

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380

Журнал издается с 2001 г.

Электронная версия: <http://www.natural-sciences.ru>

Правила для авторов: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Подписной индекс по электронному каталогу «Почта России» – П7816

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Свидетельство – **ПИ № ФС 77-63398.**

Все публикации рецензируются. Доступ к электронной версии журнала бесплатный.

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,791.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,380.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ.

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

Почтовый адрес: 105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя: 440026, Пензенская область, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

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

Подписано в печать – 29.10.2021

Дата выхода номера – 30.11.2021

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

410035, Саратовская область, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

Техническая редакция и верстка

Байгузова Л.М.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 12,38

Тираж – 1000 экз.

Заказ. УСЕ/10-2021

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (06.01.00, 06.03.00)**СТАТЬИ**

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ХЛОПЧАТНИКА В ПИТОМНИКЕ КОНКУРСНОГО СОРТОИСПЫТАНИЯ	
<i>Акпаров З.И., Мамедова Р.Б., Гусейнова Л.А., Абдулалиева Г.С., Юнусова Ф.М., Ализаде Ш.А.</i>	7
СИНЕРГЕТИКА И ИНТЕГРАЦИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЬХОЗУГОДИЙ, ЛЕСОВ И ТОРФЯНИКОВ	
<i>Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Денисов А.Н., Катин О.И., Никулин М.А.</i>	13
ВЛИЯНИЕ СОРТОВ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ С ГЕНОМ LR 26 НА ВИРУЛЕНТНОСТЬ ВОЗБУДИТЕЛЯ БУРОЙ РЖАВЧИНЫ В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Мешкова Л.В., Россеева Л.П., Шмакова О.А., Белан И.А.</i>	20
ПОЧВЕННО-ТАКСАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕТЫРЕХРЯДНОЙ ПОЛЕЗАЩИТНОЙ ЛЕСНОЙ ПОЛОСЫ ИЗ <i>ULMUS PUMILA L.</i> И <i>RIBES AUREUM L.</i>	
<i>Сучков Д.К.</i>	26
ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ БУГРОВ ПУЧЕНИЙ И ТЕРМОКАРСТОВЫХ ПОНИЖЕНИЙ ЮГА ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ	
<i>Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенков Ю.Б.</i>	32

ОБЗОРЫ

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АЭРОСЕВА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ	
<i>Лысыч М.Н., Бухтояров Л.Д., Чернышов В.В., Нагайцев В.М.</i>	37

Науки о Земле (25.00.00)**СТАТЬИ**

ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ АТМОСФЕРНЫМИ ВЫПАДЕНИЯМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БРИОИНДИКАЦИИ	
<i>Алексеенок Ю.В., Вергель К.Н., Юшин Н.С.</i>	43
ЗОЛОТОНОСНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ПЛЯЖА ЮГО-ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ	
<i>Кунгурова В.Е., Газзаева Е.М.</i>	51
ВЛИЯНИЕ 40 ФАКТОРОВ ЖИЗНИ НА ДОЛЮ НАСЕЛЕНИЯ НИЖЕ ПРОЖИТОЧНОГО МИНИМУМА В СУБЪЕКТАХ УРАЛА И СИБИРИ	
<i>Мазуркин П.М.</i>	62
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ РАДИЯ-226 ПО ДАННЫМ ЕГО ПРОФИЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ	
<i>Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М.</i>	69
ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ РЕКИ ПЕЧОРЫ В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ И ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫСШЕГО УРОВНЯ ВОДЫ ЗА ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ЛЕДОХОДА	
<i>Сумачев А.Э., Банщикова Л.С.</i>	75

ПЕСЧАНЫЕ ПОРОДЫ ПУР-ТАЗОВСКОЙ НЕФТЕНОСНОЙ ОБЛАСТИ:
ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОЛЛЕКТОРА

Черданцева Д.А., Кравченко Г.Г., Краснощекова Л.А.81

КАРТИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕРРИТОРИИ
АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ АНАЛИЗОМ ИЗОБРАЖЕНИЙ LANDSAT 8 OLI
(КЕМСКИЙ ТЕРРЕЙН, СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС)

Шевырев С.Л., Шевырева М.Ж., Горобейко Е.В.89

ОБЗОРЫ

АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТОВ И МОЩНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ЯКУТИИ

Мучина А.В., Николаев А.А.95

CONTENTS
Agricultural sciences (06.01.00, 06.03.00)
ARTICLES

COMPETITIVE EVALUATION OF PERSPECTIVE COTTON LINES
IN VARIETY DEVELOPMENT NURSERY

*Akparov Z.I., Mamedova R.B., Guseynova L.A.,
Abdulaliyeva G.S., Yunusova F.M., Alizade Sh.A.*7

SYNERGETICS AND INTEGRATION OF AGROTECHNOLOGIES AND OF FIRE
PROTECTION OF AGRICULTURAL AREAS, FORESTS AND PEATERY

Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Denisov A.N., Katin O.I., Nikulin M.A.13

INFLUENCE OF VARIETIES OF SOFT SPRING WHEAT WITH GENE LR 26
ON THE VIRULENCE OF THE AGENT OF BROWN RUST IN THE OMSK REGION

Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Shmakova O.A., Belan I.A.20

SOIL AND TAXATION CHARACTERISTICS OF A 4-ROW PROTECTIVE
FOREST STRIP FROM *ULMUS PUMILA* L. AND *RIBES AUREUM* L.

Suchkov D.K.26

ELEMENTAL COMPOSITION OF HUMIC ACIDS IN SOILS OF PINGO
AND THERMOKARST DEPRESSIONS IN THE SOUTH OF THE VITIM PLATEAU

Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Tsybenov Yu.B.32

REVIEWS

OVERVIEW OF MODERN TECHNOLOGIES OF AEROSSEEDING
FORESTS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Lysych M.N., Bukhtoyarov L.D., Chernyshov V.V., Nagaytsev V.M.37

Earth sciences (25.00.00)
ARTICLES

ASSESSMENT OF THE POLLUTION LEVELS OF THE TERRITORY
OF THE REPUBLIC OF BELARUS BY HEAVY METALS
ATMOSPHERIC DEPOSITION USING BRYOINDICATION

Aleksiyayenak Yu.V., Vergel K.N., Yushin N.S.43

GOLD MINERALIZATION DEPOSITS OF THE BEACH
OF SOUTH-WESTERN KAMCHATKA

Kngurova V.Ye., Gazzaeva E.M.51

INFLUENCE OF 40 LIFE FACTORS ON POPULATION SHARE BELOW
THE LIVING MINIMUM IN THE SUBJECTS OF THE URALS AND SIBERIA

Mazurkin P.M.62

MODELING THE MOBILITY OF RADIUM-226 BASED ON THE DATA
OF ITS PROFILE DISTRIBUTION IN CONTAMINATED PODZOLIC SOIL

Rachkova N.G., Shaposhnikova L.M.69

ICE REGIME OF THE PECHORA RIVER IN MODERN CLIMATIC
CONDITIONS AND PRINCIPLES OF FORECASTING THE HIGHEST
WATER LEVEL FOR THE PERIOD OF SPRING ICE DRIFT

Sumachev A.E., Banshikova L.S.75

LITHOLOGICAL FEATURES INFLUENCE ON POROSITY AND PERMEABILITY
OF OIL-BEARING SANDSTONES

Cherdantseva D.A., Kravchenko G.G., Krasnoschekova L.A.81

MAPPING OF THE STRUCTURAL AND SUBSTANTIONAL COMPLEXES
OF THE TERRITORY BY AUTOMATED ANALYSIS OF LANDSAT 8 OLI IMAGES
(KEMA TERRANE, SIKHOTE-ALIN FOLDED BELT)

Shevyrev S.L., Shevyreva M.Zh., Gorobeyko E.V.89

REVIEWS

ANALYSIS OF SOIL TEMPERATURE AND THE CAPACITY
OF THE ACTIVE LAYER OF YAKUTIA

Muchina A.V., Nikolaev A.A.95

СТАТЬИ

УДК 633.511:575.113

**ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ ЛИНИЙ ХЛОПЧАТНИКА
В ПИТОМНИКЕ КОНКУРСНОГО СОРТОИСПЫТАНИЯ**

**Акпаров З.И., Мамедова Р.Б., Гусейнова Л.А., Абдулalieва Г.С.,
Юнусова Ф.М., Ализаде Ш.А.**

*Институт генетических ресурсов Национальной Академии наук Азербайджана,
Баку, e-mail: gene-res@mail.ru*

В данной научной работе решаются приоритетные в Азербайджане задачи по выведению новых перспективных средневолокнистых сортов хлопчатника вида *G. hirsutum* L. На начальном этапе этого исследования нами проводились скрещивания сортов различного генетического происхождения из Генбанка Института генетических ресурсов Национальной Академии наук Азербайджана, в котором представлено свыше 1500 сортов и форм хлопчатника, включая мировую коллекцию. Полученные многочисленные гибриды подвергались изучению реакции на различные генетические критерии изменчивости признаков. Изучали продуктивность хлопка-сырца и компоненты его структуры, выход волокна, а также 12 качественных признаков волокна, тестированных на системе HVI (High Volume Instrument) в соответствии с международной классификацией. На основе полных характеристических данных были отобраны перспективные сортообразцы с комплексом хозяйственно ценных признаков. Многолетний направленный отбор позволил выявить урожайные линии с хорошим качеством волокна. На завершающем этапе селекционного процесса 20 линий в течение трех лет (2017–2019) детально оценивались в конкурсном сортоиспытании. Первоочередной задачей было сохранить достоверное превосходство отобранных линий, обладающих более удачным сочетанием количественного и качественного потенциала по сравнению со стандартным районированным сортом. Очевидно, что в результате прямых и обратных скрещиваний, а также целевого отбора были нарушены блоки сцепления генов, что привело к уменьшению степени негативных корреляций и созданию линий, сочетающих высокую урожайность и выход волокна хорошего качества. Результаты конкурсному сортоиспытания представляются к опубликованию впервые.

Ключевые слова: хлопчатник, гибридизация, конкурсное сортоиспытание, детальный анализ, направленный отбор, перспективные линии

**COMPETITIVE EVALUATION OF PERSPECTIVE COTTON LINES
IN VARIETY DEVELOPMENT NURSERY**

**Akparov Z.I., Mamedova R.B., Guseynova L.A., Abdullaliev G.S.,
Yunusova F.M., Alizade Sh.A.**

Institute of Genetic Resources of Azerbaijan National Academy Science, Baku, e-mail: gene-res@mail.ru

This scientific work dedicated to the development of new promising varieties of cotton (*G. hirsutum* L) which is the priority task of development of cotton industry in Azerbaijan. At the initial stage of this study, we carried out crosses of varieties of various genetic origin from the Genbank of the Institute of Genetic Resources of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, in which more than 1500 varieties of cotton including the world collection. Obtained hybrids were subjected to a study of the response to various genetic criteria for the variability of traits. We studied the productivity of raw cotton and components of its structure, fiber yield, as well as 12 quality characteristics of fiber, tested on the HVI system (High Volume Instrument) in accordance with the international Classification Standards. Based on characteristic data of new lines with complex economically important traits were selected. Long-term targeted selection made it possible to identify productive lines with good fiber quality. At the final stage of the breeding process, 20 lines were assessed in detail in a competitive variety trial during three years (2017-2019). The primary task was to maintain the reliable superiority of the selected lines, with more successful combination of quantitative and qualitative potential compared to the standard variety. As a result of direct and backcrossing, as well as target selection, gene linkage blocks were disrupted, which led to a decrease in the degree of negative correlations and the creation of lines combining high productivity and high fiber quality. The results of the competitive variety testing are presented for publication for the first time.

Keywords: cotton, hybridization, a competitive test of varieties, the detailed analysis, the targeted selection, promising lines

Хлопчатник является универсальной технической культурой, источником ценного натурального волокна. Хлопковое волокно используют для изготовления различных видов тканей, пряжи и одежды, а также при производстве различных технических изделий. Именно по своему высокому значению главное место среди технических культур занимает хлопчатник (*Gossypium* L.),

дающий 75% мирового производства растительного сырья для текстильной промышленности [1]. Производство хлопкового волокна в мировом масштабе ежегодно приносит существенный экономический доход [2]. Отрасль хлопководства является неотъемлемой частью общего национального дохода и Республики Азербайджан. В частности, в настоящее время в стране действует

«Государственная программа по развитию хлопководства на период 2017–2022 годы». По данным Минсельхоза АР, в результате соблюдения всех правил агротехнического ухода в 2020 г. средняя урожайность хлопка-сырца составила 30 центнеров с гектара, что является одним из самых высоких показателей в истории хлопководства страны, тогда как до 2017 г. урожайность не превышала 20,0 ц/га. К концу действия Государственной программы планируется общий урожай довести до 500 тыс. т.

Одним из неоспоримых факторов, стимулирующих развитие хлопководства, является выведение и внедрение в производство сортов с комплексом хозяйственно ценных признаков [3, 4]. При этом необходимо учитывать существующие негативные связи между хозяйственными и качественными признаками волокна, которые препятствуют их одновременному улучшению [5].

Вместе с тем уменьшить степень негативных связей между урожаем и качеством осуществимо посредством случайного скрещивания [6] и отбора новых перспективных линий в поздних поколениях. В связи с потребностью в прогрессивных сортах хлопчатника приоритетное значение придается исследованиям, направленным на создание новых линий, сочетающих необходимый комплекс полезных признаков.

Целью настоящей работы является оценка хозяйственно ценных признаков и качественных свойств волокна новых перспективных линий хлопчатника в питомнике конкурсного испытания. При создании генетической коллекции особое внимание было обращено на наличие в линиях маркерных (качественных) наследственных признаков. На основе проведенной нами гибридизации сортов хлопчатника вида *G. hirsutum* L. (геном AAD1D1; $2n = 4x = 52$) различного экологического происхождения и изучения потомства многочисленных гибридов по таким генетическим аспектам изменчивости как, наследуемость, комбинационная способность и коррелятивные связи.

В результате многолетнего направленного отбора, проводимого в селекционных питомниках, выделены урожайные линии с высоким качеством волокна. Однако заключительным этапом по оценке новых перспективных линий является конкурсное сортоиспытание [7, 8]. В течение трех лет (2017–2019 гг.) лучшие линии проверяли на стабильное сохранение величин показателей изучаемых признаков.

Материалы и методы исследования

Научные исследования проводились в отделе технических и кормовых культур при Институте генетических ресурсов АН Азербайджана. Полевые работы проводились в Агдашском опорном пункте названного института. Объектом исследования являлись 20 генетически новых перспективных линий и стандартный сорт хлопчатника «Берекет». Экспериментальные опыты проводились согласно методическим указаниям, разработанным Всесоюзным научно-исследовательским институтом селекции и семеноводства хлопчатника (ВНИИССХ) им. Г.С. Зайцева [9]. В частности, предусматривалось своевременное (для местных условий) внесение норм минеральных удобрений и норм полива.

На завершающем этапе селекционного процесса проведена оценка изучаемого материала по таким признакам, как урожай хлопка-сырца, элементы его слагающие и выход волокна.

Качественная характеристика волокна включала 12 признаков, тестируемых на электронной системе HVI (High Volume Instrument), в соответствии с едиными международными стандартами. Результаты конкурсного испытания сортов и линий базировались на усредненных данных четырехкратной повторности. Достоверность всех фактических данных основывалась на статистической обработке с использованием методов Б.А. Доспехова [10] и с помощью программ Microsoft Excel 2010. Для определения достоверности различий между средними величинами использовали *t*-критерий Стьюдента, а для сравнительной оценки дисперсий – *F*-критерий Фишера. Табличные значения критериев (*t* и *F*) определяли по таблицам, представленным в сборнике авторов Т. Littl, F. Hills [11]. Достоверным считался 5%-ный уровень значимости.

Результаты исследования и их обсуждение

Мировая селекционная практика показала, что благодаря новым прогрессивным сортам можно повысить уровень производства хлопкового волокна без дополнительных расходов. Для решения таких задач исследования, направленных на создание сортов, обладающих лучшим комплексом хозяйственно ценных признаков, приобретают особое значение. В этой связи за период данного исследования создан большой набор линий ги-

бридного происхождения. Пройдя все этапы предварительного испытания, лучшие из них (20 линий) были переданы в конкурсное сортоиспытание для сравнительной оценки признаков, как между отдельными линиями, так и между стандартом. Отобранное число перспективных линий хлопчатника в течение трех лет (2017–2019 гг.) испытывались в конкурсном питомнике для выявления линий с лучшим сочетанием целевых признаков. Проведенный анализ полученных результатов позволил выделить шесть константных линий, которые обладают наилучшим комплексом изучаемых признаков в оптимальных выражениях. Путем многократного самоопыления и отбора среди растений сортовых и гибридных популяций хлопчатника удалось выделить серию инбредных линий с альтернативным выражением хозяйственно важных признаков.

Одним из главных компонентов качества хлопковых сортов считается верхняя средняя длина волокна (Upper Half Mean Length, UHML). Это средняя длина самых длинных волокон, составляющих по массе половину испытываемой пробы, выраженная в дюймах. Каждый добавленный миллиметр к длине волокна с экономической точки зрения имеет большое значение для средневолокнистых сортов V типа [12, 13]. Международные контракты по продаже хлопкового волокна типичны для волокна с показателем верхней средней длины 1,10 дюйма, или 28,0 мм [14].

Так, из данных табл. 1 видно, что максимальная верхняя средняя длина волокна (1,17 дюйма, или $29,8 \pm 0,21$ мм) отмечена у линии TR-6. Если учесть то, что мировые контракты по покупке хлопкового волокна, типичные для волокна с верхней средней длиной, значительно ниже. Следует от-

метить, что все представленные в таблице линии, кроме линии TR-1, достоверно с вероятностью 0,95 превосходят длину волокна стандартного сорта «Берекет», равную 1,10 дюйма, или 28,0 мм.

Согласно международной классификации качественных признаков волокна индекс равномерности по длине (Uniformity Index, UI) является одним из компонентов длины волокна. Результаты изучения индекса равномерности волокна показали, что среди изучаемых линий самым высоким показателем ($85,4 \pm 0,80\%$) характеризуется линия TR-6, а самым низким ($81,4 \pm 0,67\%$) – линия TR-1. Тогда как средние международные стандарты для этого признака равны 80–82%, а высокие – 83–85% [15].

Другим компонентом, характеризующим общую длину волокна, является индекс коротких волокон (Short Fiber Index, SFI), длина которых в измеряемой пробе не должна превышать 0,5 дюйма (12,7 мм) с базовым индексом 6–9%. Больше предпочтение отдается волокну с низким содержанием коротких волокон, так как выход готового продукта, производимого из такого волокна выше. Определены абсолютные значения индекса коротких волокон всех изучаемых линий. Здесь минимальный показатель ($3,2 \pm 0,07\%$), отмечен у линий АВ-22 и TR-6, тогда как максимальный показатель ($4,4 \pm 0,12$) отмечен у линии TR-1 и стандартного сорта «Берекет». Таким образом, при комплексном рассмотрении полученных данных по длине волокна и ее компонентам можно констатировать, что линии, характеризующиеся самыми высокими показателями верхней средней длины, сопровождаются высокими показателями индекса равномерности и низким содержанием коротких волокон.

Таблица 1
Показатели технологических свойств волокна лучших хлопковых линий по данным конкурсного сортоиспытания

Номер линии	Верхняя средняя длина (UHML)		Индекс равномерности (UI), %	Индекс коротких волокон (SFI), мм	Микронейр (Mic), unit	Удельная разрывная нагрузка (Str), g/tex	Удлинение волокна до разрыва (Elg), %
	дюйм	мм					
Берекет ст.	1,10	$28,0 \pm 0,16$	$82,0 \pm 0,69$	$4,4 \pm 0,12$	$4,7 \pm 0,07$	$27,8 \pm 0,29$	$8,4 \pm 0,13$
АВ-22	1,16	$29,6 \pm 0,25$	$84,2 \pm 0,73$	$3,2 \pm 0,07$	$4,7 \pm 0,09$	$29,4 \pm 0,30$	$9,1 \pm 0,10$
АВ-68	1,15	$29,2 \pm 0,17$	$83,0 \pm 0,70$	$3,8 \pm 0,12$	$4,4 \pm 0,12$	$30,4 \pm 0,45$	$10,4 \pm 0,15$
TR-1	1,10	$27,8 \pm 0,29$	$81,4 \pm 0,67$	$4,4 \pm 0,12$	$4,6 \pm 0,14$	$28,3 \pm 0,58$	$9,0 \pm 0,11$
TR-6	1,17	$29,8 \pm 0,21$	$85,4 \pm 0,80$	$3,2 \pm 0,07$	$4,6 \pm 0,11$	$26,3 \pm 0,27$	$7,2 \pm 0,10$
FR-1	1,14	$28,9 \pm 0,16$	$82,6 \pm 0,70$	$4,0 \pm 0,09$	$4,8 \pm 0,14$	$28,2 \pm 0,43$	$8,6 \pm 0,15$
FR-3	1,11	$29,1 \pm 0,20$	$83,2 \pm 0,76$	$3,6 \pm 0,10$	$4,7 \pm 0,10$	$28,1 \pm 0,50$	$8,4 \pm 0,12$

Микронейр (Micronaire, Mic) также является важным признаком качества, ввиду его прямого влияния на обработку волокна и конечный продукт [16]. Измерительная система типа HVI (High Volume Instrument) обеспечивает определение толщины (диаметр) волокна совместно со зрелостью – другим важным качественным свойством. Базовым считается интервал от 3,5 до 4,9 unit. Микронейр ниже оптимального предела указывает на незрелость волокна, а выше этого предела – на грубое волокно, малопригодное для производства товаров высокого качества. Однако международные контракты при покупке средневолокнистого хлопкового волокна (*G. hirsutum* L.) типичны для волокна с показателем микронейра 3,8–4,6 unit.

Проанализировав результаты трехлетнего испытания линий, можно отметить, что средний показатель микронейра варьируется от $4,4 \pm 0,12$ unit (линия АВ-68) до $4,8 \pm 0,14$ unit (линия FR1). В целом все выделенные линии и стандартный сорт сформировали тонкое и зрелое волокно, пригодное для производства товаров высокого качества.

Удельная разрывная нагрузка (прочность) является одним из основных признаков, определяющих рыночную стоимость хлопкового волокна [17]. Абсолютный показатель удельной разрывной нагрузки может служить критерием добротности волокна при обязательном учете коэффициента зрелости. Диапазон прочности волокна может варьироваться от очень слабого – 23 g/tex до очень прочного – 31 g/tex и выше. При определении цены на волокно средневолокнистых сортов базовой считается удельная разрывная нагрузка в интервале 23,5–26,4 g/tex. При прочности выше этого диапазона за каждый 1 g/tex производится надбавка к цене, а ниже – скидка. Международные контракты по покупке хлопкового волокна требуют минимальной величины прочности, равной 28 g/tex. Результаты изучения этого признака показали, что испытываемые нами линии существенно различаются между собой. Так, из данных табл. 1 видно, что минимальный показатель ($26,3 \pm 0,27$ g/tex) отмечен у линии TR-6, а максимальный ($30,4 \pm 0,45$ g/tex) – у линии АВ-68. Разница признака (4,1 g/tex) между этими линиями является значительной и может быть достоверной с вероятностью 0,95 [11]. Следует отметить, что все линии в той или иной степени имеют преимущество перед стандартом, за исключением линии TR-6.

Важным компонентом прочности является удлинение волокна до разрыва (Elongation, Elg), который обладает способностью увеличивать свою первоначальную длину к моменту его разрыва под действием прикладываемых усилий. Степень удлинения обычно колеблется от 4,9 до 7,7%. Показатели удлинения волокна (табл. 1) у испытываемых нами линий варьируются от $7,2 \pm 0,10$ % (линия TR-6), что ниже показателя стандарта ($8,4 \pm 0,13$ %), тогда как линия АВ-68 имеет самый высокий показатель ($10,4 \pm 0,15$ %) и, следовательно, самую высокую эластичность волокна.

Наряду с качественными признаками волокна изучали хозяйственные признаки. Одним из них является выход волокна, процент которого зависит от индекса волокна, а также от количества и массы семян в коробочке. При этом главной проблемой создания сортов хлопчатника с высоким выходом волокна является формирование пропорционального соотношения общей массы хлопка-сырца к массе волокна. Поэтому изучение генетической структуры этого признака имеет не только теоретическое, но и практическое значение для создания сортов хлопчатника с высоким выходом волокна.

Вычисление средних значений этого признака по отдельным линиям показало, что наименьшим показателем ($37,7 \pm 0,30$ %) характеризуется линия АВ-22, а наибольшим ($38,9 \pm 0,25$ %) – линия TR-1. Превышения показателей выхода волокна перспективных линий над стандартом в зависимости от линии были существенны при 5%-ном уровне значимости [11]. Особенно следует выделить линии АВ-68 и FR-3, которые сочетают высокие показатели верхней средней длины (UHML) и процента выхода волокна. Это можно аргументировать уменьшением обычно существующих отрицательных корреляций между этими признаками [18].

Очередной задачей данного исследования было изучение отобранных линий по продуктивности. Известно, что повышение урожайности сортов хлопчатника часто сопровождается большими затруднениями, связанными с тем, что этот комплементарный признак контролируется почти всей генетической системой растения. Поэтому исследования велись в направлении создания линий с разным сочетанием количественных признаков, составляющих общий урожай хлопка-сырца.

Таблица 2

Показатели хозяйственных признаков лучших хлопковых линий по данным конкурсного сортоиспытания

Номер линии	Выход волокна, %	Урожай хлопка-сырца с одного растения, г	Урожай хлопка-сырца, ц/га	Масса одной коробочки, г	Количество коробочек с одного растения, шт.
Берекет ст,	36,7 ± 0,25	49,5 ± 0,66	39,6	4,8 ± 0,09	10,3 ± 0,12
AB-22	37,7 ± 0,30	56,5 ± 0,80	45,2	4,9 ± 0,13	11,2 ± 0,15
AB-68	38,1 ± 0,28	53,2 ± 0,90	42,6	4,4 ± 0,08	12,1 ± 0,13
TR-1	38,9 ± 0,25	61,9 ± 1,25	49,5	4,9 ± 0,27	12,6 ± 0,18
TR-6	37,8 ± 0,19	57,8 ± 1,18	46,2	4,7 ± 0,25	12,3 ± 0,20
FR-1	38,0 ± 0,32	51,3 ± 0,70	41,0	4,3 ± 0,12	11,9 ± 0,24
FR-3	38,4 ± 0,36	54,0 ± 1,15	43,2	4,5 ± 0,10	12,0 ± 0,18

В частности, в табл. 2 приводятся средние показатели урожая с одного растения, а также общего урожая из расчета 80 тыс. растений на 1 га. Из данных видно, что урожай с одного растения у изучаемых линий варьирует от 51,3 ± 0,70 г (линия FR-1) до 61,9 ± 1,25 г (линия TR-1). Следует отметить, что показатели урожая сырца у линий в основном выше показателя стандартного сорта. Из данных таблицы также видно, что максимальным показателем по урожаю хлопка-сырца с одного гектара (49,5 ц/га) обладает линия TR-1, а минимальным (41,0 ц/га) – линия FR-1. Важно, что урожай с гектара почти у всех хлопковых линий достоверно на высоком уровне превосходит стандартный сорт «Берекет».

Детальная оценка изучаемых нами линий выявила, что масса одной коробочки оказывает прямое влияние на формирование общего урожая хлопка-сырца. Средний показатель этого признака располагается в диапазоне 4,3 ± 0,12 г (линия FR-1) – 4,9 ± 0,27 г (линия TR-1). Наряду с этим количество коробочек также является компонентом, определяющим продуктивность линий. Так, максимальный показатель (12,6 ± 0,18 шт.) имеет линия TR-1, а минимальный (11,2 ± 0,15 шт.) – линия AB-22. Необходимо отметить, что все линии по числу коробочек в той или иной степени превышали стандарт. Аналитическое рассмотрение формирования структурно сложного признака продуктивности перспективных линий позволило сделать заключение о том, что количество коробочек на растении играет более важную роль в накоплении урожая хлопка-сырца, чем масса одной коробочки [19]. Обобщая результаты данных, представленных в таблицах, выделены линии AB-68 и FR-3, обладающие лучшим комплексом всех изучаемых признаков,

проявленных в оптимальных выражениях. Вместе с тем остальные линии представляют определенную ценность в связи с очень высокими показателями отдельных признаков, которые можно использовать в качестве первичного материала для улучшения конкретных признаков.

Заключение

В результате трехлетнего испытания 20 синтетических линий хлопчатника в конкурсном питомнике можно констатировать, что они существенно отличались друг от друга по сочетанию признаков и их величине. Учитывая всю совокупность изучаемых признаков, нами выявлено несколько линий, обладающих высокой урожайностью и хорошим качеством волокна.

Обоснована возможность создания линий с устойчивой стабильностью изучаемых признаков, которые существенно превышали или приравнялись к стандартному сорту «Берекет». На основе анализа многолетних данных были отобраны наиболее ценные и выровненные линии с комплексом хозяйственно ценных признаков. Эти перспективные сортообразцы будут переданы в Государственную комиссию по сортоиспытанию для проверки на возможность их районирования и дальнейшего внедрения в производственный процесс.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития науки при Президенте Азербайджанской Республики – грант № EIF-ETL-2020-2(36)-16/13/3-M-13.

Список литературы / References

1. Разумова С.Т., Сиротенко Т.В. Агроэкологические особенности культуры хлопчатника // Вестник Одесского государственного экологического университета. 2012. Вып. 14. С. 93–99.

Razumova S.T., Sitotenko T.B. Agroecological features of cotton culture // Vestnik Odesskogo gosudarstvennogo ekologicheskogo universiteta. 2012. Vol. 14. P. 93–99 (in Russian).

2. Campbell B.T., Saha S., Percy R., Frelichowski J., Jenkins J.N., Park W., Mayee C.D., Abdulkarimov A., Rizaeva S.M., Abdullaev A., Barroso P.A.V. Status of the Global Cotton Germplasm Resources. *Journal of Crop Science*. 2010. Vol. 50. No. 4. P. 1161–1179.
3. Бочарникова Л.С., Жарикова Н.Ю. Сорта средневолокнистого хлопчатника для Нижнего Поволжья // *Известия Дагестанского ГАУ*. 2019. № 2 (2). С. 119–124.
- Bochamnikova L.S., Jarikova N.Yu. Medium staple cotton varieties for the Lower Volga region // *Izvestiya Dagestanskogo GAU*. 2019. No. 2 (2). P. 119–124 (in Russian).
4. Тагиев А.А. Направленное использование мутантных форм в практической селекции хлопчатника // *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2015. № 2. С. 116–121.
- Tagiev A.A. Directed use of mutant forms in practical cotton breeding // *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki*. 2015. No. 2. P. 116–121 (in Russian).
5. Xu N., Fok M., Li J., Yang X., Yan W. Optimization of cotton variety registration criteria aided with a genotype-by-trait biplot analysis. *Journal Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. P. 1–9.
6. Jenkins J.N., McCarty J.C., Deng D. et al. Introgression of *Gossypium barbadense* L. into Upland cotton germplasm RMBUP-C4S1. *Euphytica*. 2018. Vol. 14. (7). P. 118.
7. Шахмедова Г.С., Шахмедова Ю.И., Жарикова Н.Ю. Изучение линий, созданных из отдаленно-географических гибридов хлопчатника // *Сборник трудов Международной научно-практической конференции*. Астрахань, 2016. С. 208–211.
- Shakhmedova G.S., Shakhmedova Yu.I., Zharikova N.Yu. Study of lines created from distant-geographical hybrids of cotton // *Sbornik trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Astrakhan', 2016. P. 208–211 (in Russian).
8. Эгамбердиева С.А. Характеристика новых линий хлопчатника, полученных с участием интрогрессивной формы Л-Т в контрольных питомниках // *Генофонд и селекция растений: III международная конференция, посвященная 130-летию Н.И. Вавилова*. Новосибирск, 2017. С. 84–86.
- Eqamberdiyeva S.A. Characteristics of new cotton lines obtained with the participation of the introgressive form of L-T in control nurseries // *Genofond i selektsiya rasteniy: III mezhdunarodnaya konferentsiya posvyashchennaya 130-letiyu N.I. Vavilova*. Novosibirsk, 2017. P. 84–86 (in Russian).
9. Зайцев Г.С. Методические указания селекцентра по хлопчатнику. Ташкент, 1980. 24 с.
- Zaitsev G.S. Methodical indications of the selection center for a cotton. Tashkent, 1980. 24 p. (in Russian).
10. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Dospekhov B.A. Field experiment technique with the basics of statistical processing research results. M.: Agropromizdat, 1985. 351 p. (in Russian).
11. Little T., Hills F. *Agricultural Experimentation, Design and Analysis*, 1981. 320 p.
12. Умбетаев И. Создание и внедрение отечественных сортов для получения высоких урожаев хлопчатника: материалы Республиканской научно-теоретической конференции. Казахстан, 2017. Т. 1. Ч. 1. С. 41–43.
- Umbetaev I. Creation and introduction of domestic varieties for obtaining high yields of cotton: Materialy Respublikanskoy nauchno-teoreticheskoy konferentsii. Kazakhstan, 2017. Vol. 1. Is. 1. P. 41–43 (in Russian).
13. Baloch M., Baloch A.W., Ansari U.A., Baloch G.M., Abro S., Gandahi N., Baloch G.H. et al. Interrelationship analysis of yield and fiber traits in promising genotypes of upland cotton. *Pure Applied Biology*. 2016. Vol. 5. No. 2. P. 263–269.
14. Smith C.W., Braden C.A., Hequet E.F. Generation Mean Analysis of Near-Long-Staple Fiber Length in TAM 94L-25 Upland Cotton. *Journal of Crop Science*. 2009. Vol. 49. P. 1638–1646.
15. Cotton Incorporated. *Classification of Upland Cotton*. 2014.
16. Nafissatou N.L., Hassedine D.F., Olivier K.N., Guy M. Production of New Cotton Interspecific Hybrids with Enhanced Fiber Fineness. *Journal of Agricultural Science*. 2016. Vol. 8. No. 2. P. 46–56.
17. Zeng L., Thyssen G.N., Kim H.J., Li P., Fang D.D. Mapping by Sequencing and RNA-Seq in Upland Cotton (*Gossypium hirsutum* L.) Line MD52ne Identifies Candidate Genes for Fiber Strength and Quality. *National Cotton Council of America. Beltwide Cotton Conferences*. New Orleans, Louisiana, 2016.
18. Karademir E., Karademir C., Ekinici R., Gencer O. Relationship between Yield, Fiber Length and other Fiber-Related Traits in Advanced Cotton Strains. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*. 2010. Vol. 38. No. 3. P. 111–116.
19. Rao P.J.M., Gopinath M. Association analysis of Yield and Fibre quality Characters in Upland Cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2013. Vol. 7. No. 8. P. 787–790.

УДК 631:[614.844+004.93]:58.084

СИНЕРГЕТИКА И ИНТЕГРАЦИЯ АГРОТЕХНОЛОГИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ ЗАЩИТЫ СЕЛЬХОЗУГОДИЙ, ЛЕСОВ И ТОРФЯНИКОВ

¹Белозеров В.В., ²Ворошилов И.В., ³Денисов А.Н., ¹Катин О.И., ⁴Никулин М.А.

¹ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Ростов-на Дону;

²ООО «Краснодарский компрессорный завод», Краснодар;

³Академия государственной противопожарной службы МЧС РФ, Москва;

⁴Государственный аграрный университет Северного Зауралья, Тюмень

В статье анализируются проблемы обнаружения и тушения лесных, степных и торфяных пожаров, а также способы их предотвращения и сокращения потерь. Показано, что существующие наземные и авиационные способы обнаружения, предотвращения возгорания и тушения торфяников, лесных и степных массивов не решают проблем их безопасности. На основе анализа недостатков всех описанных способов предлагается использовать нанотехнологии обнаружения и тушения пожаров, в том числе путем газоразделения атмосферного воздуха с помощью контейнерной азотной мембранной станции, подвешиваемой к вертолету Ми-26 вместо водосливного устройства, а в дирижабле – к его несущей конструкции. Показано, что применение воды в качестве огнетушащего состава лишает возможности разрабатывать торфяные месторождения. Предложена модель автоматизированного комплекса, который, помимо обнаружения очага саморазогрева торфа с помощью газовых торфяных стволов-термозондов, и предотвращения его самовозгорания, путем подачи в зону очага атмосферного азота, получаемого с помощью контейнерной азотной мембранной станции, доработанной соответствующим образом, реализует способ вертикального электрораззондирования торфяника, в том числе за счет доработки газовых торфяных стволов-термозондов в стволы-термоэлектронзонды, что, в частности, повышает и точность обнаружения зоны саморазогрева. В результате из-за наличия «бесконечного источника» огнетушащего состава в виде атмосферного азота и отсутствия перерывов в пожаротушении из-за необходимости отлета за его пополнением кардинально сократятся затраты на тушение пожаров сельхозугодий, степных и лесных массивов и ущерб от них, а также будут предотвращены пожары на торфяниках.

Ключевые слова: нанотехнологии противопожарной защиты, термомагнитная сепарация воздуха, мембранные сепараторы, пожарные вертолеты, пожарный дирижабль, азотирование торфа, электрораззондирование, «бесконечный источник» огнетушащего состава

SYNERGETICS AND INTEGRATION OF AGROTECHNOLOGIES AND OF FIRE PROTECTION OF AGRICULTURAL AREAS, FORESTS AND PEATERY

¹Belozerov V.V., ²Voroshilov I.V., ³Denisov A.N., ¹Katin O.I., ⁴Nikulin M.A.

¹Don State Technical University, Rostov-on-Don;

²LLC «Krasnodar Compressor Plant», Krasnodar;

³Academy of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of the Russia, Moscow;

⁴State Agrarian University of Northern Trans-Urals, Tyumen

The article analyzes the problems of detecting and extinguishing forest, steppe and peat fires, as well as ways to prevent them and reduce losses. It is shown that the existing ground and airborne methods of detecting, preventing fire and extinguishing peatlands, forest and steppe areas do not solve the problems of their safety. Based on the analysis of existing shortcomings, it is proposed to use nanotechnology for detecting and extinguishing fires, including by gas separation of atmospheric air using a container nitrogen membrane station suspended from a Mi-26 helicopter, and in an airship – to its supporting structure. It is shown that the use of water as a fire extinguishing agent makes it impossible to extract peat. A model of an automated complex has been proposed, which, in addition to detecting a focus of self-heating of peat using gas peat shafts-thermal probes, and preventing its spontaneous combustion, by supplying atmospheric nitrogen obtained with the help of a modified nitrogen station to the focus of the focus, implements the method of vertical electro-sounding of a peat, including ... by modifying the gas peat shafts-thermo-probes into the shafts-thermoelectric probes, which also increases the accuracy of detecting the self-heating zone. As a result, due to the presence of an «endless source» of fire extinguishing composition in the form of atmospheric nitrogen and the absence of interruptions in fire extinguishing, the costs of extinguishing fires and damage from them will be dramatically reduced, and fires on peatlands will be prevented.

Keywords: nanotechnology of fire protection, thermomagnetic air separation, membrane separators, fire helicopters, fire airship, nitrating of peat, electric sounding, «endless of source» of fire extinguishing composition

В настоящее время мониторинг сельхозугодий, лесов и степных массивов осуществляется при помощи вертолетов, самолетов, спутников и даже простого обхода полей с измерительными прибора-

ми. В то же время «человеческий фактор» и климатические аномалии являются основными причинами пожаров на сельхозугодьях и в лесах. Фактические масштабы пожаров сельхозугодий, степных и лесных

массивов, как за рубежом, так и в России до настоящего времени не установлены, так как сплошного мониторинга сельхозугодий, степей и лесов нет из-за ограниченности материальных и людских ресурсов [1–3].

Статистика лесных пожаров на территории СССР (рис. 1, 2) показывает, что ежегодно количество лесных пожаров составляло от 20 до 30 тыс. на площадях от 0,5 до 2,5 млн га, в настоящее время в России (только в лесах Сибири) возникает около 30 тыс. пожаров, которые уничтожают лесные массивы на площадях от 3,5 до 18 млн га [3].

Статистика свидетельствует также, что ежегодно увеличиваются масштабы торфяных пожаров, в связи с чем актуальность проблемы – обеспечение пожарной и экологической безопасности биосферы и ресурсосбережение сельхозугодий, торфяников и лесных массивов, которые являются возобновляемыми природными ресурсами, не вызывает сомнений [1–3].

Материалы и методы исследования

США, Канада, Австралия, Франция и Россия, для которых проблема лесных пожаров актуальна, используют для тушения пожаров лесных массивов специальные авиационные пожарные формирования. В России, в частности, пожарная техника на базе летательных аппаратов используется почти 90 лет [4, 5].

Каждый вид техники обладает своими преимуществами и недостатками. Например, у вертолетов с водосливными устройствами (ВСУ), в отличие от самолетов, скорость транспортировки емкости с водой значительно ниже. Это становится существенным достоинством при тушении пожаров на небольших территориях или в горной местности, так как при сливах на больших скоростях и высотах (более 40–50 м от поверхности), вода, в соответствии с законом Релея, разбивается воздушным потоком до состояния аэрозольей и большая часть ее испаряется, не выполнив задачу по тушению очага пожара [5].

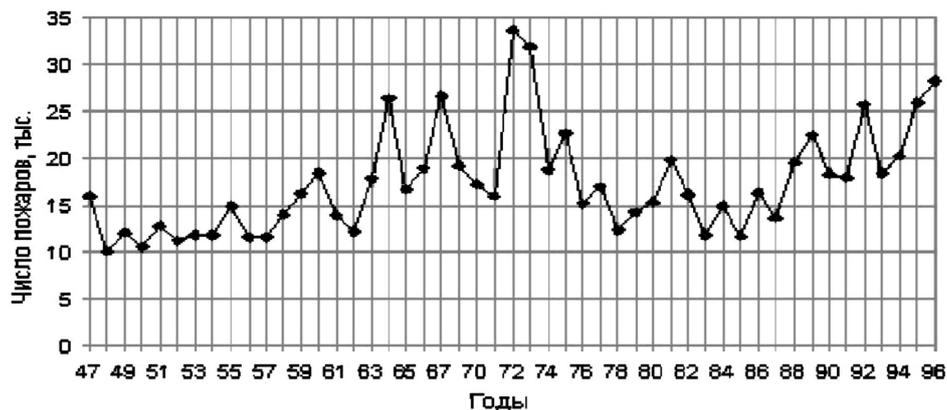


Рис. 1. Количество лесных пожаров на территории СССР в 1947–1996 годах

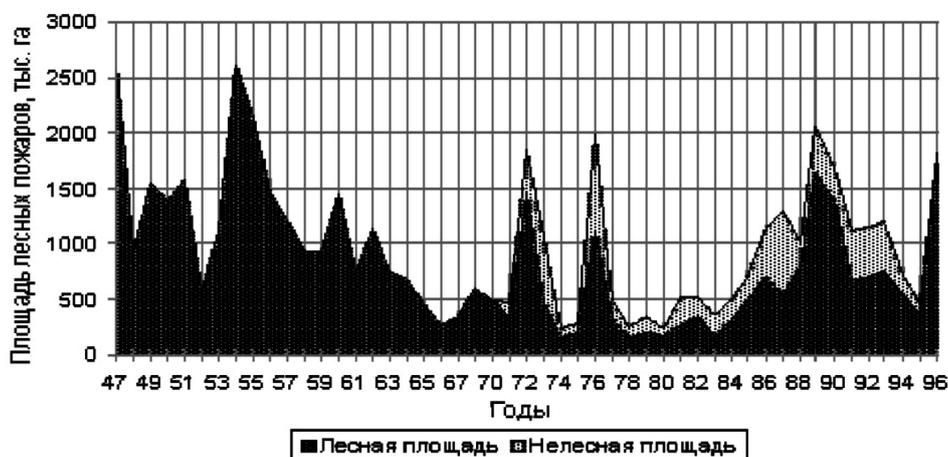


Рис. 2. Уничтоженные пожарами площади лесных массивов в СССР в 1947–1996 годах

Общим недостатком применяемых в настоящее время методов, устройств и огнетушащих составов является высокая стоимость как авиационной и мобильной техники, так и ее эксплуатации. Поэтому она может использоваться только централизованно и только в крупных регионах России. В то же время тушение пожаров сельхозугодий, степных и лесных массивов водой при помощи авиационной техники не только убыточно, но и неэффективно. Дело в том, что и вертолетам, и самолетам приходится периодически заправляться водой, улетая от места пожара, позволяя огню распространяться за время их заправки и возвращения. Таким образом, возникла идея использовать атмосферный азот в качестве «бесконечного источника огнетушащего состава» для тушения лесных и степных пожаров, загораний сельхозугодий и торфяников [6, 7].

Профилактика самовозгорания торфа и предотвращение пожаров торфяников путем его «азотирования» может стать важным социально-экономическим фактором развития и в нашей стране, и за рубежом, в связи с возобновлением добычи и переработки этого возобновляемого энергоресурса [2, 8, 9]. При этом именно при разработке торфяников и их осушении возникает опасность саморазогрева торфа микроорганизмами до 70 °С. Процессы термодеструкции торфа, возникающие в этом случае, вызывают дальнейшее повышение его температуры, превращающее торф в полукокс, который самовоспламеняется, если в образовавшейся массе есть кислород. Поэтому периодическое насыщение торфяника азотом с помощью газоторфяных стволов является эффективным способом предотвращения пожара на нем. Такими же процессами сопровождается хранение добытого торфа [7, 10].

В 1990-х гг. В.А. Сретенским была доказана бесполезность тушения водой пожаров торфяников [11]. Тем не менее большинство существующих и разрабатываемых методов и средств тушения торфяных пожаров используют воду, несмотря на то, что заливка водой торфяника делает невозможным его добычу и использование.

Существуют и безводные способы предотвращения распространения огня в лесных и степных массивах, один из которых, например, заключается в создании барьера по контуру наиболее пожароопасных участков до возникновения очагов самовозгорания или во время пожаров. При рас-

пространении огня к барьеру специальный минеральный материал разлагается с выделением углекислого газа, который снижает содержание кислорода в воздухе, затрудняя горение. Оксиды магния и кальция начинают взаимодействовать с различными добавками с образованием устойчивого к высоким температурам пористого барьера, который препятствует распространению огня. Недостатками этих способов являются высокие единовременные и эксплуатационные затраты на их осуществление, а также уничтожение торфа и окружающего лесного массива пожарами [2, 8].

Существуют и «газовые способы тушения лесов и торфяников бомбами» с жидким азотом, «брикетами» с гранулами диоксида углерода и др., но они имеют «поверхностную эффективность», а саморазогрев и самовозгорание торфа происходит в глубине торфяника, куда ни «бомбы», ни «брикеты» попасть не могут [12–14].

Авторами был разработан способ «выдавливания» кислорода из торфа атмосферным азотом и установка, реализующая такой метод «азотирования», которые с помощью процессов мембранного или термомагнитного газоразделения выделяют азот из атмосферы, а с помощью газоторфяных стволов-термозондов (ГТСТЗ), определяя путем тепловой локации зоны саморазогрева торфа, вводят в указанные зоны сепарированный азот. Это позволяет предотвратить самовозгорание торфяника и обеспечить безопасную добычу и хранение торфа. Однако мотопомпы, на базе которых было предложено реализовать указанный способ, требуют буксировки, что в условиях бездорожья снижает эффективность их применения [10, 12].

В связи с вышеизложенным была разработана модель автоматизированного мобильного комплекса, в котором были бы устранены недостатки мотопомп, реализующих разработанный метод азотирования торфа, а также расширены его возможности следующим образом [14, 15]:

– применением серийной мобильной азотной станции ТГА 5/10 на шасси высокой проходимости, выпускаемой ООО «Краснодарский компрессорный завод», мощностью в 300 л.с. с производительностью 5 Нм³/мин и давлением в 10 атм, при чистоте азота в 98–99 % с габаритными размерами 6,0×2,5×3,6 м и массой в 11,5 т (рис. 3), что обеспечивает возможность оперативного прибытия, для предотвращения загораний и тушения пожаров торфяников [15];

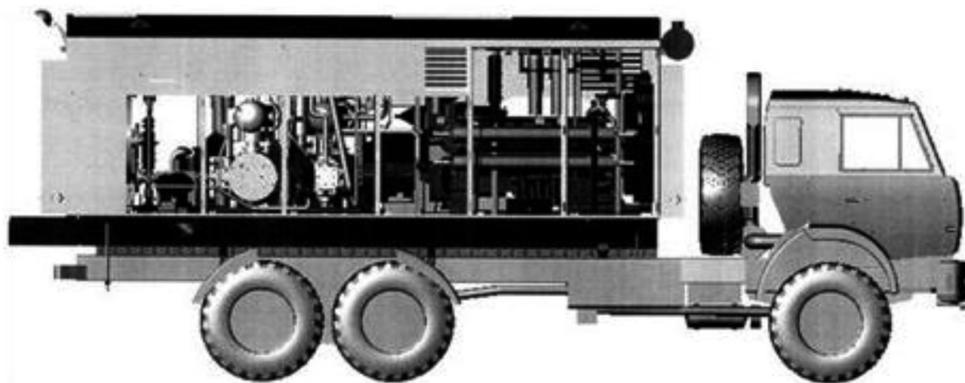


Рис. 3. Мобильная азотная мембранная станция ТГА – 5/10 ККЗ

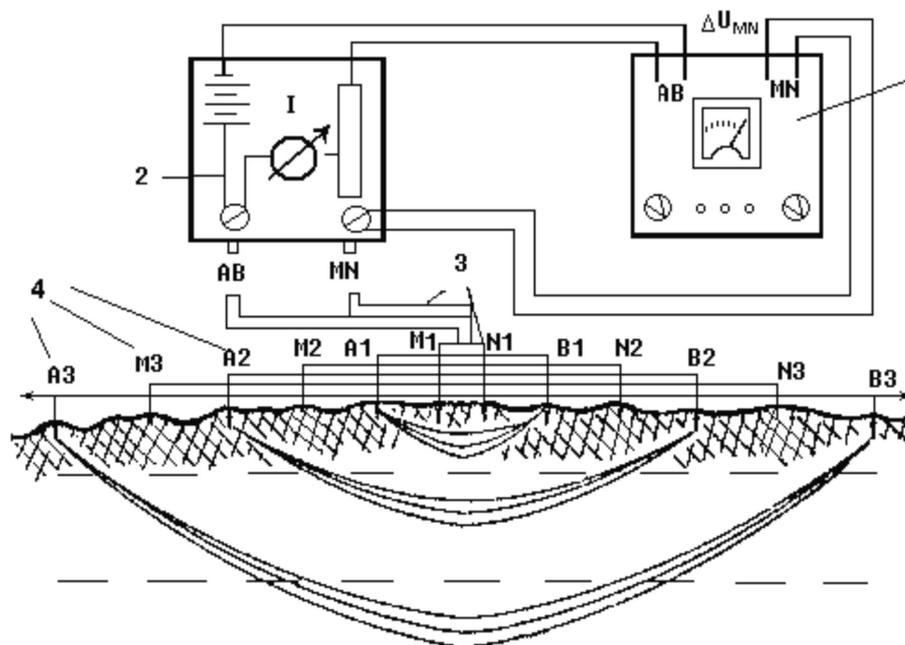


Рис. 4. Схема измерений методом ВЭЗ

– применением газо-торфяных ствол-лов термоэлектрозондов (ГТС ТЭЗ) с использованием (рис. 4) метода вертикального электротондирования (ВЭЗ), что позволяет определять профили торфяного месторождения [16, 17], а также более точно вычислять очаг самонагрева за счет увеличения количества ГТС ТЭЗ при ВЭЗ (не менее четырех) и способа тепловой локации [18].

Таким образом, периодическое азотирование торфяников с помощью мобильной азотной мембранной станции ТГА-5/10 для предотвращения самовозгорания в них,

а также для обнаружения и тушения торфяных пожаров позволяет:

– во-первых, решить проблему мониторинга объемов этого возобновляемого ресурса по профилям ВЭЗ;

– во-вторых, обеспечить пожарную безопасность торфяников путем их периодического контроля на предмет наличия зон саморазогрева и при обнаружении таковых подавление их азотированием;

– в-третьих, обеспечить пожарную безопасность разработки торфяного месторождения путем его периодического азотирования;

– в-четвертых, обеспечить хранение добытого торфа с помощью его периодического контроля, на предмет наличия зон саморазогрева и при обнаружении таковых подавление их азотированием.

Результаты исследования и их обсуждение

В проблеме тушения лесных и степных пожаров с помощью авиации перспективным направлением является замена огнетушащего состава (воды) атмосферным азотом, выделяемым с помощью азотной мембранной станции. При этом наиболее подходящими летательными аппаратами для такого способа являются дирижабли и вертолеты (рис. 5) с высокой грузоподъемностью, например МИ-26, а для термоманнитных сепараторов воздуха, батарея которых «превращает» поток воздуха от винта вертолета в поток инертных газов – МИ 8 [19–21].

В последнее время развитие спутниковой и оптической навигации привело

к применению в различных областях деятельности человека, в том числе в агропромышленном комплексе, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [22–24].

Однако малое полетное время БПЛА и малой авиации, а также невысокая грузоподъемность, ограничивают длительность и интенсивность выполнения необходимых агротехнологий точного земледелия [23–25].

Как следует из современных тенденций развития летательных аппаратов, дирижабли являются авиасредствами, которые при достаточно большой автономности обладают высокой грузоподъемностью и весовой отдачей, универсальностью применения и низкой общей стоимостью, включающей и стоимость изготовления – в 10 раз ниже вертолетов, и эксплуатационные затраты – в 100 раз ниже. Следовательно, возникает идея оснастить необходимыми пожарно-техническими средствами дирижабль, который сможет решить все задачи противопожарной защиты сельхозугодий, лесных массивов и торфяников.

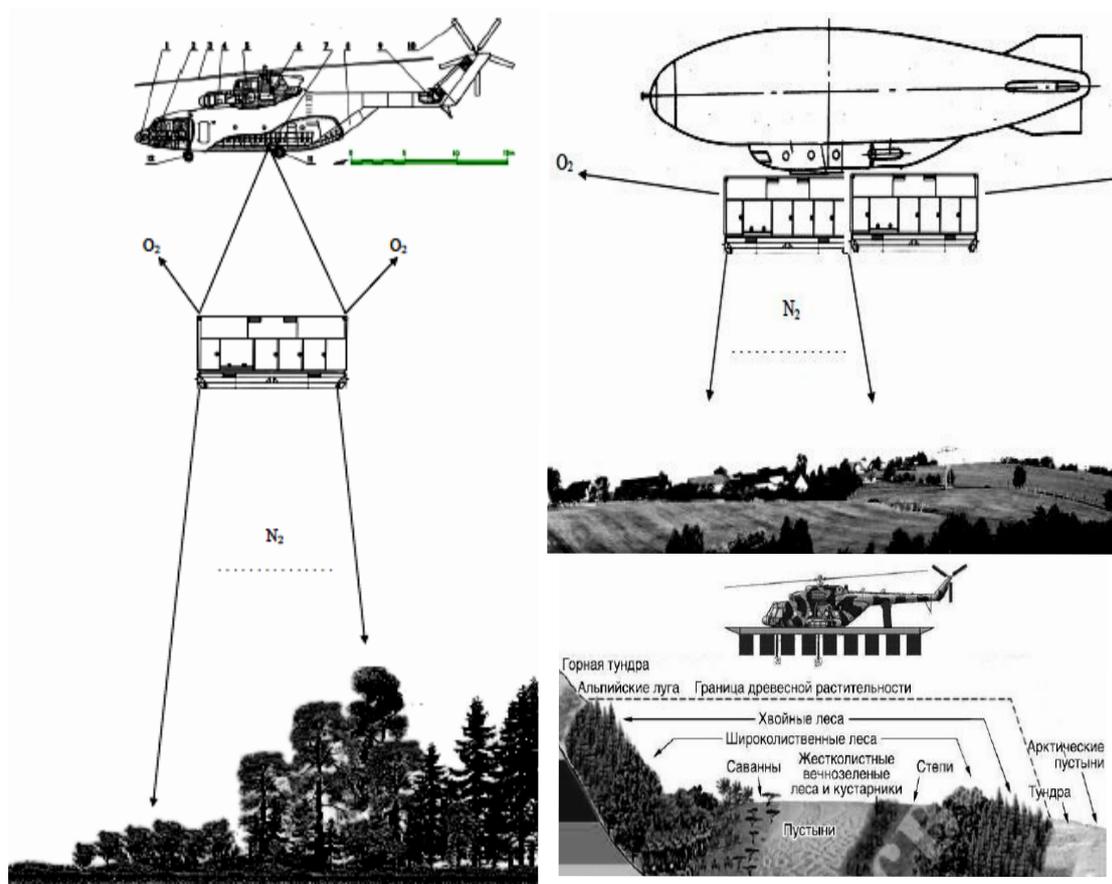


Рис. 5. Тушение атмосферным азотом лесных пожаров вертолетами и дирижаблями

При оснащении дополнительными средствами дирижабль сможет осуществлять патрулирование значительных территорий и мониторинг возникновения опасных факторов пожара, десантные и спасательные операции в труднодоступных местах, в том числе без парашютирования, т.е. без риска и дополнительных нагрузок для пожарных-спасателей [25].

Второй контейнер, примыкающий к мембранной азотной станции (рис. 5), может быть использован также для техники, удобрений, воды, ядохимикатов и специалистов-аграриев, в том числе для их оперативной доставки на сельхозугодья, требующие применения специальных агротехнологий (полива, опыления и т.д.) [21, 25].

Заклучение

Синергетика интеграции предлагаемых способов с помощью дирижаблей, которые защищены патентами РФ, проявится не только в предотвращении пожаров торфяников или в уменьшении затрат на тушение пожаров сельхозугодий, степных, лесных и торфяных пожаров и кардинального сокращения социально-экономических потерь от них, за счет осуществления регулярного наблюдения за степными и лесными массивами в зонах их активной охраны и раннего обнаружения загораний, но и при контроле сельхозугодий, в том числе при выполнении на них агротехнологий точного земледелия, таких как картографирование местности, анализ состояния сельскохозяйственных культур, почвы и других агротехнических параметров, что является мощным самоорганизующим фактором эффективно-го взаимодействия региональных подразделений МЧС России с подразделениями Росагропрома и Рослесхоза [25].

Список литературы / References

1. Воробьев Ю.Л., Акимов В.А., Соколов Ю.И. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы. М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. 312 с.
2. Vorobev Yu.L., Akimov V.A., Sokolov Yu.I. Forest fires on the territory of Russia: State and problems. M.: DEKS-PRESS, 2004. 312 p. (in Russian).
3. Хорошавин Л.Б., Медведев О.А., Беляков В.А., Михеева Е.В., Руднов В.С., Байтимилова Е.А. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозиты. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС МЧС России, 2013. 256 с.
4. Khoroshavin L.B., Medvedev O.A., Belyakov V.A., Mikheeva E.V., Rudnov V.S., Baitimirova E.A. Peat: peat fire, peat extinguishing and peat composites. M.: FGBU VNI GOChS EMERCOM of Russia, 2013. 256 p. (in Russian).
5. Цветков П.А., Буряк Л.В. Исследование природы пожаров в лесах Сибири // Сибирский лесной журнал. 2014. № 3. С. 25–42.
6. Tsvetkov P.A., Buryak L.V. Study of the nature of fires in the forests of Siberia // Siberian forest journal. 2014. No. 3. P. 25–42 (in Russian).
7. Перминов В.П., Осипова Д.Н., Батыршина А.Ж., Гапонов В.М. Совершенствование пожарных машин на базе летательных аппаратов // Пожарная охрана на службе государства: 1918–2018: сб. науч. тр. Уфа: УГАТУ, 2018. С. 89–127.
8. Perminov V.P., Osipova D.N., Baturshina A.Zh., Gaponov V.M. Improvement of fire engines based on aircraft // Fire protection in the service of the state: 1918–2018: collection of scientific papers. Ufa: USATU, 2018. P. 89–127 (in Russian).
9. Григорьевская А.О., Иванов Н.В., Вишнёв А.В. Анализ использования авиации для тушения лесных пожаров // Решетневские чтения: материалы XVIII Междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения акад. М.Ф. Решетнева. Ч. 1. Красноярск: СибГАУ, 2014. С. 351–352.
10. Grigorievskaya A.O., Ivanov N.V., Vishnev A.V. Analysis of the use of aviation for extinguishing forest fires // Reshetnev readings: materials of the XVIII Intern. scientific. conf., dedicated to the 90th anniversary of the birth of Acad. M.F. Reshetnev. Part 1. Krasnoyarsk: SibSAU, 2014. P. 351–352 (in Russian).
11. Кураков Ф.А. Технологии тушения ландшафтных пожаров как возможный научно-технологический приоритет РФ // Экономика науки. 2017. Т. 3. № 3. С. 214–226. DOI: 10.22394/2410-132X-2017-3-3-214-226.
12. Kurakov F.A. Technologies for extinguishing landscape fires as a possible scientific and technological priority of the Russian Federation // Economics of Science. 2017. Vol. 3. No. 3. P. 214–226. DOI 10.22394/2410-132X-2017-3-3-214-226 (in Russian).
13. Белозеров В.В., Катин О.И., Никулин М.А. Об интеграции современных наукоемких агро-пожарных технологий // Современные наукоемкие технологии. 2021. № 6–2. С. 239–247.
14. Belozеров V.V., Katin O.I., Nikulin M.A. On the integration of modern science-intensive agro-fire technologies // Modern science-intensive technologies. 2021. No. 6–2. P. 239–247 (in Russian).
15. Хорошавин Л.Б., Медведев О.А., Беляков В.А., Михеева Е.В., Руднов В.С., Байтимилова Е.А. Торф: возгорание торфа, тушение торфяников и торфокомпозиты. М.: ВНИИ ГОЧС МЧС России. 2013. 256 с.
16. Khoroshavin L.B., Medvedev O.A., Belyakov V.A., Mikheeva E.V., Rudnov V.S., Baitimirova E.A. Peat: peat ignition, peat extinguishing and peat composites. M.: VNI GOChS EMERCOM of Russia. 2013. 256 p. (in Russian).
17. Самовозгорание торфа / Горная энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <http://www.mining-enc.ru/samovozgoranie-torfa> (дата обращения: 05.09.2021).
18. Spontaneous combustion of peat / Mining encyclopedia [Electronic resource]. Access mode: <http://www.mining-enc.ru/samovozgoranie-torfa> (date of access: 05.09.2021).
19. Система тушения лесоторфяных пожаров с использованием мотопомпы «ГЕЙЗЕР» и специального торфяного ствола [Электронный ресурс]. URL: <http://www.systempro.ru/tovar/system> (дата обращения: 18.09.2021).
20. A system for extinguishing forest-peat fires using a motor-pump «GEYSER» and a special peat trunk [Electronic resource]. URL: <http://www.systempro.ru/tovar/system> (date of access: 18.09.2021).
21. Сретенский В.А. Экстренное тушение низовых лесных пожаров и торфяников без воды. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та, 2004. 188 с.
22. Sretenskiy V.A. Emergency extinguishing of ground forest fires and peat bogs without water. Perm: Publishing house Perm. State University, 2004. 188 p.
23. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Кальченко И.Е., Мальцев Г.И., Плахотников Ю.Г., Прус Ю.В., Олейников С.Н. Способ предотвращения или обнаружения и тушения торфяных пожаров и установка для реализации способа // Патент РФ № 2530397. Патентообладатели: ООО ККЗ, ДГТУ, ООО НПТЦ ТС. 2014. Бюл. № 28.
24. Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Kalchenko I.E., Maltsev G.I., Plakhotnikov Yu.G., Prus Yu.V., Oleinikov S.N. Method for preventing or detecting and extinguishing peat fires and installation for implementing the method // Patent RF № 2530397. Patent holders: LLC KCP, DSTU, LLC SETC TS. 2014. Bul. No. 28 (in Russian).

13. Олейников С.Н., Белозеров В.В., Быков Д.А. Модель автоматизации защиты торфяников // Электроника и электротехника. 2018. № 2. С. 32–40. [Электронный ресурс]. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=2607214. DOI: 10.7256/2453-8884.2018.2.26072.
- Oleinikov S.N., Belozеров V.V., Bykov D.A. Peatland Protection Automation Model // Electronics and Electrical Engineering. 2018. No. 2. P. 32–40. [Electronic resource]. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=2607214. DOI: 10.7256/2453-8884.2018.2.26072 (in Russian).
14. Белозеров В.В., Быков Д.А. Автоматизированный комплекс защиты торфяников // Фундаментальные исследования. 2018. № 7. С. 9–16.
- Belozеров V.V., Bykov D.A. Automated complex for the protection of peatlands // Fundamental research. 2018. No. 7. P. 9–16 (in Russian).
15. Ворошилов И.В. Передвижная станция компрессорная азотная // Патент на промышленный образец № 102768. 2017. Бюл. № 3.
- Voroshilov I.V. Mobile nitrogen compressor station // Industrial design patent No. 102768. 2017. Bul. No. 3 (in Russian).
16. Хасанов Д.И. Введение в электроразведку: пособие для слушателей курсов повышения квалификации по специальности «Геофизика». Казань: КГУ, 2009. 75 с.
- Khasanov D.I. Introduction to electrical exploration: a guide for students of advanced training courses in the specialty “Geophysics”. Kazan: KSU, 2009. 75 p. (in Russian).
17. Марченко М.Н. Вертикальное электрическое зондирование / Под ред. проф. Модина И.Н. М.: МГУ, 2013. 30 с.
- Marchenko M.N. Vertical electrical sounding / Ed. prof. Modina I.N. M.: Moscow State University, 2013. 30 p. (in Russian).
18. Поздняков Е.К. Методы определения координат в многопозиционных пассивных комплексах с использованием избыточной информации: дис. ... канд. техн. наук Донецк. 2015. 184 с.
- Pozdnyakov E.K. Methods for determining coordinates in multi-position passive complexes using redundant information: dis. ... cand. tech. sciences Donetsk. 2015. 184 p. (in Russian).
19. Белозеров В.В., Ворошилов И.В., Зимовнов О.В., Никулин М.А., Обухов П.С., Белозеров В.В. Способ обнаружения, предотвращения распространения огня и тушения лесных пожаров атмосферным азотом с помощью вертолета // Патент РФ № 2730906. Патентообладатели: ООО ККЗ, ДГТУ, 2020. Бюл. № 24.
- Belozеров V.V., Voroshilov I.V., Zimovnov O.V., Nikulin M.A., Obukhov P.S., Belozеров V.V. Method for detecting, preventing the spread of fire and extinguishing forest fires with atmospheric nitrogen using a helicopter // RF Patent No. 2730906. Patent holders: LLC KCP, DSTU, 2020. Bul. No. 24 (in Russian).
20. Абросимов Д.В., Белозеров В.В., Зимовнов О.В., Никулин М.А., Филимонов М.Н., Белозеров В.В. Способ обнаружения и тушения вертолетом ландшафтных пожаров инертными атмосферными газами // Патент РФ № 2732748. Патентообладатели: ООО ККЗ, ДГТУ, 2020. Бюл. № 27.
- Abrosimov D.V., Belozеров V.V., Zimovnov O.V., Nikulin M.A., Filimonov M.N., Belozеров V.V. Method for detecting and extinguishing landscape fires by helicopter with inert atmospheric gases // RF Patent No. 2732748. Patent holders: LLC KCP, DSTU 2020. Bul. No. 27. (in Russian).
21. Valery Belozеров, Mihail Nikulin and Nikolay Topolsky Nanotechnology for the suppression of fires in agricultural land and forests / XIII International Scientific and Practical Conference «State and Prospects for the Development of Agribusiness – INTERAGROMASH 2020» // E3S Web Conf., 175 (2020) 12007; DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017512007>.
22. Уханов Р.В. Дроны в сельском хозяйстве. Обзор мировых тенденций [Электронный ресурс]. URL: <https://vc.ru/transport/72705-drony-v-selskom-hozyaystve-obzor-mirovyh-tendenciy> (дата обращения: 18.09.2021).
- Ukhanov R.V. Drones in agriculture. Review of world trends [Electronic resource]. URL: <https://vc.ru/transport/72705-drony-v-selskom-hozyaystve-obzor-mirovyh-tendenciy> (date of access: 18.09.2021).
23. Перспективы применения малой и беспилотной авиации в сельском хозяйстве [Электронный ресурс]. URL: <https://agrostory.com/info-centre/agronomists/perspektivy-primeneniya-maloy-aviatsii-v-selskom-khozyaystve> (дата обращения: 18.09.2021).
- Prospects for the use of small and unmanned aviation in agriculture [Electronic resource]. URL: <https://agrostory.com/info-centre/agronomists/perspektivy-primeneniya-maloy-aviatsii-v-selskom-khozyaystve> (date of access: 18.09.2021).
24. Вертолеты на службе у сельского хозяйства [Электронный ресурс]. URL: <https://helico-russia.ru/blog/vertolety-na-sluzhbu-u-selskogo-khozyaystva> (дата обращения: 18.09.2021).
- Helicopters in the service of agriculture [Electronic resource]. URL: <https://helico-russia.ru/blog/vertolety-na-sluzhbu-u-selskogo-khozyaystva> (date of access: 18.09.2021).
25. Белозеров В.В., Денисов А.Н., Катин О.И., Никулин М.А., Белозеров В.В. Способ реализации агротехнологий и противопожарной защиты сельхозугодий и лесных массивов с помощью дирижабля // Патент РФ № 2751365. Патентообладатели: ДГТУ, АГПС МЧС РФ, Государственный аграрный университет Северного Зауралья. 2021. Бюл. № 20.
- Belozеров V.V., Denisov A.N., Katin O.I., Nikulin M.A., Belozеров V.V. A method of implementing agricultural technologies and fire protection of farmland and woodlands using an airship // RF Patent No. 2751365. Patent holders: DSTU, AGPS EMERCOM of the Russia, “State Agrarian University of the Northern Trans-Urals”. 2021. Bul. No. 20 (in Russian).

УДК 631.527:633.11:632.4

ВЛИЯНИЕ СОРТОВ МЯГКОЙ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ С ГЕНОМ LR 26 НА ВИРУЛЕНТНОСТЬ ВОЗБУДИТЕЛЯ БУРОЙ РЖАВЧИНЫ В ОМСКОЙ ОБЛАСТИ

Мешкова Л.В., Росеева Л.П., Шмакова О.А., Белан И.А.

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», Омск, e-mail: rosseeva@anc55.ru

Буря ржавчина – одно из распространенных аэрогенных заболеваний, паразитирующих на мягкой яровой пшенице – основной зерновой культуре Омской области. В работе показана роль сортов яровой мягкой пшеницы, устойчивость которых к возбудителю бурой ржавчины детерминирована геном Lr 26. Отмечено влияние площади посева этих сортов и погодных условий на вирулентность патогена. В исследования были вовлечены сорта селекции ФГБНУ «Омский АНЦ», устойчивые к бурой ржавчине, с геном Lr26: Мелодия, Уралосибирская, Сигма, Уралосибирская 2 и Омская 42, включенные в Госреестр РФ, и переданные на ГСИ: Тарская юбилейная, Семеновна, Омская крепость, Омская 45 и Памяти Сусякова. Анализ проводился с использованием тест-клона патогена pp26, выделенного при мониторинге природной популяции возбудителя заболевания Омской области на серии изогенных линий сорта Тетчер. Использование тест-клона подтвердило наличие гена Lr 26 в районированных сортах. Установлено, что ген Lr 26 также присутствует в перспективных сортах Тарская юбилейная, Омская крепость и Памяти Сусякова. Сорта Семеновна и Омская 45 проявляют резистентность к бурой ржавчине не только к патотипу pp26, но и к природной популяции патогена, что предполагает присутствие в них других генов устойчивости. Резкое увеличение площади посева под сортами с геном устойчивости Lr 26, начиная с 50 тыс. га в 2013 г. до 400 тыс. га в 2018 г., способствовало размножению и накоплению патотипов pp26 в популяции. Эта сопряженность подтверждается высоким и достоверным значением коэффициента корреляции ($r = 0,65$), также установлена тесная положительная связь ($r = 0,59$) между температурой и увеличением патотипов pp26 в популяции патогена.

Ключевые слова: пшеница, сорт, патоген, популяция, устойчивость, корреляция

INFLUENCE OF VARIETIES OF SOFT SPRING WHEAT WITH GENE LR 26 ON THE VIRULENCE OF THE AGENT OF BROWN RUST IN THE OMSK REGION

Meshkova L.V., Rosseeva L.P., Shmakova O.A., Belan I.A.

Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, e-mail: rosseeva@anc55.ru

Brown rust is one of the most common aerogenic diseases that parasitize spring bread wheat of the main grain crop of the Omsk region. The paper shows the role of spring bread wheat varieties, the resistance of which to the leaf rust pathogen is determined by the Lr 26 gene. The influence of the sowing area of these varieties and weather conditions on the pathogen virulence is noted. The research involved varieties of selection of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Omsk ASC» resistant to leaf rust with the gene Lr 26 – Melodiya, Uralosibirskaya, Sigma, Uralosibirskaya 2 and Omskaya 42, included in the State Register of the Russian Federation, and transferred to the GSI –Tarskaya yubileynaya, Semyonovna, Omskaya crepost, Omskaya 45 and Pamyaty Suslyakova. The analysis was carried out using a test clone of the pathogen pp26, isolated during monitoring of the natural population of the causative agent of the disease in the Omsk region on a series of isogenic lines of the Thatcher variety. The use of the test clone confirmed the presence of the Lr 26 gene in the zoned varieties, and it was found that the Lr 26 gene is also present in the promising varieties Tarskaya yubileynaya, Omskaya crepost, and Pamyaty Suslyakova. The varieties Semyonovna and Omskaya 45 show resistance to leaf rust not only to the pp26 pathotype, but also to the natural population of the pathogen, which suggests the presence of other resistance genes in them. A sharp increase in the area under crops for varieties with the resistance gene Lr 26, starting from 50 thousand hectares in 2013 to 400 thousand hectares in 2018, promoted the reproduction and accumulation of pp26 pathotypes in the population. This relationship is confirmed by a high and reliable value of the correlation coefficient ($r = 0.65$), and a close positive relationship ($r = 0.59$) was also established between temperature and an increase in pp26 pathotypes in the pathogen population.

Keywords: wheat, variety, pathogen, population, resistance, correlation

В России в 2019 г. посевные площади пшеницы яровой составляли 12 268 тыс. га [1]. В Омской области посевы пшеницы в 2020 г. занимали свыше 1300 тыс. га, что составило около 70% от посева зерновых культур, однако большинство высеваемых сортов поражались ржавчинными заболеваниями.

Проведенный в 1970-х гг. учет распространения возбудителя бурой ржавчины пшеницы показал, что в этот период массовое проявление заболевания в Омской области наблюдалось 1–3 раза в десятилетие. В дальнейшем наметилась устойчивая

тенденция проявления заболевания, что привело в 1990-х гг. к умеренному и сильному развитию патогена, а с 2001 г. заболевание регистрируется ежегодно. Эпифитотии болезни наблюдались в 2005, 2007, 2008, 2013–2015, 2018 и 2019 гг. Исследования показали, что на юге Западной Сибири сильное развитие ржавчины (поражение сортов до 70% до 100%) происходило в 12 из 15 сезонов, т.е. частота вспышек болезни существенно возросла [2].

При массовом проявлении и распространении листостебельных заболеваний

недобор зерна пшеницы может составлять 40% и более при отрицательном влиянии на качество получаемой продукции [3, 4].

Известно, что проявление и эпифитотии грибковых заболеваний на растениях-хозяевах обуславливаются сочетанием ряда факторов, в том числе высокой долей восприимчивых сортов в посевах и возделыванием на значительных площадях генетически однородных по устойчивости к возбудителям заболеваний и погодным условиям сортов.

Цель исследования – уточнить наличие в районированных и перспективных сортах пшеницы селекции ФГБНУ «Омский АНЦ» эффективного гена устойчивости к бурой ржавчине Lr 26 с использованием тест-клонов патогена и показать влияние генотипа растения-хозяина и погодных условий на популяцию возбудителя заболевания.

Материалы и методы исследования

Материалом для исследования служили устойчивые к бурой ржавчине сорта мягкой яровой пшеницы селекции ФГБНУ «Омский АНЦ», включенные в Государственный реестр РФ и допущенные к выращиванию в Омской области, и сорта, находящиеся на Государственном сортоиспытании РФ (ГСИ). Из группы среднеранних сортов изучались: Семеновна (включен в Госреестр Республики Казахстан) и Тарская юбилейная; из среднеспелых: Омская 38, Омская 44, Сигма, Омская 45, Омская крепость и из среднепоздних: Омская 37, Мелодия, Уралосибирская, Уралосибирская 2, Омская 42, Памяти Суслыкова. В перечисленных сортах исходя из их родословных возможно присутствие гена устойчивости к бурой ржавчине Lr 26.

Для анализа сортов на наличие гена устойчивости Lr26 были использованы тест-клоны бурой ржавчины, различающиеся по поражению изогенной линии Lr26, и размноженная природная популяция возбудителя заболевания. Тест-клоны были выделены при мониторинге природной популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы Омской области на наборе изогенных линий сорта Thatcher с генами устойчивости: Lr 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 9, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 28, 29, 36, 38, 45, 47 по методике отсеченных листьев в светокультуре с использованием раствора бензимидазола [5]. Размножали тест-клоны и популяцию гриба на универсально восприимчивом сорте Саратовская 29, он же – индикатор восприимчивости, а индикатор устойчивости – изогенная линия Th Lr 26.

Инокулом собирали в динамике в течение вегетационного периода на восприимчивых сортах: Памяти Азиева, Омская 36, Омская 28 и иных, а с 2012 г. при проявлении заболевания – и на сортах с геном устойчивости Lr 26: Мелодия, Уралосибирская и Сигма.

Тип реакции растения-хозяина на внедрение патогена определяли по международной шкале, где 0, 1, 2 – устойчивость (R), 3, 4 – восприимчивость (S), X – гетерогенность.

Анализ природной популяции бурой ржавчины и оценка устойчивости сортов в ювенильной фазе проводились с использованием камеры искусственного климата Биотрон-8 при температуре 19–20 °C и 16-часовом освещении с интенсивностью 10 тыс. люкс.

Исследования проводились в течение 12 лет начиная с 2009 г. За эти годы наблюдались резкие колебания температуры, а площадь посева яровой мягкой пшеницы под сортами с геном Lr 26 увеличилась практически в 8 раз.

Математико-статистическая обработка полученных данных осуществлялась с использованием пакета программ STATISTICA 10.0.

Результаты исследования и их обсуждение

В Государственный реестр РФ по Западносибирскому региону на 2021 г. внесено 103 сорта яровой мягкой пшеницы, из них в Омской области допущено к выращиванию 42 сорта, из которых около 60% созданы в ФГБНУ «Омский АНЦ» [6, 7]. Большинство выращиваемых в области сортов проявляют восприимчивость к бурой ржавчине, не поражаются или задерживают развитие патогена 11 сортов, устойчивость которых обусловлена генами Lr 9, Lr 26 или комбинацией генов Lr19 + 26 (табл. 1).

В Омской области к 2007 г. площадь посева генетически однородных по устойчивости к бурой ржавчине сортов, включенных в ГР РФ: Терция, Соната, Тулеевская и Дуэт – достигла 164 тыс. га, что способствовало появлению в популяции гриба патотипа pp9, вирулентного к гену резистентности растения-хозяина Lr 9, и привело к потере устойчивости сортов с этим геном в Омской и Челябинской областях в 2007 г. [8]. Многолетние исследования челябинской популяции также указывают на высокие темпы изменчивости патогена в регионе [9].

Таблица 1

Характеристика сортов мягкой яровой пшеницы по генам устойчивости к возбудителю бурой ржавчины

Сорт	Год включения в ГР РФ	Оригинатор	Lr гены
Омская 37	2009	ФГБНУ «Омский АНЦ»	19 + 26
Омская 38	2010	-//-	19 + 26
Мелодия	2014	-//-	26
Омская 42	2019	-//-	26
Омская 44	2021	-//-	19 + 26
Сигма	2016	ФГБНУ «Омский АНЦ», ФИЦ ИЦиГ СО РАН	26
Уралосибирская	2012	ФГБНУ «Омский АНЦ», ООО Агрокомплекс «Кургансемена»	26
Уралосибирская 2	2019	ФГБНУ «Омский АНЦ», ООО Агрокомплекс «Кургансемена», ФИЦ ИЦиГ СО РАН	26
Элемент 22	2017	ФГБОУ ВО Омский ГАУ, ООО «АПК Титан»	26
ОмГАУ 100	2020	ФГБОУ ВО Омский ГАУ, ООО «Суперэлита»	26 + 10
Дуэт	2003	ФГБНУ ЧелНИИСХ, ФГБОУ ВО Омский ГАУ	9

На замену и в дополнение к сортам с геном устойчивости Lr 9 в Омской области начали возделываться сорта Омская 37 (2009 г.) и Омская 38 (2010 г.), имеющие в своих геномах не только пшенично-ржаную 1RS.1BL, но и пшенично-пырейную транслокацию 7DL–7Ai. Эти сорта характеризуются наличием комплекса генов устойчивости к бурой ржавчине Lr19 + Lr26, а также проявляют устойчивость к наиболее вредоносной и агрессивной расе стеблевой ржавчины Ug99 [10].

В 2012 г. включен в Госреестр РФ и допущен для выращивания в Омской области сорт Уралосибирская, а в 2014 г. – сорт Мелодия с геном устойчивости к бурой ржавчине Lr26. Сорта Сигма и Уралосибирская 2 включены в Госреестр РФ в 2016 и 2019 гг. соответственно. Эти сорта созданы в результате скрещивания аллоплазматических линий мягкой пшеницы, несущих цитоплазму *Hordeum vulgare* с линией Com 37 (CIMMYT), источником пшенично-ржаной транслокации 1RS.1BL с комплексом генов (Lr26/Sr31/Yr9/ Pm8). Они характеризуются наличием гена резистентности к бурой ржавчине Lr26, устойчивостью к стрессам, высокой урожайностью и хорошим качеством зерна.

Наличие в сортах генов расоспецифической устойчивости можно определять гибридологическим анализом, молекулярным маркированием и с помощью метода фитопатологического тестирования. Наиболее доступный и быстрый метод определения наличия Lr-генов устойчивости у растения-

хозяина – тест-метод, основанный на использовании патотипов гриба, различающихся по генам вирулентности [11].

Анализ российских сортов мягкой пшеницы, выращиваемых в Омской области, по наличию генов устойчивости к возбудителю бурой ржавчины, проведенный Е.И. Гулятьевой с помощью фитопатологического и молекулярного скрининга, показал, что в основном они защищены генами Lr9 и Lr19. В сорте Дуэт (Lr9), а в сортах Омская 37 и Омская 38 присутствует комбинация генов Lr19 и Lr26 [12].

С целью подтверждения наличия гена резистентности Lr26 в сортах ФГБНУ «Омский АНЦ» к бурой ржавчине было использовано два биотипа, различающихся по поражению изогенной линии Lr26. Эти биотипы были отобраны при мониторинге спорообразцов природной популяции бурой ржавчины пшеницы на наборе изогенных линий. Формула вирулентности биотипа № 1: R 9, 19, 26, 28, 29, 45, 47/ S 1, 2a, 2b, 2c, 3a, 3bg, 3ka, 10, 11, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 21, 23, 24, 25, 26, 36, 38, а биотипа № 2: R 9, 19, 28, 29, 45, 47, остальные линии поразились (S). Применение этих биотипов позволило выявить сорта, в генотипе которых присутствует ген Lr 26 (табл. 2).

Как видно из табл. 2, независимо от группы спелости устойчивость большинства сортов, включенных в Госреестр РФ, и резистентность перспективных сортов Тарская юбилейная, Омская крепость и Памяти Суслыкова обусловлены широко распространенным геном Lr 26.

Таблица 2

Оценка перспективных для Омской области сортов мягкой яровой пшеницы по специфической устойчивости к ржавчине (интактные растения), 2021 г.

№ п/п	Сорт	Наличие генов устойчивости	Поражение бурой ржавчиной		
			Популяция	Патотип P 26*	Патотип pp 26*
Среднеранние сорта					
1	Тарская юбилейная**	Lr10,26	S	R	S
2	Семеновна	Lr 26 +	R	R	R
Среднепоздние сорта					
3	Омская 38	Lr 19, Lr 26	R	R	R
4	Сигма	Lr 26	S	R	S
5	Омская 44	Lr 26	S	R	S
6	Омская крепость**	Lr 26	S	R	S
7	Омская 45**	Lr 19, Lr 26	R	R	R
Среднепоздние сорта					
8	Мелодия	Lr 26	S	R	S
9	Омская 42	Lr 26	S	R	S
10	Уралосибирская	Lr 26	S	R	S
11	Уралосибирская 2	Lr 26	S	R	S
12	Памяти Сулякова**	Lr 26	S	R	S
St S***	Саратовская 29	–	S	S	S
St R***	Изогенная линия Lr26	Lr26	S	R	S

* Патотип P26, в отличие от патотипа pp26, не поражает изогенную линию с геном Lr 26.

** Сорта находятся на ГСИ РФ.

*** Стандарт восприимчивости (S) и устойчивости (R).

Таблица 3

Динамика патотипа pp26 в природной популяции бурой ржавчины Омской области, %

Σ клонов	Год											
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Всего	391	283	195	254	322	362	337	289	232	241	204	111
pp26, %	15,9	24,4	33,9	34,6	39,1	33,2	43,0	36,0	33,2	32,4	69,6	85,6

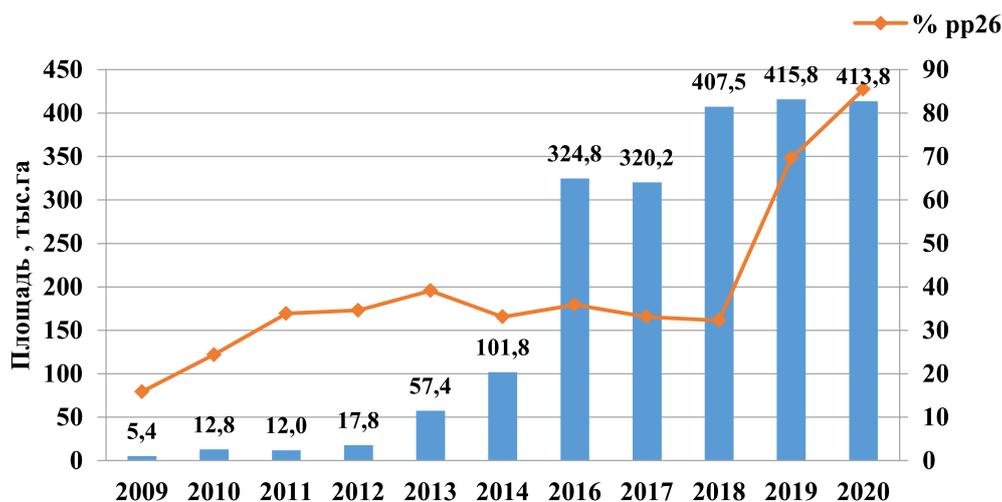
Сорта Семеновна и Омская 45 проявляют резистентность к бурой ржавчине не только к патотипу pp26, но и к природной популяции патогена, аналогично сортам Омская 37 и Омская 38, что предполагает в них присутствие других высокоэффективных генов устойчивости или комбинации Lr 26 с другими генами.

Выращивание большого количества сортов, устойчивость которых базируется на использовании одного гена устойчивости, и увеличение посевных площадей под ними приводят к изменениям в структуре популяции возбудителя заболевания. Мониторинг вирулентности природной популяции возбудителя бурой ржавчины пшеницы за период 2009–2020 гг. показал резкие изменения в структуре популяции патогена, особенно за последние 2 года (2019 г. и 2020 г.). Так, до 2018 г. процент патотипов pp26 в среднем практически был в 2 раза меньше (табл. 3).

Значительное увеличение площади посева под сортами с геном устойчиво-

сти Lr 26, начиная с 50 тыс. га в 2013 г. до 400 тыс. га в 2018 г., способствовало накоплению и размножению патотипов патогена pp26 (рисунок).

Представленные на графике данные показывают, что в 2009 и 2010 гг. процент вирулентных биотипов pp26 не превышал 25%, а максимальная площадь сортов с геном Lr26 составляла 12,7 тыс. га. В последующие годы площадь под сортами с этим геном увеличивалась, однако число вирулентных биотипов pp26 в среднем возросло лишь на 5% и составило 30% от популяции патогена. Возможно, это было обусловлено тем, что в эти годы на площади свыше 300 тыс. га выращивались сорта, устойчивость которых к бурой ржавчине обеспечивал ген Lr 9, но они отличались восприимчивостью к стеблевой ржавчине (Дуэт, Соната, Терция и др.). Начиная с 2015 г. площадь их посева в области резко уменьшилась из-за массового распространения стеблевой ржавчины на пшенице [13].



Динамика патотипа возбудителя бурой ржавчины пшеницы pp26 и площадь посева сортов с геном устойчивости Lr 26

Площадь под сортами, устойчивость которых к бурой ржавчине контролируется геном Lr 26 (Мелодия, Уралосибирская, Сигма и др.) или комплексом генов Lr 19 + Lr 26 (Омская 38, Омская 37 и др.), задерживающих развитие стеблевой ржавчины, существенно увеличилась и к 2020 г. составила 413,8 тыс. га. Это привело к увеличению до 80% частоты патотипов, вирулентных к Lr 26.

Таким образом, с увеличением площади посева под сортами, в генотипе которых имеется ген Lr 26, увеличивается и процент патотипов, вирулентных к этому гену. Эта сопряженность подтверждается высоким значением коэффициента корреляции ($r = 0,65$). Также установлено, что в зависимости от погодных условий года наблюдается вариабельность патотипов pp26 в структуре популяций во время развития патогена бурой ржавчины (III декада июля – II декада августа). Расчет коэффициента корреляции показал, что с повышением температуры в период массового развития заболевания (I и II декады августа) увеличивается и процент патотипов pp26 в популяции патогена ($r = 0,63$). Корреляции значимы на уровне $p < 0,05$.

Заключение

По результатам фитопатологической оценки сортов, включенных в Госреестр РФ и допущенных для выращивания в Омской области, с использованием тест-клонов выявлены сорта, устойчивость которых обусловлена наличием отдельных эффек-

тивных генов резистентности или их комплексом как к природной популяции бурой ржавчины, так и к отдельным патотипам.

Расширение посевных площадей под сортами с однотипной генетической основой по устойчивости привело к элиминации части патотипов из популяции и изменению ее состава.

Повышение температуры в период массового развития заболевания также способствовало изменению в составе популяции бурой ржавчины пшеницы в сторону увеличения процента патотипов pp26.

Для стабилизации фитопатологической обстановки в регионе необходимо ограничить распространение сортов, устойчивость которых детерминирована геном Lr 26, и создавать сорта с другими эффективными генами резистентности, а также комплексом генов.

Список литературы / References

1. Посевная компания 2020/21 в РФ по областям [Электронный ресурс]. URL: <https://zerno.ru/node/11379> (дата обращения: 7.09.2021).

Sowing company 2020/21 in the Russian Federation by regions [Electronic resource]. URL: <https://zerno.ru/node/11379> (date of access: 7.09.2021) (in Russian).

2. Плотникова Л.Я., Мешкова Л.В., Гульяева Е.И., Митрофанова О.П., Лапочкина И.Ф. Тенденция преодоления устойчивости к бурой ржавчине интрогрессивных линий мягкой пшеницы с генетическим материалом *Aegilops speltoides* Tausch. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. № 22(5). С. 560–567. DOI: 10.18699/VJ18.395.

Plotnikova L.Ya., Meshkova L.V., Gulyaeva E.I., Mitrofanova O.P., Lapochkina I.F. The tendency of overcoming the resistance to leaf rust of introgression lines of common wheat with genetic material *Aegilops speltoides* Tausch. // Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii. 2018. № 22 (5). P. 560–567. DOI: 10.18699 / VJ18.395. (in Russian).

3. Санин С.С. Эпифитотии болезней зерновых культур: теория и практика. Избранные труды // ГНУ Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ВНИИФ). 2012. С. 446–458.
- Sanin S.S. Epiphytotics of cereal crops diseases: theory and practice. Selected works // All-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology (VNIIF). 2012. P. 446–458 (in Russian).
4. Лубнин А.Н. Селекция яровой мягкой пшеницы в Сибири. Новосибирск, 2006. 311 с.
- Lubnin A.N. Breeding of spring bread wheat in Siberia. Novosibirsk, 2006. 311 p. (in Russian).
5. Михайлова Л.А. Генетика взаимоотношений возбудителя бурой ржавчины и пшеницы. СПб., 2006. 80 с.
- Mikhailova L.A. Genetics of the relationship between the causative agent of leaf rust and wheat. SPb., 2006. 80 p. (in Russian).
6. Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. М., 2021. С. 11–19. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/gossreestr/> (дата обращения: 25.09.2021).
- State Register of Breeding Achievements Permitted for Use. M., 2021. P. 11–19. [Electronic resource]. URL: <https://gossortrf.com/gossreestr/> (date of access: 25.09.2021) (in Russian).
7. Рекомендации по возделыванию сельскохозяйственных культур и результаты сортоиспытания в Омской области за 2020 год. Омск, 2020. 72 с.
- Recommendations for the cultivation of agricultural crops and the results of variety testing in the Omsk region for 2020. Omsk, 2020. 72 p. (in Russian).
8. Мешкова Л.В., Россеева Л.П. Тенденция увеличения вирулентности возбудителя бурой ржавчины пшеницы к эффективным генам устойчивости в Омской области // Современные средства, методы и технологии защиты растений: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск: НАГУ, СибНИИЗХим, 2008. С. 149–153.
- Meshkova L.V., Rosseeva L.P. The tendency of increasing the virulence of the wheat leaf rust pathogen to effective resistance genes in the Omsk region // *Sovremennyye sredstva, metody i tekhnologii zashchity rasteniy: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* Novosibirsk: NAGU, SibNIIZKhim, 2008. P. 149–153 (in Russian).
9. Гулятьева Е.И., Шрейдер Е.Р., Шайдаюк Е.Л., Бондаренко Н.П. Мониторинг вирулентности и фенотипического состава популяции *Puccinia triticina* на Южном Урале в 2018 году // Вестник защиты растений. 2019. № 2 (100). С. 28–33.
- Gulyaeva E.I., Shreyder E.R., Shaydayuk E.L., Bondarenko N.P. Monitoring of virulence and phenotypes composition of *Puccinia triticina* in Southern Ural in 2018 // *Vestnik zashchity rasteniy*. 2019. № 2 (100). P. 28–33 (in Russian).
10. Белан И.А., Россеева Л.П., Россеев В.М., Бадаева Е.Д., Зеленский Ю.И., Блохина Н.П., Шепелев С.С., Першина Л.А. Изучение хозяйственно-ценных и адаптивных признаков у линий сорта яровой мягкой пшеницы Омская 37, несущих транслокации 1RS.1BL и 7DL–7A1 // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2012. Т. 16. № 1. С. 178–186.
- Belan I.A., Rosseeva L.P., Rosseev V.M., Badaeva E.D., Zelenskiy Yu.I., Blokhina N.P., Shepelev S.S., Pershina L.A. Study of economically valuable and adaptive traits in lines of spring bread wheat cultivar Omskaya 37 carrying translocations 1RS.1BL and 7DL–7A1 // *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2012. V. 16. No 1. P. 178–186 (in Russian).
11. Коваленко Е.Д., Коломиец Т.М., Киселева М.И., Жемчужина А.И., Смирнова Л.А., Щербик А.А. Методы оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы устойчивых к бурой ржавчине. Методические рекомендации ВНИИФ. М., 2012. 93 с.
- Kovalenko E.D., Kolomiets T.M., Kiseleva M.I., Zhemchuzhina A.I., Smirnova L.A., Shcherbik A.A. Methods for assessing and selecting initial material for creating wheat varieties resistant to leaf rust. Methodical recommendations of VNIIF. M., 2012. 93 p. (in Russian).
12. Гулятьева Е.И. Генетическое разнообразие российских сортов мягкой пшеницы по устойчивости к возбудителю бурой ржавчины // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2012. № 2. С. 29–32.
- Gulyaeva E.I. Genetic diversity of Russian bread wheat varieties for resistance to leaf rust pathogen // *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2012. № 2. P. 29–32 (in Russian).
13. Россеева Л.П., Белан И.А., Мешкова Л.В., Блохина Н.П., Ложникова Л.Ф., Осадчая Т.С., Трубаچهва Н.В., Першина Л.А. Селекция на устойчивость к стеблевой ржавчине яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири // Вестник АГАУ. 2017. № 7. С. 5–12.
- Rosseeva L.P., Belan I.A., Meshkova L.V., Blokhina N.P., Lozhnikova L.F., Osadchaya T.S., Trubacheeva N.V., Pershina L.A. Breeding for resistance to stem rust of spring bread wheat in Western Siberia // *Vestnik AGAU*. 2017. № 7. P. 5–12 (in Russian).

УДК 631.4

ПОЧВЕННО-ТАКСАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЧЕТЫРЕХРЯДНОЙ ПОЛЕЗАЩИТНОЙ ЛЕСНОЙ ПОЛОСЫ ИЗ *ULMUS PUMILA* L. И *RIBES AUREUM* L.

Сучков Д.К.

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», Волгоград, e-mail: suchkov1992@yandex.ru

В работе приведена почвенно-таксационная характеристика четырехрядных полезащитных лесных полос (ПЗЛП) из *Ulmus pumila* L. и *Ribes aureum* L. землепользования «Качалинское», расположенного в южной части Иловлинского района Волгоградской области. В процессе исследований использованы традиционные и современные методы изучения древостоев, подробно рассмотрены характеристики почв. Описаны основные морфологические признаки древостоя и характеристики лесных полос, такие как конструкция, ажурность, густота подроста, ширина, породный состав, высота, схема смешения, количество рядов, сохранность насаждений. Также в работе представлена методика проводимых исследований. Все лесные полосы состоят из четырех рядов, ширина междурядий составляет 3 м, два внутренних ряда занимают лесообразующие породы из *Ulmus pumila* L., а два внешних ряда занимает кустарник *Ribes aureum* L. Лесные полосы обладают плотной конструкцией, светопроницаемость очень низкая, густота подроста средняя. В соответствии с проведенным сравнительным таксационным анализом сделан вывод, что различия между изучаемыми лесными полосами очень низкие. По ландшафтному районированию территория полигона относится к Иловлино-Волжскому пологоволнистому овражно-балочному району. Во время исследования было проведено профилирование почвенного разреза, которое позволило установить морфологические свойства почвы. Почвы опытного участка по классификации, предложенной Н.А. Качинским, идентифицируются как суглинистые и тяжелосуглинистые. Так содержание физической глины в агрогоризонте (0–40 см) 54,9–51,9%. Преобладание илистой фракции отмечено в иллювиальных горизонтах В₁ и В₂ – 26,7–49,2%. Полевые исследования подтвердили, что к отрицательным формам мезорельефа (потяжины) приурочены лугово-каштановые почвы. Мезорельеф трассы полезащитных лесных полос включает потяжины и микрорельеф – углубления 3–4 см.

Ключевые слова: полезащитные лесные полосы, ажурность лесной полосы, таксационная характеристика, породный состав, гранулометрический состав почвы, мезорельеф

SOIL AND TAXATION CHARACTERISTICS OF A 4-ROW PROTECTIVE FOREST STRIP FROM *ULMUS PUMILA* L. AND *RIBES AUREUM* L.

Suchkov D.K.

Federal Research Center for Agroecology, Integrated Land Reclamation and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, e-mail: suchkov1992@yandex.ru

The paper presents the soil-taxation characteristics of 4-row protective forest strips (PZLP) from *Ulmus pumila* L. and *Ribes aureum* L. land use «Kachalinskoe», located in the southern part of the Ilovlin'sky district of the Volgograd region. In the course of research, traditional and modern methods of studying stands were used, the characteristics of soils were considered in detail. The main morphological features of the stand and characteristics of forest strips are described, such as: construction, openwork, undergrowth density, width, breed composition, height, mixing scheme, number of rows, safety of plantings. The paper also presents the methodology of the conducted research. All forest strips consist of four rows, the width of the row spacing is 3 m, two inner rows are occupied by forest-forming trees from *Ulmus pumila* L., and two outer rows are occupied by the shrub *Ribes aureum* L. Forest strips have a dense structure, light transmission is very low, the density of undergrowth is average. In accordance with the conducted comparative taxation analysis, it can be concluded that the differences between the studied forest strips are very low. According to landscape zoning, the territory of the landfill belongs to the Ilovliно-Volzhsky gently undulating ravine-beam district. During the study, the profiling of the soil section was carried out, which allowed us to establish the morphological properties of the soil. According to the classification proposed by N.A. Kachinsky, the soils of the experimental site are identified as loamy and heavy loamy. Thus, the content of physical clay in the agro-horizon (0-40 cm) is 54.9-51.9%. The predominance of the silty fraction was noted in the illuvial horizons В₁ and В₂-26.7-49.2%. Field studies have confirmed that meadow-chestnut soils are associated with negative forms of mesorelief (potyazhiny). The mesorelief of the route of the protective forest strips includes potyazhiny and microrelief-depressions of 3-4 cm.

Keywords: protective forest strips, openwork of the forest strip, taxational characteristics, rock composition, granulometric composition of the soil, mesorelief

Волгоградская область – юго-восточный регион, который отличается частыми засухами и суховеями, пыльными бурями и водной эрозией. Все это наносит большой вред сельскому хозяйству области. В данном регионе особое место занима-

ют защитные лесонасаждения и их природозащитные функция. Полезащитные лесные полосы характеризуются высоким биологическим потенциалом и отмечены эффективным воздействием на близлежащую территорию.

Посадка ПЗЛП – весомый механизм в преобладании неблагоприятных климатических условий. Благодаря действию лесных полос на межполосном пространстве происходит улучшение микроклиматических условий, предотвращаются последствия пыльных бурь, которые обильно распространены в регионе [1].

На практике отмечено, что в полупустынной и сухостепной зонах устойчивость и долговечность насаждений обусловлены прежде всего экотопами местности. Зафиксировано, что наиболее удачно процесс лесоразведения осуществляется на лугово-каштановых почвах, на понижениях и на участках, обладающих корнедоступными грунтовыми водами.

Так, можно попытаться, что первоочередным этапом при посадке защитных лесных полос является проведение анализа лесорастительных условий.

Цель работы – установить почвенно-таксационные характеристики четырехрядных полезащитных лесных полос из *Ulmus pumila* L. и *Ribes aureum* L. землепользования «Качалинское» Волгоградской области, на основе таксационно-морфологических показателей для составления обобщенной информационной базы данных.

Материалы и методы исследования

Проведение таксации лесной полосы включало определение следующих характеристик: ширины лесной полосы, доли ажурности и конструкция ПЗЛП, высота и густота насаждений, диаметр ствола (на расстоянии 1,3 м от земной поверхности), породный состав, возраст, пространственную ориентацию, расстояние между рядами и посадочными местами в ряду, количество рядов [2]. Средний диаметр измерялся при помощи мерной вилки с применением метода случайной выборки, который заключается в измерении толщины семи стволов в каждой ступени толщины

Метод гистограмм использовался для определения ажурности ПЗЛП. Среднюю высоту деревьев рассчитывали по материалам перечета, используя формулу Лорея [2, 3]:

$$H_{cp} = \frac{h_1 g_1 + h_2 g_2 + h_3 g_3 + \dots + h_n g_n}{g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n},$$

где $h_1, h_2, h_3 \dots h_n$ – высоты деревьев в отдельных ступенях толщины, м;

$g_1, g_2, g_3 \dots g_n$ – площади сечения каждой ступени толщины, м².

В основе почвенно-лесомелиоративных исследований лежит почвенно-географиче-

ский подход В.М. Фридланда [4]. Данный подход заключается в закладке почвенного профиля, бурении скважин, отборе образцов почв.

При помощи закладки почвенного разреза становится возможным определение морфологических характеристик почвы, таких как гранулометрический состав, карбонатность, мощность гумусового горизонта, выявление условий увлажнения, мезорельефа, таксономических характеристик (мощность гумусового горизонта, литологический состав пород) [4, 5].

Мощность гумусового горизонта (А + В₁) – признак по которому дифференцируется виды каштановых почв: так выделяют мощные (> 50 см), среднеспособные (30–50 см), маломощные (20–30 см), очень маломощные (< 20 см).

Результаты исследования и их обсуждение

Объекты исследования – четыре четырехрядные полезащитные лесные полосы (ПЗЛП) из *Ulmus pumila* L. и *Ribes aureum* L., заложенные в 1986 г. на землях сельскохозяйственного назначения в землепользовании «Качалинское» Волгоградской области (рис. 1). Лесные полосы размещены в зоне степей, где климатические условия отличаются умеренной континентальностью, с засушливым жарким летом и холодной зимой [6, 7].

Схема посадки всех лесных полос 3×1 м. Конструкция ПЗЛП плотная, светопроницаемость в кронах и между стволами почти отсутствует.

Длина полезащитной лесной полосы № 1 составляет 1320 м. Максимальная ширина защитных насаждений – 25,5 м. Средняя высота насаждений (H_{cp}) 8,4 м, средний диаметр (D_{cp}) ствола – 16,4 см, подрост средний (табл. 1).

Ажурность по вертикальному профилю (здесь и далее по тексту) в полезащитной лесной полосе № 1 была от 0 до 66,8%. На высоте 0–3,68 м она не превышала 12%. Средняя ажурность по профилю составила 9,7%.

Длина полезащитной лесной полосы № 2 составляет 1320 м. Максимальная ширина защитных насаждений – 23,2 м. H_{cp} насаждений 9,3 м, D_{cp} – 19,0 см, подрост средний (табл. 1). Данная лесная полоса имеет лучшую сохранность – 80,5%.

Ажурность в полезащитной лесной полосе № 2 была от 0 до 54,3%. На высоте 0–1,56 м просветы практически полностью отсутствовали. Средняя ажурность составила 11,5%.



Рис. 1. Космоснимок исследуемых ПЗЛП

Таблица 1

Таксационная характеристика ПЗЛП, полученная в ходе исследования

№ ПЗЛП		1	2	3	4
Схема смешения		См-Вп-Вп-См			
Состав насаждений		6Вп4См			
Конструкция лесной полосы		Плотная			
Светопроницаемость		В кронах и между стволами почти отсутствует			
Площадь просветов, %	между стволами	0–10			
	в кронах	10–15			
H_{cp} , м		8,4	9,3	9,5	7,6
D_{cp} , см		16,4	19,0	18,1	17,8
Густота подроста, (шт/м ²)		Средний (1–3)			
Запас листвы в состоянии, кг/м ²	свежем	34,3	32,5	29,7	35,2
	сухом	16,1	14,3	14,4	17,2
Сохранность, %		76,3	80,5	64,1	73,6
Густота, тыс. шт/га		1756	1852	1473	1693

Примечание. Вп – вяз приземистый (*Ulmus pumila* L.), См – смородина лесная (*Ribes aureum* L.).

Длина полезной лесной полосы № 3 составляет 1320 м. Максимальная ширина защитного насаждения – 18,9 м. H_{cp} насаждений 9,5 м, D_{cp} – 18,1 см, подрост средний (табл. 1). Сохранность ПЗЛП – 64,1 %.

Ажурность полезной лесной полосы № 3 составляла от 0 до 57,8 %. Верхняя часть на высоте 3,98–4,62 м была более

разреженной. Средняя ажурность составила 14,3 %.

Длина полезной лесной полосы № 4 составляет 1260 м. Максимальная ширина защитного насаждения, определявшаяся по фотоотпечатку торца, с учетом флагообразного расширения крон в сторону поля – 26,6 м. H_{cp} 7,6 м, D_{cp} – 17,8 см,

подрост средний (табл. 1). Сохранность ПЗЛП – 73,6%.

Ажурность полезационной лесной полосы № 4 составляла от 0 до 66,3%. На высоте 0–2,81 м она не превышала 17,5%. Средняя ажурность по профилю составила 12,6%.

По ландшафтному районированию территория полигона относится к Иловлино-Волжскому пологоволнистому овражно-балочному району.

Зональными почвами для полигона «Качалино» являются каштановые почвы разного гранулометрического состава. Согласно классификации почв России, 2004 г. в каштановых почвах выделяются следующие роды: типичные, карбонатные и солонцеватые. Почвенные виды выделяются в зависимости от мощности аккумулятив-

но-гумусовых горизонтов: маломощные (20–30 см), очень маломощные (< 20 см) [8–10]. Морфологическое описание почвенного разреза полигона «Качалино» представлено на рис. 2.

При изучении почвенных показателей в соответствии с классификацией Н.А. Качинского было выявлено, что на территории ключевого участка распространение получили почвенные разности тяжело- и среднесуглинистого гранулометрического состава [11]. Так, содержание физической глины в агрогоризонте (0–40 см) 54,9–51,9%. Преобладание илистой фракции отмечено в иллювиальных горизонтах В₁ и В₂ (26,7–49,2%). Также не было отмечено облегчения гранулометрического состава (табл. 2 и рис. 3).

А	(0-16 см) Рыхлая дернина в слое 0-3 см, сухой, серый, однородный, тяжелосуглинистый, мелкокомковатый, тонкопористый, уплотненный, переход постепенный
В ₁	(17-24) Сухой, коричневато-серый, глинистый, крупнокомковатый, уплотненный, переход заметный
В ₂	(24-37 см) Сухой, светло-коричневый с гумусными потеками, неоднородный, среднесуглинистый, крупно-угловатокомковатый, уплотненный, переход постепенный
В _С	(38-50 см) Сухой, светло-коричневый, с узкими гумусными потеками, тяжелосуглинистый, призмовидный, уплотненный, бурное вскипание с 60 см, переход заметный
С	(50-100 см) Свежий, желтовато-зеленовато-белесый, однородный, глинистый, среднеуплотненный

Рис. 2. Морфологическое описание почвенного разреза полигона «Качалино»

Таблица 2

Гранулометрический состав почвы тестового полигона «Качалино» (по Н.А. Качинскому)

Глубина взятия образца, см	Гигроскопическая влажность, %	Физическая глина %	Почвы по гранулометрическому составу
0–20	2,04	54,9	Суглинок тяжелый
20–40	2,04	51,9	Суглинок средний
40–60	1,01	66,7	Глина легкая
60–80	1,01	54,9	Суглинок тяжелый
80–100	1,01	62,9	Глина легкая
100–120	1,01	63,9	То же
120–140	1,01	53,16	Суглинок тяжелый
140–160	2,04	56,37	То же
160–180	2,04	50,36	-«-
180–200	2,04	49,49	-«-

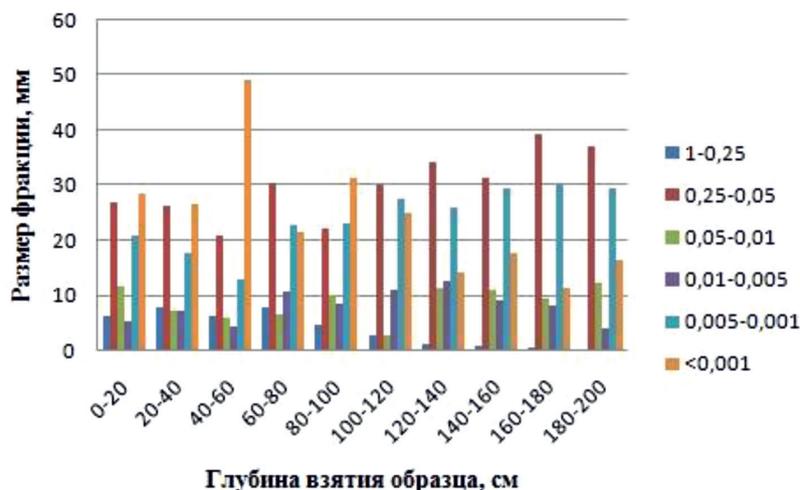


Рис. 3. Размер фракций, мм

Таблица 3

Морфологическая характеристика почв

Мощность горизонтов, см			Верхняя граница карбонатного горизонта, см	Слой максимального содержания карбонатов, см
A	A + B ₁	A + B ₁ + B ₂		
20	36	46	46	46–90

Полевые исследования подтвердили, что к отрицательным формам мезорельефа (потяжины) приурочены лугово-каштановые почвы. Мезорельеф трассы ползащитных лесных полос включает потяжины и углубления 3–4 см. В табл. 3 приводится морфологическая характеристика почвы.

Вскипание карбонатов от HCl фиксируется в первом верхнем полуметровом слое. Высокое содержание карбонатов отмечено в слое 60–100 см и составляет 20,6–19,7%.

Заключение

По результатам проведенных исследований было отмечено, что все лесные полосы состоят из четырех рядов, ширина междурядий составляет 3 м, два внутренних ряда занимают лесообразующие породы из *Ulmus pumila* L., а два внешних ряда занимает кустарник *Ribes aureum* L. Лесные полосы обладают плотной конструкцией, светопрозрачность очень низкая, густота подроста средняя.

В соответствии с проведенным сравнительным таксационным анализом сделан вывод, что различия между изучаемыми лесными полосами очень низкие, состояние лесных полос – удовлетворительное. Так,

лишь одна ПЗЛП № 3 имеет сохранность ниже 70%.

Почвы опытного участка по классификации, предложенной Н.А. Качинским, идентифицируются как суглинистые и тяжелосуглинистые. Так, содержание физической глины в агрогоризонте (0–40 см) 54,9–51,9%. Преобладание илистой фракции отмечено в иллювиальных горизонтах B₁ и B₂ – 26,7–49,2%.

Полевые исследования подтвердили, что к отрицательным формам мезорельефа (потяжины) приурочены лугово-каштановые почвы. Мезорельеф трассы ползащитных лесных полос включает потяжины и микрорельеф – углубления 3–4 см.

Список литературы / References

1. Рулев А.С., Пугачева А.М. Теоретические и прикладные аспекты нелинейной агролесомелиорации субаридных ландшафтов // Лесоведение. 2018. № 5. С. 389–398.
2. Таниюкевич В.В. Агролесомелиоративное устройство: курс лекций для студентов направления «Ландшафтная архитектура» Новочеркасского инженерно-мелиоративного института им. А.К. Кортунова (ФГБОУ ВО «Донской ГАУ»). Новочеркасск, 2014. 87 с.
3. Tanyukevich V.V. Agroforestry device: a course of lectures for students of the direction «Landscape architecture» of the No-

vocherkassk Engineering and Meliorative Institute named after A.K. Kortunov (FSBEI VO «Donskoy GAU»). Novocherkassk, 2014. 87 p. (in Russian).

3. Бабошко О.И. Дендрометрия: курс лекций для студ. направления 250700.62 «Ландшафтная архитектура». Ново-черкасск: НИМИ ДГАУ, 2014. 77 с.

Baboshko O.I. Dendrometry: a course of lectures for students. directions 250700.62 «Landscape architecture». Novocherkassk: NIMI DGAU, 2014. 77 p. (in Russian).

4. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 416 с.

Friedland V.M. The structure of the soil cover. M.: Mysl, 1972. 416 p. (in Russian).

5. Сучков Д.К., Рулева О.В. Ландшафтно-географический подход к оценке состояния насаждений в балке «Отрадной» // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 1. С. 174–194. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-1-174-194.

Suchkov D.K., Ruleva O.V. Landscape-Geographical Approach to Assessment the State of Plantings in the ‘Otradnaya’ Beam. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture, 2021. Vol. 13, No. 1. P. 174–194. DOI: 10.12731/2658-6649-2021-13-1-174-194 (in Russian).

6. Кулик К.Н., Пугачева А.Н. Структура растительных сообществ залежных земель в системе куртинных защитных лесных насаждений в сухих степях // Аридные экосистемы. 2016. Т. 22. № 4. С. 77–85.

Kulik K.N., Pugacheva A.N. The structure of plant communities of fallow lands in the system of curtain protective forest stands in dry steppes // Arid ecosystems. 2016. Vol. 22. No. 4. P. 77–85 (in Russian).

7. Сучков Д.К. Противоэрозионные насаждения и мероприятия на смытых и размывших почвах // Научно-агронимический журнал. 2020. № 2 (109). С. 56–61.

Suchkov D.K. Anti-erosion plantings and measures on washed away and eroded soils // Scientific and Agronomic Journal. 2020. No. 2 (109). P. 56–61 (in Russian).

8. Рулев А.С., Рулева О.В., Сучков Д.К. Почвенно-таксационная оценка модульных полевых защитных лесных полос // Лесохозяйственная информация. 2021. № 1. С. 83–92. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2021.1.02.

Rulev A.S., Ruleva O.V., Suchkov D.K. Soil-taxation assessment of modular protective forest strips // Forestry information. 2021. No. 1. P. 83–92. DOI: 10.24419/LHI. 2304-3083.2021.1.02. (in Russian).

9. Switoniak M., Kabala C., Karklins A. Guidelines for Soil Description and Classification Central and Eastern European Students’ Version. Torun, 2018. 286 p.

10. Сочилова Е.Н., Сурков Н.Б., Ершов Д.Б., Егоров Б.А., Барталев С.С., Барталев С.А. Картографирование классов бонитета лесов Приморского края на основе спутниковых изображений и данных о характеристиках рельефа // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 5. С. 96–109.

Sochilova E.N., Surkov N.B., Ershov D.B., Egorov B.A., Bartalev S.S., Bartalev S.A. Mapping of forest bonitet classes in Primorsky Krai based on satellite images and data on terrain characteristics // Modern problems of remote sensing of the Earth from space. 2018. Vol. 15. No. 5. P. 96–109 (in Russian).

11. Laginha Pinto Correia D., Raulier F., Filotas É., Bouchard M. Stand height and cover type complement forest age structure as a biodiversity indicator in boreal and northern temperate forest management. Ecol. Indic. 2017. V. 72. P. 288–296. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.08.033.

УДК 631.4

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ПОЧВ БУГРОВ ПУЧЕНИЙ И ТЕРМОКАРСТОВЫХ ПониЖЕНИЙ ЮГА ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ

Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенев Ю.Б.

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, Улан-Удэ, e-mail: erzhenach@mail.ru

Изучен элементный состав препаратов гуминовых кислот почв бугров пучения и термокарстовых понижений юга Витимского плоскогорья. Природно-климатические условия региона предопределяют нестабильную биологическую активность с повышениями и спадами в течение вегетационного периода, которые определяют специфику всех биологических процессов, накладывая отпечаток в том числе и на элементный состав гуминовых кислот. Элементный состав гуминовых кислот черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квасиглеевых окarbonаченных почв свидетельствует о том, что мерзлотные условия почвообразования оказывают влияние на химическую структуру макромолекул. Специфичность гумуса исследованных почв, обусловленная криогенными явлениями, проявляется на уровне элементного состава и структуры гуминовых кислот. Именно такая компоновка элементного состава почвы является адаптационной чертой максимального самосохранения гуминовых кислот в жестких условиях. По сравнению с европейскими аналогами в исследуемых почвах образуются гуминовые кислоты с пониженным количеством углерода, тогда как содержание азота и кислорода повышено. Величина соотношения Н/С убывает в ряду: бугры пучения – термокарстовые понижения – фоновые почвы. Так, например, для гуминовых кислот почв термокарстовых понижений степень бензоидности составляет всего 15% при достаточно узком соотношении Н/С. Степень бензоидности исследуемых почв соответствует низкой и средней степени градации. Гуминовые кислоты фоновых черноземов квазиглеевых более зрелые, имеют более конденсированную структуру по сравнению с гуминовыми кислотами почв криоморфозов, поскольку последние были подвержены криоморфным изменениям, а целинные фоновые почвы являются эталоном равновесного состояния данного типа почв.

Ключевые слова: элементный состав, гуминовые кислоты, черноземы квазиглеевые, бугры пучения, термокарстовые понижения

ELEMENTAL COMPOSITION OF HUMIC ACIDS IN SOILS OF PINGO AND THERMOKARST DEPRESSIONS IN THE SOUTH OF THE VITIM PLATEAU

Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Tsybenov Yu.B.

Institute of General and Experimental Biology SB RAS, Ulan-Ude, e-mail: erzhenach@mail.ru

The elemental composition of preparations of humic acids in soils of pingos and thermokarst depressions in the south of the Vitim plateau has been studied. The natural and climatic conditions of the region predetermine unstable biological activity, with increases and decreases during the growing season, which determine the specifics of all biological processes, including imposing an imprint on the elemental composition of humic acids. The elemental composition of humic acids in gley cryoturbated chernozems and humus-quasigley carbonated soils indicates that the permafrost conditions of soil formation affect the chemical structure of macromolecules. The specificity of humus in the studied soils, caused by cryogenic phenomena, is manifested at the level of the elemental composition and structure of humic acids. It is this arrangement of the elemental composition of the soil that is an adaptive feature of the maximum self-preservation of humic acids in harsh conditions. In comparison with European analogues, humic acids with a reduced amount of carbon are formed in the studied soils, while the content of nitrogen and oxygen is increased. The H/C ratio decreases in the series: pingos – thermokarst depressions – background soils. For example, for humic acids in soils of thermokarst depressions, the degree of benzoicity is only 15%, with a rather narrow ratio of H/C. The degree of benzoic content of the studied soils corresponds to a low and medium degree of gradation. The humic acids of the background quasigley chernozems are more mature and have a more condensed structure compared to humic acids of cryomorphoses soils, since the latter were subject to cryomorphic changes, and virgin background soils are the standard of the equilibrium state of this type of soil.

Keywords: elemental composition, humic acids, quasigley chernozems, pingos, thermokarst depressions

Гуминовые кислоты (ГК) – сложная смесь высокомолекулярных природных органических соединений, которые образуются в результате гумификации растительных остатков. Гуминовые кислоты имеют разветвленную молекулярную структуру, включающую большое количество функциональных групп и активных центров, в них содержатся: азот, калий, фосфор, а также такие микроэлементы, как молибден, медь, цинк, железо и т.д. Все это обуславливает

физико-химические и биологические свойства гуминовых кислот и их влияние на растения и почву.

ГК являются основным агрономически ценным компонентом гумуса. Они определяют специфику гидротермических и физико-химических свойств почвы. В связи с этим возникает необходимость изучения ГК, от природы и присутствия которых зависят потенциальное плодородие почвы и ее устойчивое функционирование. Одна

из важнейших и устойчивых идентификационных характеристик ГК – элементный состав [1], который позволяет получить информацию об общих принципах строения молекул, уровне их конденсированности и степени гумификации. Гумификация является универсальным звеном трансформации любых скоплений органических остатков в почве. Процесс гумификации происходит при помощи разнообразных химических и биохимических реакций и обусловлен отбором устойчивых органических соединений. Элементный состав определяется уровнем интенсивности биохимических процессов в почве, которые зависят от многих факторов (влажности, температуры, реакции среды, ОВП и т.д.). Гуминовые кислоты отчетливо реагируют на изменение биотермодинамических условий их формирования, гранулометрического состава, степени гидроморфизма, оглеения, карбонатности, подстилающей породы, сохраняя при этом сравнительную устойчивость элементного состава. Этот показатель меняется в очень широких пределах.

Элементный состав различных типов почв тайги и тундры изучен Е.Д. Лодыгиным с соавт. [2, 3], молекулярная структура гумусовых веществ мерзлотных бугристых торфяников лесотундры исследована Р.С. Василевичем с соавт. [4], Молекулярный и элементный состав гуминовых кислот избранных почв Российской Арктики изучен В.И. Поляковым с соавт. [5], элементный состав и содержание функциональных групп гуминовых веществ почв и торфов различного происхождения изучены Г.Н. Шигабаевой [6]. Элементный состав гуминовых кислот почв Республики Тувы изучен Н.Л. Бажиной с соавт. [7].

Поскольку элементный состав ГК является отражением условий почвообразования и зависит в первую очередь от химического состава разлагающихся органических остатков и условий гумификации, нами ставилась задача получить информацию об уровне «зрелости» этих молекул, формирующихся в условиях замораживания и оттаивания.

Цель работы – выявить особенности элементного состава ГК почв бугров пучения (БП) и термокарстовых понижений (ТП) в сравнении с фоновыми квазиглеевыми черноземами (ФП).

Материалы и методы исследования

Объектами исследования послужили препараты ГК почв бугров пучения (черноземы глееватые криотурбированные) и тер-

мокарстовых понижений (гумусово-квазиглеевые окарбоначенные почвы), а также фоновых почв (криоморфных квазиглеевых черноземов) юга Витимского плоскогорья.

Фоновые черноземы квазиглеевые сформированы в условиях горной мерзлотной лесостепи Еравнинской котловины под лугово-степной растительностью на промороженных аллювиально-лимнических фациальных комплексах. Для них характерны небольшая мощность гумусово-аккумулятивного горизонта (0–24 см), тяжело-суглинистый гранулометрический состав. Содержание $C_{\text{орг}}$ в верхнем горизонте среднее – 4,0% ($n = 5$), с глубиной резко уменьшается до 0,9%. Реакция среды в верхней части профиля близка к нейтральной (рН 7,3), в нижней – слабощелочная. Содержание общего азота – высокое (0,81–0,99%).

Исследуемые черноземы глееватые криотурбированные и гумусово-квазиглеевые окарбоначенные почвы по морфологии отличаются от фоновых черноземов квазиглеевых. Реакция среды почв из термокарстовых понижений близка к нейтральной, бугров пучения – к щелочной. По гранулометрическому составу исследуемые почвы бугров пучения относятся к пылеватым тяжело-суглинистым, термокарстовых понижений – среднесуглинистым крупнопылеватато-песчаным. Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$) в слое 0–20 см почв бугров пучения составило 7,6% ($n = 5$). Почвы термокарстовых понижений отличаются высоким содержанием $C_{\text{орг}}$ в слое 0–20 см 12,2% ($n = 5$). Содержание общего азота – низкое (0,11–0,27%) [8].

Выделение препаратов ГК производили исчерпывающим экстрагированием по методике [9]. Зольность препаратов была различной и варьировала от 6% до 11%, что считается допустимым.

Элементный состав препаратов ГК определен на элементном анализаторе CHNS/O Series II фирмы «Perkin Elmer» в Институте общей и экспериментальной биологии СО РАН (г. Улан-Удэ).

Результаты исследования и их обсуждение

Растительность мерзлотных почв адаптировалась к суровым условиям Забайкалья, что отразилось в ее химическом составе и морфологии. Так, биохимический состав источников гумуса обеднен углеводами, белками и обогащен целлюлозо-лигнинным комплексом. Высокое количество лигнина в растительности предопределяет достаточ-

но высокое содержание ароматических дериватов лигнина в препаратах ГК [10].

Природно-климатические условия региона обуславливают нестабильную биологическую активность с повышениями и спадами в течение вегетационного периода, которые определяют специфику всех биологических процессов, накладывая отпечаток в том числе и на элементный состав ГК.

Полное представление об элементном составе ГК можно получить, используя атомные проценты, которые показывают число атомов данного элемента в процентах к общему числу атомов в молекуле вещества, в статье далее мы будем использовать ат. %.

Углерод является ключевым элементом, определяющим состав и структуру ГК. Максимальное содержание углерода отмечено в ГК почв термокарстовых понижений – 39,0, это обусловлено чередованием периода избыточного увлажнения с недостаточным, что способствует гумусонакоплению. Следует отметить, что формирование ГК тесно связано с определенными гидротермическими условиями. Высокая влажность почв предопределяет формирование ГК с «рыхлой» структурой по сравнению с сформированными в условиях хорошего воздухообмена. Можно предположить, что ГК почв ТП имеют более «рыхлую» структуру по сравнению с почвами БП и фоном.

Самые низкие показатели углерода обнаружены в почвах бугров пучения – 36,9%, тогда как в фоновых почвах содержание углерода составляет 37,8%. Низкую обуглероженность макромолекулы ГК почв бугров пучения можно объяснить уменьшением конденсации исходных веществ и повышением распада образовавшихся ГК. Из-за низкой биохимической активности почв бугров пучения образующиеся в результате гумификации гуминовые вещества являются поверхностно-активными. Они сорбируются на разлагающихся растительных остатках и образуют комплекс, который состоит из ГВ и исходного органического материала. Гуминовые вещества, пропитывая неразложившиеся органические остатки, замедляют его последующую трансформацию. Этим объясняются высокий процент детрита и достаточно низкая обуглероженность препаратов ГК. Все это приводит к увеличению доли периферических углеродных цепей и снижению в его составе содержания углерода.

В целом, исследованные ГК черноземов глееватых криотурбированных и гуму-

сово-квизиглеевых окарбоначенных почв содержат меньше углерода в сравнении с европейскими аналогами. Так, по данным разных авторов [1, 11], эта величина в черноземах Казахстана, европейской части России (ЕЧР) и Западной Сибири (ЗС) составляет 42,5–58,6 ат.%, а среднее содержание углерода в ГК изученных почв – 36,9–39,0 ат.% (таблица). Это указывает на то, что в ГК исследуемых почв развиты алифатические углеродные цепи, поскольку почвы формируются при постоянном присутствии мерзлотного экрана. В региональных немерзлотных аналогах активнее происходят реакция конденсации и отщепление боковых углеродных цепей. При повышении температуры и уменьшении влажности происходит возрастание ароматичности макромолекулы гуминовой кислоты.

Содержание водорода в препаратах ГК исследуемых почв низкое по сравнению с немерзлотными почвами. Так, в ГК почв бугров пучения этот показатель равен 28,2. В ГК почв термокарстовых понижений показатель ниже – 27,3. Участие атомов водорода в построении ГК фоновых черноземов квизиглеевых составило всего 25,3 ат. %.

Достаточно низкое содержание водорода объясняется тем, что щелочная среда благоприятствует высокому накоплению – СООН групп, способных к обемному поглощению катионов в ГК. Водород может замещаться на другие катионы, в результате чего образуются соли.

Особенностью элементного состава макромолекулы ГК черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квизиглеевых окарбоначенных почв является то, что в них содержится высокое количество кислорода – 32,2% и 30,7% соответственно. В фоновых почвах кислорода содержится в 1,2 раза меньше, в европейскими аналогах – в 1,6 раз меньше. Учет кислородных функций неизбежно приводит к необходимости отдавать предпочтение алифатическим структурам. Функциональные группы, содержащие кислород, сосредоточены в алифатической части макромолекулы ГК, они обуславливают его гидрофильные свойства. Таким образом, в ГК почвах БП и ТП высока доля алифатических структур.

Соотношение О/С минимально в фоновых почвах – 0,58, максимально в буграх пучения – 0,87, в понижениях – 0,79.

Содержание азота в ГК черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квизиглеевых окарбоначенных почв высокое: в ГК почв термокарстовых понижений – 3,0,

в ГК почв бугров пучений – 2,7, эти показатели выше, чем в фоновых почвах и европейских аналогах. Это связано с более развитой алифатической частью макромолекулы гуминовой кислоты, где основным компонентом являются аминокислоты.

Соотношение C/N говорит о низком содержании азота в куминовых кислотах фоновых черноземов квазиглеевых по сравнению с черноземами глееватыми криотурбированными и гумусово-квазиглеевыми окарбоначенными почвами (таблица). C/N в ГК фоновых почв составило 19,5, в ГК почв криоморфозов этот показатель имеет более узкое соотношение: 13,10 и 13,70.

В гуминовых кислотах фоновых черноземов квазиглеевых соотношение Н/С достаточно узкое по сравнению с черноземами глееватыми криотурбированными и гумусово-квазиглеевыми окарбоначенными почвами. Это говорит о преобладании ароматических структур, что связано с тем, что система гумусовых веществ находится в состоянии природного равновесия, тогда как криоморфозы были подвержены мерзлотным явлениям (отмечаются просадки, пучения, инверсии, инволюции), что привело к нарушению целостности профилей почв. В почвах понижений и бугров соотношение немного выше 0,70 и 0,76, что тоже свидетельствует об относительно высоком вкладе углерода в формирование молекулы кислоты. Атомное соотношение Н/С уменьшается, а степень гумификации увеличивается.

Степень бензоидности минимальна в понижениях (15%) вследствие частых периодических явлений подтопления – высыхания при преобладании углеродистых алифатических соединений. В фоновых почвах и БП – 23%, что связано с лучшими условиями преорева.

В целом исследуемые почвы характеризуются низким содержанием углерода в макромолекулах ГК по сравнению с европейскими аналогами, следовательно, в их негидролизующей части преобладают

в разной степени боковые алифатические углеродистые соединения типа кетонных, альдегидных, метоксильных групп, что свидетельствует об их сильной подверженности разрушению, доказывая «ранимость» гуминовых кислот мерзлотных почв.

Степень бензоидности отражает соотношение линейно и циклически полимеризованного углерода. По шкале степени бензоидности гуминовые кислоты гумусово-квазиглеевых окарбоначенными почв можно отнести к низкому уровню, черноземов глееватых криотурбированных и фоновых черноземов квазиглеевых – к среднему уровню. Европейские аналоги характеризуются высоким уровнем степени бензоидности.

Высокая окисленность препаратов ГК почв БП по сравнению с фоновыми почвами и почвами ТП объясняется тем, что почвы БП отличались высыханием и низкой биогенностью. Из кинетической теории гумификации известно, что высокие воздухообмен и температура в вегетационный период способствуют увеличению степени окисленности гумусовых веществ [1].

Полученные нами данные, они различаются друг от друга по содержанию элементов С, Н, О и N, но в сравнении с почвами ЕЧР видно, что вариации в элементном составе исследуемых почв между собой минимальны, а данные значительно отличаются от показателей более теплых аналогов.

Таким образом, элементный состав гуминовых кислот черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квазиглеевых окарбоначенными почв выявил, что на формирование макромолекул ГК накладывают отпечаток региональные климатические условия. Специфичность гумуса исследованных почв, обусловленная криогенными явлениями, проявляется на уровне элементного состава и структуры гуминовых кислот. Именно такая компоновка элементного состава почвы является адаптационной чертой максимального самосохранения ГК в жестких условиях.

Элементный состав гуминовых кислот почв бугров пучения и термокарстовых понижений

Ландшафт	% на беззольную навеску				Отношения			Степень бензоидности
	С	Н	N	О	Н/С	О/С	С/N	
Бугор пучения	36,9	28,2	2,7	32,2	0,76	0,87	13,70	0,23
Термокарстовое понижение	39,0	27,3	3,0	30,7	0,70	0,79	13,10	0,15
Целина Чернозем (фон)	37,8	25,3	2,1	26,8	0,67	0,71	17,8	23,0
Черноземы европейской части России [Орлов, 1990]	42,5	35,2	2,4	19,9	0,83	0,47	17,7	32,4

Заключение

Элементный состав гуминовых кислот черноземов глееватых криотурбированных и гумусово-квасиглеевых окарбонированных почв свидетельствует о том, что мерзлотные условия почвообразования оказывают влияние на химическую структуру макромолекул. По сравнению с европейскими аналогами в исследуемых почвах образуются гуминовые кислоты с пониженным количеством углерода, тогда как содержание азота и кислорода повышено.

Величина соотношения Н/С убывает в ряду: бугры пучения – термокарстовые понижения – фон. Для гумусово-квасиглеевых окарбонированных почв степень бензоидности составляет всего 15% при достаточно узком соотношении Н/С. Степень бензоидности исследуемых почв соответствует низкой и средней степени градации.

В целом, ГК фоновых черноземов квасиглеевых более зрелые, имеют более конденсированную структуру по сравнению с гуминовыми кислотами почв криоморфозов, поскольку последние были подвержены криоморфным изменениям, а целинные фоновые почвы являются эталоном равновесного состояния данного типа почв.

Работа выполнена за счет средств бюджета по теме госзадания № 121030100228–4; а также при поддержке гранта РФФИ № 16–04–01297.

Список литературы / References

1. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.
2. Orlov D.S. Humic acids of soils and the general theory of humification. M.: Izd-vo MGU, 1990. 325 p. (in Russian).
3. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А., Василевич Р.С. Изучение элементного состава гуминовых и фульвокислот почв таежных и тундровых ландшафтов // Вестник ИБ Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 4. С. 10–18.
4. Lodygin E.D., Beznosikov V.A., Vasilevich R.S. Study of the elemental composition of humic and fulvic acids in soils of taiga and tundra landscapes // Vestnik IB Komi NC UrO RAN. 2016. № 4. P. 10–18 (in Russian).
5. Лодыгин Е.Д., Безносиков В.А. и Абакумов Е.В. Гуминовые вещества элементного состава выбранных почв Российской Арктики // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 47. С. 6–21.
6. Polyakov V.I., Chegodaeva N.A., Abakumov E.V. Molecular and elemental composition of humic acids isolated from selected soils of the Russian Arctic // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2019. № 47. P. 6–21.
7. Шигабаева Г.Н. Элементный состав и содержание функциональных групп гуминовых веществ почв и торфов различного происхождения // Вестник Тюменского государственного университета. 2014. № 12. Экология. С. 45–53.
8. Shigabayeva G.N. Elemental composition and content of functional groups of humic substances in soils and peats of various origins // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 12. Ekologiya. P. 45–53 (in Russian).
9. Базина Н.Л., Ондар Е.Е., Очур К.О. и Дергачева М.И. Элементный состав гуминовых веществ почв западной части Тувы. Оренбургский университетский вестник. 2013. № 10. С. 233–236.
10. Bazhina N.L., Ondar E.E., Ochur K.O. and Dergacheva M.I. Elemental composition of humic substances from soils of the western part of the Tuva area. Orenburg University Bulletin. 2013. Vol. 10. P. 233–236.
11. Чимитдоржиева Г.Д., Чимитдоржиева Е.О., Милкеев Е.Ю., Тсыбенюв Ю.В., Егорова Р.А., Солдатова З.А., Андриева Д.В., Корсунова Т.Д.-Т., Давыдова Т.В., Дмитриев А.В., Чимитдоржиев Т.Н. Почвы криогенных ландшафтов в южной части Витимского плато: распределение и роль в формировании почвенных запасов углерода. Евразийский журнал почвоведения. 2019. № 52. С. 1019–1027.
12. Chimitdorzhieva G.D., Chimitdorzhieva E.O., Milkheev E.Y., Tsybenov Y.B., Egorova R.A., Soldatova Z.A., Andreeva D.B., Korsunova T.D.-T., Davydova T.V., Dmitriev A.V., Chimitdorzhiev T.N. Soils of cryogenic landforms in the south of the Vitim plateau: distribution and role in the allocation of soil carbon pools. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 9. P. 1019–1027.
13. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 271 с.
14. Orlov D.S., Grishina L.A. Workshop on the chemistry of humus. M.: Izd-vo MGU, 1981. 271 p. (in Russian).
15. Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенюв Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Егорова Р.А. Неспецифические органические вещества лесостепных и степных почв Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2019. № 12–1. С. 181–185.
16. Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Tsybenov Yu.B., Milkheev E.Yu., Egorova R.A. Nonspecific organic matter of forest-steppe and steppe soils of Transbaikalia // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2019. No. 12–1. P. 181–185 (in Russian).
17. Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 173 с.
18. Klenov B.M. Stability of humus in automorphic soils of Western Siberia. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2000. 173 p. (in Russian).

tundra soils from Russian European North-East. Polish Polar Research. 2017. Vol. 38. no. 2. P. 125–147.

4. Василевич Р.С., Безносиков В.А., Лодыгин Е.Д. Молекулярная структура гумусовых веществ мерзлотных бугристых торфяников лесотундры // Почвоведение. 2019. № 3. С. 317–329.

Vasilevich R.S., Beznosikov V.A., Lodygin E.D. Molecular structure of humus substances in permafrost peat mounds in forest-tundra. Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52. No. 3. P. 283–295.

5. Поляков В.И., Чегодаева Н.А., Абакумов Е.В. Молекулярный и элементный состав гуминовых кислот выделен из избранных почв Российской Арктики // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2019. № 47. С. 6–21.

Polyakov V.I., Chegodaeva N.A., Abakumov E.V. Molecular and elemental composition of humic acids isolated from selected soils of the Russian Arctic // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya. 2019. № 47. P. 6–21.

6. Шигабаева Г.Н. Элементный состав и содержание функциональных групп гуминовых веществ почв и торфов различного происхождения // Вестник Тюменского государственного университета. 2014. № 12. Экология. С. 45–53.

Shigabayeva G.N. Elemental composition and content of functional groups of humic substances in soils and peats of various origins // Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. 2014. № 12. Ekologiya. P. 45–53 (in Russian).

7. Базина Н.Л., Ондар Е.Е., Очур К.О. и Дергачева М.И. Элементный состав гуминовых веществ почв западной части Тувы. Оренбургский университетский вестник. 2013. № 10. С. 233–236.

Bazhina N.L., Ondar E.E., Ochur K.O. and Dergacheva M.I. Elemental composition of humic substances from soils of the western part of the Tuva area. Orenburg University Bulletin. 2013. Vol. 10. P. 233–236.

8. Чимитдоржиева Г.Д., Чимитдоржиева Е.О., Милкеев Е.Ю., Тсыбенюв Ю.В., Егорова Р.А., Солдатова З.А., Андриева Д.В., Корсунова Т.Д.-Т., Давыдова Т.В., Дмитриев А.В., Чимитдоржиев Т.Н. Почвы криогенных ландшафтов в южной части Витимского плато: распределение и роль в формировании почвенных запасов углерода. Евразийский журнал почвоведения. 2019. № 52. С. 1019–1027.

9. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 271 с.

Orlov D.S., Grishina L.A. Workshop on the chemistry of humus. M.: Izd-vo MGU, 1981. 271 p. (in Russian).

10. Чимитдоржиева Э.О., Чимитдоржиева Г.Д., Цыбенюв Ю.Б., Мильхеев Е.Ю., Егорова Р.А. Неспецифические органические вещества лесостепных и степных почв Забайкалья // Успехи современного естествознания. 2019. № 12–1. С. 181–185.

Chimitdorzhieva E.O., Chimitdorzhieva G.D., Tsybenov Yu.B., Milkheev E.Yu., Egorova R.A. Nonspecific organic matter of forest-steppe and steppe soils of Transbaikalia // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya. 2019. No. 12–1. P. 181–185 (in Russian).

11. Кленов Б.М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 173 с.

Klenov B.M. Stability of humus in automorphic soils of Western Siberia. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2000. 173 p. (in Russian).

ОБЗОРЫ

УДК 631.33

ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ АЭРОСЕВА ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР С ПРИМЕНЕНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Лысыч М.Н., Бухтояров Л.Д., Чернышов В.В., Нагайцев В.М.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», Воронеж, e-mail: miklynea@yandex.ru

Статья посвящена обзору существующих технологий аэросева лесных семян с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Приводится краткая история применения аэросева в СССР и зарубежных странах. На данный момент применение пилотируемой авиации для лесовосстановления значительно сократилось и широко используется только в сельском хозяйстве. В последние десятилетия наблюдается тенденция интенсивного внедрения беспилотных летательных аппаратов во все отрасли человеческой деятельности. Не является исключением и лесное хозяйство, где в последние годы начали быстро развиваться технологии аэросева с применением БПЛА. Приводится анализ основных типов летательных аппаратов, применяемых для аэросева или имеющих перспективы подобного применения. Проанализированы последние мировые тенденции в применении БПЛА для осуществления аэросева и даны краткие описания реализуемых сейчас проектов. Это открытый проект компании Dronecoria, включающий создание комплексов для аэросева дражированных семян с помощью мультикоптеров, разработку дражировочных установок и составов оболочек семян. Проект компании Dendra Systems (бывшие BioCarbon Engineering), предлагающий технологию, предназначенную для работы в сложных, труднодоступных местах, например таких, как мангровые леса. Канадский проект Flash Forest, в рамках которого были высажены тысячи деревьев с применением предварительно пророщенных семян. Пневматический высевательный комплекс от AirSeed Technologies, способный высевать дражированные семена со специально разработанной оболочкой из биоугля. Проект DroneSeed, осуществляющий высев семян в почвенных брикетах роями дронов. Перспективный отечественный проект Smart Forest, ведущий разработку высевательных комплексов различного назначения. Установлено, что сейчас реализуется весьма ограниченный ряд зарубежных проектов, при этом успешный практический опыт аэросева с применением БПЛА на территории России фактически отсутствует. На основе анализа существующих технологий определены условия эффективного использования аэросева с применением БПЛА.

Ключевые слова: аэросев, лесовосстановление, изменения климата, БПЛА, применение, анализ

OVERVIEW OF MODERN TECHNOLOGIES OF AEROSSEEDING FORESTS USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Lysych M.N., Bukhtoyarov L.D., Chernyshov V.V., Nagaytsev V.M.

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Voronezh, e-mail: miklynea@yandex.ru

The article is devoted to a review of existing technologies for aerial seeding of forest seeds using unmanned aerial vehicles (UAVs). A brief history of the use of aerial seeding in the USSR and foreign countries is given. At the moment, the use of manned aircraft for reforestation has significantly decreased and is widely used only in agriculture. In recent decades, there has been a tendency for the intensive introduction of unmanned aerial vehicles in all branches of human activity. Forestry is no exception, where in recent years aroeseeding technologies with the use of UAVs have begun to develop rapidly. An analysis is given of the main types of aircraft used for aroeseeding or having prospects for such an application. The latest global trends in the use of UAVs for the implementation of aroeseeding are analyzed and brief descriptions of the projects currently being implemented are given. This is an open project of the Dronecoria company, which includes the creation of complexes for aerial seeding of pelleted seeds using multicopters, pelleting machines and casing compositions. A project by Dendra Systems (formerly BioCarbon Engineering) offering technology designed to work in difficult, hard-to-reach locations such as mangrove forests. Canadian Flash Forest project planted thousands of trees using pre-germinated seeds. The pneumatic seeding system from AirSeed Technologies is capable of sowing pelleted seeds with a specially developed biochar cover. DroneSeed project, which sows seeds into soil briquettes by swarms of drones. A promising domestic project Smart Forest leading the development of seeding complexes for various purposes. It has been established that a very limited number of foreign projects are currently being implemented, while there is practically no successful practical experience of aerial seeding within Russia with the use of UAVs. Analysis of the existing technologies of aroeseeding allowed to determine the conditions for its effective use with the use of UAVs.

Keywords: aroeseeding, reforestation, climate change, UAV, application, analysis

Технология аэросева лесных культур имеет достаточно долгую историю. Он широко использовался в центральных районах СССР для создания хвойных насаждений в пустынных и полупустынных районах при посеве саксаула. В 1932 г. аэросев был осуществлен на территории в 58 тыс. га, а в 1953 г. – в таежных районах на террито-

рии 22,6 тыс. га. Также есть опыт создания лесных культур на площадях, подвергшихся радиоактивному загрязнению, с применением посева гранулированных семян. Приживаемость составила 43,8% [1].

В 1960-х гг. аэросев семян сосны с нормой посева 2,24 кг/га использовали для содействия естественному лесовосстанов-

лению в лесах Новой Зеландии. Данная практика была прекращена из-за повышенного расхода семян и их неравномерной всхожести. В США аэросев успешно применялся на труднопроходимых участках, возникших после пожаров и бурь. Стоимость аэросева не превышала наземных методов разбросного посева, но при этом работы выполнялись в значительно более короткие сроки. В Китае только в 2012 г. были засеяны площади более 136 тыс. га [1, 2].

В описанных примерах для аэросева использовались пилотируемые летательные аппараты самолетного и вертолетного типа. На данный момент применение пилотируемой авиации для лесовосстановления значительно сократилось и широко используется только в сельском хозяйстве.

Тенденцией последних десятилетий является интенсивное развитие беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Они находят все более широкое применение во всех отраслях человеческой деятельности. Не является исключением и лесное хозяйство. Дополнительным импульсом развития этого направления является ускорение климатических изменений при постоянно сокращающейся площади лесов, что обуславливает необходимость су-

щественной интенсификации процессов лесовосстановления [3].

Целью исследования является изучение современных технологий и оборудования для аэросева лесных культур с применением БПЛА.

Материалы и методы исследования

Исследование выполнено на основе анализа существующих высевальных комплексов для БПЛА, применяемых или имеющих перспективы применения для аэросева лесных культур.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 приводится классификация основных типов летательных аппаратов, применяемых для аэросева или имеющих перспективы подобного применения. Кратко проанализируем их возможности.

Применение легкомоторных самолетов возможно только для осуществления разбросного посева. Это ведет к большим расходам семян и неравномерности их распределения, что определяет невысокую эффективность данного метода. Также необходим парк машин и развитая инфраструктура, которая на данный момент в России практически отсутствует.



Рис. 1. Летательные аппараты, применяемые для аэросева и имеющие перспективы подобного применения

Использование БПЛА самолетного типа тоже не получило широкого распространения. Это обусловлено целым рядом причин. Компактные БПЛА, способные взлетать без подготовки стартовой площадки, имеют малую грузоподъемность и непригодны для аэросева. Более же грузоподъемные модели обладают всем спектром качественных недостатков, присущих легкомоторным самолетам, и дополнительными правовыми проблемами, связанными с использованием воздушного пространства.

Применение БПЛА типа многоосевой вертолет или «мультикоптер» на данный момент имеет наилучшие перспективы для практического применения. Это связано с сочетанием таких его технических параметров, как возможность вертикального взлета и посадки без подготовки участка, высокая маневренность и устойчивость, обеспечивающие высокую точность посева, а также низкая аварийность при приемлемой стоимости. Главным его недостатком является невысокая грузоподъемность и малая продолжительность полета. Однако на данный момент производители ведут интенсивную работу по устранению этих проблем, предлагая все больше моделей с приемлемыми для аэросева характеристиками.

БПЛА вертолетного типа обладают сходными с мультикоптерами характеристиками. Они могут иметь большую грузоподъемность, однако значительно проигрывают по стоимости и сложности конструкции. На основе выполненного анализа можно сделать вывод, что наиболее перспективным типом БПЛА для посева лесных культур является многоосный вертолет или «мультикоптер». Рассмотрим последние

мировые тенденции осуществления аэросева с применением мультикоптеров.

Dronecoria – это открытый проект, включающий создание комплексов для аэросева дражированных семян с помощью мультикоптеров (рис. 2), а также дражировочных установок и составов оболочек для крупномасштабного лесовосстановления при минимальных затратах [4, 5]. Предлагаемая технология облегчает лесовосстановление путем высева сочетания деревьев и травянистых растений.

Процесс аэросева разделяется на два этапа. Сначала делается точная карта, чтобы определить оптимальное место для каждого дражированного семени. Затем производится процесс посева по ранее созданной траектории полета. Чтобы сделать проект легко масштабируемым, предлагается модель высевающего комплекса и программное обеспечение с открытым исходным кодом, что позволяет разнообразным организациям и частным лицам самостоятельно осуществлять посев.

Сильной стороной данного проекта является его открытая концепция, то есть возможность свободного использования разработанных конструкций БПЛА, высевающих аппаратов и программного обеспечения. В то же время проект еще находится на стадии разработки и не готов к промышленному применению. Конструкция используемого высевающего аппарата позволяет осуществлять исключительно групповой высев. При этом группа семян не получает дополнительного ускорения, что не обеспечивает их внедрение в поверхностный почвенный слой. При этом семена могут иметь значительный разброс по размерам и форме.

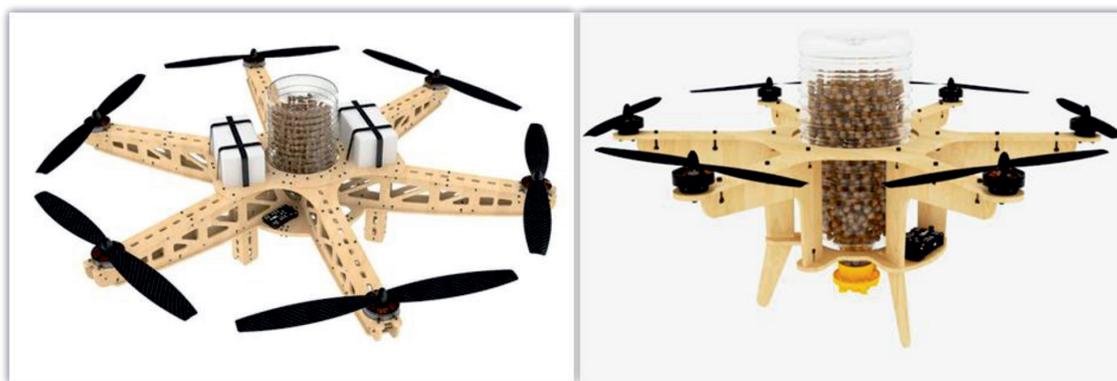


Рис. 2. Выссевающий комплекс проекта Dronecoria

Компания Dendra Systems (бывшие BioCarbon Engineering) предлагает технологию, предназначенную для работы в сложных, труднодоступных местах, например таких, как мангровые леса, где илистый ландшафт приливной зоны создает многочисленные проблемы для традиционных методов посадки (рис. 3) [6, 7].

Компания существует с 2014 г. Начиная с 2016 г. были созданы насаждения объемом 100000 деревьев в Австралии и Мьянме. С помощью предлагаемого подхода посадка растений осуществляется в 150 раз быстрее и в десять раз дешевле, чем с другими современными методами посадки, используемыми в настоящее время. По мнению авторов, при использовании существующих традиционных технологий потребуется не менее 200 лет для восстановления утраченных лесных площадей, что является неприемлемым для борьбы с изменениями климата. В настоящее время компания осуществляет проекты, один из которых заключается в рекультивации площадей горнодобывающих

объектов в Австралии, а другой – в восстановлении утраченных мангровых лесов в Мьянме.

Исходя из анализа доступной информации, конструкции высевачных комплексов предполагают использование не только дражированных семян, но и специализированных капсул, облегчающих проникновение семян в почвенный слой и их прорастание. Также в последнее время начали внедряться высевачные аппараты с центробежным разбросом семян.

Активно развивающийся канадский проект Flash Forest начал испытание прототипов высевачных аппаратов с 2019 г. (рис. 4) [8]. С начала испытаний были высажены тысячи деревьев в провинции Онтарио. Использовались предварительно проросшие семена, при этом стоимость посева составляла всего 50 центов. Эта сумма в четыре раза ниже, чем стоимость ручной посадки. В 2020 г., начиная с апреля, Flash Forest планирует посеять с беспилотников не менее 150000 деревьев.



Рис. 3. Высевачный комплекс компании Dendra Systems



Рис. 4. Высевачный комплекс компании Flash Forest

Компанией используются высевающие аппараты двух видов. Это пневматический высевающий аппарат, обеспечивающий дополнительное ускорение сферического дражированного семени, что необходимо для лучшего внедрения в поверхностный почвенный слой. Второй тип высевающего аппарата предназначен для гравитационного высева достаточно крупных брикетов околосферической формы.

Пневматический высевающий комплекс от AirSeed Technologies (рис. 5) способен отстреливать два дражированных семени в секунду со скоростью от 150 до 300 м/с [9]. Высевающий модуль может крепиться к нижней части различных моделей дронов. По предварительным оценкам команда из двух человек, управляющая двумя аппаратами, может посадить до 40 000 семян в день.

AirSeed Technologies разработал оболочку семени, изготовленную из добавки «biochar» (биоуголь), чтобы сделать ее более легкой. Это спрессованный уголь, полученный при термохимическом преобразовании биомассы. Шарообразные дражированные семена весят 5 г и достаточно

прочны, что позволяет сообщать им дополнительное ускорение для проникновения в поверхностный почвенный слой. Дрон может брать полезную нагрузку до тысячи семян. Оболочка действует как естественное удобрение. Семена также не нуждаются в предварительном проращивании, так как оболочка богата питательными веществами и может быть пропитана свойственными для почвы микроорганизмами и грибами. При использовании технологии группового полета команда из четырех человек, работающая с восемью дронами, может посадить до 160 000 семян за один день.

Высевающий комплекс американской компании DroneSeed (рис. 6) использует для лесовосстановления рои дронов [10]. Они предназначены для эксплуатации в тяжелых условиях, и каждый дрон способен осуществлять посадку на площади 0,3 га за рейс. При этом его полезная нагрузка доходит до 25 кг. Особенностью проекта является использование в качестве посевного материала достаточно больших брикетов квадратной формы, сбрасываемых без дополнительного ускорения.



Рис. 5. Высевающий комплекс компании AirSeed Technologies



Рис. 6. Высевающий комплекс компании DroneSeed



Рис. 7. Пневматический высевательный комплекс точного посева проекта Smart Forest

Один из немногих отечественных проектов, реализуемых в данном направлении, выполняется в Воронежском лесотехническом университете авторами данной статьи. Сейчас проект находится на стадии научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Командой проекта разрабатывается комплекс высевательных аппаратов, предназначенных для БПЛА с грузоподъемностью от 5 кг. При этом в зависимости от типа высевательного аппарата могут быть использованы семена различных размеров и формы, в том числе и дражированные. Также реализуются различные способы распределения семян – точный посев, точный посев с дополнительным ускорением семени, групповой и разбросной посев.

На рис. 7 как пример показан высевательный комплекс, оборудованный пневматическим высевательным аппаратом для точного посева дражированных семян [11]. В роли базового мультикоптера использован октокоптер DJI S1000. Рассчитанная по параметрической 3D-модели масса высевательного аппарата равна 915 г при условии изготовления основных конструктивных элементов из АБС-пластика. Полная вместимость бункера и горловины высевательного аппарата при диаметре дражированных семян в 5 мм составляет не менее 7426 шт. Общая масса семян полностью загруженного бункера равна 920,8 г при их плотности 1900 кг/м³.

Заключение

Анализ существующих современных технологий аэроосева с применением БПЛА показал, что его можно эффективно применять на следующих типах участков:

– участки, требующие энергоемкой расчистки от порубочных остатков и пней после выполнения лесозаготовительных работ;

– труднодоступные для наземной техники участки, образовавшиеся в результате лесных пожаров, ветровалов и буреломов;

– участки в местах добычи полезных ископаемых, подлежащие рекультивации;

– участки с ограниченным доступом, возникшие в результате негативного антропогенного воздействия, например радиоактивного.

При этом все перечисленные типы участков должны иметь умеренный травянистый покров и слой лесной подстилки, а также приемлемые водный и световой режимы.

Список литературы / References

- Новиков А.И., Косиченко Н.Е. Тенденции развития процессов аэроосева семян в лесохозяйственном производстве // Лесной вестник. 2018. № 5. С. 15–25.
- Novikov A.I., Kosichenko N.E. Trends of aerial seeding in forestry // Lesnoy Vestnik. 2018. No. 5. P. 15–25 (in Russian).
- Соколов С.В., Новиков А.И. Тенденции развития операционной технологии аэроосева беспилотными летательными аппаратами в лесовосстановительном производстве // Лесотехнический журнал. 2017. № 4. С. 190–205.
- Sokolov S.V., Novikov A.I. Trends of development of aerial seeding operational technology with unbeatual vehicles in reforestation production // Forestry journal. 2017. No. 4. P. 190–205.
- Mohan M., Richardson G., Gopan G., Aghai M.M., Bajaj S., Galgamuwa G.A.P., Vastaranta M., Arachchige P.S.P., Amorós L., Corte A.P.D., De Miguel S., Leite R.V., Kganyago M., Broadbent E.N., Doaemo W., Shorab M.A. Bin Cardil A. UAVsupported forest regeneration: Current trends, challenges and implications // Remote Sens. 2021. Vol. 13. No. 13.
- Dronecoria: Open Source Restoration – WDCD Climate Challenge [Electronic resource]. URL: <https://challenge.whatdesigncando.com/projects/dronecoria-open-source-drones-for-seeding/> (accessed: 01.10.2021).
- Dronecoria [Electronic resource]. URL: <http://dronecoria.org/drone/> (accessed: 01.10.2021).
- Dendra Systems: automation and intelligence for the natural world [Electronic resource]. URL: <https://www.dendra.io/> (accessed: 01.10.2021).
- Drones Planting Trees: An interview with BioCarbon Engineering – Impakter [Electronic resource]. URL: <https://impakter.com/biocarbon-engineering/> (accessed: 01.10.2021).
- Flash Forest [Electronic resource]. URL: <https://flash-forest.ca/> (accessed: 01.10.2021).
- Reforestation AirSeed Technologies Australia [Electronic resource]. URL: <https://www.airseedtech.com/> (accessed: 01.10.2021).
- Rapid Reforestation. DroneSeed [Electronic resource]. URL: <https://droneseed.com/> (accessed: 01.10.2021).
- Булавинов А.А., Лапшина Н.А., Лысыч М.Н. Пневматический высевательный аппарат // Патент РФ № 194398. Патентообладатель ООО Научно-производственная фирма «Лесав». 2019. Бюл. № 34.

СТАТЬИ

УДК 504.064.2

ОЦЕНКА УРОВНЕЙ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ АТМОСФЕРНЫМИ ВЫПАДЕНИЯМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БРИОИНДИКАЦИИ**Алексеев Ю.В., Вергель К.Н., Юшин Н.С.***Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, e-mail: beataa@gmail.com, verk_n@mail.ru, ynik_62@mail.ru*

Загрязнение атмосферного воздуха оказывает негативное воздействие как на здоровье человека, так и на состояние животного и растительного мира, поэтому контроль качества атмосферного воздуха является важной составляющей мониторинга окружающей среды. Наряду со стандартными методами мониторинга загрязнения воздуха в последние двадцать пять лет широкое распространение во многих странах Европы получил метод биомониторинга атмосферных выпадений различных загрязняющих веществ с использованием мхов. В Беларуси подобные исследования на регулярной основе начались с 2005 г. В данной работе на основе результатов, полученных с использованием мхов-биомониторов, произведена оценка уровней загрязнения территории Республики Беларусь в период с 2005 по 2015 г. Были рассчитаны коэффициенты загрязнения для отдельных элементов, а также суммарные показатели загрязнения территорий шести административных областей, учитывающие элементы, которые относятся к 1, 2 и 3 классам опасности. Был оценен коэффициент биологического поглощения элементов для используемых видов мха, определены фоновые концентрации элементов в мхах для Беларуси. Результаты расчетов показали, что наблюдается слабое загрязнение территории никелем. Интегрированная оценка выявила области с высоким, средним и низким уровнем загрязнения и показала локализацию загрязненных территорий. За десятилетний период исследования площади территорий со средним уровнем загрязнения снизились почти в два раза, а территории с высоким уровнем загрязнения в 2015 г. уже отсутствовали. Полученные временные тренды хорошо отражают сокращение количества выбросов в атмосферный воздух от местных источников за исследуемый период.

Ключевые слова: бриоиндикация, *Pleurozium schreberi*, тяжелые металлы, аэрозоли, нейтронный активационный анализ, уровни загрязнения

ASSESSMENT OF THE POLLUTION LEVELS OF THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS BY HEAVY METALS ATMOSPHERIC DEPOSITION USING BRYOINDICATION**Aleksiyenak Yu.V., Vergel K.N., Yushin N.S.***Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, e-mail: beataa@gmail.com, verk_n@mail.ru, ynik_62@mail.ru*

Ambient air pollution has a negative impact on both human health and the state of flora and fauna, therefore, air quality control is an important component of environmental monitoring. Along with the standard methods for monitoring air pollution in the last twenty-five years, the method of biomonitoring atmospheric deposition of various pollutants using mosses has become widespread in many European countries. In Belarus, such studies have begun regularly since 2005. In this work, based on the results obtained using mosses-biomonitors, the assessment of the levels of pollution by heavy metals and semimetals of the territory of the Republic of Belarus in the period from 2005 to 2015 is made. The pollution factors were calculated for individual elements, as well as the total indicators of pollution of the territories of six administrative regions, taking into account the elements that belong to 1, 2 and 3 hazard classes. The coefficient of biological absorption of elements for the species of moss used was estimated, the background concentrations of elements in mosses for Belarus were determined. The calculation results showed that there is slight pollution of the territory with nickel. The integrated assessment identified areas with high, medium and low levels of pollution and showed the localization of contaminated areas. Over the ten years of research, the areas of territories with an average level of pollution decreased by almost two times, and areas with a high level of pollution in 2015 were already absent. The obtained time trends well reflect the reduction in the amount of emissions into the atmospheric air from local sources over the period under study.

Keywords: bryoindication, *Pleurozium schreberi*, heavy metals, aerosols, neutron activation analysis, pollution levels

Загрязнение атмосферного воздуха – это глобальная проблема, которая оказывает негативное воздействие на людей, животных и растения. В наши дни особое внимание уделяется таким загрязнителям, как оксиды серы, азота и углерода, стойкие органические загрязнители (СОЗ), тяжелые металлы (ТМ) и взвешенные частицы. Природные источники этих веществ – лесные пожары,

извержения вулканов, гейзеры, биоразложение и океаны. Большинство же тяжелых металлов, а также сера, азот и оксиды углерода имеют антропогенное происхождение. Значительная часть выбросов загрязняющих веществ остается в непосредственной близости от источника, при этом некоторые из них можно обнаружить на достаточно большом расстоянии от источника. Пробле-

ма трансграничного загрязнения воздуха стоит довольно остро перед всеми странами, так как неблагоприятная экологическая обстановка в одном регионе может отрицательно воздействовать на территории без своих источников загрязняющих веществ. Так, например, для окружающей среды Арктики представляют угрозу ртуть и СО₂, которые поступают на территорию извне, в основном из южных промышленных районов Европы и других континентов из-за ветров преимущественно северного направления [1].

В связи с этим в 1979 г. Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) была принята Конвенция о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. А в 1998 г. 36 стран подписали Орхусский протокол к Конвенции по дальнему трансграничному переносу воздушных загрязнений тяжелыми металлами от 1979 г.

В ряде европейских стран потребность в изучении последствий воздействия тяжелых металлов на окружающую среду привела к созданию национальных и международных программ по биомониторингу атмосферных выпадений тяжелых металлов. В рамках Международной совместной программы по растительности (ICP Vegetation) «Атмосферные выпадения тяжелых металлов в Европе – оценки на основе анализа мхов-биомониторов» с периодичностью в пять лет под эгидой ООН издается Европейский атлас атмосферных выпадений ТМ. Цель этой программы – качественно и количественно охарактеризовать распределение региональных атмосферных выпадений в Европе, выделить местоположение важных источников загрязнения ТМ и дать ретроспективную картину сравнения с такими же исследованиями, повторяющимися каждые пять лет. Ближайшей целью деятельности этой Комиссии является сбор информации по атмосферным загрязнениям тяжелыми металлами в 2020–2021 гг. в соответствии с Орхусским протоколом.

Европейские исследования мхов по этой программе проводятся каждые пять лет с 1990 г., последний раз оно было проведено в 2015 г. с участием 34 стран [2]. В литературе представлены данные о концентрации двенадцати металлов (Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb, Sb, V, Zn) в естественно растущих мхах. Для отбора рекомендуются плеврокарповые мхи, такие как *Hylocomium splendens*, *Pleurozium schreberi*, *Hypnum cupressiforme*, *Pseudoscleropodium purum*.

В рамках этой программы исследования выпадений тяжелых металлов на территории Республики Беларусь регулярно начали проводиться с 2005 г. [3].

Целью и задачами исследования были:

- оценить уровни загрязнения территории на основе расчетов комплексных показателей загрязнения территории и коэффициентов загрязнения для исследуемых элементов;
- определить фоновые значения элементов для страны;
- сравнить полученные данные со стандартными методами оценки антропогенного воздействия.

Материалы и методы исследования

На исследуемой территории были отобраны образцы мха вида *Pleurozium schreberi*, широко используемого в целях биомониторинга, в период с июля по сентябрь в 2005 и 2015 гг. в разных областях страны. Отбор проб на одних и тех же площадках в 2005 и 2015 гг. осуществлялся в Минской области, где в 2005 г. были выявлены участки с большим уровнем загрязнения в сравнении с остальной территорией. С учетом местных особенностей для территории Беларуси была разработана мониторинговая сеть и за период исследования было отобрано порядка 200 образцов (рис. 1).

Исследуемая территория

Республика Беларусь находится на Восточно-Европейской равнине, для нее характерен континентальный климат с достаточным увлажнением и преобладающим западным переносом воздушных масс. Образцы отбирались в сосняках мшистых, орляковых и черничных на дерново-подзолистых почвах. В годы пробоотбора количество осадков по областям существенно не менялось и находилось в диапазоне от 520 до 710 мм в год в зависимости от области. Количество пожаров по исследуемым областям также изменялось незначительно.

Согласно официальным данным основными источниками выбросов тяжелых металлов в атмосферный воздух на территории Беларуси являются: производство чугуна и стали, стационарное сжигание топлива в промышленности, черная металлургия, нефтепереработка, мобильные источники, химическая промышленность [4]. Около 50% промышленных предприятий республики находятся в г. Минске и Минской области. Меньше всего предприятий зарегистрировано в Витебской и Гродненской областях ~ 9%.

Пробоотбор

Для анализа отбираются зеленые и зелено-коричневые сегменты мха, которые примерно соответствуют возрасту растения 3–5 лет. Образцы отбирались в отдалении от городов и крупных промышленных центров, минимум 300 м от дорог. С одного участка собирался образец, состоящий из пяти подобразцов, отобранных по методу конверта.

Анализ

Аналитические исследования проводились в Лаборатории нейтронной физики (ЛНФ) Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ) (Дубна, Россия). Элементный состав образцов определяли с использованием инструментального нейтронного активационного анализа (ИНАА) на реакторе ИБР-2 ЛНФ и атомной абсорбционной спектроскопии (ААС). С помощью ИНАА во мхах-биоиндикаторах было определено 27 химических элементов: Al, As, Ba, Br, Ca, Cl, Co, Cs, Fe, Hf, K, La, Mg, Mn, Na, Ni, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Sr, Th, U, V, W, Zn. ААС применялась для определения Pb, Cd и Cu. В специально оборудованной химической лаборатории осуществлялась подготовка образцов к облучению. Образцы тщательно очищались от хвои, листьев и т.д., а затем сушились при температуре 40 °С до постоянного веса. Затем мох пресовали в таблетки весом ~ 0,3 г, которые упаковывались в полиэтиленовые пакеты для короткого облучения и в алюминиевую

фольгу для длительного облучения. Более подробно анализ описан в работе [3].

Контроль качества анализа осуществлялся с использованием сертифицированных эталонов: IAEA 336 (лишайник, МАГАТЭ), IAEA 433 (морские отложения, МАГАТЭ), SRM 1575 (иглы сосны, NIST), SRM 2710 (почва, NIST), SRM 2711 (почва, NIST). Эталоны облучались вместе с исследуемыми образцами в одинаковых условиях.

Концентрации Cd, Cu и Pb в образцах мха определяли с помощью атомно-абсорбционного спектрометра iCE 3300 ААС с электротермической (графитовой) печью атомизацией (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). Калибровочные растворы готовили из исходного раствора массой 1 г/л (стандартный раствор ААС; Merck, DE). Более подробное описание анализа можно найти в работе Швецовоy [5]. Контроль качества проводился с использованием сертифицированных стандартных образцов NIST – SRM 1570a (листья шпината) и SRM 1575a (сосновые иглы).

Расчеты

Были вычислены коэффициенты биологического поглощения (K_b) различных элементов – это отношение содержания элемента в золе растения к содержанию этого же элемента в почвах или горных породах [6]. Этот коэффициент позволяет определить кумулятивные способности растений и оценить уровни накопления тех или иных элементов.

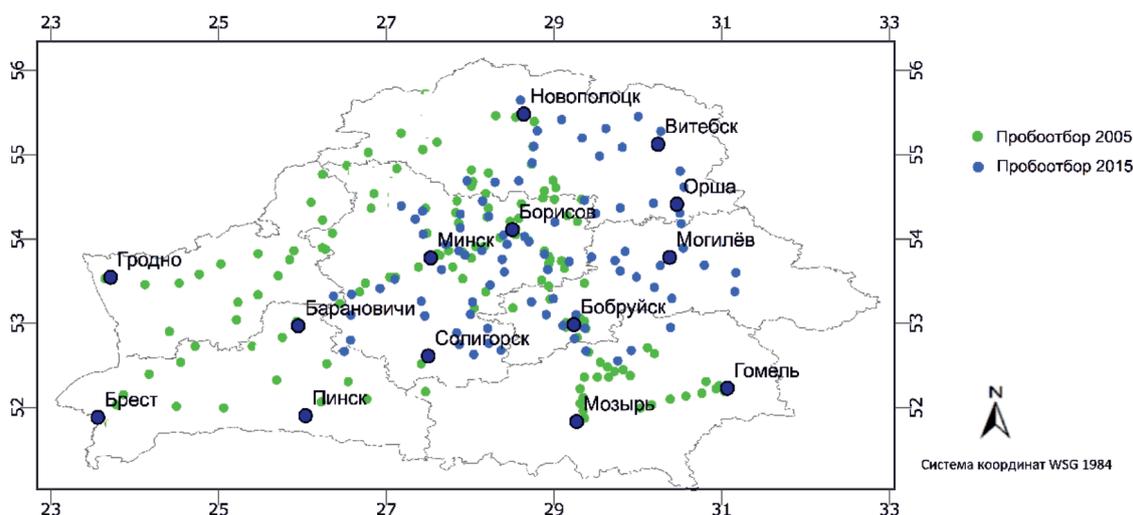


Рис. 1. Схема пробоотбора мхов-биоиндикаторов в 2005 и 2015 гг.

Таблица 1

Критерии оценки загрязнения по разным показателям [12]

Уровень загрязнения	Химические элементы	
	CF	Кз
Минимальный (возможное загрязнение)	1–2	<8
Низкий (слабый)	2–3,5	8–16
Средний (умеренный)	3,5–8	16–32
Высокий (сильный)	8–27	32–128
Очень высокий (чрезвычайно сильный)	>27	>128

Для оценки геоэкологического состояния территории рассчитывались коэффициенты загрязнения (CF – contamination factor) рассматриваемых элементов для наземных мхов [7], в русскоязычной литературе аналогичный по расчетам показатель используется для оценки содержания элементов в почвах и называется коэффициентом концентрации:

$$CF = C_{эл} / C_{фон} \quad (1)$$

где $C_{эл}$ – концентрация элемента, а $C_{фон}$ – фоновая концентрация соответствующего элемента. Значение фоновых концентраций элементов рассчитывалось как среднее значение по выборке за исключением минимально аномальных значений [8].

Коэффициент загрязнения рассчитывался для каждого элемента. Полученные данные позволяют определить уровни загрязнения территории каждым элементом, начиная от нетронутых, заканчивая сильно загрязненными (табл. 1).

Для каждой точки пробоотбора были рассчитаны суммарные показатели загрязнения воздуха (K_3) экологически опасными химическими элементами, относящимися к нескольким классам опасности: чрезвычайно опасные – 1 класс (Pb, Cd, Se, Ba), умеренно опасные – 2 класс (Cu, Ni, Co, Sb, Br, As, Mn, V, Fe) и малоопасные – 3 класс опасности (W, Sr, Zn) [9]. Расчеты производились по модифицированной формуле, взятой в работах [10; 11], и с более строгими критериями [12]. Показатели (K_3) были рассчитаны по всем вместе взятым экологически опасным элементам по формуле

$$K_3 = \sum CF - (n - 1), \quad (2)$$

где n – количество элементов, коэффициенты концентраций которых суммируются. При этом в расчетах участвовали CF только тех элементов, для которых факт превышения фонового содержания установлен статистически надежно. Это были значения CF, которые превышали минимально

аномальное значение содержания элемента во мхах – $CF_{мин}$.

$$CF_{мин} = \varepsilon_{погр}^{3/\sqrt{n}}, \quad (3)$$

где $\varepsilon_{погр}$ – погрешность опробования и анализа, которая определяется как стандартное отклонение по выборке, умноженное на коэффициент Стьюдента для этого количества вариантов, а n – количество точек пробоотбора.

Результаты исследования и их обсуждение

По коэффициентам биологического поглощения видно, что активнее всего мхи захватывают Br, Cd, Cl, K, Mn, Se, W, Zn (табл. 2). Коэффициенты биологического накопления меньше 10, но больше единицы у Co, Cs, Hf, Pb, Rb, Sb, Sr и др. Большинство элементов этой группы играют важную роль в физиологии растений. Мхи также активно поглощают токсичные As, Se и др. Средний коэффициент биологического накопления для растений, рассчитанный Перельманом, показал, что интенсивное накопление характерно для таких элементов, как P, S, Cl, Br, I, затем идут – Ca, Na, K, Mg, Sr, Zn, B, Se. Средний биологический захват характерен для Mn, F, Ba, Ni, Cu, Ga, Co, Pb, Sn, As, Mo, Hg, Ag, Ra; слабый – для Si, Al, Fe, Rb, V, Cr, Th, Sc, Be, Cs, Ta, U, W, Sb, Cd [6]. Следует отметить, что один и тот же элемент в зависимости от местообитания растения будет иметь разный коэффициент биологического поглощения. Из полученных данных видно, что мхи, как и все растения, активно накапливают биофильные элементы с активной миграцией в водных растворах. При этом малоподвижные элементы, такие как Al, Cr, Hf, La, Sc, Sm, Tb, Th, W, Zn и др., также накапливаются во мхах, что может свидетельствовать об их ветровом пути поступления и показывает особенности строения мхов, которые позволяют задерживать пылевые частицы.

Таблица 2

Интенсивность биологического поглощения металлов (Кб) *P. Shreberi*

Группа	Ср. зн. Кб	Группа	Металлы и металлоиды
1	К ср < 0,1	Малого биологического захвата	—
	К ср < 1	Среднего биологического захвата	Na, Al, Sc, V, Fe, Ce, Sm, Th, U
2	К ср > 1	Интенсивного биологического накопления	Mg, Ca, Cr, Co, Cu, As, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Hf, Pb
	К ср > 10	Сильного биологического накопления	Cl, K, Mn, Zn, Se, Br, W, Cd

Таблица 3

Расчетные фоновые значения для некоторых элементов (мг/кг)

Элементы	As	Cd	Cr	Co	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	V	Zn
Фоновые значения, мг/кг	0,16	0,30	2,1	0,260	5,0	436	375	1,02	2,67	0,10	1,26	35

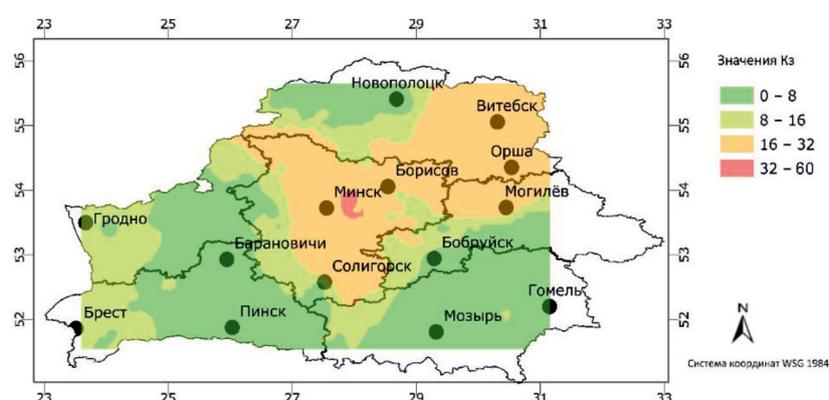


Рис. 2. Географическое распределение показателя Кз в исследованиях 2005 г.

По результатам фоновых значений видно (табл. 3), что для большинства элементов, за исключением хрома, железа, свинца и сурьмы, значения совпадают в пределах погрешности с медианными значениями по Норвегии [3], которая в ряде работ по биомониторингу рассматривается как фоновая территория.

Результаты исследования по загрязнению страны отдельными элементами (CF) показали, что присутствует слабое загрязнение территории никелем. Официально основными источниками выбросов никеля являются предприятия нефтепереработки (более 60% выбросов), стационарное сжигание топлива, производство тепла и электричества, а также передвижные источники [4]. Возможное загрязнение наблюдается для 18 элементов как природного, так и антропогенного происхождения (Mg, K, Cl, Sc, Mn, Cu, As, Se, Br, Rb, Sr, Ba, La, Sm, Hf, Pb); по оставшимся элементам (Na, Al, Ca, V, Fe, Co, Zn, Cd, Sb, Cs, W, Th, U) загрязнение отсутствует (CF < 1).

Использование интегрированного коэффициента загрязнения (Кз) помогло ранжировать территорию по уровням загрязнения, для отслеживания временной динамики показатель рассчитывался для площадок пробоотбора 2005 и 2015 гг. Анализ территории с помощью суммарного показателя загрязнения воздуха (Кз) показал, что в 2005 г. в Минской области высокий уровень загрязнения наблюдался только в четырех местах пробоотбора (7% от всех исследуемых мест области). Эти площадки располагаются рядом с городами Борисов и Минск. Умеренный или средний уровень загрязнения характерен для 31% мест пробоотбора. На 15% территории наблюдается низкий уровень загрязнения, а 46% исследуемой территории не относится к загрязненной (рис. 2). В 2015 г. ситуация изменилась в лучшую сторону: высоких уровней загрязнения в Минской области не наблюдалось, средний уровень составил всего 8%. Низкий уровень загрязнения определен в 15% всех мест пробоотбора, а в 77% мест загрязнение отсутствует (рис. 3).

В других областях ситуация похожая и не показала значительных изменений с течением времени. Так, в Витебской области 84% исследуемой территории относится к чистой, 11% – территория с низким уровнем загрязнения и лишь 5% территории со средним уровнем загрязнения. В Могилевской области 5% территории относится к среднему уровню загрязнения, 19% – низкий уровень загрязнения и в 76% – загрязнение отсутствует. В Гродненской области наблюдается схожая ситуация, и на 5% территории выявлен средний уровень загрязнения, на 17% – низкий и 78% – это чистая территория. В Гомельской области средний уровень загрязнения наблюдается только в 3% исследуемых площадок, 9% – это территория с низким уровнем, чистая территория составляет 88%. В Брестской области в отличие от других областей нет среднего уровня загрязнения, и там 26% мест – это территория с низким уровнем загрязнения, а 78% – относится к чистой территории.

Согласно официальным данным максимальные выбросы загрязняющих веществ по Беларуси фиксируются на территории Минской области, что ожидаемо, так как там находится 51% от всех предприятий страны. В Брестской, Гомельской, Гродненской, Могилевской и Витебской областях находится 11, 10, 10, 8 и 9% всей промышленности соответственно. Динамика выбросов загрязняющих веществ в атмосферу показывает, что в 2009 г. по всем областям наблюдались максимальные выбросы за исследуемый период (рис. 4). А в 2013 и 2014 гг. выбросы снизились по сравнению с 2005 г.

Исследования белорусских коллег показали [13, 14], что уровень антропогенной нагрузки на среду жизнедеятельности населения Республики Беларусь с 2001 по 2015 г. имеет тенденцию к снижению. Высокие уровни антропогенной нагрузки наблюдаются в Минской и Гомельской областях, повышенные – в Витебской и Брестской, а средние – в Гродненской и Могилевской областях.

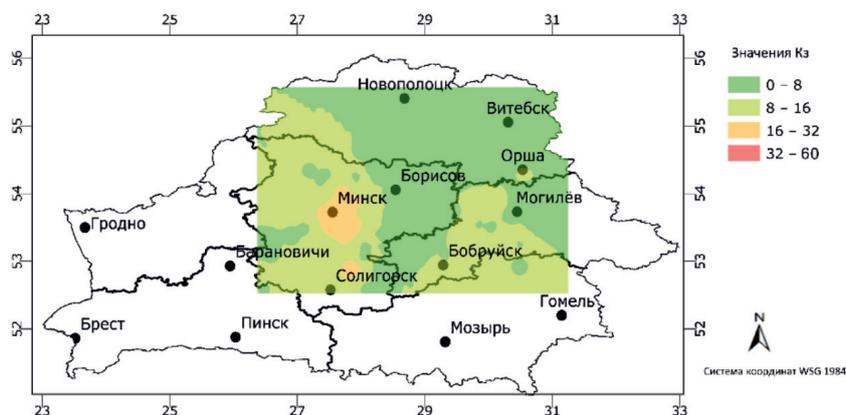


Рис. 3. Географическое распределение показателя K_z в исследованиях 2015 г.

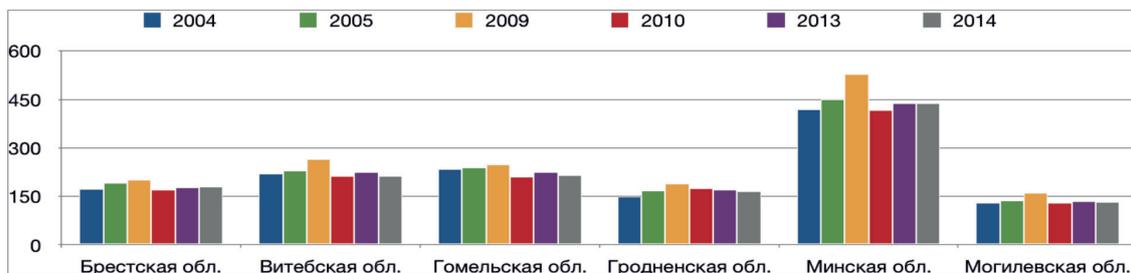


Рис. 4. Валовые выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных и мобильных источников на территории Беларуси в разные годы (тыс. т)

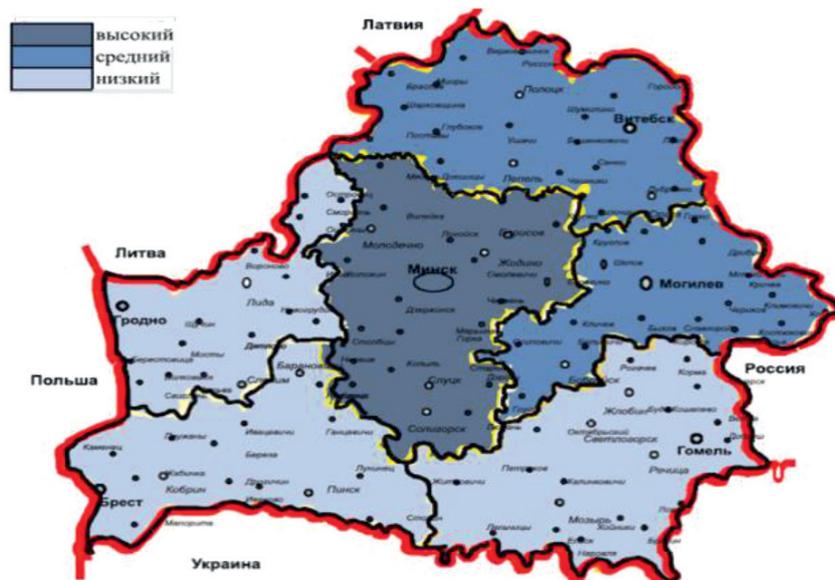


Рис. 5. Среднегодовой уровень антропогенной нагрузки (высокий, средний, низкий) на атмосферный воздух по областям Республики Беларусь в период с 2004 по 2010 г. [15]

По другим данным в период с 2004 по 2010 г. наблюдалось усиление антропогенной нагрузки на атмосферный воздух по сравнению с 1990-ми гг. Согласно расчетам Матковской [15] уровни антропогенной нагрузки на атмосферный воздух отличаются по разным периодам времени для каждой из областей Республики Беларусь. Наиболее высокому воздействию подвергается Минская область и г. Минск. А в группу с самым низким уровнем негативного воздействия на атмосферный воздух попадают Гомельская, Брестская и Гродненская области. Распределение уровней антропогенной нагрузки на атмосферный воздух по разным областям представлено на рис. 5. Данные за 2015 г. отсутствуют.

Заключение

По значениям коэффициента биологического накопления хорошо видно, что исследуемые мхи интенсивно накапливают экологически опасные элементы, загрязняющие атмосферный воздух. Из тридцати определенных элементов присутствует слабое загрязнение территории только никелем. Данные, полученные с использованием мхов-биоиндикаторов, отражают тенденции по снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Оценка уровней загрязнения областей страны тяжелыми металлами совпадает со стандартными расчетами оценок

антропогенного загрязнения атмосферного воздуха для Минской и Брестской областей. Для остальных областей уровни загрязнения отличаются, так как в стандартной оценке учитываются суммарные выбросы вредных веществ (твердые частицы, диоксид серы, диоксид и оксид азота, углеводороды, неметановые летучие органические соединения и тяжелые металлы). В каждой административной области территория со средним уровнем загрязнения составляет от 5–8% исследуемой территории, низкий уровень наблюдается на 15–26% исследуемой территории. Оставшаяся часть страны относится к незагрязненным областям. За десять лет наблюдается снижение загрязнения территории Минской области тяжелыми металлами в два раза.

Список литературы / References

1. Koivurova T., Kankaanpää P., Stepien A. Innovative Environmental Protection: Lessons from the Arctic. *Journal of Environmental Law*. 2015. Vol. 27. Issue 2. P. 285–311. DOI: 10.1093/jel/equ037.
2. Frontasyeva M.V., Harmens H., Uzhinskiy A., Chaligava O. and participants of the moss survey (2020). Mosses as biomonitors of air pollution: 2015/2016 survey on heavy metals, nitrogen and POPs in Europe and beyond. Report of the ICP Vegetation Moss Survey Coordination Centre, Dubna: JINR, 2020. 136 p.
3. Aleksiayenak Y., Frontasyeva M. A ten-year biomonitoring study of atmospheric deposition of trace elements at the territory of the Republic of Belarus. *Ecological Chemistry and Engineering S*. 2019. Vol. 26. № 3. P. 455–464. DOI: 10.1515/eces-2019-0034.
4. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь. Статистический сборник. Минск, 2015. 255 с.

Environmental protection in the Republic of Belarus. Statistical compilation. Minsk, 2015. 255 p. (in Russian).

5. Швецова М.С., Каманина И.З., Мададзада А.И., Нехорошков П.С., Юшин Н.С., Зиньковская И.И., Павлов С.С., Фронтасьева М.В. Определение следовых элементов (Cu, Sb, Pb, V, Zn) на территории рекреационных зон Москвы с помощью техники «Мох в мешках» // Успехи современного естествознания. 2020. № 8. С. 74–82. DOI: 10.17513/use.37461.

Shvetsova M.S., Kamanina I.Z., Madadzada A.I., Nekhoroshkov P.S., Yushin N.S., Zinkovskaya I.I., Pavlov S.S., Frontaseva M.V. Determination of trace elements (Cu, Sb, Pb, V, Zn) in the territory of recreation zones of Moscow using the «Moss bags» technique // *Advances in current natural sciences*. 2020. № 8. P. 74–82. DOI: 10.17513/use.37461.

6. Добровольский В.В. Основы биогеохимии: учебник. М.: Центр Академия, 2003. 400 с.

Dobrovolsky V.V. Basics of biogeochemistry. M.: Centre Academy, 2003. 400 p. (in Russian).

7. Fernandez J.A., Carballeira A. Evaluation of contamination, by different elements, in terrestrial mosses. Archives of environmental contamination and toxicology. 2001. Vol. 40. № 4. P. 461–468. DOI: 10.1007/s002440010198.

8. Опекунова М.Г., Опекунов А.У., Кукешкин С.У., Ганул А.Г. Background Contents of Heavy Metals in Soils and Bottom Sediments in the North of Western Siberia // *Eurasian Soil Sc.* 2019. Vol. 52. P. 380–395. DOI: 10.1134/S106422931902011X.

9. Характеристики загрязняющих веществ из раздела «I для атмосферного воздуха» «Перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды». Справочник. ФГБУ УралНИИ «Экология», 2017. 284 с.

Characteristics of pollutants from section «I. For atmospheric air» from «The list of pollutants in relation to which measures of state regulation in the field of environmental protection are applied», Handbook. FGBU UralNII «Ecology», 2017. 284 p. (in Russian).

10. Королева Ю.В. Биоиндикация атмосферных выпадений тяжелых металлов в Калининградской области: по мхам: дис. ... канд. геогр. наук: специальность 25.00.36 Геоэкология. Калининград, 2004. 157 с.

Koroleva Yu.V. Bioindication of heavy metals atmospheric deposition in the Kaliningrad region: by mosses: dissertation cand. ... geogr. nauk: speciality 25.00.36 Geocology. Kaliningrad, 2004. 157 p. (in Russian).

11. Чертко Н.К. Геохимия ландшафта. Минск: БГУ, 2011. 303 с.

Chertko N.K. Geochemistry of the landscapes. Minsk: BSU, 2011. 303 p. (in Russian).

12. Геохимия. Сост.: Марченко А.Г., Смоленский В.В. Санкт-Петербургский горный ин-т, СПб., 2006. 56 с.

Geochemistry. Content by: Marchenko A.G., Smolenskiy V.V. S-Petersburgh gornyi institute. SPb., 2006. 56 p. (in Russian).

13. Антипова О.С. Геоэкологическая оценка среды жизнедеятельности населения Беларуси: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: специальность 25.03.13 Геоэкология. Минск, 2018. 23 с.

Antipova O.S. Geocological assessment of the living environment of the population of Belarus: Avtoref. dis. ... cand. geogr. nauk. speciality 25.03.13 Geocology. Minsk, 2018. 23 p. (in Russian).

14. Витченко А.Н., Антипова О.С. Геоэкологическая оценка среды жизнедеятельности населения Беларуси // *Вестник Белорус. гос. ун-та. Серия 2: Химия, Биология, География*. 2016. № 3. С. 138–143.

Vitchenko A.N., Antipova O.S. Geocological assessment of the living environment of the population of Belarus // *Journal of the Belarusian State University. Issue 2: Chemistry Biology Geography*. 2016. № 3. P. 138–143 (in Russian).

15. Матковская О.Г. Типологизации территорий по уровню антропогенной нагрузки на атмосферный воздух // *Экономика и управление*. 2012. № 2. С. 79–86.

Matkovskaya O.G. Classification of territories by the level of anthropogenic load on a free air // *Economics and Management*. 2012. № 2. P. 79–86 (in Russian).

УДК 553.48:549.32/.33

ЗОЛОТОНОСНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ПЛЯЖА ЮГО-ЗАПАДНОЙ КАМЧАТКИ**Кунгурова В.Е., Газзаева Е.М.***Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: kunwe@yandex.ru, e_gassaeva@mail.ru*

Представлены результаты исследований отложений пляжа, содержащих золото, на участке между устьями рек Большая и Митога юго-западного побережья Камчатки. Уточнены имеющиеся и получены новые данные по концентрациям полезного компонента в отложениях пляжа в зависимости от литодинамической активности берегов. Дана характеристика общей золотоносности пляжевых титаномагнетитовых отложений. С течением времени изменяются параметры шлиховых ореолов золота, в том числе их контуры, содержания металла, но места их расположения на участках верхней береговой зоны, в отложениях пляжа, остаются постоянными. Это свидетельствует о непрерывном поступлении золотоносного материала из промежуточных коллекторов, представленных образованиями различного возраста и генезиса, за счет перемыва которых они и образуются. Несмотря на относительно высокую обогащенность золотом пляжей шириной до 30 м, наиболее благоприятными для обнаружения значительных ресурсов золота в прибрежно-морских отложениях являются приклифовые зоны абразионно-аккумулятивных пляжей шириной 30–70 м, где в ряде проб как в поверхностном слое отложений, так и в основании разреза отмечается содержание Au до нескольких г/м³. На смежных с золотоносным пляжем участках подводного склона также встречены повышенные концентрации золота (от 50 мг/м³ до первых г/м³). Помимо исследованного участка пляжа, шлиховой ореол золота прослеживается прерывистой полосой вдоль берега на протяжении более 250 км на север, что свидетельствует о значительной перспективе выявления промышленных россыпей золота. Дальнейшие исследования могут быть увенчаны обнаружением россыпей золота как на пляже и мелководном шельфе, так и в пределах континентальной части Западной Камчатки.

Ключевые слова: юго-западная Камчатка, золотоносность, прибрежно-морские россыпи, отложения пляжа**GOLD MINERALIZATION DEPOSITS OF THE BEACH OF SOUTH-WESTERN KAMCHATKA****Kngurova V.Ye., Gazzaeva E.M.***Research Geotechnological Center, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, e-mail: kunwe@yandex.ru, e_gassaeva@mail.ru*

The results of studies of gold-bearing beach deposits on the plot between the Bolshaya and Mitoga rivers mouths of the Kamchatka South-West coast are presented. The existing and new data on the useful component concentrations in the beach sediments depending on the shores lithodynamic activity are clarified. The characteristic of the beach formations total gold mineralization is given. Over time, the parameters of the gold halos – their contours and metal content – are changed, but their locations on the upper coastal zone in the beach sediments, are constant. This indicates the gold mineralization material continuous flow from intermediate reservoirs represented by formations of various ages and genesis. Despite relatively high gold enrichment of beaches up to 30 m wide, the most favorable for the discovery of significant gold resources are near-cliff zones of abrasive-accumulative beaches (30-70 m wide) where a number of samples both in the surface layer of sediments and at the base of the section contains Au (up to several g/m³). Also increased concentrations of gold are found in the areas of the underwater slope adjacent to the gold-bearing beach (from 50 mg/m³ to the 1 g/m³). Besides the investigated section of the beach, a gold halo lines along the coast for more than 250 km to the north, which indicates a significant prospect of identifying industrial gold placers. Further research can result in the detection of industrial gold placers not only in the beach and shallow shelf, but also within the continental part of Western Kamchatka.

Keywords: South-West Kamchatka gold mineralization, coastal-marine placers, beach deposits

Практически во всех поясах и зонах побережий и мелководного шельфа мирового океана проявлена россыпная золотоносность [1–3]. Однако промышленные скопления металла ограничены несколькими районами с характерными геолого-историческими обстановками. На территории России во второй половине XX в. в результате проведенных научно-исследовательских и геолого-разведочных работ были выделены районы с перспективной золотоносностью прибрежно-морских россыпей – это Южное Приморье, Западное Приохотье, Чукотка [4, 5]. Недостаточно изученным остается западное побережье полуострова

Камчатка, представляющее собой специфическую провинцию небольших современных россыпей золота прибрежно-морского генезиса.

Исследования направлены на изучение золотоносных образований верхней береговой зоны (пляжа) юго-западной части Камчатки с целью выявления перспектив обнаружения промышленно значимых прибрежно-морских россыпей золота. Современные морские пляжевые образования представлены чередующимися прослоями разнозернистых песков, гравия, гальки. От мыса Левашова и далее на север в отложениях пляжа прослеживается ореол рассе-

яния золота общей протяженностью более 250 км, шириной до 40 м [6, 7]. В мелководной зоне шельфа в отложениях подводных террас также выделены золотоносные участки. Золотоносность пляжей находится в прямой зависимости от гидродинамической обстановки. Рельеф береговой зоны имеет довольно сложное строение, хотя береговая линия представляет собой почти прямой отрезок дуги, пологовыпуклый к западу. Границей раздела между береговой и морской частью является гребень, образованный под воздействием волновой абразии на уже сложившиеся пляжи. В районе исследований берег является абразионно-аккумулятивным образованием. Аккумулятивные участки, как правило, зажаты между абразионными, преобладающими в пределах исследуемой береговой линии. Разнообразие пляжей определяется, прежде всего, различной устойчивостью слагающих их отложений к воздействию штормов. Происходит постоянное динамическое взаимодействие с отложениями прибрежной зоны суши и подводного берегового склона.

Материалы и методы исследования

Объектом изучения являются золотоносные отложения пляжа на участке побережья от мыса Левашова до устья реки Митога (рис. 1). Продолжены исследования, проведенные в 1966–1976 гг. сотрудниками Камчатского и Приморского территориальных управлений [6], а в 1998, 2015, 2019 гг. – Научно-исследовательским геотехнологическим центром Дальневосточного отделения Российской академии наук (НИГТЦ ДВО РАН) [7–9]. В 2019 г. были выполнены поисковые маршруты с геоморфологическими наблюдениями, осуществлено шлиховое опробование, уточнены имеющиеся и получены новые данные по концентрациям полезного компонента в отложениях пляжа в зависимости от литодинамической активности берегов.

С целью изучения ореолов золота на современном пляже из поверхностного слоя отложений и по разрезу на глубину до 1,0 м были отобраны и обработаны 45 проб массой от 0,4 до 25 кг, большинство из которых (34 шт.) взяты преимущественно с поверхности пляжа, у основания клифа, где наиболее часто обнаруживаются бросающиеся в глаза поля сине-черного песка в виде полос, а также у основания штормовых валов и вблизи уреза воды. Материал проб в большинстве случаев представляет собой естественный шлик черного цвета, состоящий из тяжелых

минералов. Помимо золота, здесь присутствуют значительные количества титаномагнетита, ильменита, граната.

Проведены гранулометрический, минералогический анализы. Изучалась фракция 0,1–0,5 мм (наиболее продуктивная с точки зрения золотоносности), выделенная в процессе гранулометрического анализа проб, которая затем разделялась на фракции по магнитным свойствам. С использованием микроскопа МБС-10 отобрано золото, подсчитано его количество (в мг/м³) относительно изначально опробуемого материала. Полный минералогический анализ проб проведен на рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV методом рентгеновской спектроскопии [10]. Съемка дифрактограммы порошка проб проводилась с использованием D/tex детектора в диапазоне углов 2Θ 10–100 град со скоростью 1,0 град/мин. Идентификация кристаллических фаз в пробе проведена по полученным параметрам элементарных ячеек, межплоскостных расстояний и относительным интенсивностям соответствующих линий на рентгенограммах.

Проба золота определена атомно-абсорбционным анализом, элементы-примеси в золоте определены полуколичественным спектральным анализом методом испарения из канала электрода. Чувствительность анализа составляет (в $n \times 10^{-4}\%$): Pb – 5, Ag – 100, Cu – 5, Zn – 10, Co – 0,5, Hg – 1000, Fe – 0,01.

Результаты исследований и их обсуждение

Современные пляжевые отложения слагают полосу шириной 20–120 м, узкой частью примыкающую к береговому обрыву (высотой до 20 м, периодически подвергающемуся абразии) и расширяющуюся в местах, где пляжи в виде берегового бара надвинуты на низменные прибрежные участки суши (на поверхность первой морской террасы и лагун). На пляже повсеместно развиты естественные ореолы гранат-магнетитового шлиха. Их относительно высокая концентрация не ограничивалась тонким (до 0,1 м) поверхностным слоем, а распространялась в некоторых участках на глубину до 1 м в виде маломощных слоев по разрезу. Поперечный профиль пляжа асимметричен. Материал, слагающий пляжи, галечно-гравийно-песчаный, тонкослоистый, с примесью детрита ракуши. В целом по разрезу выделяются линзы и слои, сложенные какой-либо одной преобладающей фракцией. Характерны хорошая сортировка, окатанность и отмытость материала.

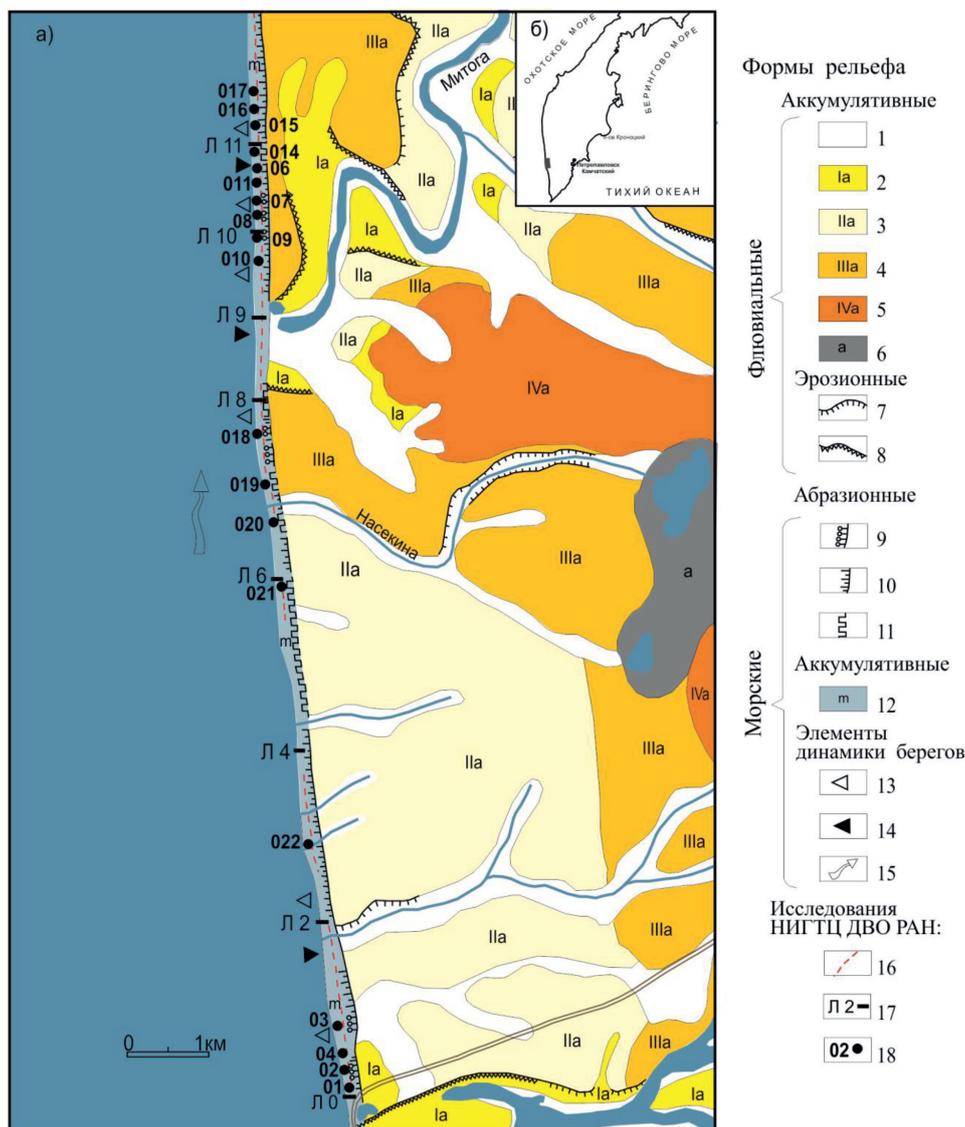


Рис. 1. Схематическая геолого-геоморфологическая схема района исследований (а) (с использованием в качестве основы материалов [6]), обзорная карта (б)

Условные обозначения: 1 – уровень высокой поймы; 2 – уровень 1-й надпойменной террасы высотой 3–6 м; эрозионно-аккумулятивные уровни: 3 – 2-й надпойменной террасы высотой 12–14 м, 4 – 3-й надпойменной террасы высотой 20–25 м, 5 – 4-й надпойменной террасы высотой 30–36 м; 6 – нерасчлененный комплекс древнечетвертичных аллювиальных террас высотой до 60 м; 7 – деятельный эрозионный уступ, 8 – отмерший, 9 – полуактивный клиф, подвергающийся абразии во время сизигийных приливов, 10 – полуактивный клиф, подвергающийся абразии только во время штормов, 11 – полуактивный клиф, имеющий узкую полосу марша и подвергающийся абразии только во время штормов; 12 – аккумулятивные формы современной береговой зоны; 13 – поступление обломочного материала на береговой подводный склон за счет абразии; 14 – поступление обломочного материала с подводного склона на верхнюю зону пляжа; 15 – предполагаемое направление движения вдольберегового потока наносов; 16 – участки повышенной концентрации естественного гранат-магнетитового шлиха; 17 – линии, по которым опробованы отложения пляжа в 1998 и 2015 гг.; 18 – точки наблюдений и отбора проб в 2019 г.

В пределах исследуемого участка побережья от мыса Левашова до устья реки Митога выделяются пляжи неполного профиля на участках развития абразивных бе-

регов (рис. 2, 3а, б, в) и полного (рис. 3г), где преобладают процессы аккумуляции и развиты приустьевые косы, пересыпи, береговые бары.

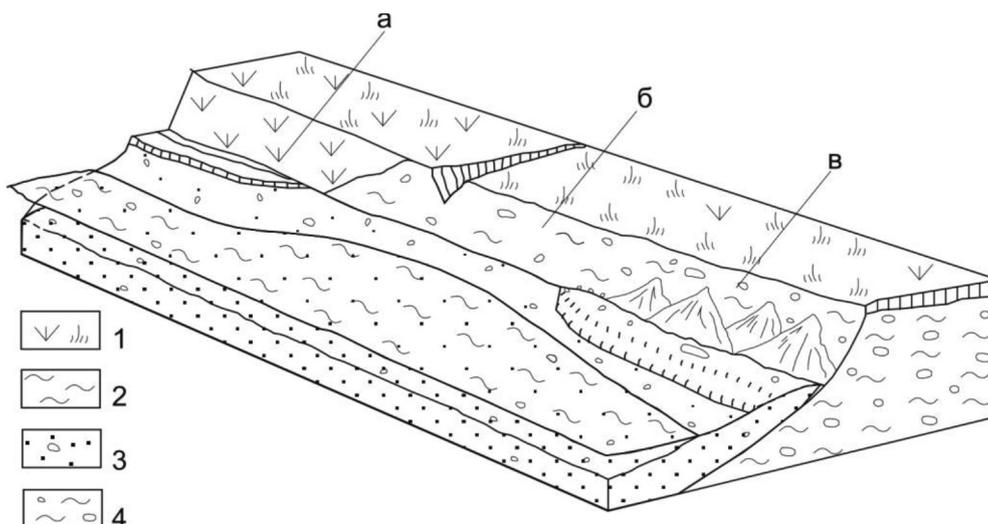


Рис. 2. Схематическая зарисовка абразионных берегов с пляжами неполного профиля: с маршевыми зонами, заросшими растительностью, ранее абрацированный, разрушается лишь во время очень сильных штормов, ширина пляжа 50–70 м (а); абрацируемый морем во время действия как штормов, так и приливов, ширина пляжа 20–30 м (б); с эпизодической абразией во время штормов, ширина пляжа 30–50 м

Условные обозначения: 1 – растительный покров, 2 – глинистые образования, 3 – песчано-галечные отложения, 4 – гравийно-галечные образования с глиной

В целом по направлению от моря к береговым обрывам степень сортировки отложений на этих пляжах возрастает, что обусловлено сменой гидродинамических условий их накопления. Во фронтальной части пляжа они представлены крупнопесчано-гравийно-галечным материалом, в тыловой приклифовой зоне – средне-мелкопесчанистыми образованиями.

Пляжи неполного профиля – очень динамичные образования (рис. 3а, б, в). К основанию клифа прислонен наложенный на бенч пляж. Клиф крутизной 40–80° подвергается периодической абразии во время приливов и штормов. Здесь широко развиты обвально-осыпные процессы, приводящие к нарушению устойчивости склона и обрушению массы рыхлой породы на пляж с ее последующим размывом. Затем вследствие грануло-минералогической дифференциации формируются естественные концентрации тяжелых минералов, а легкие фракции выносятся на подводный береговой склон. Условия россыпеобразования на пляже находятся в прямой зависимости от гидродинамической обстановки и объема золотоносного переработанного материала. Мощность отложений и содержание тяжелых минералов, в том числе золота, колеблются в широких пределах.

По литодинамической активности выделены пляжи неполного профиля нескольких типов [6–8].

Пляжи шириной до 30 м, мощностью до 1,5 м, его отложения подвергнуты наиболее существенной волновой переработке, испытывают дефицит наносов. Они встречаются в т.н. 02, 03, 07, 09, 018 (рис. 3а). По сравнению с соседними участками абразионного берега здесь отмечается относительная обогащенность пляжевых отложений тяжелыми минералами. Визуально это видно в наличии ярко выраженных синевато-черных ореолов естественного гранат-магнетитового шлиха, которые формируются (рис. 4) у основания клифа (ширина 2–6 м, длина струй 130–150 м, мощность от 1 до 6 см, содержание золота колеблется от 115 мг/м³ до 420 мг/м³ (пр. 09/2, рис. 1, 3)). В образованиях пляжа средний размер минералов тяжелой фракции составляет 0,14 мм. По результатам исследований, проведенных НИГТЦ ДВО РАН в 1998 и 2015 гг., в отложениях расположенных рядом причлененных пляжей (в горных выработках по линиям Л-0, Л-10, рис. 1) золото содержится в количестве 202 мг/м³ и 1050 мг/м³ соответственно, а среднее содержание золота по результатам поисково-разведочных работ 1974–1978 гг. [6] составляет 289 мг/м³.

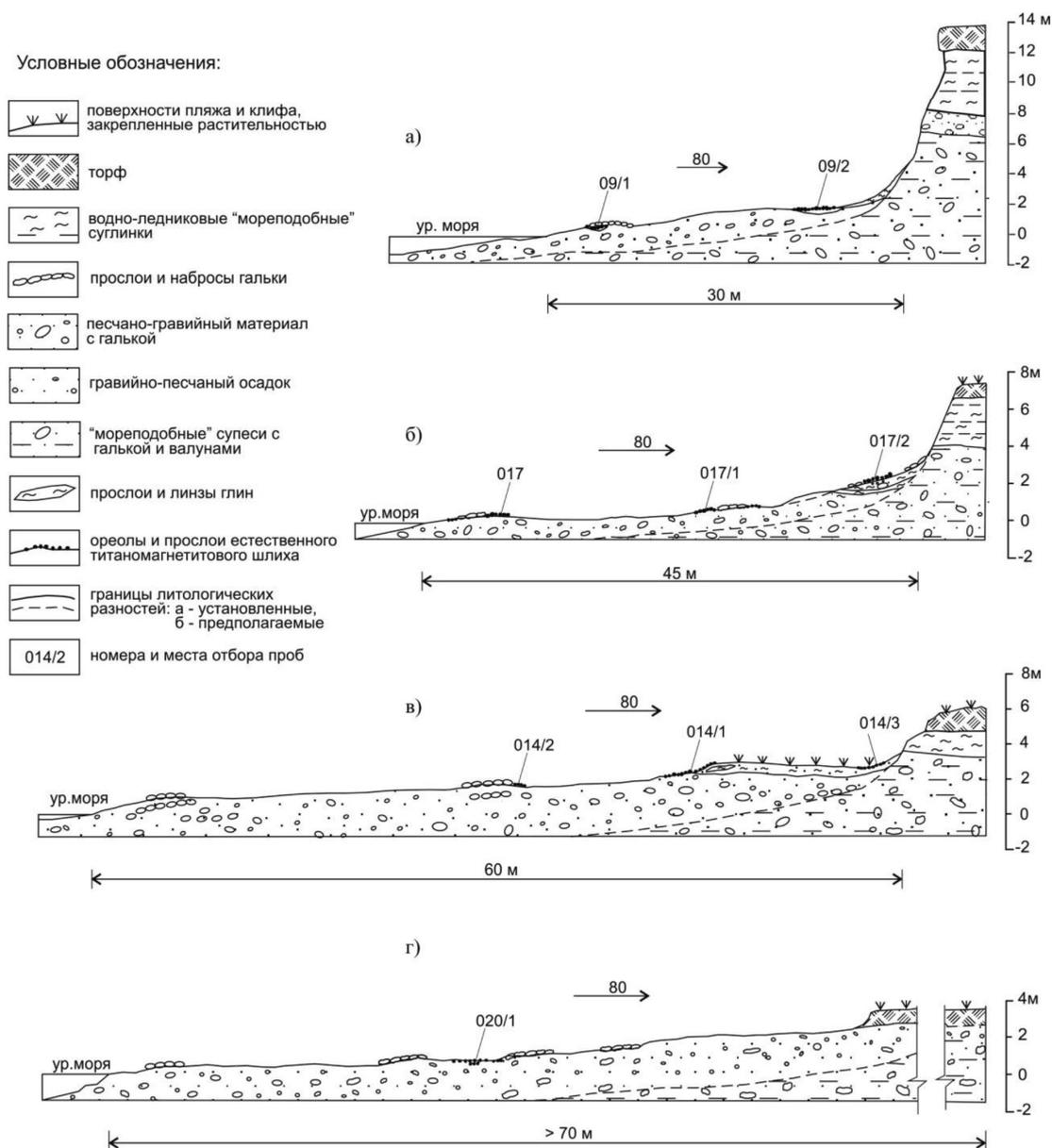


Рис. 3. Типичные схематические геологические разрезы пляжей неполного профиля: приклоненные (а), прислоненные (б), с маршевыми зонами (в); и полного профиля (г)

При определенных благоприятных условиях в тыловой зоне могут сформироваться серии прослоев естественного шлиха, что наблюдалось нами в т.н. 03. Самый нижний прослой шлиха образовался, вероятно, при сильном волнении, когда пляжевые отложения были оттянуты на подводный склон, а затем абрадированы бенч и клиф, из золотоносного материала которых при ослаблении волнения был сформирован продуктивный прослой на глубине 30 см, мощностью 1–2 см с содержанием 150 мг/м³. По данным проведенных ранее поисковых работ [6]

в аналогичных геоморфологических условиях, севернее в 100 м от т.н. 017, у основании клифа, в шурфе глубиной до 1,0 м были опробованы 2 прослоя естественного шлиха мощностью до 5 см, которые содержали 2095 мг/м³ и 1525 мг/м³ золота.

При сильном волнении, когда зона абразии включает клиф, бенч и выходы континентальных отложений подводного склона, возможно формирование золотоносного естественного шлиха, залегающего на бенче и в основании клифа. Волновая переработка отложений на таких узких абразионных

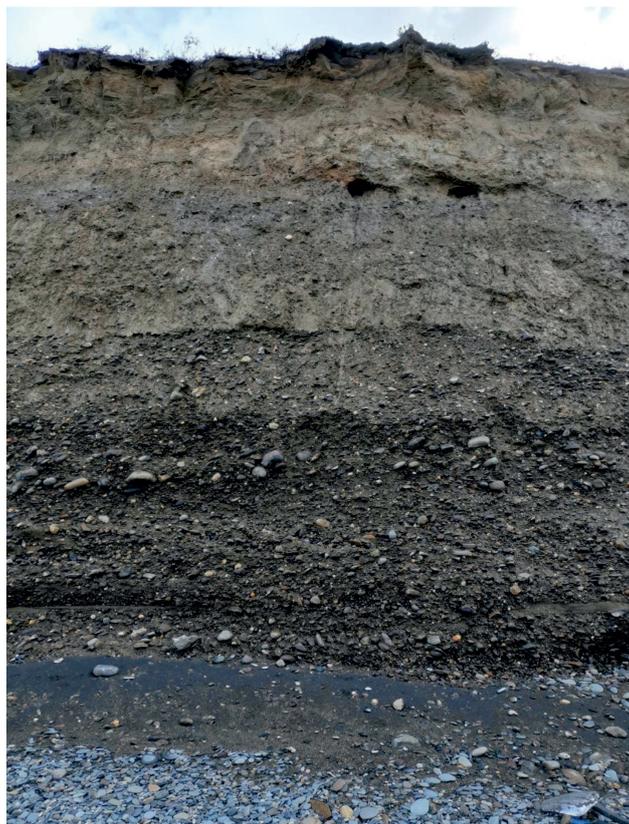


Рис. 4. Золотоносный гранат-магнетитовый естественный шлик (т.н. 03) у основания берегового обрыва. Пляж шириной до 30 м

пляжах идет очень интенсивно, их относительная обогащенность золотом высокая. Но формирование промышленных россыпей вряд ли возможно в связи с размываемостью их штормами. В период 1973–1977 гг. [6] были проведены наблюдения за разрушением такого типа пляжей на юго-западной Камчатке. Скорость отступления берега за год составила от 0,85 до 6,6 м.

Пляжи шириной 30–50 м занимают значительную по протяженности часть берега, имеют меньшую вогнутость тыловой зоны; их поверхность осложнена штормовыми валами высотой 0,3–0,7 м. Прослежены в т.н. 05, 06, 010, 013, 016, 017 (рис. 5, 6, рис. 3б).

Пляжи меньше подвержены волновой переработке, в тыловой части менее вогнуты, состоят из небольших участков намыва и размыва (выпуклых и вогнутых). Скорость отступления берега составляет в среднем 0,35 м/год [6]. В поперечном профиле пляжа в его поверхностном слое наблюдается до трех зон естественного шлика. Все ореолы концентраций тяжелых минералов относятся к фракции мелкозернистых песков. В местах, где происходит

размыв, отмечается наиболее интенсивное шликование пляжевых наносов. К этим участкам дефицита наносов и приурочены повышенные содержания золота в каждой из зон концентраций естественного шлика: вблизи уреза воды отмечены вытянутые «язычки» длиной 10–50 см, шириной 2–5 см, содержание золота от 5 мг/м³ до 15 мг/м³; у основания штормового вала – полосы, пятна длиной 1–5 м, шириной 0,3–1 м, содержание золота составляет от 20–50 мг/м³ до 110 мг/м³ (т.н. 013); у клифа встречается наиболее обогащенная зона – прерывистые полосы средней шириной 2–3 м, длиной в десятки и сотни метров с высокой концентрацией в поверхностном слое – 1310 мг/м³ (пр. 017/2, рис. 3б). В аналогичной геоморфологической обстановке, у клифа, в поверхностном слое ранее [6] рядом с т.н. 016 были обнаружены более высокие концентрации благородного металла – 2695 мг/м³, а в подошве пляжа на поверхности бенча – 421 мг/м³. Проба, отобранная нами из отложений пляжа такого же типа по линии Л-11 (рис. 1), содержала 805 мг/м³ золота.



Рис. 5. Естественный гранат-магнетитовый иллик на глинистой «подложке» у основания клифа на пляже шириной 30–50 м (т.н. 017)



Рис. 6. На поверхности пляжа – гранат-магнетитовый естественный иллик мощностью до 10 см на песчано-глинистой основе; в нижней части разреза – прослой естественного иллика с изменяющейся мощностью от 0,5 до 2 см (т.н. 017)

Пляжи шириной 50–70 м подвержены наименьшей волновой переработке, испытывают гидродинамическое воздействие лишь при очень сильных штормах. Клифы, к которым они прислонены, имеют крутизну 30–40°, абрадированы лишь у их оснований. Склон нередко бывает заросшим. Обратный

прибойный поток слабый. Скорость отступления бровки клифа – 0,03 м за 2 года [6]. Это пляжи абразионно-аккумулятивного типа (т.н. 014, 015, 019, 022, рис. 7, рис. 3в). Шлиховые ореолы на поверхности пляжа выражены слабее, концентрация тяжелых минералов в общей массе отложений

меньше, содержание золота – до 180 мг/м^3 (пр. 014/2). Эти участки нередко осложнены приклифовыми аккумулятивными бермами и перспективны для образования многоярусных россыпей. В тыловой зоне, чаще у основания клифа, прослеживаются по разрезу мощностью 1,0 м захороненные серии слоев (2–7) естественного гранат-магнетитового шлиха мощностью от 1 до 10 см, с содержанием золота от 15 мг/м^3 до 75 мг/м^3 . Наиболее золотоносный пласт встречен на глубине 0,5 м – 1200 мг/м^3 (пр. 014/1, рис. 3в), а по данным проведенных ранее поисковых работ [6] на пляжах такого типа – 3240 мг/м^3 .



Рис. 7. Типичный абразионно-аккумулятивный пляж шириной 50–70 м (т.н. 014)

В тыловой зоне таких пляжей нередко находится узкая (до 10 м) закрепленная растительностью маршевая полоса. На поверхности глинистого плаща в пределах марша откладывается струйчатопятнистый ореол гранат-магнетитового шлиха. В толще марша устанавливаются несколько ритмов, состоящих из чередующихся глинистых прослоев, покрытых естественным шлихом, и песчано-гравийных слоев (рис. 8). По нашим данным, в отложениях марша у основания клифа содержание золота колеблется от 20 мг/м^3 до 200 мг/м^3 . Естественно отшлихованный материал, содержащий полезные компоненты, иногда забрасывается штормовой волной на поверхность марша, что наблюдалось в т.н. 019. Мощность его составила 0,1 м, площадь распространения $1,0 \times 0,2 \text{ м}$, содержание золота – 25 мг/м^3 . В т.н. 022 за бровкой низкого (1–1,5 м) торфяного клифа опробован штормовой наброс маломощных (до 0,3 м) пляже-

вых отложений, представляющих собой естественный шлих, плотиком при этом является торфяник. Концентрация золота составила 205 мг/м^3 . Южнее этой точки наблюдения, в 0,9–1 км от нее, ранее [6] были зафиксированы штормовые набросы продуктивного материала (мощностью до 0,5 м) в подобных геоморфологических условиях. Максимальные содержания золота составляли здесь 326 мг/м^3 .



Рис. 8. Разрез пляжа в маршевой зоне, у основания марша, покрытого растительностью. Переслаивание средне-мелкозернистого песка (темное) пироксен-гранат-магнетитового состава, содержащего золото, с песчано-глинистыми отложениями (рыжее) (т.н. 014). Мощность верхнего глинистого слоя – 7 см

Пляжи полного профиля в районе исследования развиты на аккумулятивных участках берега, характеризуются слоистым строением, мощность отложений (по данным бурения, [6]) более 13 м. Их ширина колеблется в пределах 90–120 м. Для них характерны продвинутое в прибрежную низменность бары высотой до 1,5 м. Формирование пляжей связано, в основном, с вдольбереговой миграцией отложений, которые образуются в результате разрушения соседних абразионных участков, на которые они опираются, и подводного берегового склона.

Отобраны пробы из пляжевых отложений в районах приустьевой части реки Насекина (т.н. 020, рис. 3г, рис. 9). Здесь к морю выходит эрозионное понижение с несколько более повышенными абсолютными отметками, чем, например, на аккумулятивных отрезках приустьевых кос рек Большая, Митога. Нижняя часть пляжа приклонена к клифу (высотой до 1,0 м) в торфянике. Клиф подвергается незначительной

абразии. У его основания концентрация золота составила 110 мг/м^3 . За бровкой клифа на торфянике в виде берегового вала встречен штормовой выброс маломощных (0,1–0,2 м) морских отложений. Содержание золота в них – 20 мг/м^3 . Наличие золота может быть объяснено либо присутствием находящегося рядом абразионного берега с повышенными концентрациями золота в его отложениях и их дальнейшим вдольбереговым перемещением, либо размывом золотоносных отложений подводного склона [6]. В целом, в аккумулятивных телах рассматриваемого типа содержание золота колеблется в пределах $10\text{--}40 \text{ мг/м}^3$.



Рис. 9. пляж полного профиля в приустьевой части р. Насекина. «Размазанные» границы шлиховых ореолов (т.н. 020)

Несмотря на то что в отложениях полного профиля содержание золота составляет десятки, реже первые сотни мг/м^3 , из-за больших объемов горной массы запасы полезных компонентов могут быть значительными. Шлиховые ореолы на этих пляжах не имеют четких границ и несут, в первую очередь, первичную информацию о потенциальной золотоносности отложенный подводного склона.

Таким образом, наиболее перспективными для обнаружения промышленных прибрежно-морских россыпей золота является приклифовая зона абразионно-аккумулятивных пляжей шириной 30–70 м, где в ряде проб как в поверхностном слое отложений, так и в основании разреза отмечаются содержания Au до нескольких г/м^3 . Несмотря на относительно высокую обогащенность золотом пляжей шириной до 30 м, перспективы обнаружения значительных скоплений благородного металла в отложе-

ниях пляжа невысоки вследствие размываемости их штормами.

Минеральный состав. Минеральный состав отложений пляжа довольно разнообразен и включает в себя типоморфные минеральные ассоциации магматических, метаморфических, гидротермально-измененных, вулканогенных и изверженных пород. Определен комплекс основных и акцессорных минералов (в легкой и тяжелой фракциях соответственно), слагающих отложения пляжа. Легкая фракция пляжевых отложений представлена кварцем, плагиоклазами, калиевыми полевыми шпатами, слюдисто-глинистыми агрегатами, биотитом, мусковитом, обломками горных пород, присутствует ракушечный детрит.

Содержание тяжелой фракции колеблется от 1,0% до 5,0% (при отсутствии прослоев естественного шлиха в пляжевых отложениях). В материале поверхностных естественных шлихов количество тяжелых минералов резко возрастает, достигая 50–70%, в единичных пробах – 80%. В тяжелой фракции установлены (от общего веса тяжелой фракции): магнетит (40–55%), пироксен (20–25%), ильменит (9–20%), гранат (10–15%), ставролит (2–4%), амфиболы (1–2%), присутствуют золото, эпидот, цоизит, гематит, мартит, лимонит, лейкоксен, дистен, пирит, барит, андалузит, силлиманит, корунд, брукит, циркон, рутил, анатаз, сфен, апатит, единично – шеелит, хромит, арсенопирит, турмалин, флюорит, топаз.

Краткая характеристика наиболее распространенных минералов, которые наряду с золотом могут являться полезными компонентами, приведена ниже.

Золото встречено как в «свободном» состоянии, так и в сростках с безрудными минералами, чаще всего с кварцем, характеризуется слабой степенью сортировки по крупности и окатанности, различается по цвету, форме, характеру поверхности. Цвет его золотисто-желтый, бледно-желтый, серебристо-желтый, желтый с красноватым оттенком. Форма зерен чешуйчатая, лепешковидная, пластинчатая, с изогнутыми краями, скрученная, комковатая, окатанность в основном хорошая (рис. 10). Поверхность слегка шероховатая, мелкоямчатая, иногда покрыта пленкой окислов – гидроксидов железа. Размер частиц колеблется от $<0,07 \text{ мм}$ до $1,5 \text{ мм}$, толщина пластинчатых и таблитчатых выделений колеблется от $0,02$ до $0,15 \text{ мм}$ (среднее $0,056 \text{ мм}$), средний вес – $0,015 \text{ мг}$. Основные параметры кривых распределения золота по крупности

на участке исследований составляют: медиана – 0,30 мм, мода – 0,50 мм, коэффициент асимметрии – 0,60. Проба золота из отложений пляжа колебалась от 800‰ до 950‰. Спектральным анализом в самородном золоте установлены железо (0,1–0,16%), ртуть (0,01–1,0%), медь (0,007–0,014%), мышьяк (0,001–0,01%); марганец, свинец, кобальт, сурьма в количестве тысячных долей процента, теллур, висмут, никель, олово – в десятитысячных.

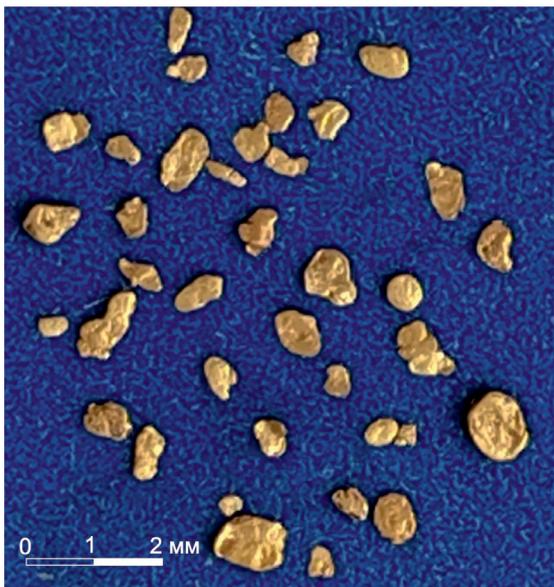


Рис. 10. Золото из отложений пляжа

Магнетит составляет основную часть тяжелой фракции. Это зерна октаэдрической и неправильной формы с шероховатой поверхностью, размером от долей миллиметра до 1,5 мм. В пробах, отобранных с пляжа в пределах гранат-магнетитового естественного шлиха, содержание магнетита колебалось от 10 кг/м³ до 80 кг/м³. По результатам рентгенофазового анализа на порошковом рентгеновском дифрактометре Rigaku Ultima IV минералы группы магнетита (24–61,4%) представлены в основном титаномагнетитом Fe_{2,75}Ti_{0,25}O₄, в незначительном количестве – магнизоферритом (MgFe₂)O₄; встречены кульсонит (ванадиевый магнетит) (Fe,V)₃O₄, франклинит ZnFe₂O₄ и ульвошпинель (Mg, Fe)(Cr, Al, Fe)₂O₄, являющийся крайним членом серии твердых растворов титаномагнетитов – продуктом распада титанистых титаномагнетитов.

Ильменит присутствует повсеместно в виде уплощенных обломков неправиль-

ной формы, угловато-окатанных таблитчатых и ромбоэдрических кристаллов размером от сотых долей до 1 мм. Поверхность их иногда покрыта белесоватыми примазками лейкоксена. По результатам рентгенофазового анализа из минералов группы ильменита идентифицированы ромбоэдрические ильменит (до 7,6%) Fe(TiO₃), гейкилит (до 2,8%) (Mn_{0,5}Mg_{0,5})TiO₃, пирофанит (до 1,1%) Mn(TiO₃).

Гранаты (2,7–13,1%) представлены преимущественно кристаллами ромбододекаэдрической, тетрагон-триоктаэдрической формы, их обломками. Встречено несколько разновидностей, преобладает альмандин (1,7–7,7%): бесцветные, розоватые, буровато-красноватые, единичные медово-желтые и зеленоватые угловато-окатанные, иногда имеют черепитчатую поверхность. По результатам рентгенофазового анализа это альмандин (Ca_{0,24}Mg_{1,12}Mn_{0,04}Fe_{1,59})(Al_{1,99}Cr_{0,01})Si₃O₁₂, пироп (Mg_{0,742}Ca_{0,258})₃Al₂(SiO₄)₃, андрадит Ca₃Fe₂Si₃O₁₂, спессаргин Mn₃Al₂Si₃O₁₂.

Изучение количественного и качественного анализа проб из золотосодержащих осадков пляжа показало, что, помимо золота, в значительных количествах здесь присутствуют титаномагнетит, ильменит, гранаты, которые могут быть использованы в случае выявления промышленных россыпей золота.

Заключение

Исследования на участке побережья между устьями рек Большая и Митога показали, что естественные золотосодержащие гранат-магнетитовые шлихи очень широко распространены на пляже в виде обогащенных слоев (до 7) малой мощности (от 1 до 10 см) как непосредственно на его поверхности, так и по разрезу. Золото присутствует в разных количествах в большинстве проб и распределено в отложениях крайне неравномерно. Там, где содержания высокие, объем пляжного материала, содержащего благородный металл, как правило, небольшой. Наиболее благоприятен для образования пляжевых россыпей мелкозернистый, равномернозернистый состав пляжевых отложений с размером зерен в основном 0,1–0,5 мм. Продуктивные участки прослеживаются с перерывами вдоль всего абразионного берега и приурочены, чаще всего, к основанию клифа, часто представленного водно-ледниковыми, «мореноподобными» образованиями. Здесь максимальные содержания золота

в отложениях на поверхности пляжей шириной 30 м составляют 420 мг/м³ (по данным [6] – 1050 мг/м³); на пляжах шириной 30–50 м – 805, 1310 мг/м³ (по данным [6] – 2695 мг/м³); на пляжах шириной 50–70 м – до 180 мг/м³. По разрезу максимальные концентрации золота встречены на глубине 0,3 м в нижней части отложений пляжей шириной 30 м – 2095 и 1525; а в пляжах шириной 30–70 м на глубине 0,5 м – 1200 мг/м³ (по данным [6] – 3240 мг/м³).

Таким образом, полученные нами данные и анализ проведенных в разные годы исследований свидетельствуют о том, что на абразионных участках, где клиф золотоносен, ореолы золота в отложениях пляжа постоянны. Изменяются такие параметры, как содержание металла, очертания ореолов, но места их расположения почти всегда одни и те же. Если взять протяженный отрезок берега в несколько километров, то общие запасы на нем почти не изменятся, хотя необходимо учитывать изменения гидродинамического режима в годовом и многолетнем циклах. Происходит перманентное питание пляжей, смежных с промежуточными коллекторами, в процессе абразии которых и образуются золотоносные отложения.

Изменение положения золотоносного пласта в отложениях пляжей абразионного берега (неполного профиля) зависит от их нахождения в различных морфодинамических условиях. На более узких пляжах, более литодинамически активных, он обнажается, выходя на поверхность. Там, где ширина пляжей больше, он «ныряет» под горизонт менее золотоносных отложений. На пляжах полного профиля шлиховые ореолы не имеют четких границ и несут, в первую очередь, первичную информацию о потенциальной золотоносности отложений подводного склона. Факт обнаружения повышенных концентраций золота в отложениях на смежном с пляжем участке мелководного шельфа (250–500 мг/м³, максимальные до 1168 мг/м³ [6]) позволяет предположить, что при последующих исследованиях на подводном береговом склоне могут быть обнаружены промышленные россыпи золота. Анализ предыдущих исследований показал, что наиболее благоприятными являются участки подводного склона, примыкающие к абразионным берегам, у подножия которых на пляже встречены золотоносные естественные шлихи.

Морфодинамические особенности процессов береговой зоны юго-западной Камчатки в целом сложны. Недостаточно из-

учены их количественные характеристики, изменчивость во времени. Проведение дополнительных исследований позволит уточнить условия формирования золотоносных отложений современного пляжа, мелководной зоны шельфа и откроет новые перспективы, поскольку в мире растет интерес к прибрежно-морским россыпям (в том числе находящимся в пределах шельфа), опоскованность и разведанность которых весьма незначительны.

Список литературы / References

1. Garnett R.H.T. Marine placer gold, with particular reference to Nome, Alaska. In: Cronan D.S. (Ed.). Handbook of Marine Mineral Deposits. CRC Press, Boca Raton, Florida. 2000. P. 67–101.
2. Hou B., Keeling J., Van Gosen B.S. Geological and Exploration Models of Beach Placer Deposits, Integrated from Case-Studies of Southern Australia. Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 80. P. 437–459. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.07.016.
3. Kirkpatrick L.H., Jacob J., Green A.N. Beaches and bedrock: How geological framework controls coastal morphology and the relative grade of a Southern Namibian diamond placer deposit. Ore Geology Reviews. 2019. Vol. 107. P. 853–862. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2019.03.029.
4. Иванова А.М., Смирнов А.Н., Пашковская Е.А. Геолого-промышленные типы россыпей в шельфовых областях Мирового океана // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 4. С. 86–101.
5. Иванова А.М., Смирнов А.Н., Пашковская Е.А. Geological and industrial types of placers in the shelf areas of the World Ocean // Tihookeanskaya geologiya. 2004. T. 23. № 4. P. 86–101 (in Russian).
6. Лаломов А.В. Россыпи Российской Арктики и перспективы их обработки // Минералогия. 2017. № 2. С. 30–42.
7. Lalomov A.V. Placers of the Russian Arctic and the prospects of their mining // Mineralogiya. 2017. № 2. P. 30–42 (in Russian).
8. Бондаренко И.В., Хитров В.В. Отчет Камчатской партии о результатах общепромысловых работ на россыпи шельфа южной части западного побережья Камчатки за 1976–1978 гг. В 2-х книгах. Петропавловск-Камчатский: Фонды ВГФ, ТГФ, 1979. К. 1. 140 с., К. 2. 256 с.
9. Bondarenko I.V., Khitrov V.V. Report of the Kamchatka party on the results of general prospecting works on the placer deposits of the southern part of the western coast of Kamchatka for 1976–1978. V 2-h knigah. Petropavlovsk-Kamchatskij: Fondy VGF, TGF, 1979. K. 1. 140 p., K. 2. 256 p. (in Russian).
10. Кунгурова В.Е. К вопросу о россыпной золотоносности прибрежно-морской зоны Юго-Западной Камчатки // Руды и металлы. 2014. № 5. С. 19–31.
11. Kungurova V.Ye. On the question of alluvial gold mineralization of the coastal-marine zone of South-Western Kamchatka // Rudy i metally. 2014. № 5. P. 19–31 (in Russian).
12. Кунгурова В.Е. Золотоносные прибрежно-морские россыпи побережий Юго-Западной Камчатки и полуострова Аляска // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. № 12 (специальный выпуск 46). С. 5–25. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-12-46-5-25.
13. Kungurova V.Ye. Gold-bearing coastal marine placers of the coasts of South-Western Kamchatka and Alaska peninsula // Gornyj informacionno-analicheskij byulleten'. 2020. № 12 (special'nyj vypusk 46). P. 5–25 (in Russian).
14. Кунгурова В.Е. Минеральный состав золото-содержащих титаномагнетитовых отложений юго-западного побережья Камчатки // Геология, география и глобальная энергия. 2018. № 4 (71). С. 79–86. DOI: 10.21672/2077-6322-2018-71-4-079-086.
15. Kungurova V.Ye. Mineral composition of gold-bearing titanomagnetite deposits of the south-western coast of Kamchatka // Geologiya, geografiya i global'naya energiya. 2018. № 4 (71). P. 79–86 (in Russian).
16. Manual No. ME11559A02. Cat. No. 2036E101/102/201/202/301/302. Theta-Theta Type X-ray Diffractometer Ultima IV. Instruction Manual. Tokyo. BOEKI LTD. 2012. 77 p.

УДК 502:504.54:911.2:911.52:519.876

ВЛИЯНИЕ 40 ФАКТОРОВ ЖИЗНИ НА ДОЛЮ НАСЕЛЕНИЯ НИЖЕ ПРОЖИТОЧНОГО МИНИМУМА В СУБЪЕКТАХ УРАЛА И СИБИРИ

Мазуркин П.М.

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,
Йошкар-Ола, e-mail: kaf_po@mail.ru

Для 14 субъектов федерации Урала и Сибири была составлена иерархия из 40 влияющих переменных на показатель доли населения ниже прожиточного минимума. Этот показатель в факторном анализе получил первое место. В иерархии переменных первое место занимает фактор использования воды, второе – средние душевые доходы населения. На основе анализа кривых Лоренца и Кузнеца, а также коэффициента Джини по взаимному влиянию доходов населения X37 на долю ниже прожиточного минимума X33, показана возможность оценки критерия неравномерности распределения значений влияющих переменных по статистическим показателям стандартного отклонения фактических значений показателя от расчетной по двух-компонентным трендам и асимметричным вейвлетам, а также по коэффициентам корреляции. Оказалось, что кривая Лоренца является в общем случае многокомпонентным уравнением, содержащим, кроме тренда, дополнительные колебания. Для пары X37–X33 получаем среднее арифметическое 17,1%, при этом стандартное отклонение 2,400%. Для среднеарифметического значения стандартное отклонение равно 6,165%. Тогда коэффициент неравномерности для показателя X33 будет равен 0,3893. Для пары X33–X37 будет среднеарифметическое 27535,1 руб/мес., а стандартное отклонение формулы 6284,3 руб/мес., причем стандартное отклонение среднеарифметического равно 8160,5 руб/мес. Тогда коэффициент неравномерности будет равен $6284,3/8160,5 = 0,7701$. В итоге X37–X33 в сравнении с X33–X37 в два раза предпочтительнее по коэффициенту неравномерного распределения. В статье доказана квантовая определенность параметров социумов в виде населения субъектов федерации. В дальнейшем возможна идентификация вейвлетов для всех субъектов федерации России.

Ключевые слова: 40 параметров, прожиточный минимум, парные отношения, тренды, рейтинг влияния

INFLUENCE OF 40 LIFE FACTORS ON POPULATION SHARE BELOW THE LIVING MINIMUM IN THE SUBJECTS OF THE URALS AND SIBERIA

Mazurkin P.M.

Volga State University of Technology, Yoshkar-Ola, e-mail: kaf_po@mail.ru

For 14 subjects of the federation of the Urals and Siberia, a hierarchy of 40 influencing variables was compiled for the indicator of the share of the population below the subsistence level. This indicator was ranked first in factor analysis. In the hierarchy of variables, the first place is taken by the factor of water use, the second is the average per capita income of the population. Based on the analysis of the Lorenz and Kuznets curves, as well as the Gini coefficient for the mutual influence of the incomes of the population X37 on the share below the subsistence minimum X33, the possibility of assessing the criterion of the uneven distribution of the values of influencing variables according to the statistical indicators of the standard deviation of the actual values of the indicator from the calculated one by two-component trends and asymmetric wavelets, as well as correlation coefficients. It turned out that the Lorenz curve is, in the general case, a multicomponent equation containing, in addition to the trend, additional fluctuations. For the X37-X33 pair, we get the arithmetic mean of 17.1%, while the standard deviation is 2.400%. For the arithmetic mean, the standard deviation is 6.165%. Then the coefficient of unevenness for the X33 index will be equal to 0.3893. For the pair X33-X37, the arithmetic mean is 27535.1 rubles / month, and the standard deviation of the formula is 6284.3 rubles / month, and the standard deviation of the arithmetic mean is 8160.5 rubles / month. Then the coefficient of unevenness will be equal to $6284.3 / 8160.5 = 0.7701$. As a result, X37-X33 in comparison with X33-X37 is two times more preferable in terms of uneven distribution coefficient. The article proves the quantum definiteness of the parameters of societies in the form of the population of the subjects of the federation. In the future, it is possible to identify wavelets for all subjects of the Russian Federation.

Keywords: 40 parameters, living wage of the population, pair relations, trends, influence rating

Колебательная адаптация существует в природе, включая живое и косное вещества по В.И. Вернадскому. Этот принцип адаптации действует и на социумы, например в виде субъектов федерации. Тогда получается, что закон Коммонера «всё связано со всем» исходит из взаимных колебаний процессов адаптации, которые проявляются в виде суммы асимметричных вейвлетов [1]. Коллективные действия необходимы, чтобы отвести земную систему

от порога глобального экологического кризиса. Такие действия включают управление системой Земли – биосферой, климатом и обществами – на уровнях изменений поведения [2].

Доход населения также является важным фактором. Неравномерное распределение доходов оказывает давление на окружающую среду как со стороны самого низкого, так и самого высокого уровня доходов. Чтобы просто выжить, мно-

гие из беднейших людей мира участвуют в нерациональном использовании ресурсов. Они также вынуждены истощать скудные природные ресурсы, такие как леса или популяции животных, чтобы прокормить свои семьи [3].

Экологические инновации в «зеленых» технологиях становятся основным фактором экономического роста, при этом происходит неравномерное развитие этих инноваций и технологий в разных странах мира [4]. В статье рассмотрены стратегические риски отставания России от ведущих в экономике стран.

Цель исследования – иерархия по коэффициенту корреляции трендов [1] влияния 40 параметров у 14 субъектов Урала и Сибири на долю населения ниже прожиточного минимума, методика коэффициента неравномерности Джини по кривой Лоренца, принятой в виде тренда.

Материалы и методы исследования

По исследованиям [5] за 2014–2019 гг., на протяжении четырех лет начиная с 2014 г.,

в России наблюдалось снижение реальных располагаемых денежных доходов населения. Коэффициент Джини уменьшился с 0,419 до 0,412, что свидетельствует о незначительном снижении неравенства доходов населения.

Иерархия влияющих переменных была составлена по результатам факторного анализа 40 параметров у 14 субъектов Урала и Сибири. Всего было получено 1600 уравнений в виде закономерности (1), из которых 1360 относятся к парным отношениям. Как зависимый показатель на первом месте оказался фактор Х33 – доля населения ниже прожиточного минимума, % (табл. 1). По иерархии уменьшения коэффициента корреляции как влияющая переменная на первом месте оказался фактор – использование воды, м³/чел. После воздуха потребление воды для человека является второй первичной потребностью.

Доля растительного покрова от суши почти не влияет на долю населения ниже прожиточного минимума. Однако [3] бедное население влияет на снижение растительности.

Таблица 1

Влияющие факторы на показатель Х33 – доля населения ниже прожиточного минимума, %

Ранг <i>R</i>	Код <i>x</i>	Коэф. кор. <i>r</i>	Наименование влияющего параметра
0	X33	0,9940	доля населения ниже прожиточного минимума (%) по рангам
1	X19	0,9527	использование воды, м ³ /чел.
2	X37	0,9461	средние душевые доходы населения, руб/мес.
3	X01	0,9356	приведенная северная широта центра столицы, $\alpha := \alpha - 50$
4	X32	0,9263	уровень безработицы, %
5	X28	0,9141	младенческая смертность на 1000 родившихся живыми
6	X27	0,8944	суммарный коэффициент рождаемости
7	X11	0,8777	сумма осадков за июль 2018 г., мм
8	X08	0,8607	средняя месячная температура в январе 2018 г., °С
9	X21	0,8598	выбросы в атмосферу, кг/чел.
10	X17	0,8316	общий экологический коэффициент
11	X36	0,8310	ВРП на душу населения за 2018 г., тыс. руб/чел.
12	X03	0,8244	высота центра столицы над уровнем Балтийского моря, м
13	X26	0,8165	ожидаемая продолжительность жизни женщин, лет
14	X30	0,8104	естественный прирост на 1000 населения
15	X14	0,8100	доля пашни к площади суши, %
16	X40	0,8086	число умерших женщин в возрасте 16–54 лет на 10 ⁵ населения
17	X24	0,7999	ожидаемая продолжительность жизни всех, лет
18	X07	0,7996	среднее число в месяц дней с осадками > 0,1 мм (1961–1990)
19	X31	0,7800	уровень занятости, %
20	X39	0,7717	число умерших мужчин в возрасте 16–59 лет на 10 ⁵ населения
21	X35	0,7528	доля сельского населения, %
22	X04	0,7527	средняя месячная ночная температура (1961–1990), °С
23	X16	0,7432	доля измененных человеком угодий к площади суши, %
24	X34	0,7388	доля городского населения, %

Окончание табл. 1

Ранг R	Код x	Коэф. кор. r	Наименование влияющего параметра
25	X25	0,7142	ожидаемая продолжительность жизни мужчин, лет
26	X22	0,5907	улавливание выбросов в атмосферу, кг/чел.
27	X10	0,5677	сумма осадков за январь 2018 г., мм
28	X20	0,5647	сброс загрязнений в воду, м ³ /чел.
29	X23	0,5331	плотность населения, чел/км ²
30	X02	0,5284	приведенная восточная долгота, причем $\beta := \beta - 60, ^\circ$
31	X09	0,5241	средняя температура в июле 2018 г., °С
32	X06	0,5015	средняя сумма осадков (1961–1990), мм
33	X05	0,4922	средняя дневная температура (1961–1990), °С
34	X38	0,4697	умершие оба пола в трудоспособном возрасте на 10 ⁵ населения
35	X18	0,3959	забор воды, м ³ /чел.
36	X29	0,3931	коэффициент миграционного прироста на 10 ⁴ населения
37	X12	0,3681	доля сельхозугодий к площади суши, %
38	X13	0,3059	доля лесов к площади суши, %
39	X15	0,2479	доля растительности «трава + кусты + деревья» к суше, %

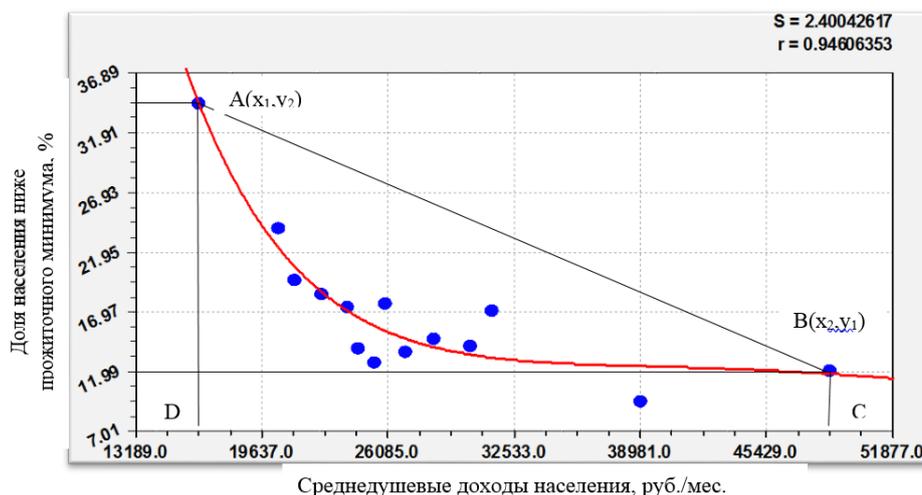


Рис. 1. Схема к расчету коэффициента Джини неравномерного влияния среднедушевых доходов на долю населения ниже прожиточного минимума: S – стандартное отклонение; r – коэффициент корреляции

Кривая Лоренца является методом графического изображения уровня концентрации явления. Математически эта кривая описывается трендом.

Все модели бинарных отношений были выявлены по формуле

$$y = a \exp(-bx^c) + dx^e \exp(-fx^g), \quad (1)$$

где y – показатель, x – влияющая переменная, $a - g$ – параметры (1) двухчленного тренда, идентифицируемые в среде CurveExpert-1.40. Второй член соответствует кривой Кузнецца.

Коэффициент Джини вычисляется относительно кривой Лоренца. При этом, если

кривая Лоренца характеризуется общим уравнением двухсоставного тренда (1), то появляется возможность разработки методики расчета коэффициента Джини.

На рис. 1 приведен график уравнения (1) для влияния среднедушевых доходов населения на долю населения ниже прожиточного минимума для 14 субъектов федерации.

Кривой Лоренца становится график уравнения (1). Но, в отличие от общепринятой методики расчета неравномерности распределения мы примем не диагональ от 0 до 1, а конкретные граничные значения (минимумы и максимумы) влияющей переменной x на изменение зависимого показателя y .

Тогда линия АВ будет линией равномерного распределения. Трапеция ABCD покажет теоретический объем равномерного распределения. В этом случае площадь под кривой Лоренца в интервале от x_1 до x_2 будет характеризовать фактический объем неравномерного распределения. Тогда отношение площади фигуры кривой Лоренца до прямой линии АВ (числитель) к площади трапеции ABCD (знаменатель) станет коэффициентом Джини.

Рассмотрим обратное парное отношение (рис. 2) между этими же параметрами. Здесь картина усложнилась: второй слева субъект получил больший среднедушевой доход.

Опыт моделирования показал, что переход от точки A_1 к более высокой по оси ор-

динат точке А показывает волновой подъем значения показателя по асимметричному вейвлету.

Результаты исследования и их обсуждение

Для одного показателя и множества переменных в табл. 1 приведены 39 влияющих параметров на долю населения ниже прожиточного минимума. Из математической статистики известно, что в таком случае мерой неравномерности распределения становится стандартное отклонение S , которое автоматически выводится в программной среде CurveExpert-1.40.

В табл. 2 приведены параметры модели (1) для всех влияющих переменных.

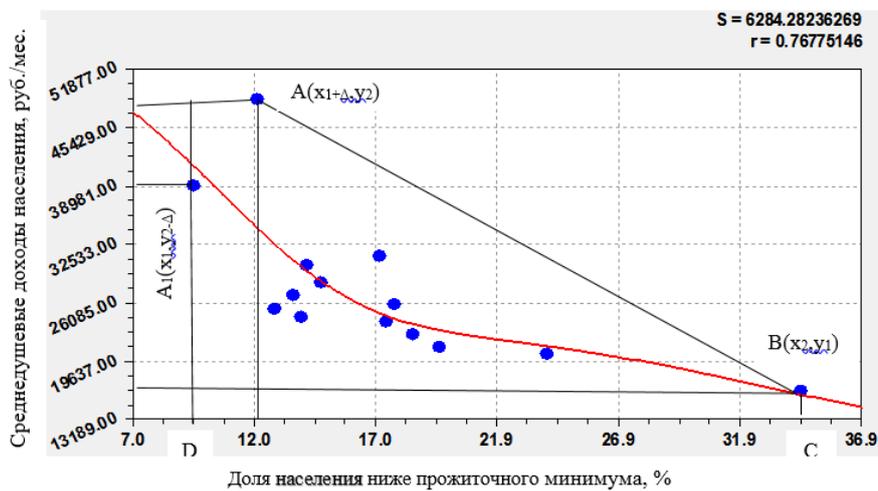


Рис. 2. Схема к расчету коэффициента Джини обратного влияния доли населения ниже прожиточного минимума на среднедушевые доходы

Таблица 2

Параметры тренда (1) доли населения ниже прожиточного минимума и стандартное отклонение от влияния разных переменных

Ранг R	Код x	Кэфф. кор. r	Экспоненциальный закон			Биотехнический закон				Станд. откл. S
			a	b	c	d	e	f	g	
1	X19	0,9527	247,1966	0,00084935	1	-173,4034	0,057818	0,0010665	1	2,251
2	X37	0,9461	516,1222	4,54980e-5	1	-3,31655	0,53959	6,62654e-5	1	2,400
3	X01	0,9356	1,96104e6	4,46699	0,30697	-4,04202e6	0,16996	5,20013	0,29277	2,966
4	X32	0,9263	11,06136	-0,021548	1	0,039664	2,29383	0	0	2,649
5	X28	0,9141	41,09944	0,30629	1	0,037217	2,99788	0	0	2,850
6	X27	0,8944	3,88416	-0,834432	0,88638	32,52691	9,90786	2,51978	2,50719	3,757
7	X11	0,8777	16,44231	2,74932e-5	2,06631	0,064596	11,53535	0,017520	1,06918	4,026
8	X08 ¹	0,8607	9,99330e5	1,16173	0,58811	-1,03564e6	0,25614	1,40071	5,63718	4,277
9	X21	0,8598	21968,99	0,0022284	1	-21910,02	0,0005339	0,0022341	1	3,784
10	X17	0,8316	16,49388	0,032043	1	0,0097469	2,00118	0	0	3,904
11	X36	0,8310	28707,78	0,0014637	1	-22188,86	0,0044737	0,0014756	1	4,122
12	X03	0,8244	13,99281	-0,0006371	1	8,6131e-38	13,66546	0	0	3,978
13	X26	0,8165	705,53701	0,00060270	1	-8,04954	1,23451	0,012435	1	4,278

Окончание табл. 2

Ранг <i>R</i>	Код <i>x</i>	Кэфф. кор. <i>r</i>	Экспоненциальный закон			Биотехнический закон				Станд. откл. <i>S</i>
			<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	
14	X30 ²	0,8104	14,65075	-0,0090517	1	8,2048e-28	21,65281	0	0	4,118
15	X14	0,8100	436,9968	0,20190	0,56916	-566,8485	0,21060	0,55589	0,44460	4,927
16	X40	0,8086	13,89734	-0,00050076	1	7,703e-115	44,75396	0	0	4,135
17	X24	0,7999	1034,8541	-0,0055406	1	-10,76146	1,36119	0,012008	1	4,447
18	X07	0,7996	77,87132	-0,00026476	1,57491	-5,33149	0,63472	0	0	4,449
19	X31	0,7800	495,48864	0,0097055	1	-0,52297	2,16570	0,044095	1	4,636
20	X39	0,7717	91,76271	0,00057999	1	75,81e-136	45,34476	0	0	2,939
21	X35	0,7528	7,81816e10	1,69061	1	0,35638	1,30429	0,022285	1	4,877
22	X04 ³	0,7527	8,77390e-8	-17,06038	0,044176	-4,7959e-5	7,52045	4,38224	0,33150	5,531
23	X16	0,7432	32655,89	1,48449	0,17180	-4,28887,4	0,034072	1,76232	0,16206	5,621
24	X34	0,7388	13,63130	-0,026993	1	-0,0005945	2,75619	0	0	4,736
25	X25	0,7142	584,41677	-0,0012761	1	-7,25376	1,29477	0,019788	1	5,186
26	X22	0,5907	26,75275	-0,00023247	1	-1,13134	0,41979	0	0	5,672
27	X10	0,5677	23,19547	0,011778	1	-5,749e-15	0,23589	1,96318	1	6,099
28	X20	0,5647	23,22734	-0,0029644	1	-0,29644	0,96725	0	0	5,801
29	X23	0,5331	21,55956	-0,024806	1	-0,99309	1,03409	0	0	5,947
30	X02	0,5284	5,14063	-0,016437	1	6,39911	0,15393	0	0	5,968
31	X09	0,5241	0,69175	-0,32229	1	-1,6362e-6	6,46521	0	0	5,986
32	X06	0,5015	33,05282	0	0	-0,078449	0,87912	0	0	5,798
33	X05	0,4922	1,45113	0,063030	1	-3,6539e-9	5,65311	0	0	6,118
34	X38	0,4697	-0,0040772	0,00028413	1	0,0086862	1,20059	0	0	6,205
35	X18	0,3959	6723,2324	0,0015142	1	-6675,1053	0,0010532	0,0015231	1	6,804
36	X29 ⁴	0,3931	11,81876	-0,027780	1	-0,037033	1,48044	-0,016461	1	6,813
37	X12	0,3581	13,60576	-0,036640	1	-0,0087807	2,30113	0	0	6,563
38	X13	0,3059	8,49712	-0,032785	1	-0,0002227	2,97493	0	0	6,692
39	X15	0,2479	1,77343	-0,046817	1	-8,8003e-9	5,15361	0	0	6,810

Примечания: X08 – $x := x + 40$; X30 – $x := x + 10$; X04 – $x := x + 120$; X29 – $x := x + 100$.

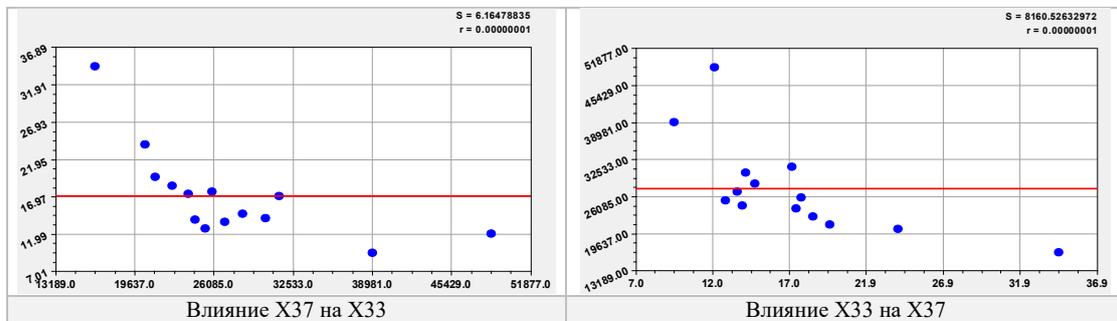


Рис. 3. Графики среднеарифметических значений двух показателей

При условии $c = 1$ первая составляющая (1) превращается в закон Мандельброта (в физике), Лапласа (в математике), Перла – Ципфа (в биологии) и Парето (в эконометрике). Переменная X27 получает модифицированный закон Мандельброта. При этом биотехнический закон в X27 идентичен форме кривой Кузнеця. При отрицательном знаке перед второй составляющей она становится кризисной, препятствующей росту показателя. При условиях $f = 0$ и $g = 0$ био-

технический закон превращается в степенную функцию.

Оценка неравномерности иерархии из 39 влияющих параметров по стандартному отклонению показала, что разница между ними три раза.

Для случая многих показателей даже два из них имеют разные значения. Предлагаем коэффициент неравномерности, равный отношению стандартных отклонений формулы (1) и среднеарифметического $y_0 = a$ (рис. 3).

Для важнейшей пары X37–X33 (рис. 3) получаем среднее арифметическое $a = 17,1\%$, при этом по табл. 2 $S = 2,400\%$. Из рис. 3 видно, что $S_0 = 6,165$. Тогда коэффициент неравномерности K для показателя X33 будет равен $K = 2,400 / 6,165 = 0,3893$. А для пары X33–X37 (рис. 3) будет $a = 27535,1$ руб/мес., а на рис. 2 видно, что $S = 6284,3$ руб/мес., а на рис. 3 стандартное отклонение среднеарифметического равно $S_0 = 8160,5$ руб/мес. Коэффициент неравномерности будет равен $6284,3 / 8160,5 = 0,7701$. Тогда в $0,7701 / 0,3893 = 1,98 \approx 2$ раза по линии неравномерного распределения предпочтительнее пара X37–X33 в сравнении с парой X33–X37.

Оказалось, что кривая Лоренца является в общем случае многокомпонентным уравнением, содержащим, кроме тренда, дополнительные колебания. Например, вейвлет-анализ динамического ряда температуры воздуха за 1959–2017 гг. дал 188 составляющих, из которых первые две составляющие относятся к тренду, а остальные 186 – к асимметричным колебаниям. При этом каждая составляющая является квантом поведения приземного слоя воздуха в процессе колебательной адаптации атмосферы. Причем все они распределяются фрактально по модифицированному закону Мандельброта по критерию стандартного отклонения.

Распределение коэффициента корреляции

Далее рассмотрим, как распределяются влияющие 39 переменных по коэффициенту корреляции из табл. 1 внутри иерархии. При этом ранговое распределение X33 по двухсоставному тренду характеризуется коэффициентом корреляции 0,9940. В табл. 1 дадим ему ранг 0.

После идентификации вейвлета было получено (рис. 4) уравнение вида

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + \dots, \quad (2)$$

$$r_1 = 0.99445 \exp(-9,935489R^{0.62904}),$$

$$r_2 = -9.37470 \cdot 10^{-8} R^{4.19717},$$

$$r_3 = A_1 \cos(\pi R / p_1 + 0.80201),$$

$$A_1 = 4.88514 \cdot 10^{-59} R^{54.28608} \exp(-1,11738R^{1.13496}),$$

$$p_1 = -6.27817 + 0.19706R^{1.32581}.$$

Тренд является частным случаем вейвлета, поэтому из остатков видно, что возможно идентифицировать четвертое и последующие колебания. Первый член получает модифицированный закон Мандельброта, который показывает на фрактальное распределение переменных, влияющих на один показатель X33 – доля населения ниже прожиточного минимума, %.

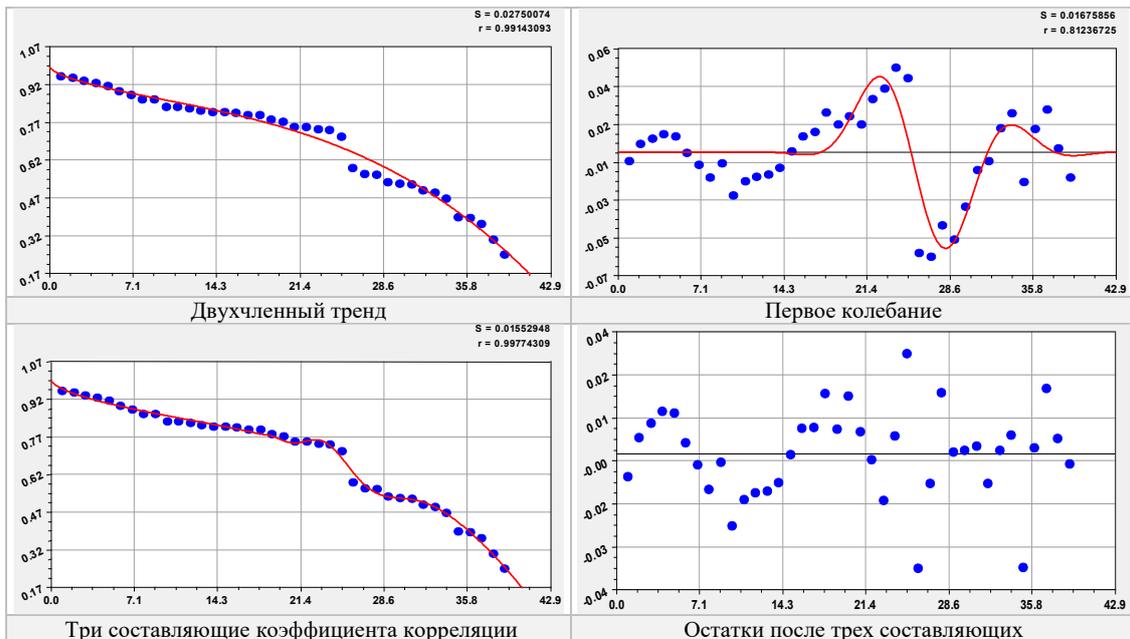


Рис. 4. Графики распределений коэффициента корреляции по рангам в иерархии влияющих переменных

В итоге доказана квантовая определенность параметров социумов в виде населения субъектов федерации. В дальнейшем возможна идентификация вейвлетов для всей России.

Заключение

Предложена система из 40 факторов жизнедеятельности населения 14 субъектов федерации Урала и Сибири, соотнесенная с географическими координатами (широтой и долготой) и высотой над уровнем Балтийского моря центров столиц этих же субъектов федерации. Обособленно рассмотрено влияние этих факторов как влияющих переменных на показатель в виде доли населения ниже прожиточного минимума. В факторном анализе этот показатель занял первое место в иерархии. Затем влияющие переменные были расставлены в рейтинге по убыванию коэффициента корреляции двухчленного тренда.

Выполнено сравнение кривой Лоренца по взаимнообратному влиянию доходов населения (социумов) на долю ниже прожиточного минимума. Тогда коэффициент Джини неравномерности распределения превращается в статистические показатели в виде стандартного отклонения и коэффициентов корреляции.

Показано, что для коэффициента неравномерности пары переменные – показатель применяются стандартные отклонения, а для многих показателей учитывают отношения стандартных отклонений идентифицированной формулы к средней арифметической. Все закономерности имеют квантовую определенность в процессах колебательной адаптации социумов. Кванты

поведения имеют фрактальные распределения по модифицированному нами законом Мандельброта.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Правительства Красноярского края, Красноярского краевого фонда науки в рамках научного проекта: «19-45-240004p_a Прогноз эколого-экономического потенциала возможных «климатических» миграций в Ангаро-Енисейском макрорегионе в меняющемся климате 21-го века».

Список литературы / References

1. Мазуркин П.М. Факторный анализ субъектов Сибирского округа по 40 параметрам жизни населения // Биосферное хозяйство: теория и практика. 2021. № 5 (35). С. 17–39.
2. Mazurkin P.M. Factor analysis of the subjects of the Siberian district by 40 parameters of the population's life // Biosphere economy: theory and practice. 2021. No. 5 (35). P. 17–39 (in Russian).
3. Steffen W., Rockström J., Richardson K., Lenton T.M., Folke C., Liverman D., Summerhayes C.P., Barnosky A.D., Cornell S.E., Crucifix M., Donges J.F., Fetzer I., Lade S.J., Scheffer M., Winkelmann R. & Schellnhuber H.J. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene // PNAS, 2018. Vol. 115. No. 33. P. 8252–8259. DOI: 10.1073/pnas.1810141115.
4. Dovers S. & Butler C. Population and environment: a global challenge – Curious // Earth & environment. 2015. [Electronic resource]. URL: <https://www.science.org.au/curious/earth-environment/population-environment> (date of access: 09.09.2021).
5. Порфирьев Б.Н. «Зеленый» фактор экономического роста в мире и в России. [Электронный ресурс]. URL: porfirev-b.n.-zelenyj-faktor-ekonomicheskogo-rosta-v-mire-i-v-rossii.pdf (дата обращения: 09.09.2021).
6. Porfiriev B.N. «Green» factor of economic growth in the world and in Russia. [Electronic resource]. URL: porfirev-b.n.-zelenyj-faktor-ekonomicheskogo-rosta-v-mire-i-v-rossii.pdf (date of access: 09.09.2021).
7. Динамика доходов населения // Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. Вып. 58. Февраль 2020. 16 с.
8. Population income dynamics // Bulletin on current trends in the Russian economy. Issue 58. February 2020. 16 p. (in Russian).

УДК 550.4:546.44

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДВИЖНОСТИ РАДИЯ-226 ПО ДАННЫМ ЕГО ПРОФИЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В ЗАГРЯЗНЕННОЙ ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

Рачкова Н.Г., Шапошникова Л.М.

Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, e-mail: nata.rachkova67@mail.ru

С целью моделирования поведения поллютантов в загрязненных экосистемах таёжной зоны исследованы долговременное распределение и трансформация форм нахождения радия-226 в верхней 50-сантиметровой толще типичной подзолистой почвы, изучены статистические связи параметров этих процессов и физико-химических характеристик почвы. Выявлено, что при многолетнем контакте водорастворимые соединения радионуклида трансформируются и прочно связываются в почвенном поглощающем комплексе. Основной запас мобильных форм нахождения радия депонируется в слое почвы (0–20) см в составе потенциально подвижных соединений, экстрагирующихся 1 моль/дм³ соляной кислотой, что важно для выбора методов дезактивации грунтов, сходных по физико-химическому составу и типу процессов почвообразования. В горизонты почвы глубже 20 см мигрирует меньше 11,2% радия от его количества в толще (0–50) см. Суммарно в кислоторастворимой и фиксированной фракциях сосредоточено 95% запаса радия, легкоподвижные водорастворимые и обменные формы радионуклида обеспечивают 1 и 4% его количества. Результаты линейного регрессионного и корреляционного анализа свидетельствуют, что в условиях радиоактивного загрязнения профильная дифференциация радия в почвах подзолистого типа контролируется процессами распределения соединений кальция. Для аппроксимации показателей миграции радия предложены математические модели, качество которых оценено значениями коэффициентов детерминации от 0,467 до 0,997. Результаты моделирования показано, что взаимодействие соединений железа и кальция определяет подвижность радионуклида в загрязненной почве. Полученные данные могут быть использованы для прогнозирования распространения и локализации радия в экосистемах.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, подзолистая почва, радий-226, валовое содержание, формы нахождения, профильное распределение, регрессионный анализ

MODELING THE MOBILITY OF RADIUM-226 BASED ON THE DATA OF ITS PROFILE DISTRIBUTION IN CONTAMINATED PODZOLIC SOIL

Rachkova N.G., Shaposhnikova L.M.

*Institute of Biology of FRC Komi Scientific Centre of Ural Branch of RAS, Syktывkar,
e-mail: nata.rachkova67@mail.ru*

For modeling of behavior of pollutants in taiga ecosystems, long-term distribution and transformation of radium-226 speciation in upper 50-centimeter layer of typical podzolic soil were studied, the statistical relationships between parameters of these processes and soil physicochemical characteristics were investigated. It was revealed that upon long-term contact, watersoluble compounds of radionuclide are transformed and firmly bound in soil absorbing complex. At same time, main stock of mobile radium is deposited in soil layer (0-20) cm in composition of potentially mobile compounds, which are extracted with 1 mol /dm³ of hydrochloric acid, which is important for selection of methods for decontamination of soils that are similar in physical and chemical composition and soil formation type. In soil layer deeper than 20 cm, no more than 11,2% of radium amount in thickness (0-50) cm migrates. In total, about 95% of radium stock is concentrated in acid-soluble and fixed fractions, readily mobile watersoluble and exchangeable radionuclide forms provide 1 and 4% of radium amount in soil layer (0–50) cm. The results of linear regression and correlation analyzes indicate, that under radioactive contamination, radium differentiation in profile of podzolic soils is controlled by distribution of calcium compounds. To approximate indicators of radium migration, mathematical models are proposed, the quality of which is estimated by determination coefficients 0,467–0,997. The results of modeling have shown that interaction of iron and calcium compounds determines radionuclide mobility in contaminated soil. The data obtained can be used to predict the distribution and localization of radium in ecosystems.

Keywords: radioactive contamination, podzolic soil, radium-226, activity concentration, speciation of radionuclide, distribution in soil profile, regression analysis

Актуальность исследования связана с задачами прогнозирования миграции и дезактивации грунтов, загрязненных долгоживущими естественными радионуклидами. Такие из них, как изотопы радия, являются высокорadioактивными химическими аналогами щелочноземельных элементов, типоморфных для почв и жизненно важных для организмов. Геохимические аспекты прогнозирования поведения радия по-прежнему мало разработаны [1–3].

Цель исследования – моделирование поведения радия-226 в загрязненных эко-

системах среднетаёжной подзоны (Республика Коми) на основе изучения статистической связи между параметрами вертикальной миграции и трансформации форм нахождения радионуклида в типичной подзолистой почве и ее физико-химическими характеристиками.

Материалы и методы исследования

Эксперимент проводили в среднетаёжной подзоне Республики Коми на равнинном участке с типичной подзолистой почвой, образованной на крупнопылеватых

покровных суглинках. Глубина ее промерзания не превышает 40 см. Почва под толщей (25–50 см) слабо водопроницаема. Под подстилкой находится подзолистый горизонт с множеством конкреций. По их граням наблюдаются гумусово-глинистые пленки и осветленный пылеватый материал.

Для проведения эксперимента участок разделили на 12 делянок (по 6 делянок для опытов А и Б). В соответствии с вариантами опыта слой почвы 0–20 см на делянках загрязнили двумя разными количествами раствора хлорида радия. За счет этого его содержания в почве слоя 0–20 см существенно превысили соответствующее фоновое содержание радионуклида.

Спустя 14 лет из толщи 0–50 см загрязненной почвы отобрали пробы на определение валового содержания и форм нахождения радионуклида, оценивали почвенные физико-химические характеристики [4, 5]. Для исследования форм нахождения радий-226 последовательно десорбировали из почвы дистиллированной водой (водорастворимая), 1 моль/дм³ CH₃COONH₄ (обменная) и 1 моль/дм³ HCl (кислоторастворимая) при времени контакта почвы с каждым экстрагентом 1 сутки, комнатной температуре, соотношении фаз 1:5. Недесорбированную часть радионуклида считали фиксированной в почве. Радий-226 в образцах определяли эманионным методом с ошибкой измерений менее 15% [6]. Стандартными методами [7] оценивали долю калия, натрия, кремния, титана в почве (в расчете на их оксиды), гидролитическую кислотность, рН водный и солевой, содержания гумуса, поглощенных катионов магния и кальция, валовое содержание фосфатов и калия. Химические анализы выполнены в лабораториях миграции радионуклидов и радиохимии и «Экоаналит» Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Данные обработаны с использованием программы Statistica.

Результаты исследования и их обсуждение

В незагрязненной почве экспериментального участка содержание радия-226 было понижено по сравнению со средними значениями для Восточно-Европейской равнины. Между формами нахождения с разной подвижностью радионуклид был распределен равномерно. При валовом содержании $16,4 \pm 0,9$ мБк/г его удельная активность в водорастворимой, обменной и кислоторастворимой фрак-

циях составляла от 3,9 до 4,4 мБк/г. Водородный показатель почвы варьировался от 5,02 до 5,45, содержание поглощенных катионов магния – от 0,38 до 1,74, кальция – от 0,56 до 2,87 мг-экв/100 г. Содержание кальция, магния, железа и алюминия (в расчете на оксиды) изменялось в градиентах 0,18–0,27, 2,97–5,86, 1,44–1,87, 7,88–10,07%.

Сразу после загрязнения концентрации радия-226 в 0–20 см почвы делянок превышали его фоновое содержание примерно в 80 и 100 раз (в вариантах эксперимента А и Б соответственно). За 14 лет после загрязнения из этого количества в нижележащую толщу вытеснилось за счет почвенных процессов около 11% радионуклида (табл. 1). При этом распределение радия-226 в профиле 0–50 см характеризовалось преимущественным депонированием в слое почвы 0–20 см наряду с достоверным повышением валового содержания и, одновременно, снижением содержания подвижных форм нахождения радионуклида в слое 25–30 см. Удельная активность водо- и кислоторастворимой фракций радия в этих образцах была достоверно ниже, чем для почвы горизонта 20–25 см.

В толще почвы 0–20 см с максимальной концентрацией радия сосредоточено в среднем 89 и 94% его количества в вариантах опыта А и Б (табл. 2). При этом доля мобильных форм нахождения (сумма водорастворимой, обменной и кислоторастворимой форм) здесь составила 48 и 75% от валового содержания радионуклида соответственно (рис. 1). Из них на долю кислоторастворимой фракции приходилось подавляющее количество радия в слое (свыше 46 и 71% удельной активности). На глубине 20–25 см в обоих вариантах опыта валовое содержание элемента достоверно снижалось $p < 0,001$ и $0,01$), значительно уменьшались удельные активности его мобильных форм и относительные содержания слабосвязанного в почве радионуклида, экстрагированного дистиллированной водой и раствором ацетата аммония. На глубине 25–30 см отмечалось повышение в 2 раза валового содержания элемента по сравнению со слоями 20–25 и 30–35 см. При этом подвижность соединений радия в почве снижалась до минимума, в том числе за счет уменьшения количества радионуклида в составе водорастворимых и кислоторастворимых фракций. В варианте опыта Б с более высоким уровнем загрязнения почвы спад содержа-

ния первых составил 15 раз, вторых – около 100 раз. В слое 25–30 см радионуклид был депонирован преимущественно за счет его фиксации в почве. На этой глубине заметно доминирование фракции подвижных соединений радия, экстрагируемых рас-

твором ацетата аммония (вариант Б). Эта специфика свидетельствует об изменении механизмов поглощения радионуклида, а значительная вариабельность параллельных определений содержания радия в слое указывает на обратимость этих процессов.

Таблица 1

Удельная активность радия-226 и его мобильных форм нахождения в толще 0–50 см загрязненной почвы

Вариант эксперимента	Почвенный слой, см	Валовая удельная активность, мБк/г	Удельная активность мобильных форм, мБк/г		
			водорастворимых	обменных	кислоторастворимых
А	0–20	884 ± 80	7 ± 4	17 ± 3	400 ± 180
	20–25	38 ± 9	2,0 ± 0,4	9 ± 4	20 ± 3
	25–30	81 ± 16	1,5 ± 0,4	13 ± 5	8 ± 5
	30–35	13 ± 4	16 ± 6	12 ± 4	4 ± 1
	35–40	12 ± 3	1 ± 1	12 ± 9	6 ± 1
	40–50	14 ± 3	0,7 ± 0,5	11 ± 6	4 ± 2
Б	0–20	590 ± 30	3,3 ± 0,7	16 ± 7	420 ± 50
	20–25	52 ± 12	1,5 ± 0,6	3 ± 1	16 ± 7
	25–30	100 ± 70	0,2 ± 0,1	13 ± 6	4,8 ± 0,4
	30–35	22 ± 5	1,1 ± 0,7	8 ± 3	6 ± 2
	35–40	18 ± 5	не обнаружено	3 ± 1	5 ± 3
	40–50	31 ± 8	1,5 ± 0,7	4 ± 1	9 ± 1

Таблица 2

Запасы радия-226 в загрязненной почве (верхняя строка – вариант опыта А, нижняя – Б)

Почвенный слой, см	0–20	20–25	25–30	30–35	35–40	40–50
Запасы радия, кБк*	407,0	45,0	103,4	26,2	28,4	47,4
	271,0	61,1	131,1	30,1	28,2	93,3
Содержание радия, %	94,2	1,0	2,4	0,6	0,7	1,1
запаса, в том числе	88,8	2,0	4,3	1,0	0,9	3,1
водорастворимых	0,7	0,06	0,04	0,3	0,04	0,05
	0,5	0,06	0,01	0,05	0,00	0,25
обменных	1,8	0,2	0,4	0,2	0,4	0,7
	2,4	0,1	0,5	0,4	0,2	0,4
кислоторастворимых	43,4	0,3	0,2	0,1	0,2	0,3
	67,1	0,6	0,2	0,3	0,3	0,9

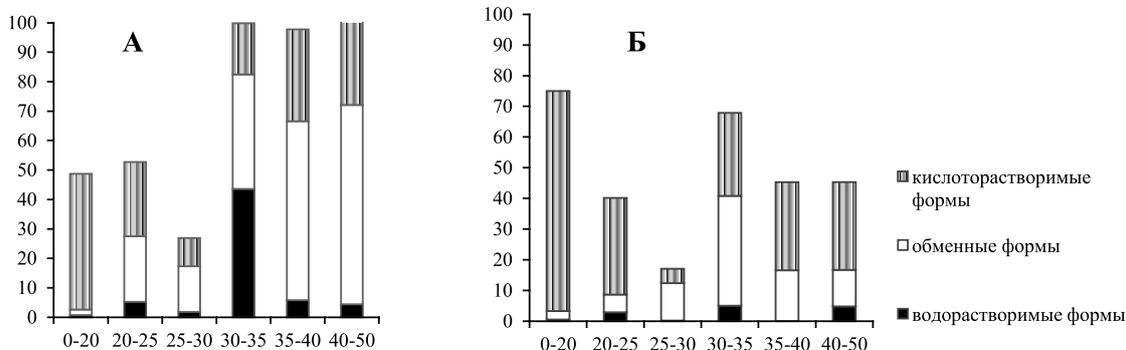


Рис. 1. Доля удельной активности мобильных форм нахождения радия-226 (в % его валовой удельной активности в слое) в толще 0–50 см загрязненной почвы

Увеличение количества обменного радионуклида на глубине 25–30 см и фиксация радия в слое могут обуславливаться его сорбцией по механизму ионного обмена на коллоидных соединениях неорганической и органической природы и на глинистых минералах, а также соосаждением с гуматами кальция или окклюзией радионуклида в структурах коллоидных частиц. Усиление прочности поглощения радия в слое 25–30 см возможно вследствие оптимального соотношения в нем концентраций органических веществ и обменных форм нахождения кальция [4, 5]. В работах [2, 8–10] также отмечается влияние этих почвенных показателей на депонирование радия в фоновых и загрязненных почвах.

В нижних слоях подзолистого горизонта наряду с возрастанием содержания радионуклида отмечается увеличение его запасов, экстрагирующихся в обменную и кислоторастворимую фракции, накоплению которых способствует уплотнение почвы. В целом в ходе эксперимента установлено, что при многолетнем контакте водорастворимые соединения радия, поступившие в подзолистую почву, трансформируются и прочно связываются в почвенном поглощающем комплексе. В толще 0–50 см основной запас мобильных форм радиоактивного элемента депонировался в составе кислоторастворимых соединений, потенциально подвижных в почве. В то же время подвижные водорастворимые и обменные формы радионуклида обеспечивали 1 и 4% его количества в толще 0–50 см.

Таким образом, из всех почвенных образцов радий наиболее эффективно экстрагировался 1 моль/дм³ HCl. При подсчете запасов радионуклида в вышеуказанной фракции обнаруживалось свыше 44 и 69% от его активности в почве в варианте опыта (рис. 2). Это важно для выбора оптимальных подходов к дезактивации почв,

подобных исследуемым грунтам по физико-химическому составу и типу почвообразования. Суммарно в кислоторастворимой и фиксированной фракциях сосредоточено 95% запаса радия.

Статистическая обработка полученных данных в связи с физико-химическими характеристиками почвы свидетельствовала, что по коэффициенту корреляции Пирсона удельная активность радионуклида, находящегося в почве в водорастворимой форме, тесно связана с концентрацией обменного кальция и железа (0,70), что рассматривается нами как результат сорбции радия железно-гумусовыми комплексными соединениями кальция [4, 5]. Удельная активность радиоэлемента, депонированного в почве в обменной форме нахождения, также слабо коррелировала с процентными содержаниями алюминия (0,32) и гумуса (0,27) в почвенной массе, с содержанием железа (–0,28), гигроскопической влаги (0,34) и почвенной кислотностью (около –0,3) [4, 5]. В то же время кислоторастворимые соединения радия были дифференцированы в толще почвы в соответствии со слабой линейной зависимостью от распределения железа (0,29), магния (–0,36), кремния (0,35) и гигроскопической влаги (–0,31) [4, 5], что может быть маркером поглощения радионуклида окристаллизованными и коллоидными соединениями железа. Возможна конкуренция этих механизмов поглощения и обменной сорбции радионуклида органико-минеральными коллоидами гидроксидов алюминия. Примечательно, что содержания обменных и кислоторастворимых форм нахождения радионуклида статистически связаны с одними и теми же характеристиками почвы [4, 5]. Установленные парные линейные корреляции часто слабы и противоположны по знаку, что подтверждает конкурентность процессов, лежащих в их основе.

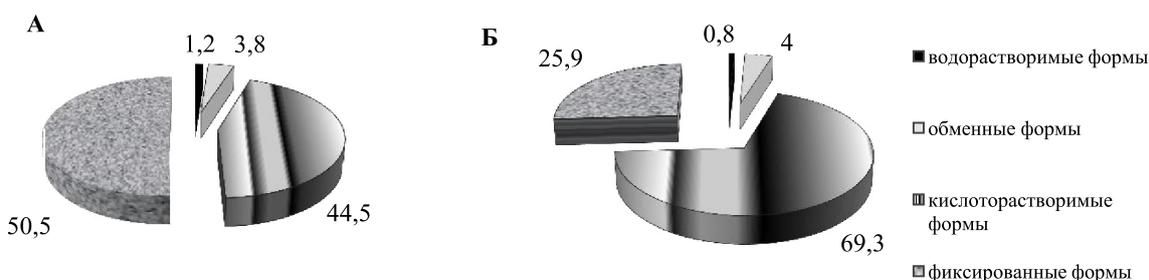


Рис. 2. Распределение запаса мобильных и фиксированных форм радия-226 в почве

Таблица 3

Статистическая связь распределения радия-226 в толще почвы 0–50 см и её характеристик

Зависимая переменная	Модель	Независимые переменные	Коэффициенты регрессии	Характеристики модели			
				R ²	S _R	F	P _f
C _{Ra²⁺} , мБк/г	1	C _{Ca²⁺} , мг-экв/100 г	451,2	0,997	17,2	687,8	0,000
	2	а) C _{Ca²⁺} , мг-экв/100 г б) C _{CaO} , %	423,3 782,5	0,990	13,7 185,9	712,0	0,000 0,001
C _{Ra вод} , мБк/г	1	C _{Ca²⁺} , мг-экв/100 г	1,93	0,467	0,516	14,0	0,002
	2	а) C _{Ca²⁺} , мг-экв/100 г б) C _{Fe₂O₃} , %	2,60 6,79	0,697	0,448 0,014	17,2	0,000 0,004
C _{Ra кис} , мБк/г	1	C _{Ca²⁺} , мг-экв/100 г	329,8	0,908	26,2	157,9	0,000

Примечания: R² – коэффициент детерминации и S_R – его стандартное отклонение; F – критическое значение критерия Фишера и P_f – его уровень значимости. Для включения независимой переменной F ≥ 3,840. C_{Ra²⁺}, C_{Ra вод}, C_{Ra кис} – валовая удельная активность радия-226, его водорастворимых и кислоторастворимых форм нахождения. C_{Ca} – содержание в почве поглощенного катиона кальция, C_{CaO}, C_{Fe₂O₃} – валовые содержания (в расчете на оксиды) кальция и железа (III) соответственно.

Для моделирования поведения радия в исследуемой почве был использован пошаговый регрессионный анализ. Суждение о формах нахождения радионуклидов в почве, основываясь исключительно на уравнениях регрессии, сопряжено с большой неопределенностью, однако их анализ в совокупности с результатами последовательной экстракции выявляет значимость свойств загрязненной почвы в трансформации форм нахождения радионуклидов. Результаты моделирования миграции радия-226 с использованием регрессионного анализа (табл. 3) свидетельствуют, что его профильная дифференциация в подзолистых почвах зоны тайги полностью контролируется процессами вертикального распределения соединений кальция.

За счет этих процессов прочность сорбции радионуклида в почвенных слоях увеличивается.

Так, распределение валового радия при подзолистом типе почвообразования на 99,7% зависит от поведения поглощенного катиона кальция, который как предиктор представлен во всех линейных регрессионных моделях миграции радия в почве. Кроме того, этот показатель используется для описания распределения кислоторастворимых форм радия, составляющих основную долю его почвенных соединений. Удельная активность водорастворимых форм радиоэлемента аппроксимируется уравнением с двумя слагаемыми, один из которых пропорционален содержанию поглощенных катионов кальция [4, 5], а другой – доле соединений железа в почвенной массе (в расчете на оксиды).

Заключение

В результате проведенного модельного эксперимента выявлены закономерности распределения радия-226 в широко распространенной в таежной зоне подзолистой почве в условиях её загрязнения радийсодержащими растворами. Выявлено, что при многолетнем контакте водорастворимые соединения радионуклида трансформируются и прочно связываются в почвенном поглощающем комплексе. Распределение радия-226 в профиле почвы 0–50 см характеризуется преимущественным депонированием в слое 0–20 см наряду с достоверным повышением валового содержания и, одновременно, снижением содержания подвижных форм нахождения радионуклида в слое 25–30 см. Основной запас подвижных форм нахождения радия депонирован в слое 0–20 см в составе потенциально подвижных соединений, экстрагирующихся 1 моль/дм³ соляной кислотой, что важно для выбора методов дезактивации грунтов, подобных исследованному по физико-химическому составу и типу почвообразования. Суммарно в кислоторастворимой и фиксированной фракциях сосредоточено около 95% запаса радия, легкоподвижные водорастворимые и обменные формы радионуклида обеспечивают 5% его количества в толще почвы 0–50 см. Выявленное изменение подвижности радия в почвенных слоях может обуславливаться концентрациями в них обменного кальция, соединений железа и органических веществ. Это подтверждается не только данными литературы, но и результатами линейного

регрессионного и корреляционного анализов, которые свидетельствуют, что в условиях радиоактивного загрязнения профильная дифференциация радия в почвах этого типа контролируется процессами распределения соединений кальция. Качество аппроксимации показателей миграции радия в предлагаемых моделях оценено коэффициентами детерминации в диапазоне значений 0,467–0,997. Выявлено, что возможность миграции радия в загрязненной почве определяется взаимодействием соединений железа и кальция. Предложенные модели миграции радионуклида могут быть использованы при прогнозировании его рассеяния и локализации в сходных по типу почвы экосистемах. Практическая значимость работы связана с разработкой мер дезактивации территорий Республики Коми, загрязненных вследствие добычи радия из минерализованных подземных вод.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания № АААА-А18-118011190102-7 при частичной поддержке проекта РФФИ и Правительства Республики Коми № 20-45-110009 p_a.

Список литературы / References

- Giffroy P., Durrieu G., Garnier J.-M. Probabilistic distribution coefficients (K_d) in freshwater for radioisotopes of Ag, Am, Ba, Be, Ce, Co, Cs, I, Mn, Pu, Ra, Ru, Sb, Sr and Th – implications for uncertainty analysis of models simulating the transport of radionuclides in rivers. *J. Environm. Radioactivity*. 2009. Vol. 100. P. 785–794. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2008.10.
- Abdullah J.A., Al-Masri M.S., Amin Y., Awad I., Sheaih Z. Chemical fractionation of radium-226 in NORM contaminated soil from oilfields. *J. Environm. Radioactivity*. 2016. Vol. 165. P. 47–53. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2016.09.003.
- Guillen J., Munoz-Serrano A., Salvador Baeza A., Sallas A. Speciation of naturally occurring radionuclides in Mediterranean soils: bioavailability assessment. *Environm. Sci. Poll. Res.* 2018. Vol. 25. P. 6772–6782. DOI: 10.1007/s11356-017-1021-z.
- Рачкова Н.Г., Зайнуллин В.Г. Моделирование подвижности радия-226 в загрязнённых подзолистых почвах на основе данных регрессионного анализа // Актуальные проблемы региональной экологии и биодиагностика живых систем: материалы XIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (г. Киров, 1–2 декабря 2015 г.). В 2-х книгах. Книга 2. Киров: Изд-во ООО «Веси», 2015. С. 194–197.
- Rachkova N.G., Zaynullin V.G. Modeling of the mobility of radium-226 in contaminated podzolic soils based on regression analysis data // Aktualniye problemy regionalnoy ekologii i biodiagnostika zhivyyh sistem: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Kirov, 1–2 dekabrya 2015 g.). V 2h knigah. Kniga 2. Kirov: Izd-vo ООО «Vesi», 2015. P. 194–197 (in Russian).
5. Рачкова Н.Г. Роль сорбентов в процессах трансформации соединений урана, радия и тория в подзолистой почве: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Сыктывкар, 2006. 22 с.
- Rachkova N.G. The role of sorbents in the transformation of uranium, radium and thorium compounds in podzolic soil: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Syktyvkar, 2006. 22 p. (in Russian).
- Rachkova N.G., Shaposhnikova L.M. Speciation of radium-226 in the components of terrestrial and aqueous northern taiga ecosystems in a former radium production site. *Geochemistry International*. 2020. Vol. 58. No. 6. P. 719–728. DOI: 10.31857/S0016752520050106 .
- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1962. 491 с.
- Arinushkina E.V. Manual for Chemical Analysis of Soils. M.: Izd-vo MGU, 1962. 491 p. (in Russian).
- Noskova L.M., Shuktomova I.I. Radium distribution in anthropogenic soils as a function of soil physicochemical and mineralogical parameters. *Geochemistry International*. 2015. Vol. 53. No. 11. P. 1012–1018. DOI: 10.1134/S0016702915090050.
- Beznosikov V.A., Lodygin E.D., Shuktomova I.I. Artificial and natural radionuclides in soils of the southern and middle taiga zones of Komi republic. *Eurasian Soil Science*. 2017. Vol. 50. No. 7. P. 814–819. DOI: 10.1134/S1064229317050039.
- Pearson A.J., Gam S., Hermanspahn N., Glover C.N., Anderson C.W.N. Radium in New Zealand agricultural soils: Phosphate fertiliser inputs, soil activity concentrations and fractionation profiles. *J. Environm. Radioactivity*. 2019. Vol. 205–206. P. 119–126. DOI: 10.1016/j.jenvrad.2019.05.010.

УДК 556.535.5

ЛЕДОВЫЙ РЕЖИМ РЕКИ ПЕЧОРЫ В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ И ПРИНЦИПЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЫСШЕГО УРОВНЯ ВОДЫ ЗА ПЕРИОД ВЕСЕННЕГО ЛЕДОХОДА

¹Сумачев А.Э., ²Банщикова Л.С.¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, e-mail: a-sumachev@mail.ru;²ФГБУ «Государственный гидрологический институт»,
Санкт-Петербург, e-mail: balju@rambler.ru

По данным многолетних наблюдений за 1950–2020 гг. рассмотрен ледовый режим р. Печоры в современных климатических условиях. Выявлено статистически значимое увеличение температуры воздуха за холодный сезон, равное 1,3 °С. Наибольший вклад в общее потепление климата вносят октябрь, март и май. Выявлено значительное влияние увеличения температуры воздуха на сроки образования и разрушения ледовых образований. Отмечается снижение длительности ледостава от 4 до 12 дней. Рассмотрена повторяемость затворов льда в период весеннего ледохода. Отмечается пространственная и временная неоднородность повторяемости затворов льда. По данным многолетних наблюдений повторяемость затворов льда близ ГП Ермицы достигает 53%, ГП Усть-Цильма – 7%, при этом формируются ординарные уровни воды, ГП Оксина – 21%. Представлен анализ высших уровней воды за период ледохода, затворов льда и свободного русла. В зависимости от условий формирования высшего уровня за период весеннего ледохода и географических факторов разработана классификация участков рек, состоящая из трех типов. Предложены принципы прогнозирования высшего уровня воды за период весеннего ледохода в зависимости от условий его формирования. Разработаны и апробированы нейросетевые модели для прогнозирования высшего уровня за период весеннего ледохода в районе с. Оксина. Лучшим качеством выпускаемых прогнозов характеризуются нейронная сеть MLP 2-8-1, оправдываемость прогнозов которой составила 92%, оправдываемость прогнозов, данных по уравнению множественной регрессии, составила 79%. Для MLP 2-8-1 отношение S/σ_{Δ} на независимом материале составило 0,46, что свидетельствует о высоком качестве выпускаемых прогнозов.

Ключевые слова: ледовый режим, прогнозирование, затвор льда, ледоход

ICE REGIME OF THE PECHORA RIVER IN MODERN CLIMATIC CONDITIONS AND PRINCIPLES OF FORECASTING THE HIGHEST WATER LEVEL FOR THE PERIOD OF SPRING ICE DRIFT

¹Sumachev A.E., ²Banschikova L.S.¹St. Petersburg State University, St. Petersburg, e-mail: a-sumachev@mail.ru;²Federal State Budgetary Institution State Hydrological Institute, St. Petersburg, e-mail: balju@rambler.ru

Based on the data of long-term observations for 1950–2020, the ice regime of the Pechora River in modern climatic conditions is considered. A statistically significant increase in air temperature for the cold season, equal to 1.3 °C, was revealed. October, March and May make the largest contribution to the overall climate warming. A significant effect of an increase in air temperature on the timing of the formation and destruction of ice formations was revealed. There is a decrease in the duration of freeze-up from 4 to 12 days. The recurrence of ice jams during the spring ice drift is considered. The spatial and temporal heterogeneity of the recurrence of ice jams is noted. According to the data of long-term observations, the frequency of ice jams near the Ermitsa HP reaches 53%, the Ust-Tsilma HP – 7%, while ordinary water levels are formed, the Oksino HP – 21%. The analysis of the highest water levels for the period of ice drift, ice jams and free channel is presented. Depending on the conditions for the formation of the highest level for the period of spring ice drift and geographical factors, a classification of river sections has been developed, consisting of 3 types. The principles of forecasting the highest water level for the period of spring ice drift are proposed, depending on the conditions of its formation. Neural network models have been developed and tested to predict the highest level for the period of spring ice drift in the area with. Oksino. The best quality of the produced forecasts is characterized by the MLP 2-8-1 neural network, the accuracy of the forecasts of which was 92%, the accuracy of the forecasts, data according to the multiple regression equation, was 79%. For MLP 2-8-1, the S/σ_{Δ} ratio on an independent material was 0,46, which indicates the high quality of the forecasts issued.

Keywords: ice regime, forecasting, ice jam, ice drift

Климатические изменения, связанные с увеличением температуры воздуха, наиболее заметны на территории Арктической зоны Российской Федерации. Увеличение температуры воздуха за холодный сезон года способствовало перераспределению вкладов отдельных факторов на формирование тех или иных фаз ледового режима, что

в свою очередь привело к неопределенности в вопросах оценки и прогнозирования характеристик ледового режима. Неблагоприятные проявления ледового режима нередко приводят к возникновению опасных гидрологических явлений. Это не только наводнения в период ледохода или затора льда, но и продолжительные осенние и ве-

сенные переходные периоды, когда невозможна организация ледовых или паромных переправ и иная хозяйственная деятельность, функционирование которой зависит от гидрологической обстановки. Минимизация рисков и урона, наносимого опасными гидрологическими явлениями, зависит от оценки существующих рисков и их изменений во времени, а также развития методов прогнозирования и оповещения населения.

Целью исследования является комплексное описание ледового режима реки Печоры от села Усть-Цильма до села Оксина и развитие методических подходов к прогнозированию высших уровней воды.

Материалы и методы исследования

Исследуемая область относится к Арктической зоне Российской Федерации. В пределах исследуемой области на реке Печоре расположено три гидрологических поста: с. Усть-Цильма, с. Ермицы и с. Оксина, а также две метеорологических станции, расположенные непосредственно в бассейне реки – ГМС Нарьян-Мар и ГМС Усть-Цильма.

Период наблюдений на данных гидрологических постах и метеорологических станциях является достаточным для расчета основных гидрологических и метеорологических характеристик. Так как наиболее полные наблюдения за характеристиками ледового режима начались с 1950 г., то общий период непрерывных наблюдений составляет 70 лет, с 1950–1951 гидрологического года по 2019–2020 гидрологический год (расчетное гидрологическое полугодие принято с октября одного года по май следующего года). Разбиение всего периода наблюдений на базовый и контрольный выполнено с учетом нарушения стационарности рядов наблюдений, таким образом, базовый период выбран с 1950 по 1980 г., контрольный с 1981 по 2020 г.

Однородность рядов оценена при помощи критериев Стьюдента и Фишера. Для оценки линейных трендов использовались критерии значимости выборочного коэффициента корреляции (R). Гипотеза об отсутствии тренда не опровергалась при уровне значимости $2\alpha = 10\%$, если выполнялось условие $|R| < 2\sigma_R$. Критическое значение коэффициента корреляции при данной длительности рядов наблюдений составляет $R_{\text{крит}} \approx 0,23$. Приведение рядов метеорологической и гидрологической информации к многолетнему периоду выполнено методом построения регрессионной зависимости за совместный период наблюдений

с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов в однородном районе при условии $R > 0,70$ [1].

Результаты исследования и их обсуждение

Выявлено статистически значимое увеличение средней за холодный сезон температуры воздуха на всех рассмотренных метеостанциях по отношению к базовому периоду. Наибольший вклад в общее потепление климата вносят октябрь, март и май, так как именно за эти месяцы отмечаются статистически значимые тренды и отмечается нарушение однородности рядов по критерию Стьюдента. Среднее увеличение температуры воздуха за холодный период составляет $+1,3^\circ\text{C}$, что на $0,2^\circ\text{C}$ больше, чем в среднем по Двинско-Печорскому бассейновому округу [2]. Средняя многолетняя температура воздуха за холодный сезон составляет $-8,9^\circ\text{C}$ (табл. 1).

Условия ледообразования и формирования основных фаз ледового режима на Печоре являются типичными для крупных незарегулированных водотоков равнинного типа. Для них характерно ледообразование по всей глубине потока. Замерзание сопровождается образованием шуги и движением ее вниз по течению. Ледовый покров образуется при остановке, сплочении и смерзании льда и шуги [3].

Комплексный анализ сумм температур воздуха, уровней воды и типа ледовых явлений позволил выявить, что первичные ледовые явления независимо от уровня воды образуются в диапазоне сумм отрицательных температур воздуха от 0 до -31°C , устойчивый ледостав образуется в диапазоне отрицательных температур воздуха от -43 до -186°C и имеет относительно тесную обратную зависимость с уровнем воды ($R = -0,62$). Деградация и разрушение ледового покрова начинается с переходом температуры воздуха через 0°C , высший уровень воды за период весеннего ледохода формируется в диапазоне сумм положительных температур воздуха от 32 до 180°C , связи с уровнем воды за этот период выражены слабо.

Анализ линейных трендов показал статистически значимое уменьшение длительности ледостава за счет смещения сроков замерзания на более поздние и сроков вскрытия на более ранние. Общее снижение длительности ледостава составляет от 12 до 4 дней в селах Усть-Цильма и Оксина соответственно. Похожие оценки были получены ранее в работах [4, 5], но за более короткий временной промежуток.

Таблица 1

Статистические характеристики осредненных рядов среднемесячных температур воздуха

Характеристика	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	Ср. знач. X—V
Ср. знач. 1950–2019	-0,8	-8,4	-12,6	-16,6	-16,1	-11,4	-5,9	0,6	-8,9
Ср. знач. 1950–1980	-1,8	-8,8	-12,8	-16,9	-17,1	-13,0	-6,6	-0,2	-9,6
Ср. знач. 1981–2019	-0,1	-8,1	-12,4	-16,3	-15,4	-10,2	-5,3	1,3	-8,3
СКО 1950–2019	2,7	3,9	4,7	4,4	5,0	4,7	3,9	2,6	1,9
СКО 1950–1980	2,5	4,1	5,1	3,4	4,5	5,0	3,9	2,3	1,7
СКО 1981–2019	2,7	3,8	4,5	5,0	5,3	4,1	3,8	2,7	1,9
Cs	-0,49	-0,24	-0,49	0,04	-0,41	-0,43	-0,11	0,13	-0,57
Cv	3,97	0,47	0,38	0,27	0,31	0,42	0,79	5,32	0,22
D1/D2(F)	1,17	1,17	1,27	2,11	1,34	1,51	1,07	1,37	1,26
Критерий Фишера 2а = 10%, Fкр = 1,76	–	–	–	+	–	–	–	–	–
T	-2,5	-0,7	-0,3	-0,6	-1,4	-2,6	-1,4	-2,5	-3,0
Критерий Стьюдента 2а = 10%, Tкр = 1,67	+	–	–	–	–	+	–	+	+
R	0,26	0,17	0,12	0,03	0,15	0,30	0,23	0,30	0,38
Значимость 2а = 10%	+	–	–	–	–	+	–	+	+

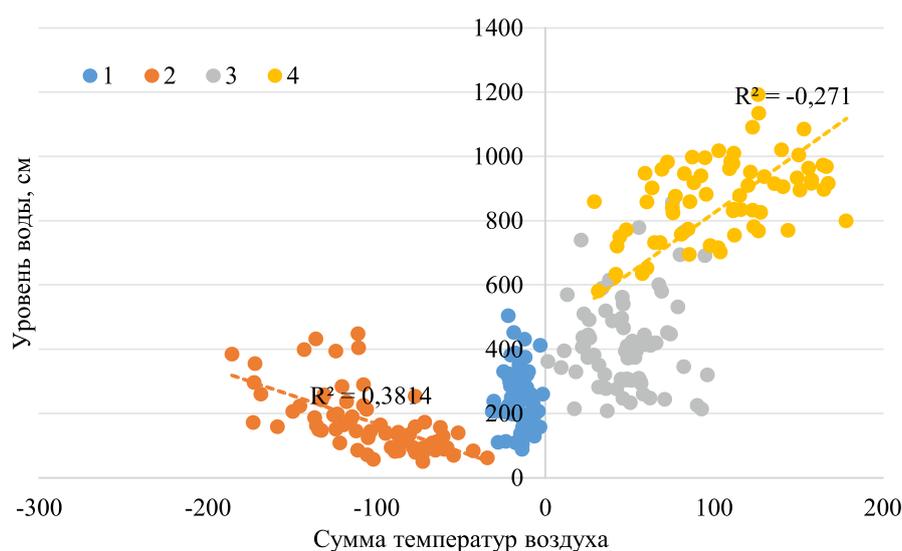


Рис. 1. Условия образования первичных ледовых явлений (1), устойчивого ледостава (2) начала разрушения устойчивого ледостава (3) и формирования высшего уровня за период весеннего ледохода (4) в зависимости от сумм температур воздуха и уровня воды реки Печоры близ ГП Усть-Цильма

Несмотря на высокую длительность весеннего ледохода, на больших реках волна половодья имеет сложный распластаный во времени вид, что определяет формирование высших уровней за год как при ледоходе, так и в условиях свободного русла. По данным наблюдений высшие уровни за год формировались за период с ледовыми явлениями лишь в 19% случаев на участке реки в пределах

Усть-Цильмы, в 47% случаев на участке реки в пределах с. Ермицы и 71% случаев на участке реки в пределах с. Оксина. Таким образом, с увеличением площади водосбора в пределах рассмотренной территории, вероятность формирования высшего уровня воды за год при наличии ледовых явлений повышается, что объясняется более поздними сроками окончания ледохода в устьевых участках.

Таблица 2

Повторяемость формирования высшего уровня за год при заторах льда, ледоходе, отсутствии ледовых явлений и характерные уровни

Гидрологический пост	Повторяемость формирования высшего уровня за год при заторе льда, %	Средний много-летний/высший уровень, см	Повторяемость формирования высшего уровня за год при ледоходе, %	Средний многолетний/высший уровень, см	Повторяемость формирования высшего уровня за год на чистой воде, %	Средний много-летний/высший уровень, см
с. Усть-Цильма	1	774/774	18	888/1018	81	976/1219
с. Ермицы	31	990/1124	16	993/1125	53	957/1099
с. Оксино	16	699/773	55	705/846	29	681/816

Таблица 3

Обеспеченные значения высших за год уровней воды всех генезисов на различных гидрологических пунктах реки Печоры

Обеспеченность, %	Обеспеченные уровни воды, см		
	с. Усть-Цильма	с. Ермицы	с. Оксино
0,1	1289	1184	882
0,2	1267	1173	874
0,5	1235	1157	862
1	1208	1143	852
2	1179	1128	840
5	1134	1102	818
10	1095	1078	798
20	1048	1046	770
25	1030	1034	760
30	1014	1023	749
40	984	1001	730
50	957	980	710

Наиболее затороопасным участком из рассмотренных является участок реки близ с. Ермицы, где повторяемость заторов льда достигает 53%. Среднее значение высшего за год уровня воды заторного происхождения 990 см, для случаев, когда высший уровень за год формировался при ледоходе, среднее значение составило 993 см, на открытой воде – 957 см. При этом стоит отметить что высший уровень за год в 16% случаев формируется при ледоходе, в 31% случаев при заторе и в 53% при свободном ото льда русле (табл. 2). Таким образом, можно заключить, что высший уровень за год примерно в половине случаев формируется на открытой воде, а в половине – при тех или иных ледовых явлениях, при этом наибольших значений высшие уровни воды достигают при ледоходе или заторе льда. Повторяемость заторов льда близ ГП Усть-Цильма составляет 7%, при этом формируются ординарные уровни воды, ГП Оксино – 21%. Повторяемость заторов льда

на ГП Оксино существенно увеличилась в последние годы наблюдений, так, с 2004 г. отмечается 83% от всех случаев заторообразования, при этом формируются высшие за год уровни воды.

Анализ трендов высших уровней воды за период весеннего ледохода (включая заторы льда) показал статистически значимые тренды к снижению, абсолютное значение коэффициента корреляции при этом уменьшается вниз по течению, и близ ГП Оксино снижение уровней является статистически незначимым. Анализ трендов высших за год уровней воды показал статистически незначимое снижение.

В работе были рассчитаны обеспеченные значения высших уровней воды всех генезисов (табл. 3). Обеспеченные высшие уровни воды даны над нулем поста. Отметки начала ОЯ для села Усть-Цильма и с. Ермицы составляют 1030 см, когда начинается подтопление жилых домов [6]. Таким образом, опасные гидрологические

явления на данных участках наблюдаются примерно раз в 4 года. Для с. Оксина уровень ОЯ не определен, затопление поймы начинается при уровне воды 500 см над нулем поста.

Снижение фактических рисков для населения зависит от своевременности и качества выпускаемых прогнозов. Можно отметить, что в настоящее время для прогнозирования высших уровней воды используют различные эмпирические методики. Качество выпускаемых прогнозов при этом зависит от актуальности эмпирической информации, используемой при их разработке. Принцип выбора предикторов для прогнозирования высшего уровня ледохода на различных участках рек зависит от степени стохастичности условий его формирования. Выявлено, что степень стохастичности условий формирования высших уровней за период весеннего ледохода обуславливается географическими факторами (озерность, заболоченность, залесенность, площадь водосбора, приточность, затороопасность) и может быть оценена по зависимости высшего уровня воды за период весеннего ледохода от высшего предледоходного уровня воды. При этом стоит отметить, что высокая стохастичность формирования высшего уровня воды за период весеннего ледохода предопределяет высокую стохастичность формирования и других характеристик уровня режима. В общем случае можно выделить три типа участков рек. Первый тип – зарегулированные озерами участки реки, отдельные бесприточные участки, где высшие уровни формируются с большой степенью инертности. Ко второму типу относятся крупные незарегулированные реки со множеством притоков, которые способны значительным образом повлиять на ледовый режим и характер вскрытия. Третий тип является промежуточным, к нему в первую очередь относятся предустьевые области рек. Гидрографические, морфометрические и физико-географические особенности реки Печоры обуславливают исключительную стохастичность формирования ее уровня режима, и только участок реки близ с. Оксина можно отнести к третьему типу. Это означает, что для участков реки у с. Усть-Цильма и Ермицы необходим поиск предикторов вне данных постов, так как связь между высшим уровнем ледохода и высшим предледоходным уровнем воды выражена слабо. Оценку же качества выпускаемых прогнозов необходимо выпол-

нить по отношению стандартной ошибки прогноза к стандартному отклонению прогнозируемой величины ($S/\sigma_{\text{Нср}}$), а не по отношению к стандартному отклонению среднего изменения прогнозируемой величины за период заблаговременности ($S/\sigma_{\text{Нср}}$), так как данный критерий наиболее строгий. Так, по данным работы [7] критерий $S/\sigma_{\text{Нср}}$ почти в два раза больше, критерия $S/\sigma_{\text{АН}}$. Для с. Оксина необходимо использовать инерционные методы с добавлением второстепенных предикторов, а оценку качества выпускаемых прогнозов производить по критерию $S/\sigma_{\text{АН}}$. Выбор оптимальных предикторов для прогнозирования высшего уровня за период весеннего ледохода был выполнен в работе [2], при этом улучшение качества выпускаемых прогнозов может быть достигнуто при использовании метода обучения искусственных нейронных сетей.

При разработке модели прогнозирования высшего уровня воды за период весеннего ледохода с учетом высших уровней воды заторного генезиса в с. Оксина на реке Печоре в качестве предикторов использованы высший ледоходный уровень воды в селе Ермицы и высший предледоходный уровень на посту в с. Оксина, средняя заблаговременность прогноза составила 4 дня. Рассмотрим абсолютные ошибки результатов прогнозирования высшего уровня воды за период весеннего ледохода при использовании регрессионных и нейросетевых прогностических моделей (рис. 2).

Можно отметить, что лучшим качеством выпускаемых прогнозов характеризуется нейронная сеть MLP 2-8-1, оправдываемость прогнозов которой составила 92%, оправдываемость прогнозов, данных по уравнению множественно регрессии, составила 79%. Для MLP 2-8-1 отношение S/σ_{Δ} на независимом материале составило 0,46, что свидетельствует о высоком качестве выпускаемых прогнозов.

Заключение

В работе рассмотрены вопросы изменения климата и его влияния на ледовый режим реки Печоры. Установлено увеличение средней за холодный сезон температуры воздуха в районе 1,3°C, что привело к снижению длительности ледостава от 4 до 12 дней. По данным многолетних наблюдений повторяемость заторов льда близ ГП Усть-Цильма составляет 7%, при этом формируются ординарные уровни воды, ГП Оксина – 21%.

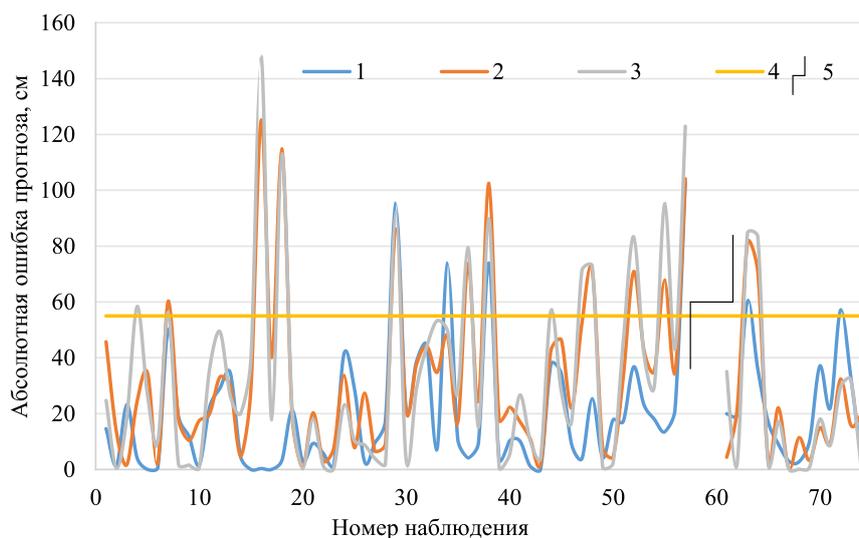


Рис. 2. Абсолютные ошибки результатов прогнозирования высшего уровня воды за период весеннего ледохода ГП с. Оксино с использованием нейросетевых моделей MLP 2-8-1 (1), MLP 2-3-5-1 (2) и модели множественной линейной регрессии (3); допустимая ошибка прогнозирования (4), обучающая и тестовая выборка разделены условной линией (5)

Были рассчитаны обеспеченные значения высших за год уровней воды. Представлены методические подходы к прогнозированию высшего уровня ледохода на основе авторской классификации участков рек. Приведен пример прогнозирования высшего уровня воды за период весеннего ледохода с использованием искусственных нейронных сетей. Научная и практическая значимость работы заключается в возможности использования методических подходов к прогнозированию высшего уровня воды за период весеннего ледохода.

Список литературы / References

1. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 408 с.

Malinin V.N. Statistical methods for the analysis of hydro-meteorological information. SPb.: Izd-vo RSHU, 2008. 408 p.

2. Сумачев А.Э., Банщикова Л.С. Ледовый режим реки Печора и особенности прогнозирования высшего уровня ледохода // Гидрометеорология и экология. 2020. № 61. С. 446–459. DOI: 10.33933/2074-2762-2020-61-446-459.

Sumachev A.E., Banshikova L.S. Ice regime of the Pechora river and features of forecasting the highest ice drift level. *Gidrometeorologiya i Ekologiya*. 2020. No. 61. P. 446–459 (in Russian). DOI: 10.33933/2074-2762-2020-61-446-459.

3. Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. Л.: Гидрометиздат, 1987. 246 с.

Donchenko R.V. Ice regime of the rivers of the USSR. Leningrad: Gidrometizdat, 1987. 246 p. (in Russian).

4. Агафонова С.А., Фролова Н.Л., Василенко А.Н., Широкова В.А. Ледовый режим и опасные гидрологические явления на реках арктической зоны европейской территории России // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. № 6. С. 41–49.

Agafonova S.A., Frolova N.L., Vasilenko A.N., Shirokova V.A. Ice regime and hazardous hydrological phenomena on the rivers of the Arctic zone of the European territory of Russia // *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*. 2016. № 6. P. 41–49 (in Russian).

5. Вуглинский В.С. Оценка изменений характеристик ледового режима водных объектов для различных регионов страны в современных климатических условиях // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2014. № 3. С. 32–35.

Vuglinsky V.S. Assessment of changes in the characteristics of the ice regime of water bodies for different regions of the country in modern climatic conditions // *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle*. 2014. No. 3. P. 32–35 (in Russian).

6. Каталог неблагоприятных и опасных гидрологических явлений на реках Республики Коми [Электронный ресурс]. URL: <http://meteork.ru/kng.shtml> (дата обращения: 30.09.2021).

Catalog of adverse and dangerous hydrological phenomena on the rivers of the Komi Republic [Electronic resource]. URL: <http://meteork.ru/kng.shtml> (date of access: 30.09.2021) (in Russian).

7. Бузин В.А. Зажоры и заторы льда на реках России. СПб.: ГГИ, 2015. 240 с.

Buzin V.A. Ice jams and jams on the rivers of Russia. SPb.: SHI, 2015. 240 p. (in Russian).

УДК 552.513

**ПЕСЧАНЫЕ ПОРОДЫ ПУР-ТАЗОВСКОЙ НЕФТЕНОСНОЙ ОБЛАСТИ:
ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА ФИЛЬТРАЦИОННО-ЕМКОСТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОЛЛЕКТОРА****¹Черданцева Д.А., ¹Кравченко Г.Г., ²Краснощекова Л.А.**¹*Акционерное общество «Томский научно-исследовательский и проектный институт нефти и газа», Томск, e-mail: cherdantsevada@tomsknpi.ru;*²*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск, e-mail: krasnl@tpu.ru*

В статье рассмотрен вопрос о влиянии вещественного состава и процессов постседиментационного преобразования нижнемеловых песчаников Пур-Тазовской нефтеносной области на зависимость их пористости (K_p) от проницаемости ($K_{пр}$). На основании изучения kernового материала, петрографического анализа и расчета пористости на специализированном программном комплексе «Керн С7» установлено, что в изученных породах преимущественное развитие имеют изолированные и сообщающиеся межзерновые поры угловатой и заливообразной формы, в подчиненном количестве присутствуют внутризерновые поры, развитые вдоль плоскостей спайности и двойникования в частично растворенных зернах полевых шпатов. В участках шлифов с каолиновым цементом фиксируется микропористость в межпакетных промежутках. Изучение пористости с использованием панорамных снимков шлифов позволило сопоставить данные литологического исследования с данными пористости песчаников по гелию. Выведена формула, численно отражающая влияние аутигенной цементации и степени уплотнения породы на ее фильтрационно-емкостные параметры. Сделаны выводы о том, что полученные поправочные коэффициенты отражают способ выполнения порового пространства различными видами цементов. В количественном выражении установлен вклад каждого литологического параметра в формирование зависимости K_p от $K_{пр}$. Поправка на содержание каолинита в поровом пространстве позволила скорректировать величину достоверности аппроксимации на графике зависимости пористости от проницаемости для песчаников Лодочного месторождения на 5%, содержание иллита – на 4,5%, кальцита – на 2%. Поправка на соотношение среднего размера зерен к среднему размеру пор внесла корректировку еще на 1%. С учётом указанных поправок, корректирующих значения общей пористости, коэффициент достоверности аппроксимации составил 0,98. Последующий анализ, проведенный авторами ещё на трёх скважинах, подтвердил значения корректирующих коэффициентов для всей площади месторождения. С точки зрения практической значимости полученные данные могут быть использованы для создания методики геологически обоснованного моделирования проницаемости на месторождении.

Ключевые слова: Красноярский край, песчаники, Ванкорская группа месторождений, проницаемость, терригенный коллектор, пористость

**LITHOLOGICAL FEATURES INFLUENCE ON POROSITY
AND PERMEABILITY OF OIL-BEARING SANDSTONES****¹Cherdantseva D.A., ¹Kravchenko G.G., ²Krasnoschekova L.A.**¹*Tomsk Oil and Gas Research and Design Institute, Tomsk, e-mail: CherdantsevaDA@tomsknpi.ru;*²*National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: krasnl@tpu.ru*

The paper considers the question about the material composition and diagenesis processes transform the sandstone porosity/permeability dependence. Based on the core material study, petrographic analysis and porosity calculation with a specialized program Kern C7, the authors proposed a method for lithological based prediction of the permeability in terrigenous reservoirs. According to the petrographic study, it has been established that in the sandstones of the Lodochnoe deposit, isolated and intergranular pores with an angular and bay-like shape are predominantly developed, there are sub granular pores along the cleavage and twinning planes in partially dissolved feldspar grains. In thin sections with kaolinite cement, microporosity is recorded in the inter-package spaces. The porosity study using panoramic images of thin sections made it possible to compare the lithological data study with the sandstone porosity data by helium. The derived formula numerically reflects the influence of authigenic cementation and the rock compaction degree on its filtration parameters. It is concluded that the obtained correction factors reflect the way of filling the pore space with different cement types. In quantitative terms, the contribution of each lithological parameter to the dependence K_{por} on K_{perm} was established. The correction for the kaolinite content in the pore space made it possible to correct the coefficient R2 on the plot porosity on permeability for sandstones from the Lodochnoe deposit by 5%, the illite content by 4.5%, and calcite by 2%. Correction for the ratio of the average grain size to the average pore size – 1%. Taking into account the above-mentioned corrections, correcting the values of the total porosity, the approximation confidence value was 0.98. Subsequent analysis carried out by the authors on three more wells confirmed the values of the correction factors for the entire field. From the point of practical significance, the obtained data can be used to create a methodology for geologically based modeling of permeability in the field.

Keywords: Krasnoyarsk Territory, sandstones, Vankor permeability, terrigenous reservoir, porosity

Преимущественное влияние структуры порового пространства на поведение относительно фазовых проницаемостей было выявлено в результате многочисленных экспериментальных исследований в области многофазной фильтрации [1, 2]. Аспек-

ты влияния литологических параметров на фильтрационно-емкостные и петрофизические свойства пород рассмотрены в работах таких исследователей, как R. Weibel [3], K. Bjørlykke [4], L. Liu [5] и др. Установлено, что сложная поровая структура является решающим фактором, оказывающим воздействие на особенности фильтрации флюида в пластах-коллекторах, и создает определенные сложности при разведке и разработке месторождений [6]. Однако подробное изучение строения порового пространства продуктивных песчаников с акцентом на литологию открывает возможности для построения максимально точных геологических моделей многопластовых залежей углеводородов. Для разработки методики прогнозирования проницаемости терригенных коллекторов с учетом структурно-вещественных параметров пород авторами был использован керновый материал и петрографические шлифы по Лодочному нефтегазоконденсатному месторождению. Административно объект расположен на территории Туруханского района Красноярского края и входит в состав Ванкорской группы месторождений Пур-Тазовской нефтеносной области. В орографическом отношении изучаемая территория приурочена к центральной части Нижне-Енисейской возвышенности Западно-Сибирской низменности. С тектонической точки зрения Нижне-Енисейская возвышенность является отражением в рельефе положительных линейных тектонических структур мезозойско-кайнозойского платформенного чехла – Сузунского и Лодочного валов, осложняющих Большехетскую структурную террасу. В геологическом строении изучаемой территории принимают участие метаморфические образования архейско-среднепротерозойского возраста, осадочные образования палеозойского и мезозойско-кайнозойского возраста. Разрез мезозойско-кайнозойских отложений изучен по материалам глубокого бурения и представлен отложениями юрско-мелового и четвертичного возраста. Продуктивные пласты месторождения относятся к нижнехетской, малохетской, суходудинской и яковлевской свитам нижнего мела.

Целью исследования являлось определение и численная оценка влияния процессов седиментогенеза и постседиментационного преобразования пород на фильтрационно-емкостные параметры продуктивных песчаников Пур-Тазовской нефтеносной области на примере Лодочного месторождения углеводородов.

Материалы и методы исследования

Исследовались образцы песчаных пород продуктивных пластов нижнехетской и яковлевской свит. Определение фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) проводилось на ста пяти цилиндрических образцах диаметром 30 мм, из торцевой части которых изготавливались прокрашенные синей эпоксидной смолой шлифы.

Коэффициенты открытой пористости и газопроницаемости определялись анализатором пористости и газопроницаемости пород AP-608. Петрографический анализ проводился на поляризационном микроскопе Olympus BX-53 с дальнейшим детальным изучением размерных характеристик пустотного пространства с помощью специализированной программы «Керн С7». Полное петрографическое описание шлифов терригенных пород включало в себя: определение вещественного состава образцов с подсчетом содержания и описания основных породообразующих компонентов, цементов, пустотно-порового пространства; измерение гранулометрических параметров обломочного материала; анализ проявленных постседиментационных изменений в песчаниках.

Результаты исследования и их обсуждение

При петрографическом изучении шлифов, помимо характеристики структурно-вещественного состава пород, устанавливаются также особенности пустотно-порового пространства (характер пористости, форма, распределение, степень сообщаемости пор) и особенности проявления цементирующего материала в породе; фиксируется степень уплотнения обломков в породе. Авторы предприняли попытку учесть все вышеперечисленные данные в единой формуле, описывающей математическую модель песчаника, путем подбора коэффициентов для определения степени влияния тех или иных литологических параметров на фильтрационно-емкостные характеристики пород.

Представляется, что в идеальных песчаниках существует зависимость пористости от проницаемости. Однако в реальности к нарушению такой зависимости приводят: непостоянство формы зёрен и их контактов, различная степень уплотнения пород, формирование в поровом пространстве песчаника аутигенных цементов, наличие включений, текстурная неоднородность породы и т.д. В связи с тем, что количество изме-

ряемых литологических параметров, оказывающих влияние на проницаемость, может измеряться десятками, создание единой функции, связывающей их воедино, представляется достаточно сложной задачей (по крайней мере, на данном этапе исследования). Поэтому в работе подбиралась зависимость, построенная с использованием всего лишь нескольких, наиболее весомых на основании практического опыта авторов, литологических параметров, а именно:

- содержания пяти основных типов цемента по минеральному составу (каолиновый, иллитовый, хлоритовый, сидеритовый и кальцитовый);
- параметров гранулометрического распределения зёрен (медианный диаметр);
- параметров распределения пор по размерам (использовался тот же подход, что и для гранулометрии).

В условно идеальной модели песчаных формирований без учета цементирующей части и при условии хорошей сортированности материала размер пор будет напрямую зависеть от размера обломков и степени их уплотнения, а проницаемость будет иметь экспоненциальную зависимость от пористости. На рис. 1 на графике зависимости медианного диаметра зерен от проницаемости породы ($K_{пр}$) (на примере образцов из скважины № 445 Лодочного месторождения) отмечается, что ряд песчаников не подчиняется экспоненциальному распределению и величина достоверности аппроксимации составляет всего 0,1041.

Для выявления причины такого распределения авторами был проанализирован ве-

щественный состав образцов, выделенных оранжевым цветом. Все указанные образцы представлены известковистыми и известковыми песчаниками с содержанием кальция выше 12%. Предположим, что для учета влияния карбонатности на ФЕС возможно подобрать коэффициент, отражающий содержание карбонатов в песчанике, и по аналогии это возможно сделать и для других видов аутигенного цемента.

Чтобы подтвердить выдвинутое предположение, обратимся к графикам зависимости проницаемости песчаника от содержания цемента разного состава (рис. 2). На приведённых графиках видно, что существующие в породе зависимости сложно описать простыми функциями. Это указывает на необходимость создания комплексного коэффициента, способного учитывать сразу ряд параметров:

- 1) состав цементирующего материала и его количество;
- 2) размер обломков;
- 3) степень уплотнения или вторичного разуплотнения породы;
- 4) размер и форму пор, степень их сообщаемости и однородность распределения;
- 5) однородность состава породы (текстурно-структурные характеристики).

Для анализа зависимостей вещественный состав песчаников был сопоставлен с данными гранулометрического анализа, а также данными по пористости и проницаемости образцов по гелию. Решение поставленной задачи сводилось к подбору поправочных коэффициентов, таким образом, чтобы максимально приблизить вид графика $K_{пр}(K_{пр})$ к экспоненциальному виду.

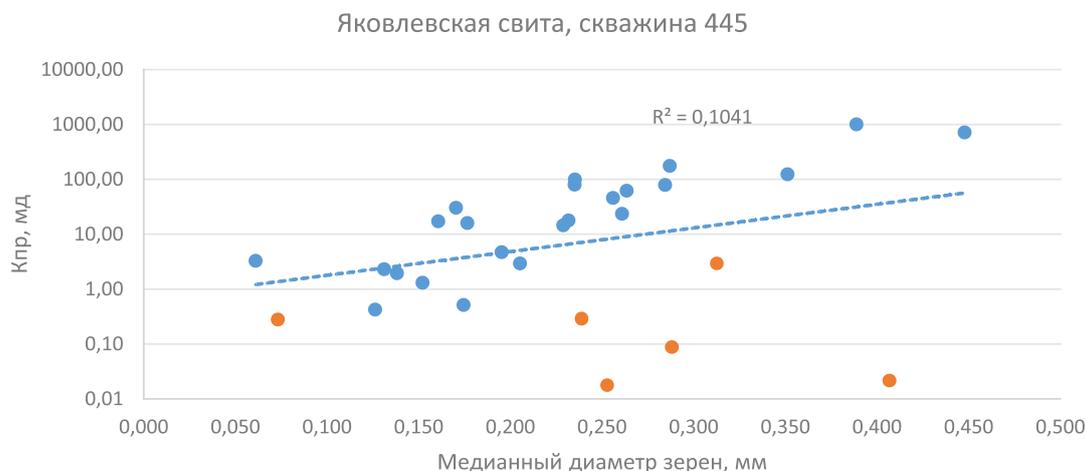


Рис. 1. График зависимости проницаемости песчаника ($K_{пр}$) от медианного диаметра слагающих его зерен. Образцы, содержащие карбонатный цемент выше 12%, выделены оранжевым цветом

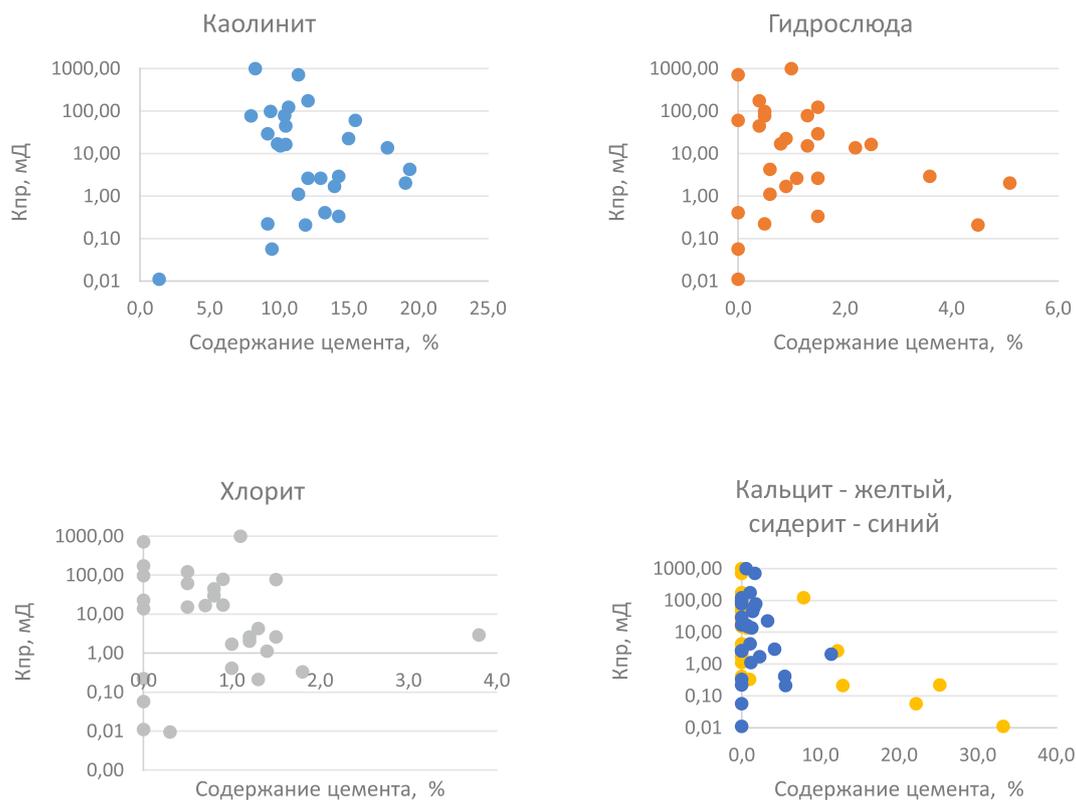


Рис. 2. Графики зависимостей проницаемости от содержания цементирующего материала

Содержание цементирующего материала в песчаниках продуктивных пластов

Литологические коэффициенты	А каолинит	В иллит	С хлорит	Д кальцит	Е сидерит	М
Верхнеяковлевская	-0,60	-2,30	-0,20	+0,23	-0,10	0
Нижнеяковлевская	-0,35	-0,10	-0,30	+0,10	-0,10	0
Нижнехетская Нх-I	-1,20	0	-0,15	0	0	25
Нижнехетская Нх-III-IV	-0,60	-0,15	-0,75	+0,03	-0,30	4

Полученные таким способом значения пористости были названы $K_{п}^{(лит)}$ (пористость с поправкой на литологию), а для оценки степени приближения зависимости к идеальному (экспоненциальному) виду использовался показатель достоверности аппроксимации R^2 , рассчитываемый автоматически в MS Excel. Для расчёта пористости с поправкой на литологию использовалась следующая формула:

$$K_{п(лит)} = K_{п} + A \cdot V_{каол} + B \cdot V_{илл} + C \cdot V_{хл} + D \cdot V_{кал} + E \cdot V_{сид} + M, \quad (1)$$

где $K_{п}^{(лит)}$ – пористость с поправкой на литологию;

$K_{п}$ – пористость по гелию (%);

V – содержание соответствующих минералогических типов цемента;

А, В, С, D, Е – поправочные коэффициенты для содержаний каолинита, иллита, хлорита, кальцита и сидерита соответственно;

М – коэффициент, отражающий соотношение среднего размера пор к среднему размеру зерен (поправка на степень уплотнения); содержание цементов считалось в % от площади шлифа. Пример содержания цемента в изучаемых породах представлен в таблице.

Физический смысл поправочных литологических коэффициентов состоит в определении объема порового пространства, который соответствующие типы цементов исключают из процессов фильтрации. Учет влияния литологии на ФЕС путем введения поправочных коэффициентов позволил численно оценить степень влияния структурно-вещественных параметров породы на зависимость ее пористости от проницаемости.

На рис. 3 и 4 приведено сравнение графиков с данными образцов до введения поправочных коэффициентов и после. В результате исследования установлено, что в песчаниках верхнеяковлевской подсвиты, наибольшее влияние на ФЕС оказали каолинит и гидрослюда (иллит) (рис. 3, А). Это вполне закономерно, поскольку для изученных пород характерна активная каолинизация, связанная с процессами растворения зерен полевых шпатов. Иллит с литологической точки зрения связан с процессами образования гидрослюдистых минералов в результате гидратации биотита, которым наиболее сильно обогащены неоднородные по своей текстуре разновидности верхнеяковлевских песчаников. Формула для расчета пористости с поправкой на литологию в песчаных породах верхнеяковлевской подсвиты имеет вид

$$K_{п(лит)} = K_{п} - 0,60 * Каол - 2,30 * Ил - 0,20 * Хл + 0,23 * Кал - 0,10 * Сид + 0 * М. (2)$$

Здесь и далее: $K_{п(лит)}$ – пористость с поправкой на литологию, $K_{п}$ – пористость по гелию в%; содержание цементов в % от площади шлифа, Каол – каолинит, Ил – иллит (гидрослюда), Хл – хлорит, Кал – кальцит, Сид – сидерит, М – медианный диаметр зерен по данным гранулометрии, мм.

В песчаных породах нижнеяковлевской свиты наибольшее влияние на ФЕС оказали каолинит и хлорит (рис. 3, Б). Каолинизация здесь также связана с активным

растворением полевых шпатов, а хлоритизация – с наличием прослоев, обогащенных чешуйками хлоритизированного биотита. С учетом петрографического изучения пород в шлифах, для песчаных пород нижнеяковлевской подсвиты формула имеет вид

$$K_{п(лит)} = K_{п} - 0,35 * Каол - 0,10 * Ил - 0,30 * Хл + 0,10 * Кал - 0,10 * Сид + 0 * М. (3)$$

Исходя из того, какую крупную поправку в данные вносит медианный диаметр зерен (рис. 4, А), в песчаных породах нижнехетской свиты наибольшее влияние на зависимость $K_{пр}$ от $K_{п}$ оказала размерность обломков и степень их сортированности. Связано это, прежде всего, с фациальными условиями. Песчаники пласта Нх-І, сформированные в условиях гребней вдольбереговых валов, отличаются наилучшей степенью сортированности и крупным размером зерен, на рис. 4, А, они отмечены красным. Наибольшую поправку из цементов внесли каолинит и хлорит, в то время как карбонаты и иллит (гидрослюда) не оказали заметного влияния.

$$K_{п(лит)} = K_{п} - 1,20 * Каол - 0 * Ил - 0,15 * Хл + 0 * Кал - 0 * Сид + 25 * М. (4)$$

Из цементов максимальное воздействие на изменение ФЕС в песчаниках пласта Нх-III-IV нижнехетской свиты внесли каолинит, хлорит и сидерит, чуть менее заметное – иллит (гидрослюда) и кальцит.

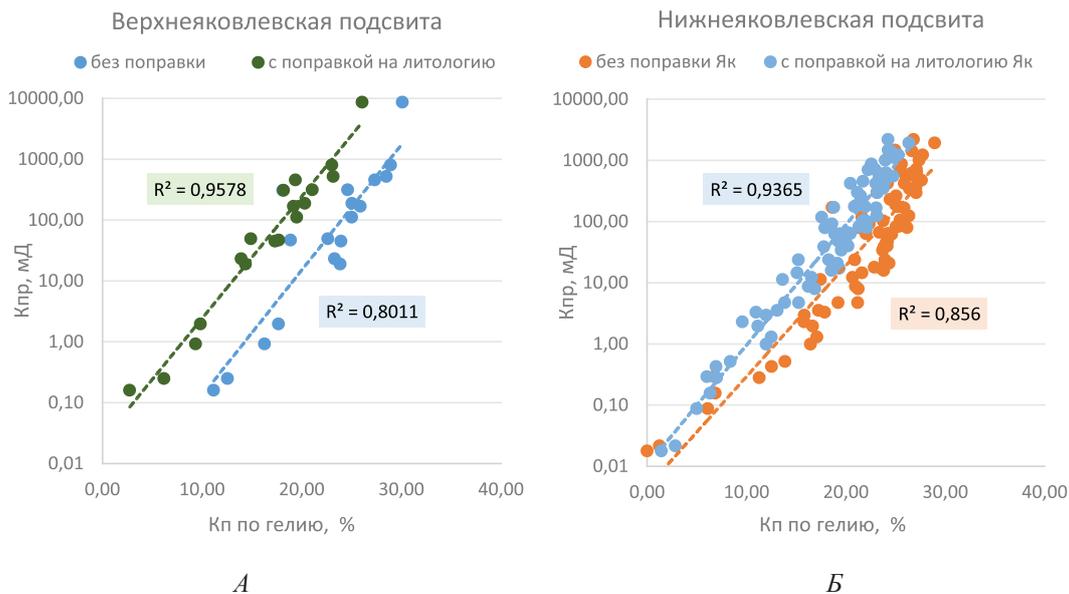


Рис. 3. Графики зависимости пористости от проницаемости для образцов из отложений яковлевской свиты без учёта поправки на литологию и с учётом поправки

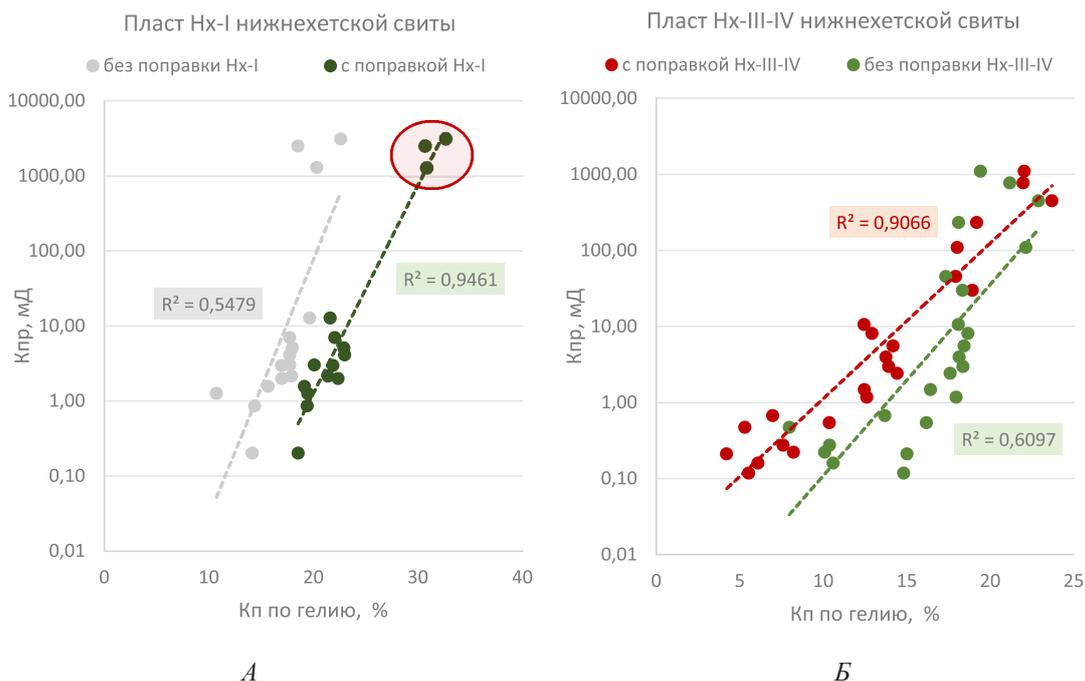


Рис. 4. Графики зависимости проницаемости от пористости для образцов из пластов Hx-I (А) и Hx-III-IV (Б) нижнехетской свиты без учёта поправки на литологию и с её учётом

Сидерит в изученных образцах отмечен в тонких сильно сидеритизированных глинистых прослоях со следами биотурбации осадка. Пелитоморфный сидерит активно развивался в песчаниках, обогащенных глинистым материалом, первым из карбонатов оседал в породе и активно формировал стяжения и микроконкреции, которые впоследствии привели к снижению проницаемости пород.

В песчаных породах пласта Hx-III-IV нижнехетской свиты незначительное положительное влияние на зависимость $K_{пр}$ от $K_{п}$ оказали невысокие содержания (до 10%) кальцита – выступающие маркером вторичного растворения карбонатов. Исходя из значений медианного диаметра зерен существует разграничение образцов, связанное с фаціальными условиями формирования песчаников. Наибольшую поправку из цементов внесли каолинит и хлорит, чуть менее заметную – сидерит. Таким образом, для песчаных пород пласта Hx-III-IV нижнехетской свиты были получены следующие закономерности (рис. 4, Б):

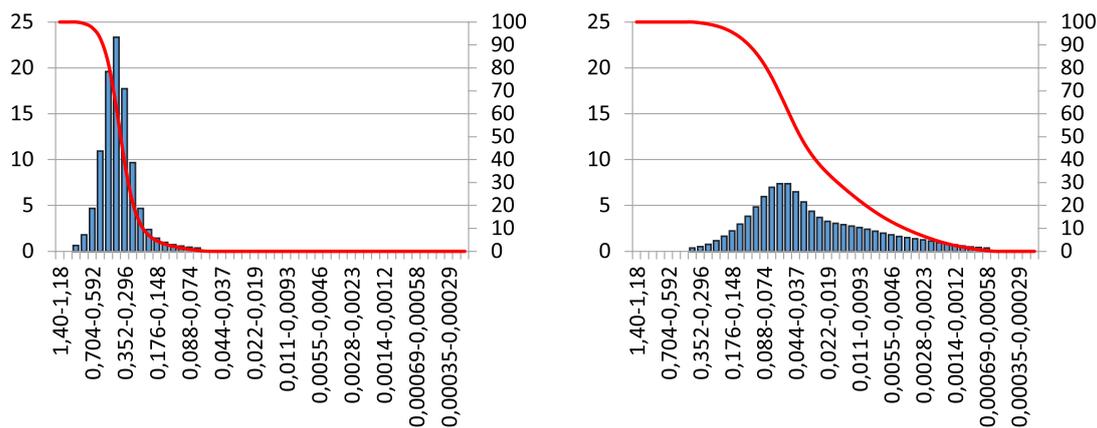
$$K_{п(лит)} = K_{п} - 0,60 \cdot Каол - 0,15 \cdot Ил - 0,75 \cdot Хл + 0,03 \cdot Кал - 0,30 \cdot Сид + 4 \cdot М. \quad (5)$$

О влиянии размерности зерен можно судить, если сравнить графики распределения

гранулометрической размерности для образцов с низкой и высокой проницаемостью представленных на рис. 5. Видно, что распределение, характерное для хорошо сортированных крупно-среднезернистых песчаников гребней вдольбереговых песчаных баров из пласта Hx-I (рис. 5, А) сильно отличается от распределения в плохо сортированных тонко-мелкозернистых песчаниках межбаровых ложбин нижнехетской свиты (рис. 5, Б).

Заключение

Все типы цементов, за исключением невысоких содержаний (до 10%) фрагментов вторично растворенного кальцита, ожидаемо уменьшают пористость. На данном этапе исследования можно полагать, что цементы либо содержат изолированные микропоры, не участвующие в фильтрации, либо имеют плёночный тип распределения и могут перекрывать сообщение между относительно крупными порами. Первый тип влияния, как показывает петрографическое изучение цементов под микроскопом, типичен для каолинита, второй – для иллита и хлорита. Иллит и хлорит, благодаря плёночному характеру своего распределения, обычно не оказывают существенного влияния на проницаемость, однако в некоторых случаях могут перекрывать сообщение между порами, исключая их из процессов фильтрации.



А) Кп, % – 21,88 Кпр, мД – 2481,89

Б) Кп, % – 20,87 Кпр, мД – 12,62

Рис. 5. Графики распределения гранулометрических фракций обр. № 8546-18 из скв. № 112 (А) и обр. № 9816-18 из скв. № 112 (Б)

Вероятно, в случае перекрытия иллитом и хлоритом щелевидных пор объём перекрытых межзерновых пор может превышать содержание соответствующего цемента в породе, на что указывают превышающие 1 значения поправочных коэффициентов, наблюдающиеся в некоторых случаях (Каол – Нх-I, Иллит – ВЯк). Аналогичный механизм влияния на проницаемость имеет, по-видимому, и сидерит.

Интересным представляется факт улучшения проницаемости от содержания кальцита, в то время как хорошо известно, что его наличие в породе может только снижать пористость и, соответственно, проницаемость [7, 8]. Данное обстоятельство можно объяснить наличием во многих изученных песчаниках включений кальцита, несущих на себе признаки растворения. Как правило, такой кальцит находится в наиболее тупиковых частях пор или внутри зёрен. Очевидно, что осаждение кальцита, начинающееся из-за изменения рН среды, будет охватывать поры по мере ухудшения их связности. Обратный процесс растворения кальцита будет идти в противоположном направлении, т.е. начинаться в наиболее крупных из оставшихся пор и заканчиваться в наиболее мелких, включая тупиковые и внутризерновые. В связи с вышесказанным обнаружение в песчаниках кальцита в упомянутых местах авторы интерпретируют как результат растворения зон карбонатизации. Существование таких зон – не редкость в нефтяных залежах, они могут образовываться

в разных частях залежей по мере миграции ВНК, в том числе с наложением друг на друга и при этом многократно подвергаться растворению за счёт изменения рН фильтрующихся через породу флюидов. Образование кальцита в зонах карбонатизации после того, как он занял всё свободное пространство, продолжается за счёт растворения обломочных зёрен, прежде всего кварца и полевого шпата. В случае последующее полного растворения такого кальцита в песчанике возникнет дополнительная пористость, которая может существенно превышать первичную (седиментационную). Реликты кальцита в этом случае будут иметь положительную корреляционную связь с пористостью и проницаемостью.

Список литературы / References

1. Актуальные вопросы петрофизики сложнопостроенных коллекторов / Под ред. докт. геол.-минерал. наук И.Г. Шнурмана. Краснодар: Просвещение-Юг, 2010. 306 с.
2. Topical issues of complex reservoirs petrophysics / Pod. red. dokt. geol.-mineral. nauk I.G. Shnurmana. Krasnodar: Prosveshcheniye-Yug, 2010. 306 p. (in Russian).
3. Cherdantseva D.A., Kravchenko G.G. and Krasnoshchekova L.A. The Pore Structure and it's Effect on Oil-Bearing Sandstones Petrophysical Characteristics in the Lodochnoe Deposit. Conference Proceedings, Geomodel. 2020. Vol. 2020. P. 1–5. DOI: 10.3997/2214-4609.202050017.
4. Weibel R., Nielsen M.T., Therkelsen J., Jakobsen F.C., Bjerager M., Mørk F., Mathiesen A., Hovikoski J., Pedersen S.S., Johannessen P.N., Dybkjær K. Illite distribution and morphology explaining basinal variations in reservoir properties of Upper Jurassic sandstones, Danish North Sea. Marine and Petroleum Geology. 2020. № 116. P. 104290. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2020.104290.
5. Bjørlykke K. Relationships between depositional environments, burial history and rock properties. Some principal aspects of diagenetic process in sedimentary basins.

Sedimentary Geology. 2014. № 301. P. 1–14. DOI: 10.1016/j.sedgeo.2013.12.002.

5. Liu L., Li Y., Dong H., Sun Z. Diagenesis and reservoir quality of Paleocene tight sandstones, Lishui Sag, East China Sea Shelf Basin. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2020. P. 107615. DOI: 10.1016/j.petrol.2020.107615.

6. Ren D., Yang F., Li R., Zhou D., Lui D. and Li Y. Insight into the Pore Structures and Its Impacts on Movable Fluid in Tight Sandstones. *Geofluids. Special Issue*. 2020. P. 1–11. DOI: 10.1155/2020/8820023.

7. Hong D., Cao J., Wu T., Dang S., Hu W., Yao S. Authigenic clay minerals and calcite dissolution influence reservoir quality in tight sandstones: Insights from the central Junggar Basin, NW China. *Energy Geoscience*. 2020. № 1. P. 8–19. DOI: 10.1016/j.engeos.2020.03.001.

8. Nyman S.L., Gani R.M., Bhattacharya J.P., Lee K. Origin and distribution of calcite concretions in Cretaceous Wall Creek Member, Wyoming: Reservoir-quality implication for shallow-marine deltaic strata. *Cretaceous Research* 2014. № 48. P. 139–152. DOI: 10.1016/j.cretres.2013.12.009.

УДК 553.3/4:553.04:528.8

КАРТИРОВАНИЕ СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ ТЕРРИТОРИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ АНАЛИЗОМ ИЗОБРАЖЕНИЙ LANDSAT 8 OLI (КЕМСКИЙ ТЕРРЕЙН, СИХОТЭ-АЛИНСКИЙ СКЛАДЧАТЫЙ ПОЯС)

^{1,2}Шевырев С.Л., ²Шевырева М.Ж., ²Горобейко Е.В.¹Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, e-mail: shevirev@mail.ru;²Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток

Усиление роли технологий дистанционного зондирования Земли в геологическом изучении труднодоступных территорий Дальнего Востока России востребовано для детектирования тектонических структур различных порядков, определения перспективности площадей на рудные и комплексные полезные ископаемые. Площадные колебания отражательной способности горных пород, связанные с присутствием различных породообразующих минералов и вторичными изменениями, служат ключом к дистанционному геологическому картированию. Одним из препятствий, возникающих при проведении таких исследований, является необходимость в уменьшении влияния растительного покрова, затушевывающего подстилающие горные породы. Этого можно достичь вычислением вклада в наблюдаемую картину спутниковых индексов, рассчитанных для видимых и инфракрасных каналов системы Landsat 8 OLI и демонстрирующих относительные содержания минералов и плотность растительности. Вычисление соответствующих минеральным концентрациям направленных главных компонент (НГК) на основе их дисперсий производится с помощью авторского программного обеспечения DefME. В случае успешного подбора «минеральных» и «растительных» спутниковых индексов нагрузки главных компонент имеют противоположный знак, при этом значения нагрузок компоненты растительного покрова существенно превосходит по модулю значение минеральной компоненты. Дистанционное картирование подстилающих структурно-вещественных комплексов может быть выполнено с помощью методов классификации изображений, отражающих содержание минеральных компонент в подстилающих породах, например с помощью метода К-средних. Такой подход позволил выделить на дистанционной фотооснове границы распространения структурных этажей территории, литологических разностей и минерагенических зон. Технология была опробована нами в пределах Кемского террейна (Восточно-Сихотэ-Алинский вулканоплутонический пояс, ВСАВП) с выделением тектонических границ, контролируемых распространением вулканогенно-осадочного чехла ВСАВП и его складчатого фундамента. Полученные классы К-средних получили развернутую геологическую интерпретацию.

Ключевые слова: вулканические пояса, машинное обучение, scikit-learn, геологическое картирование, дистанционное зондирование, главные компоненты, Landsat 8

MAPPING OF THE STRUCTURAL AND SUBSTATIONAL COMPLEXES OF THE TERRITORY BY AUTOMATED ANALYSIS OF LANDSAT 8 OLI IMAGES (KEMA TERRANE, SIKHOTE-ALIN FOLDED BELT)

^{1,2}Shevirev S.L., ²Shevireva M.Zh., ²Gorobeyko E.V.¹Far Eastern Federal University, Vladivostok, e-mail: shevirev@mail.ru;²Far Eastern Geological Institute FEB RAS, Vladivostok

Increasing role of remote sensing in the geological exploration of detached areas of the Russian Far East is in demand for detecting tectonic structures of various orders, determining mineral prospectivity of areas for ore and complex minerals. Areal changes of ground reflectance that are associated with distribution of rock-forming minerals and alterations are the key to regional remote geological mapping. Necessity of reduction of vegetation cover influence, which obscures underlying rocks is one of the critical challenges. This can be achieved by computations the contribution of satellite indices of the visible and infrared channels of the Landsat 8 OLI. Calculation of the directional principal components (DPC) that correspond to the mineral concentrations on the basis of their dispersions is carried out using open-source software DefME. In case of a successful selection of «mineral» and «plant» satellite indices, loads of the main components should have the opposite sign, while the loadings of the vegetation cover component significantly exceed value of the mineral component in modulus. Remote mapping of underlying structural and substational complexes implies methods of image classification, for example, K-means method. This approach made it possible to identify boundaries of the structural levels, lithological differences and mineragenic zones basically on remote sensing. The technology was tested within the Kema terrane (East Sikhote Alin volcano-plutonic belt, ESAVBP), with the identification of tectonic boundaries that control distribution of volcanic-sedimentary cover of the ESAVBP and its folded basement. The resulting K-means classes have received a detailed geological interpretation.

Keywords: volcanic belts, machine learning, scikit-learn, geological mapping, remote sensing, principal components, Landsat 8

В Восточноазиатском регионе, включая территории Дальнего Востока России и Китая, существуют обширные площади, перспективные на коренные и россыпные месторождения Au-Ag гидротермального, грейзенового или метасоматического происхождения [1–3]. Наиболее крупные рудно-россыпные районы золота

и серебра расположены вблизи границ палеозойских и мезозойских супертеррейнов, которые сложены турбидитовыми отложениями, фрагментами древних островных дуг и континентальными блоками [4, рис. 1]. Исследователи последних двух десятилетий рассматривали пространственную и генетическую взаимосвязи благороднометалльных рудных районов с периферией стагнированного по глубине мантийного слэба [5, 6]. Внутри контура этого слэба присутствуют многочисленные месторождения золота и серебра разного генезиса, характеризующиеся небольшими площадью и ресурсами. Полевые исследования этих объектов могут быть осложнены их труднодоступностью из-за расчлененного рельефа и густой растительности, что препятствует обнаружению и оконтуриванию перспективных участков. Усиление рентабельности и повышение производительности полевых работ возможны за счет проведения дистанционной геологической рекогносцировки, позволя-

ющей оконтурить границы структурно-вещественных комплексов (СВК) территории. Для достижения этой цели необходимо решить задачи синтеза методик полевого опробования, лабораторных минералогических исследований и анализа изображений минеральных компонентов, полученных на основе спутниковых данных с использованием методики программного устранения влияния растительности с помощью направленных главных компонент (НГК) [7].

Материалы и методы исследования

Исследование было выполнено на территории Кемского террейна в составе Сихотэ-Алинского горно-складчатого пояса, где присутствуют небольшие ресурсы субвулканических метасоматических отложений. Территория детальных исследований площадью 3000 км² включает золотосеребряное месторождение Салют, Березовскую перспективную площадь и более мелкие проявления Au-Ag оруденения (рис. 1).

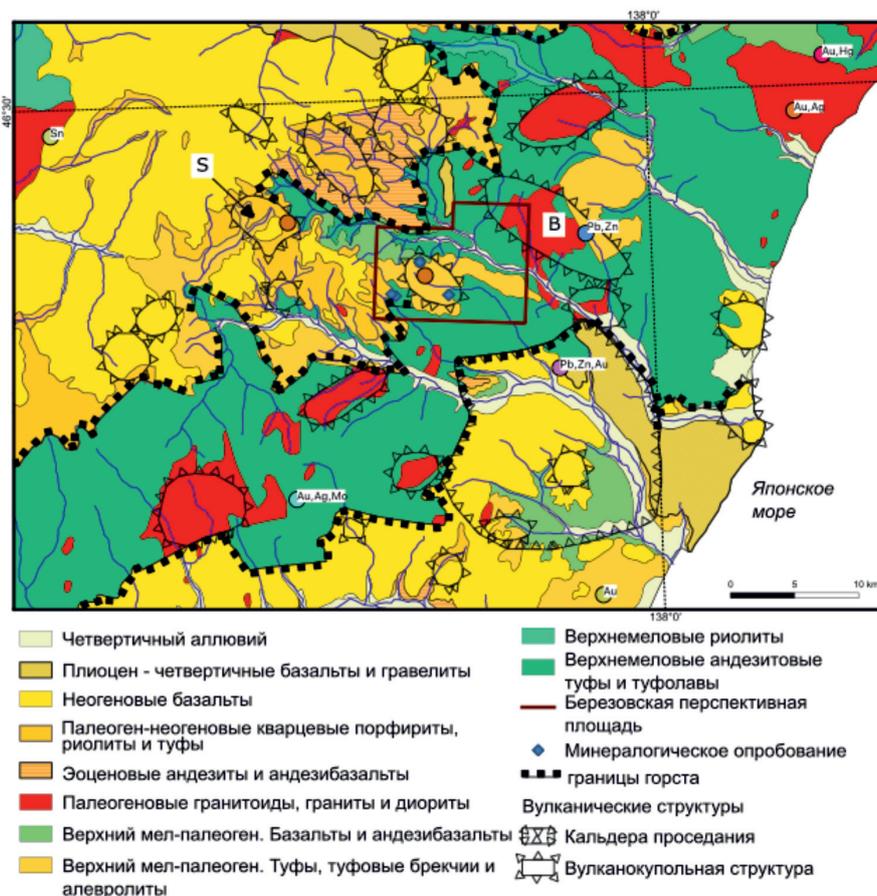


Рис. 1. Геологическая карта территории детальных исследований, включая вулканические центры и точки минерализации. *S* – вулканический купол месторождения Салют. *B* – Быковский интрузивный купол

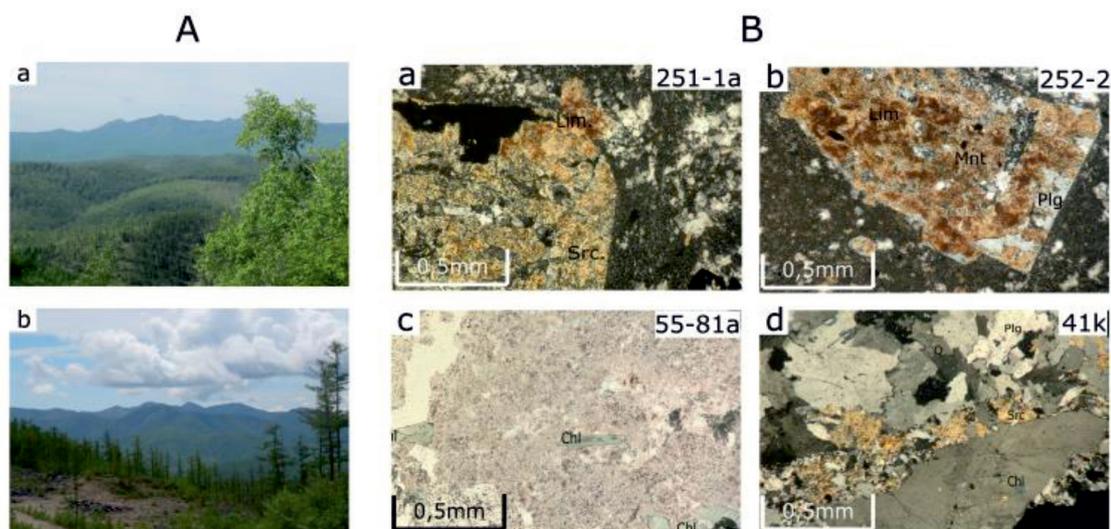


Рис. 2. Распространенные ландшафты и типичные минералы вторичных изменений территории исследования. Ландшафты (А): а – залесенные водоразделы Березовского участка; б – редкая растительность и курумы. Минералы вторичных изменений (В): а, б – риолитовые туфы с лимонитом и гидрослюдой; с – частично перекристаллизованный риолитовый туф; д – кварц-карбонатизированный риолитовый туф. Сокращения: py – pyrite, asp – arsenopyrite, Q – quartz, chl – chlorite, ep – epidote, Src – sericite, lim – limonite, Mnt – montmorillonite

Геологическое строение района исследований представляет собой складчатый фундамент, сложенный нижне- и верхнемеловыми осадочными и вулканогенными породами, несогласно перекрытый верхнемеловым-кайнозойским чехлом, прорванным измененными палеогеновыми гранитами. В районе находится несколько известных вулканических центров с разной степенью эрозии, описанных как мощные переслаивающиеся толщи лав и туфов базальтов и андезитов (палеоцен – ранний эоцен) и риолитов (эоцен) [8]. В центральной части площади исследования эрозия была вызвана поднятием блока (горста), вытянутого в северо-восточном направлении через территорию. Эффузивно-осадочный чехол подвергся эрозии, при этом вулканические аппараты размыты до субвулканических магматических очагов, прорывающих верхнемеловые андезитовые вулканогенно-осадочные породы. Территория интенсивно залесена (рис. 2а), минеральные грунты обнаруживаются на площадях вырубki леса и гарях.

Вулканические породы, особенно кислые туфы и туфолавы, в районе исследований интенсивно метасоматически изменены. Обломки вулканического пепла и лапилли в туфах обычно замещаются вторичными минералами, включающими единичные и кластерные включения хлорита,

эпидота, кварца и минералов, более характерных для зон рудной минерализации (оксиды железа, т.е. лимонит, гетит, гидрослюду (серицит) и каолинит).

Метасоматические изменения горных пород в пределах Березовского участка также включают интенсивную березитизацию, связанную с зонами трещиноватости северо-восточного и широтного направлений. В осевых частях этих зон встречаются кварц-серицитовые породы с гнездами вкрапленного пирита, эпидота и хлорита. В некоторых местах исходные минералы полностью замещены кварцем. Гидрослюды, преимущественно серицит, присутствуют в краевой части зон березитизации. Несмотря на обширный метасоматоз, структура исходных эффузивов в основном сохранилась.

С целью выбора минералов, характерных для различных СВК, для использования в разработке алгоритма дистанционного зондирования были исследованы натурные образцы измененных пород рудопроявлений в пределах Березовского участка (рис. 2В).

Лабораторные микроскопические исследования минерального состава послужили основой выбора минеральных видов для расчета изображений минеральных концентраций на основе спутниковых индексов и их главных компонент (таблица). Петрографическим анализом каменного материала пород, вмещающих оруденение

на территории, установлена неравномерность распространения вторичных минералов; установлены участки, где породы в основном состоят из гидрослюда и где кварцевый компонент составляет менее 20–25%, а также участки, где доля кварца достигает 60–70% объема. Растительность покрывает площадь исследований почти полностью, не оставляя достаточной территории для прямых воздушных или космических наблюдений. Типичные изображения ландшафтов и метасоматически измененных горных пород, которые были получены в полевых условиях, показаны на рис. 2А.

Перед моделированием безоблачные изображения Landsat 8 OLI подвергались атмосферной и топографической коррекции. Атмосферная коррекция включала исправление результата рассеяния отраженного электромагнитного излучения, выражающегося в том, что значения естественно черных пикселей изображения были больше нуля [9]. Алгоритм топографической коррекции SCS+C был применен для уменьшения неравномерности распределения солнечной радиации на изображениях каналов Land-

sat 8 OLI, вызванной расчлененным рельефом местности и низким положением светила [10]. Спутниковые продукты (табл. 1) были подвергнуты анализу НГК, чтобы уменьшить влияние растительного фона. По методике анализа [7] соотношение полос минералов было выбрано в соответствии с их пиками в спектрах отражения, при этом отношения каналов должны быть >1 для индексов отражения растительности [7, рис. 1]. Перед этой операцией территория была разделена на классы с помощью нормализованного индекса растительности (NDVI), чтобы исключить пиксели акватории и области плотного растительного покрова из вычислений из-за их низкой отражательной способности. Для расчета направленных главных компонент использовалось авторское программное обеспечение DefME [11]. При оценке изображений полученных минеральных компонент (рис. 3) следует учитывать, что речь идет не о количественном содержании минералов, а об их предполагаемом присутствии, полученных с учетом пиковых значений лабораторных кривых их спектральной яркости [7].

Соотношения каналов Landsat 8 OLI для получения изображений типичных минеральных компонент, присутствующих на территории [7]

Минеральный вид	Отношения спектральных каналов для получения НГК	
	Отношения спектральных каналов для растительности	Отношения спектральных каналов для минералов
Кварц	5/4	6/1
Мусковит	3/1	6/4
Каолинит	3/1	7/4
Хлорит	3/4	5/7
Гематит	5/4	4/1
Лимонит	5/4	6/7

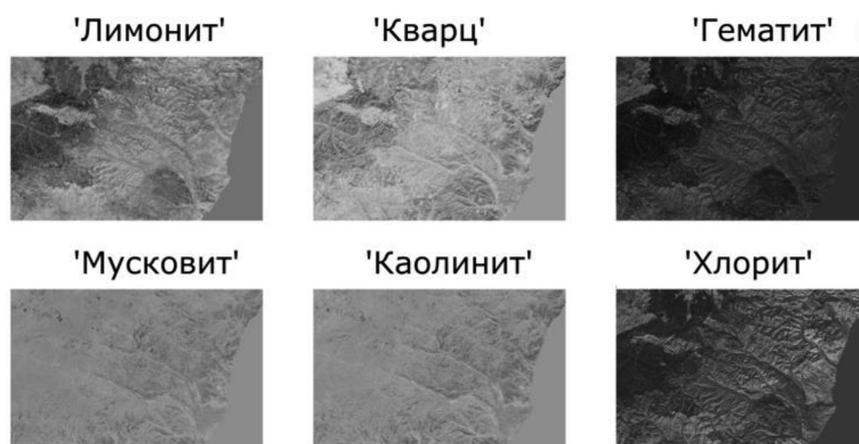


Рис. 3. Изображения направленных главных компонент, соответствующие минералам вторичных изменений на территории исследования

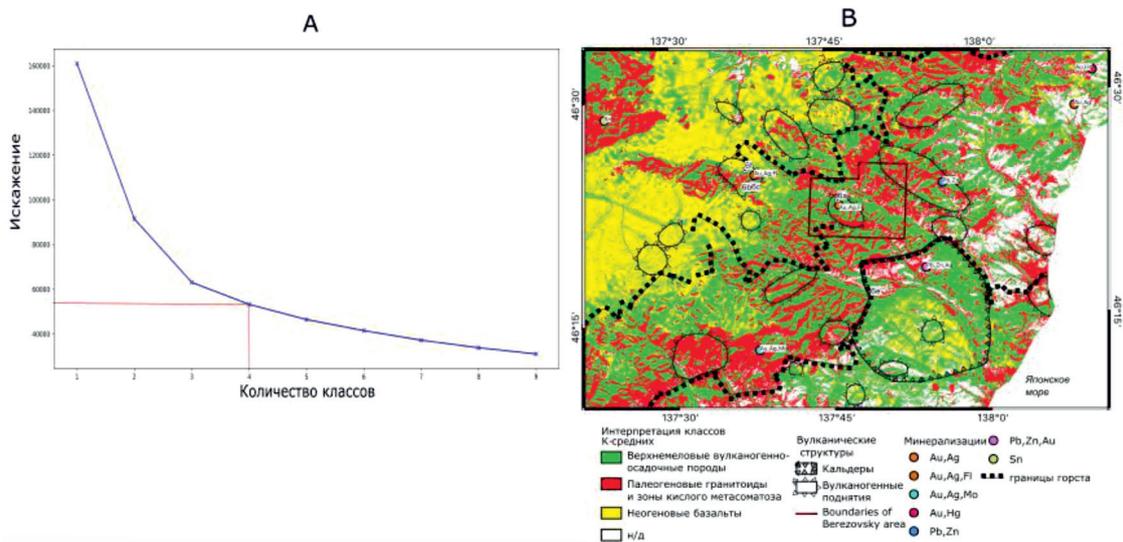


Рис. 4. Нахождение оптимального количества классов К-средних (А) и полученная на их основе карта с интерпретацией (В)

Результаты исследования и их обсуждение

Для классификации территории с помощью изображений НГК, отражающих минеральные концентрации, применялся метод К-средних [12], реализуемый в библиотеке Python *scikit-learn*. Оптимальное количество классов подбиралось с помощью метода «локтя» («*elbow method*»), описанного в [13], обуславливающего выбор числа классов как баланс детальности изображения и его искажения, возвращаемого с помощью свойства *kmeanModel.inertia*. Согласно этой методике, следует выбирать такое число классов, чтобы значение, превышающее его, не приводило к существенному уменьшению искажения изображения. Для территории, включающей Березовскую рудоперспективную площадь и месторождение Салют, оптимальными оказались четыре класса. Сопоставлением геологической карты и фактических материалов выполнена интерпретация их геологической природы, это: «верхнемеловые вулканогенно-осадочные породы», «палеогеновые гранитоиды и зоны кислого метасоматоза», а также «неогеновые базальты» (рис. 4). Несмотря на менее четкие границы комплексов, чем на геологической карте, в целом сохраняется характер их распространения; размытость границ может быть обусловлена интенсивным метасоматозом пород территории.

Выводы

В процессе выполнения работы достигнута поставленная цель, заключающаяся в оконтуривании границ СВК и построении карты их распространения. Показано, что минералы, типичные для известных пород территории, присутствие которых установлено посредством лабораторных исследований, могут быть идентифицированы в спектрах дистанционных изображений. Полученная нами карта районирования на основе минеральных изображений, сгенерированных с помощью метода направленных главных компонент, характеризуется существенным совпадением классов К-средних и структурно-вещественных комплексов территории. Такие графические построения могут быть использованы для минерагенического районирования, экспресс-оценки территории и рекогносцировки перед постановкой полевых работ.

Список литературы / References

1. Yakubchuk A.S. Revised Mesozoic-Cenozoic orogenic architecture and gold metallogeny in the northern Circum-Pacific. *Ore Geology Reviews*. 2009. № 35. P. 447–454.
2. Khanchuk A.I., Kemkin I.V., Kruk N.N. The Sikhotealin orogenic belt, Russian South East: Terranes and the formation of continental lithosphere based on geological and isotopic data. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2016. № 120. P. 117–138.
3. Khomich V.G., Boriskina N.G., Santosh M. A geodynamic perspective of world-class gold deposits in East Asia. *Gondwana Research*. 2014. № 26. P. 816–833.
4. Shevryev S., Carranza E.J.M. Modelling of geodynamic regimes of precious metal-bearing porphyry deposits: Lazurnoe

deposit (Sikhote–Alin Belt, Far East) case study. *Geological Journal*. 2020. № 55. P. 8309–8328. DOI: 10.1002/gj.3935.

5. Khomich V.G., Boriskina N.G. Ore-magmatic systems with noble metals in the northern marginal sector of the Argun superterrane. *Doklady Earth Sciences*. 2007. № 414. P. 534–537.

6. Deng J., Wang C., Bagas L., Carranza E.J.M., Lu Y. Cretaceous–Cenozoic tectonic history of the Jiaojia Fault and gold mineralization in the Jiaodong Peninsula, China: constraints from zircon U–Pb, illite K–Ar, and apatite fission track thermochronometry. *Miner Deposita*. 2015. № 50. P. 987–1006.

7. Carranza E.J.M., Hale M. Mineral imaging with Landsat Thematic Mapper data for hydrothermal alteration mapping in heavily vegetated terrane. *Int. J. Remote Sensing*. 2002. № 23(22). P. 4827–4852.

8. Чашин А.А., Попов В.К., Будницкий С.Ю., Чашин С.А., Ноздрачев Е.А. Новые данные о возрасте вулканических комплексов кайнозойских рифтогенных впадин восточного Сихотэ-Алиния // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 4. С. 169–175. DOI: 10.17513/use.37381.

Chashchin A.A., Popov V.K., Budnitskiy S.Yu., Chashchin S.A., Nozdrachev E.A. New data on the age of volcanic

complexes from the Cenozoic rift basins of the Eastern Sikhote-Alin. *Advances in Current Natural Sciences*. 2020. № 4. P. 169–175. DOI: 10.17513/use.37381 (in Russian).

9. Richards J.A. *Remote sensing digital image analysis*. Fifth edition. Springer. 2013. 502 p. DOI: 10.1007/978-3-642-30062-2.

10. Soenen S.A., Peddle D.R., Coburn C.A. SCS+C: A Modified Sun-Canopy-Sensor Topographic Correction in Forested Terrain // *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 2005. Vol. 43. № 9. P. 2148–2159.

11. DefME. Software page. [Electronic resource]. URL: <https://github.com/SergeiShevyrev/DefME> (date of access: 01.10.2021).

12. Scikit-learn, 2020a. K-means clustering. Scikit-learn. [Electronic resource]. URL: <https://scikit-learn.org/stable/modules/generated/sklearn.cluster.KMeans.html> (date of access: 01.10.2021).

13. Umargono E., Suseno J.E., Vincensius Gunawan S.K. K-Means clustering optimization using the Elbow method and early centroid determination based-on mean and median. In *Proc. of the Int. Conf. on Information System and Technology (CONRIST 2019)*, 2020. P. 234–240. DOI: 10.5220/0009908402340240.

ОБЗОРЫ

УДК 551.345(571.56)

**АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТОВ И МОЩНОСТИ
ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ЯКУТИИ****Мучина А.В., Николаев А.А.***ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»,
Якутск, e-mail: cd051@mail.ru, anyamuchina@gmail.com*

Статья посвящена анализу температуры грунтов и мощности деятельного слоя Якутии. Якутия является крупнейшим северо-восточным регионом России. Площадь территории республики равна 3103,2 тыс. км² (1/5 территории РФ). Более 40% площади Якутии находится за полярным кругом. Практически на всей территории республики распространены вечномёрзлые грунты (многолетнемерзлые грунты, ММГ). Вечномёрзлые грунты отсутствуют лишь на 4% территории Якутии. Сделан анализ температуры грунтов и мощности деятельного слоя Якутии по выполненной цифровой карте научными работниками Института мерзлотоведения СО РАН «Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия)». На основе исследования получены следующие результаты. Первое – величина деятельного слоя и температура грунтов на глубине слоя и их годовые колебания многолетнемерзлых пород зависят от географического положения района, которое в свою очередь обуславливает температурный режим наружного воздуха. Основным показателем температуры наружного воздуха в годовом цикле является среднегодовая температура наружного воздуха: чем южнее расположена территория, тем среднегодовая температура наружного воздуха выше и тем больше величина деятельного слоя, которая в Якутии колеблется от 0,5 до 3,5 м. Второе – чем выше среднегодовая температура (чем южнее территория), тем выше температура на глубине слоя годовых колебаний. Если условно поделить территорию Якутии на 4 зоны: 1) Северное побережье (между 70° и 75° с.ш.), 2) Северные территории (65–69° с.ш.), 3) Средняя зона (60–65° с.ш.) и 4) Южная зона (55–60° с.ш.) – то заметим, что температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний повышается по мере увеличения среднегодовой температуры, которая в свою очередь зависит от географического положения. А также сделаны и другие выводы.

Ключевые слова: вечная мерзлота Якутии, деятельный слой вечномёрзлых грунтов, температура грунтов вечной мерзлоты, вечномёрзлые грунты Якутии, мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия)

**ANALYSIS OF SOIL TEMPERATURE AND THE CAPACITY
OF THE ACTIVE LAYER OF YAKUTIA****Muchina A.V., Nikolaev A.A.***The North-Eastern Federal University M.K. Ammosov, Yakutsk,
e-mail: cd051@mail.ru, anyamuchina@gmail.com*

The article is devoted to the analysis of the soil temperature and the power of the active layer of Yakutia. Yakutia is the largest north-eastern region of Russia. The area of the territory of the republic is 3103.2 thousand km² (1/5 of the territory of the Russian Federation). More than 40% of the area of Yakutia is located beyond the Arctic circle. Permafrost soils (permafrost soils, MMG) are widespread almost throughout the territory of the republic. Permafrost soils are absent only in 4 percent of the territory of Yakutia. The analysis of the soil temperature and the capacity of the active layer of Yakutia is made according to a digital map made by researchers of the Institute of Permafrost Studies SB RAS «Permafrost landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia)». Based on the study, the following results were obtained; first, the size of the active layer and the temperature of the soils at the depth of the layer and their annual fluctuations of permafrost rocks depend on the geographical location of the area, which in turn determines the temperature regime of the outdoor air. The main indicator of outdoor air temperature in the annual cycle is the average annual outdoor air temperature, the more southerly the territory is located, the higher the average annual outdoor air temperature and the greater the value of the active layer, which in Yakutia ranges from 0.5 to 3.5 m, the second – the higher the average annual temperature (the more southerly the territory), the higher the temperature at the depth of the layer of annual fluctuations. If we conditionally divide the territory of Yakutia into 4 zones: 1) The Northern coast (between 70-75° c. w.), 2) the Northern territories (65-69° c. w.), 3) The Middle Zone (between 60 and 65° c. w.) and 4) the Southern zone (between 55-60° c. w.), then we note that the soil temperature at the depth of the layer of annual fluctuations increases as the average annual temperature increases, which in turn depends on the geographical location and other conclusions.

Keywords: permafrost of Yakutia, active layer of permafrost soils, permafrost soil temperature, permafrost soils of Yakutia, permafrost landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia)

Якутия является крупнейшим северо-восточным регионом Российской Федерации. Общая площадь республики равна 3103,2 тыс. км² (1/5 территории РФ). Географическое положение обуславливает климатические условия Якутии. Более 40% территории Якутии расположено за полярным

кругом. Протяжённость морской линии берега составляет более 4,5 тыс. км.

Практически на всей территории республики распространены многолетнемерзлые грунты (ММГ). Многолетнемерзлые грунты отсутствуют лишь на 4% территории Южной Якутии [1].

Сотрудниками Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН А.Н. Федоровым, А.А. Шестаковой, Я.И. Торговкиным, Н.Ф. Васильевым, П.Я. Константиновым, В.В. Самсоновой, С.В. Калиничевой, Н.И. Башариным подготовлена цифровая комплексная карта «Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия)» [1], которая отражает те или иные изменения и современное состояние мерзлотных ландшафтов республики по определенным их слоям. Посвоему уникальная карта для работы специалистов инженерной геологии, мерзлотоведов и др. специалистов, где представлены разные тематики мерзлотных ландшафтов Якутии. В данном исследовании проанализированы из этой карты два слоя, это мощность деятельного слоя Якутии и температура грунтов всей территории Якутии.

Проблемой изучения деятельного слоя вечной мерзлоты занимались такие российские исследователи, как В.А. Исаков [2], Г.В. Малкова [3], А.В. Павлов, Г.Ф. Гравис [4], С.О. Разумов [5]. Из якутских мерзлотоведов – А.Н. Федоров, Р.Р. Гаврильев [6], Я.И. Торговкин, Н.Ф. Васильев [7, 8], Р.Н. Иванова вместе с японскими коллегами Т. Хийама, И. Иджима и др. [9].

Температура грунтов зависит от многих факторов. Важнейшим фактором, влияющим на температуру грунтов, является географическое расположение района, которое диктует климатические условия, в первую очередь среднегодовые показатели температуры наружного воздуха. Среднегодовая температура наружного воздуха равна: г. Алдан (Южная Якутия) – (-5,4 °), Якутск (Центральная Якутия) – (-9,1 °), Верхоянск (Арктическая зона) – (-14,7 °) [10].

Цель исследования: на основе цифровой мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) [1] и ее тематических слоев выполнить анализ состояния температуры грунтов и мощности деятельного слоя Якутии.

Материалы и методы исследования

Материалом данного исследования является цифровая мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия), их картографические слои состояния температуры грунтов и мощности деятельного слоя Якутии (рисунок) [1]. Методами исследования явились аналитический, картографический, компьютерно-цифровой, сравнительно-сопоставительный способ изучения данной цифровой карты.

Результаты исследования и их обсуждение

От величины температуры наружного воздуха зависит не только общая температура грунтов, но и величина деятельного слоя, т.е. слоя грунта, который оттаивает в теплое время года. Главным фактором условия и формирования грунтов в Якутии является их температура на глубине слоя годовых колебаний [11].

Слой карты температуры грунта (цифровая карта температуры грунтов на глубине слоя годовых колебаний Мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) (рисунок). Этот слой, который лежит ниже деятельного слоя (ниже сезонного оттаивания), в котором грунты сохраняют отрицательные температуры, но в которых температуры меняются в течение года (сезонные колебания температуры) в зависимости от времени года, расположения по глубине, вида грунтов, расположения участка на территории и др. факторов. Исследование грунтов данного слоя является важной задачей инженерной геологии в Якутии, так как большинство зданий и сооружений на территории республики строятся по принципу, где многолетнемерзлые грунты используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения в виде свайного поля [2]. В данной статье «температура грунтов на глубине слоя сезонных колебаний» это – температура грунтов на глубине, ниже которой не подвергается сезонным колебаниям. В инженерной геологии температура грунтов, которая ниже не меняется или на малую величину, называется температурой нулевых амплитуд [2]. Ниже глубины, где температура грунтов основания практически не меняется в течение годового цикла, можно отнести к третьей группе грунтов основания.

Инженерные скважины для исследования грунтов основания зданий и сооружений бурятся на глубину 10 м и более, так как в большинстве случаев фундаменты зданий и сооружений, так называемые сваи, устанавливаются до 10 м, кроме отдельных случаев, когда бурятся скважины глубокого заложения при больших нагрузках на фундаменты и при слабых грунтах.

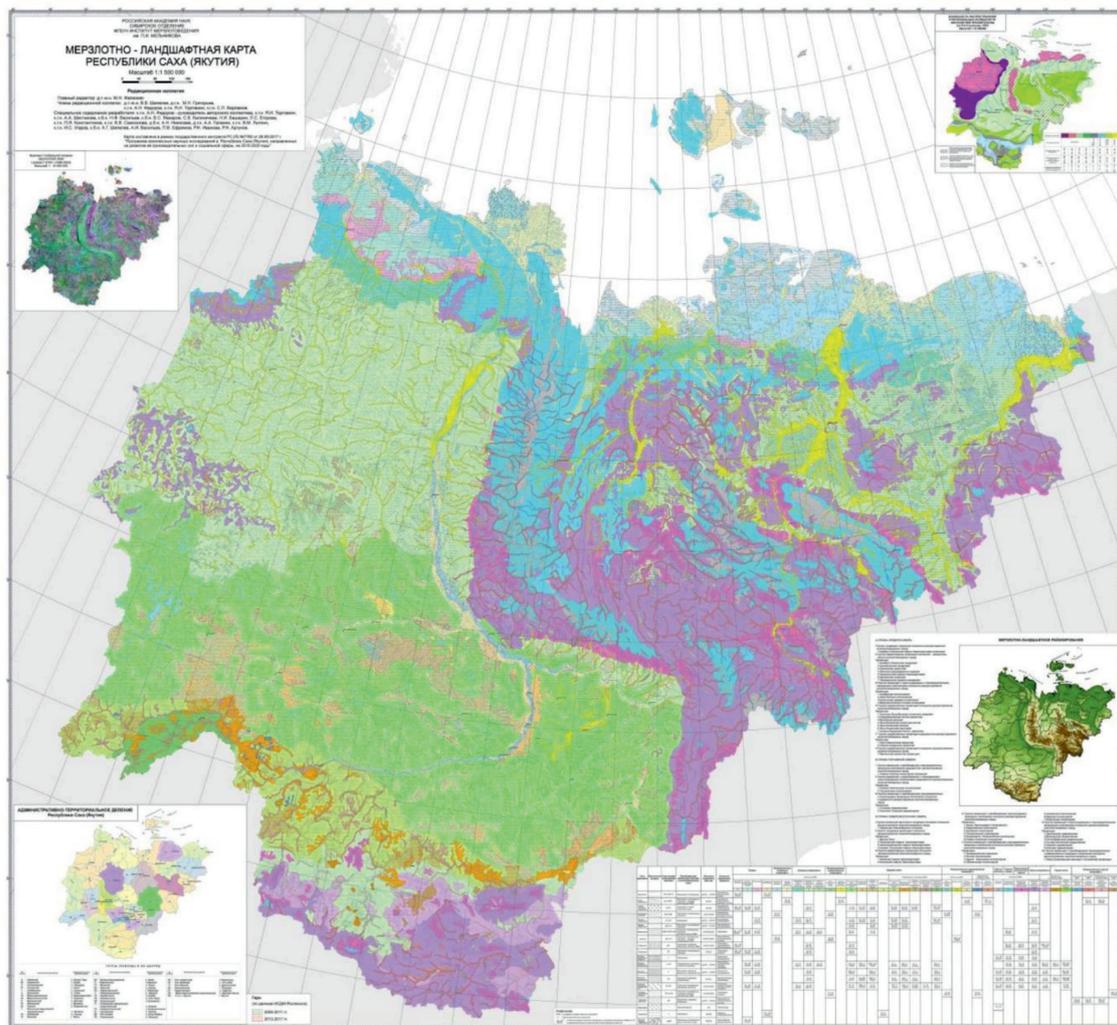
Для анализа температуры грунтов на глубине слоя годовых колебаний (слой грунтов, лежащих ниже слоя сезонного оттаивания) рассмотрим слой цифровой карты температуры грунтов на глубине слоя го-

довых колебаний Мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) (рисунок).

Данные цифровой карты представляют информацию о температурах грунтов и мощности протаивания на всей территории Якутии. Карта показывает расположение территорий с различными температурами и мощности протаивания грунтов и их числовые значения. Температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний колеблется в диапазоне от +1 до -12 градусов. На небольшой территории Южной Якутии расположены грунты с температурой +1 и занимают не более 4% всей территории республики (таблица).

1. Грунты с наибольшими низкими отрицательными температурами расположены вдоль северного побережья Якутии с протяжённостью морской береговой ли-

нии больше 4,5 тыс. км, за полярным кругом, а грунты с более высокими температурами грунтов – южнее (рисунок). Низкие отрицательные температуры грунтов расположены также под водными объектами, такими как р. Лена, это можно объяснить физическим свойством воды, которая является хорошим теплоизолятором. Так под зданиями и сооружениями, где в проветриваемом подполье стоит вода, сохраняются низкие температуры грунтов, отсутствует чаша протаивания, но более интенсивно развиваются разрушительные морозобойные процессы фундаментов. В районах с горными массивами также наблюдаем грунты с низкими отрицательными температурами грунтов. Данное явление также довольно распространённое, наблюдаемое даже в теплых регионах, где снег на вершинах гор не тает целый год.



Цифровая мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия) [1]

2. Грунты со средними (от -4°C до -2°C) отрицательными температурами расположены в большинстве случаев в равнинной части Якутии.

3. Грунты с более высокими температурами расположены в Южной Якутии это от -2°C до $+1^{\circ}\text{C}$.

Рассматривая данный слой цифровой карты мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) (рисунок), можно сделать следующие выводы.

Температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний зависит:

1. От географического расположения района, т.е. от среднегодовой температуры наружного воздуха: чем южнее, тем данная температура выше. Географическое положение диктует среднегодовую температуру наружного воздуха, чем выше среднегодовая температура наружного воздуха, тем выше температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний;

2. От вида ландшафта местности. При одинаковых географических условиях температура грунтов выше на равнинных участках и ниже в горах и под водными объектами;

3. По деятельному слою. От величины температуры наружного воздуха зависит не только общая температура грунтов, а также и величина деятельного слоя, т.е. слоя грунта, которая оттаивает в теплое время года – толщина слоя сезонного оттаивания грунтов.

Для анализа температуры грунтов деятельного слоя, т.е. верхнего слоя грунтов, который оттаивает за теплый период года (слой сезонного оттаивания), рассмотрим слой цифровой карты мощности деятельного слоя (рисунок).

Как указано в работе [1], «мощность деятельного слоя состоит из сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев и является одной из важных и динамичных характеристик

криолитозоны. Значения мощности деятельного слоя связаны с изучением динамики ландшафтов в многолетней мерзлоте. Увеличение и резкое уменьшение их параметров может привести к большим структурным изменениям подстилающего ландшафта. Запасы общей влаги, динамика и изменение ландшафтов, активизация криогенных процессов, а также и другие сопутствующие особенности ландшафтов в первую очередь зависят от изменения мощности деятельного слоя многолетней мерзлоты».

Мощность деятельного слоя на территории Якутии меняется в диапазоне от 0,5 м до 3,5 м, в верхней поверхности земли. И она зависит от климатических условий: чем южнее, тем мощность деятельного слоя больше. Слой цифровой карты мощности деятельного слоя (рисунок) дает следующую информацию (таблица):

1. Северное побережье (между 70° и 75° с.ш.), где величина колеблется от 0,5 до 1 м (36% всей территории Якутии).

2. Территория республики, расположенная на $65-70^{\circ}$ с.ш. до северного побережья Якутии, расположена в зоне, где толщина деятельного слоя колеблется от 1,5 до 2 м. На территории этой зоны и северного побережья расположены почти все улусы, входящие в перечень 11 арктических улусов.

3. На территории между 60° и 65° с.ш. (средняя полоса Якутии) мощность деятельного слоя колеблется от 2 до 3 м.

4. Зона с наибольшей величиной деятельного слоя расположена в Южной Якутии (часть занимает и Центральную Якутию) на $55-60^{\circ}$ с.ш., где толщина деятельного слоя колеблется в пределах 3–3,5 м (всего 4% территории Якутии). Но и в этой зоне расположены также и локальные участки, имеющие величину деятельного слоя 1–1,5 м.

5. Мощность деятельного слоя также зависит и от ландшафта и рельефа участка.

Температура грунтов ниже деятельного слоя и его мощность в Якутии

№	Районы распространения в Якутии	Географическая широта, в градусах, с.ш.	Среднегодовая температура воздуха, в градусах, С	Температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний, в градусах, $^{\circ}\text{C}$	Мощность деятельного слоя, в метрах
1	Северное побережье, за полярным кругом, горные области Якутии	65–75	– 14,7	от -5 до -12	0,5 – 2
2	Равнинная средняя часть Якутии	60–65	– 9,1	от -2 до -4	2 – 3
3	Южная Якутия	55–60	– 5,4	от +1 до -2	3–3,5

Выше приведены преобладающие величины деятельного слоя. На самом деле в каждой зоне встречаются участки территорий, где величина деятельного слоя колеблется в ту или иную сторону в зависимости от рельефа, состава грунтов, их теплотехнических характеристик и др. факторов.

Заключение

Данная работа позволяет сделать следующие общие выводы.

1. Величина деятельного слоя и температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний зависят от географического положения района, которое в свою очередь обуславливает температурный режим наружного воздуха. Основным показателем температуры наружного воздуха в годовом цикле является среднегодовая температура наружного воздуха: чем южнее расположена территория, тем среднегодовая температура наружного воздуха выше и тем больше величина деятельного слоя, которая в Якутии колеблется от 0,5 до 3,5 м. В инженерной геологии величина слоя сезонного оттаивания рассчитывается в зависимости от температуры замерзания грунта, которая, в свою очередь, зависит от вида грунта, его влажности, засоленности, многолетних средних положительных температур наружного воздуха и других факторов.

2. Если условно поделить территорию Якутии на 4 зоны: 1) Северное побережье (70–75° с.ш.), 2) Северные территории (65–69° с.ш.), 3) Средняя зона (60–65° с.ш.) и 4) Южная зона (55–60° с.ш.) – то заметим, что температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний повышается по мере увеличения среднегодовой температуры, которая в свою очередь зависит от географического положения.

3. Величина деятельного слоя и температура грунтов на глубине годовых колебаний зависит от ландшафтов и рельефа местности.

4. Главное отличие между деятельным слоем и грунтом, лежащим ниже деятельного слоя на глубине годовых колебаний, заключается в том, что в деятельном слое в теплое время года температура грунтов всегда выше нуля, а в слое грунтов годовых колебаний температуры всегда ниже нуля на северном побережье которая может достигать и -12°.

5. Схожесть этих слоев в том, что величина деятельного слоя и температура грунтов на глубине годовых колебаний зависят

от географического расположения по широте, т.е. от среднегодовой температуры наружного воздуха.

Список литературы / References

1. Федоров А.Н., Шестакова А.А., Торговкин Я.И., Васильев Н.Ф., Константинов П.Я., Самсонова В.В., Калиничева С.В., Башарин Н.И. Цифровое тематическое картографирование современного состояния мерзлотных ландшафтов Якутии // Вестник СВФУ. Серия «Наука о Земле». № 2 [14]. 2019. С. 36–49.
2. Isakov V.A., Shestakova A.A., Torgovkin Ya.I., Vasilev N.F., Konstantinov P.Ya., Samsonova V.V., Kalinicheva S.V., Basharin N.I. Digital thematic mapping of the current state of permafrost landscapes of Yakutia // Vestnik SVFU. Seriya «Наука о Земле». № 2 [14]. 2019. P. 36–49 (in Russian).
3. Исаков В.А. Температурный режим в основаниях дорог на вечной мерзлоте // Вестник Московского университета. Сер. 5 «География». 2015. № 3. С. 25–33.
4. Isakov V.A. Temperature regime in the bases of roads on permafrost // Vestnik Moskovskogo Universiteta, Ser. 5 Geografiya. 2015. No. 3. P. 25–33 (in Russian).
5. Малкова Г.В. Мониторинг среднегодовой температуры пород на стационаре Болванский // Криосфера Земли. 2010. Т. XIV. № 3. С. 3–14.
6. Malkova G.V. Monitoring of the average annual temperature of rocks at the Bolvansky stationary station // Kriosfera Zemli. 2010. Vol. XIV. No. 3. P. 3–14 (in Russian).
7. Павлов А.В., Гравис Г.Ф. Вечная мерзлота и современный климат // Природа. 2000. № 4. С. 10–18.
8. Pavlov A.V., Gravis G.F. Permafrost and modern climate // Priroda. 2000. No. 4. P. 10–18 (in Russian).
9. Разумов С.О. Мерзлота как фактор динамики береговой зоны восточных арктических морей // Океанология. 2010. Т. 50. № 2. С. 285–291.
10. Razumov S.O. Permafrost as a factor of dynamics of the coastal zone of the Eastern Arctic seas. // Oceanologiya. 2010. Vol. 50. No. 2. P. 285–291 (in Russian).
11. Федоров А.Н., Гаврилев П.П., Константинов П.Я., Хиёма Т., Идзима Я., Ивахана Г. Estimating the water balance of a thermokarst lake in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia // Ecohydrology. 2014. Vol. 7. Iss. 2. P. 188–196. DOI: 10.1002/eco.1378.
12. Beer C., Fedorov A.N. and Torgovkin Y. Permafrost temperature and active-layer thickness of Yakutia with 0.5-degree spatial resolution for model evaluation // Earth Syst. Sci. 2013. Data 5. P. 305–310.
13. Федоров А.Н., Васильев Н.Ф., Торговкин Я.И. et al. Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) on a Scale 1:1.500.000 // Geosciences 2018. 8 (12). 465 p. DOI: 10.3390/geosciences8120465.
14. Федоров А.Н., Иванова Р.Н., Парк Н., Хиёма Т., Идзима Я. Recent air temperature changes in the permafrost landscapes of northeastern Eurasia // Polar science. 2014. Vol. 8. Issue 2. P. 114–128. DOI: 10.1016/J.POLAR.2014.02.001.
15. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. [Электронный ресурс]. URL: http://helpeng.ru/ov/climatology_2018 (дата обращения: 16.08.2021).
16. SP 131.13330.2018. Construction climatology. [Electronic resource]. URL: http://helpeng.ru/ov/climatology_2018 (date of access: 16.08.2021).
17. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095519> (дата обращения: 16.08.2021).
18. SP 25.13330.2012 Foundations and foundations on permafrost soils. Updated version of SNiP 2.02.04-88. [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095519> (date of access: 16.08.2021).