. Волжский бассейн: об экологических аспектах стратегии модернизации, инновационного и научно-технологического развития // Х Международная научно-практическая конференция «Регионы России: стратегии механизмы модернизации, инновационного и технологического развития». М., 2019. С. 60–63.
- 7. Kostina N.V., Kudinova G.E., Rosenberg A.G., Rosenberg G.S., Khasaev G.R. Volga basin: on environmental aspects of the strategy of modernization, innovative and scientific and technological development // X Mezhdunarodnaya nauchnoprakticheskaya konferentsiya «Regiony Rossii: strategii i mekhanizmy modernizatsii, innovatsionnogo i tekhnologicheskogo razvitiya». M., 2019. P. 60–63 (in Russian).