

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 – 30.06.2022

Дата выхода номера – 29.07.2022

Формат 60x90 1/8

Типография

ООО «Научно-издательский центр

Академия Естествознания»,

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

Техническая редакция и верстка

Доронкина Е.Н.

Корректор

Галенкина Е.С., Дудкина Н.А.

Способ печати – оперативный.

Распространение по свободной цене.

Усл. п.л. 13,5

Тираж – 1000 экз.

Заказ. УСЕ/6-2022

Подписной индекс П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1, 4.1.2 (06.01.05), 4.1.6 (06.03.01, 06.03.02, 06.03.03))

СТАТЬИ

ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕГО ПИТАНИЯ ЛОСЯ (<i>ALCES ALCES L.</i>) В МОЛОДНЯКАХ БРАСОВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ И РЕАКЦИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ПОВРЕЖДЕНИЕ	
<i>Кистерный Г.А., Исаенков П.Г.</i>	7
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАННЕСПЕЛЫХ СОРТОВ СОИ В УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ	
<i>Кошкарлова Т.С., Зейлигер А.М., Зинченко Е.В., Ермолаева О.С.</i>	15
ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ ДОНСКОЙ ГРЯДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И КОСМОСНИМКОВ	
<i>Синельникова К.П.</i>	21

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.18 (25.00.30), 1.6.21)

СТАТЬИ

ДЕГРАДАЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ	
<i>Аджиев А.Х., Шевченко А.В., Кондратьева Н.В., Юрченко Н.В.</i>	27
КИСЛОТНОСТЬ ПОЧВ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА ФИТОЦЕНОЗОВ НЕКОТОРЫХ ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ РОССИИ	
<i>Несговорова Н.П., Савельев В.Г.</i>	35
ОЦЕНКА СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ НЕРЮНГРИНСКОГО ПРОМУЗЛА В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ	
<i>Николаева Н.А.</i>	41
ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕКИ ВИЛЮЙ ПОСЛЕ ЗАРЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА	
<i>Ноговицын Д.Д., Шеина З.М., Сергеева Л.П.</i>	47
ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ДУБНЕНСКОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННЫХ И ПОЛЕВЫХ МЕТОДОВ	
<i>Спиридонова А.Б., Анисимова О.В.</i>	53
МЕТАЛЛЫ И AS В ТОРФЕ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ	
<i>Татаринцева В.Г., Котова Е.И., Орлов А.С., Пономарева Т.И., Селянина С.Б., Дайбова Е.Б.</i>	60

Геолого-минералогические науки (1.6.1 (25.00.01, 25.00.03), 1.6.3, 1.6.4 (25.00.05), 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.11 (25.00.12), 1.6.12, 1.6.17, 1.6.20 (25.00.35), 1.6.21)

СТАТЬИ

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БИМОДАЛЬНОЙ ТРАХИПИКРОБАЗАЛЬТ-ТРАХИТОВОЙ СЕРИИ ВУЛКАНИТОВ САРАЛИНСКОГО ГРАБЕН-РИФТА (КУЗНЕЦКИЙ АЛАТАУ)	
<i>Гринёв О.М., Адылбаев Р.Р., Семиряков А.С., Морозова Е.Н., Гринёв Р.О.</i>	66

СОДЕРЖАНИЕ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ В ПЛОДАХ ЧЕРНИКИ
(*VACCINIUM MYRTILLUS*) В ПРЕДЕЛАХ ХОЛМОГОРСКОГО
ТЕКТОНИЧЕСКОГО УЗЛА АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Старицын В.В., Полякова Е.В. 77

Технические науки (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.8 (25.00.22), 2.8.9)

СТАТЬИ

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ
НА УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ ОЗЕР ЗОН ИЗБЫТОЧНОГО
И ДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ

Давыденко Е.В., Серебрякова Е.Д. 83

ФОРМИРОВАНИЕ ЛЬДОПОРОДНОГО МАССИВА НА ДНЕ ОТРАБОТАННОГО
КИМБЕРЛИТОВОГО КАРЬЕРА «ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ» АК «АЛРОСА»
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЖИДКОСТНЫХ ЗАМОРАЖИВАЮЩИХ КОЛОНОК
ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Курилко А.С., Соловьёв Д.Е. 88

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА ЧУЙСКОЙ ОБЛАСТИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

Тотубаева Н.Э., Максатбекова А.М. 96

Физико-математические науки (1.6.18 (25.00.29, 25.00.30), 1.6.20 (25.00.33), 1.6.22)

СТАТЬЯ

СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ, КООРДИНАТЫ КОТОРЫХ
ОПРЕДЕЛЕНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ВЫСОКОТОЧНЫХ
КООРДИНАТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ И КЛАССИЧЕСКОЙ ПОСТОБРАБОТКОЙ

Макаров С.О., Тихонов А.Д. 103

CONTENTS

Agricultural sciences (4.1.1, 4.1.2 (06.01.05), 4.1.6 (06.03.01, 06.03.02, 06.03.03)

ARTICLES

FEATURES OF WINTER FEEDING OF ELK (<i>ALCES ALCES</i> L.) IN THE YOUNG OF THE BRASOVSKY FORESTRY OF THE BRYANSK REGION AND THE REACTION OF THE COMMON PINE TO DAMAGE <i>Kisternyy G.A., Isaenkov P.G.</i>	7
COMPARATIVE ANALYSIS OF EARLY-MAPING SOYBEAN VARIETIES UNDER THE CONDITIONS OF THE SOUTH OF RUSSIA <i>Koshkarova T.S., Zeyliger A.M., Zinchenko E.V., Ermolaeva O.S.</i>	15
ASSESSMENT OF THE STATE OF AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE DON RIDGE USING GIS TECHNOLOGIES AND SATELLITE IMAGES <i>Sinelnikova K.P.</i>	21

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.18 (25.00.30), 1.6.21)

ARTICLES

GLACIATION DEGRADATION OF THE GREATER CAUCASUS UNDER THE IMPACT OF CLIMATE CHANGES <i>Adzhiev A.Kh., Shevchenko A.V., Kondrateva N.V., Yurchenko N.V.</i>	27
SOIL ACIDITY AS A FACTOR FOR FORMING THE SPECIES COMPOSITION OF PHYTOCOENOSIS IN SOME PROTECTED TERRITORIES OF THE KURGAN REGION OF RUSSIA <i>Nesgovorova N.P., Savelev V.G.</i>	35
ASSESSMENT OF THE DEGREE OF STABILITY OF LANDSCAPES OF THE NERYUNGRI INDUSTRIAL HUB IN SOUTH YAKUTIA <i>Nikolaeva N.A.</i>	41
CHANGES IN THE HYDROLOGIC REGIME AND CHEMICAL COMPOSITION OF THE VILYU RIVER AFTER FLOW REGULATION <i>Nogovitsyn D.D., Sheina Z.M., Sergeeva L.P.</i>	47
IDENTIFICATION OF THE VEGETATION COVER OF THE DUBNA REGION BASED ON REMOTE AND FIELD METHODS <i>Spiridonova A.B., Anisimova O.V.</i>	53
METALS AND AS IN PEAT OF BOGS IN ARKHANGELSK REGION <i>Tatarintseva V.G., Kotova E.I., Orlov A.S., Ponomareva T.I., Selyanina S.B., Daybova E.B.</i>	60

Geological and mineralogical sciences (1.6.1 (25.00.01, 25.00.03), 1.6.3, 1.6.4 (25.00.05), 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.11 (25.00.12), 1.6.12, 1.6.17, 1.6.20 (25.00.35), 1.6.21)

ARTICLES

MINERALOGICAL AND PETROGRAPHIC FEATURES OF THE BIMODAL TRACHIPYCROBASALT-TRACHITE VOLCANITE SERIES OF THE SARALINSKY GRABEN-RIFT (KUZNETSKY ALATAU) <i>Grinev O.M., Adylbaev R.R., Semiryakov A.S., Morozova E.N., Grinev R.O.</i>	66
---	----

THE CONTENT OF ASCORBIC ACID IN BLUEBERRY FRUITS
IN THE Kholmogorsky Tectonic Knot of the Arkhangelsk Region

Staritsyn V.V., Polyakova E.V. 77

Technical sciences (1.6.7, 1.6.9, 1.6.16, 2.8.1, 2.8.6, 2.8.7, 2.8.8 (25.00.22), 2.8.9)

ARTICLES

THE INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC
FACTORS AT THE LEVEL REGIME OF LAKES IN AREAS
OF EXCESSIVE AND SUFFICIENT HUMIDIFICATION

Davydenko E.V., Serebryakova E.D. 83

FORMATION OF AN ICE-ROCK MASSIF AT THE BOTTOM
OF THE «INTERNATIONAL» MINED-OUT KIMBERLITE QUARRY
OF ALROSA USING LIQUID FREEZING COLUMNS OF FORCED ACTION

Kurilko A.S., Solovay D.E. 88

ANALYSIS OF CHANGES IN THE LAND FUND
OF THE CHUI REGION USING GIS TECHNOLOGIES

Totubaeva N.E., Maksatbekova A.M. 96

Physical and mathematical sciences (1.6.18 (25.00.29, 25.00.30), 1.6.20 (25.00.33), 1.6.22)

ARTICLE

COMPARISON OF THE ACCURACY OF GEODETIC NETWORKS,
THE COORDINATES OF WHICH ARE DETERMINED USING THE PRECISE
POINT POSITIONING ALGORITHM AND CLASSICAL POST-PROCESSING

Makarov S.O., Tikhonov A.D. 103

СТАТЬИ

УДК 630*45:630*17:599.735.3:591.53(470.333)

**ОСОБЕННОСТИ ЗИМНЕГО ПИТАНИЯ ЛОСЯ
(*ALCES ALCES* L.) В МОЛОДНЯКАХ
БРАСОВСКОГО ЛЕСНИЧЕСТВА БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ
И РЕАКЦИЯ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ПОВРЕЖДЕНИЕ**

Кистерный Г.А., Исаенков П.Г.

*ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», Брянск,
e-mail: kisterniy@mail.ru*

В зимние сезоны 2019–2020 и 2020–2021 гг. изучили кормовое поведение лосей в сосновых молодняках, интенсивность, частоту повреждений, полноту использования кормового ресурса и реакцию сосны обыкновенной на различные виды повреждений согласно известным биологическим методикам. Плотность лосей в лесных угодьях начиная с 2011 г. неуклонно возрастала, но на момент исследований оказалась пока ниже оптимальной и составила 2,6 особей на 1000 га угодий. При такой плотности не следует ожидать масштабной деградации мест обитания вида, но в суровые зимы, когда главным фактором выступает высота снежного покрова, возможен серьезный ущерб молоднякам естественного происхождения и лесным культурам сосны. При зимнем питании лоси отдавали предпочтение сосне и осине из главных лесных пород изучаемого региона. В условиях зимы с обильными снегопадами заметно увеличилась кормовая активность дендрофага. Утилизация боковых побегов сосны возросла в 21,5, вершин – в 3,1 и повреждений коры стволиков в 3,2, а в целом по всем повреждениям – в 5,0 раза. По осине объем повреждений сократился в 1,4 раза, но предпочтительность породы осталась высокой, несмотря на низкое доленое участие ее в составе молодняков. Однократное повреждение боковых побегов сосны не приносило растениям заметного вреда. Возраст растений, повреждаемых при питании, составлял 5–10 лет. Интенсивность объедания боковых побегов широко изменчива – 20–100%, а встречаемость комбинированных повреждений – 20–50%. Стресс-реакция сосны на повреждения боковых побегов заключалась в снижении приростов центральных в высоту при высоком варьировании признака. Увеличивался показатель апикального доминирования из-за уничтожения части боковых побегов, а в некоторых случаях из-за активизации роста, но при условии однократного объедания растений. Плотность лосей в угодьях можно повысить при соблюдении мер охраны и интенсификации видовых биотехнических мероприятий, направленных на улучшение условий существования вида, а также на защиту молодняков сосны искусственного и естественного происхождения в возрасте до 15 лет.

Ключевые слова: лоси, кормовое поведение, молодняки сосны, побеги, интенсивность повреждений, апикальное доминирование

**FEATURES OF WINTER FEEDING OF ELK (*ALCES ALCES* L.)
IN THE YOUNG OF THE BRASOVSKY FORESTRY OF THE BRYANSK REGION
AND THE REACTION OF THE COMMON PINE TO DAMAGE**

Kisternyy G.A., Isaenkov P.G.

*Bryansk State Engineering Technological University, Bryansk,
e-mail: kisterniy@mail.ru*

In the winter seasons of 2019/2020 and 2020/2021, the feeding behavior of moose in pine young, the intensity, frequency of damage, the completeness of the use of the feed resource and the reaction of scots pine to various types of damage were studied, according to known biological methods. The density of moose in forest lands has been steadily increasing since 2011, but at the time of the research it turned out to be below optimal and amounted to 2.6 individuals/1000 hectares of land. With such a density, one should not expect large-scale degradation of the species' habitats, but in severe winters, when the main factor is the height of the snow cover, serious damage to young trees of natural origin and pine forest crops is possible. During winter feeding, moose preferred pine and aspen from the main forest species of the studied region. In winter conditions with heavy snowfalls, the feeding activity of the dendrophage has significantly increased. Utilization of pine lateral shoots increased by 21.5, tops – 3.1, damage to the bark of stems by 3.2, and in general for all damages – by 5.0 times. For aspen, the volume of damage decreased by 1.4 times, but the preference of the breed remained high, despite its low share in the composition of the young. A single damage to the lateral shoots of the pine tree did not cause noticeable damage to the plants. The age of plants damaged by nutrition was 5–10 years. The intensity of overeating of lateral shoots is widely variable – 20–100, and the occurrence of combined damage is 20–50%. The stress response of the pine to damage to the lateral shoots consisted in a decrease in the growth of the central ones in height with a high variation of the trait. The indicator of apical dominance increased due to the destruction of part of the lateral shoots, and in some cases due to the activation of growth, but under the condition of a single overeating of plants. The density of moose in the grounds can be increased by observing the measures of protection and intensification of species biotechnical measures aimed at improving the conditions of existence of the species, as well as protecting young pine trees of artificial and natural origin under the age of 15 years.

Keywords: moose, feeding behavior, young pine trees, shoots, damage intensity, apical dominance

Равновесие лесного сообщества может нарушаться при отсутствии сбалансированности между его важнейшими компонентами, но происходящие под воздействием лесных копытных зоогенные сукцессии могут быть как положительными, так и отрицательными [1, 2].

Копытные-дендрофаги повреждают подрост и подлесок, объем повреждений увеличивается в зимнее время, особенно в жестких условиях, при высокой мощности снежного покрова и значительных отрицательных температурах. Наибольший урон молоднякам сосны наносит лось. Проблемы распространения и взаимоотношения лося и леса хорошо освещены и в зарубежной литературе [3, 4], его лесохозяйственному значению также уделено внимание [5, 6]. Остаются слабо изученными вопросы существования вида в условиях возрастающего антропогенного давления и деградации лесных мест обитания по отдельным регионам России.

Лось – экологически пластичный вид парнокопытных Брянской области. Его кормовое поведение и миграционная активность изменяются в зависимости от суровости зимы, обилия снега, численности, беспокойства со стороны человека. Большую часть года лоси поедают веточные корма. В зимнее время они встречаются в молодых сосняках, осинниках и ивняках, а основные кормовые породы повреждаются сильнее, чем в другие сезоны. Зимние корма в основном состоят из годичных побегов и коры деревьев и кустарников [2].

Ущерб, наносимый лосями сосновым молоднякам в период зимнего питания, может быть существенным [7, 8]. В настоящее время в связи с погодными аномалиями, различающимися регионально, этой проблеме следует уделять более пристальное внимание. В смешанных молодняках воздействие лосей проявляется очень сильно, способствует образованию неблагоприятной структуры древесного полога, снижению качества древостоев впоследствии. Трофическая деятельность лосей способствует смене состава насаждений. Предпочитаемые для питания породы, например сосна, заменяются на малозначимые [1].

Лоси используют более продуктивные участки леса с высотами кормовых растений менее 3 м [3]. Особенности кормового поведения лосей зависят от конкретных условий, складывающихся в регионе.

Цель исследования – установить характер и встречаемость повреждений основных древесных кормовых пород при пита-

нии лосей в зимние сезоны, интенсивность повреждений и реакции возобновления сосны обыкновенной на объедание.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования выбирали молодняки сосны 1 класса возраста. Заложили 5 пробных площадей (ПП), на которых в двукратной повторности в зимние сезоны 2019–2020 и 2020–2021 гг. провели детальные учеты использования лосями основного зимнего кормового ресурса – сосны и осины. В первый сезон оценено состояние 726 деревьев, во второй – 584 деревьев, на 40 и 30 круговых площадках соответственно, в культурах сосны 5–10-летнего возраста, разных по составу: от простых – 10С+Б до сложных – 5С3Б2ОС+Дн+Кл. Шаг посадки – 3,5*0,7 м. ТЛУ С₂ и С₃. На ПП также встречались молодые сосны естественного возобновления, подрост лиственных пород и подлесок, также входящий в зимний рацион лосей.

Круговые площадки закладывали по ходовой линии по диагонали участка через каждые 25 м в количестве, зависящем от площади выдела и встречаемости повреждений. Размер каждой круговой площадки – 50 м². Повреждения, наносимые лосями, разделили на четыре типа: скусывание вершинного побега, объедание боковых ветвей верхней мутовки, погрызы коры различной интенсивности и полом стволиков. Отдельно учитывали погибшие экземпляры. У здоровых и поврежденных деревьев измеряли высоту.

Для оценки зимних пастбищ вначале устанавливали следующие величины: общее количество предпочитаемого кормового ресурса по породам на всех пробных площадках; общее количество потравленных экземпляров подроста по породам; общее количество экземпляров всех древесных пород на всех пробных площадках; число пробных площадок, на которых встречена каждая порода; общее количество выделенных пробных площадок.

Определяли показатели состояния зимних кормовых пастбищ для лосей согласно известной методике [6]. Устанавливали частоту встречаемости каждой породы, обилие породы в составе зимних пастбищ, предпочтительность каждой породы, фактор утилизации, или использования, побегов и долевое участие каждой породы в общем балансе зимних кормовых пород.

Изучали характер повреждений и реакцию сосны обыкновенной на объедание

лосями. Устанавливали возраст растений по мутовкам на всем протяжении стволика, добавляя 2 года, подсчитывали количество боковых побегов верхней мутовки, измеряли их длины и длину центрального или бокового, заместившего центральный, и определяли показатели апикального доминирования у поврежденных и неповрежденных растений.

Экспериментальные данные обрабатывали методами вариационной статистики: для сравнения данных применяли дисперсионный анализ. Для оформления математических результатов использовали прикладные программы в среде Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

На территории Брасовского лесничества площадь угодий, пригодных для обитания лосей, составляет 14,3 тыс. га, из них 4,3 тыс. га (30,1 %) приходится на сосняки. Доля молодняков сосны до 20 лет, которые первостепенны в районе лосей, составляет 3,5 % от общей пригодной площади. При оценке охотничьих угодий, характерных для обитания лосей, был определен видовой бонитет, равный II, 4. Этому бонитету соответствует определенная численность животных на единицу площади, при которой наиболее полно используются производительные свойства угодий, но без ущерба для нормального воспроизводства кормовых ресурсов, а именно 5,2 особей на 1000 га.

Начиная с 2011 г. отмечался непрерывный рост плотности лосей в угодьях [9]. Данные показатели к 2020 г. достигли 2,6 особей на 1 тыс. га, что не соответствует установленному видовому бонитету. Значит, обеспеченность излюбленными кормами и защищенность угодий вполне достаточны. Ущерб лесной среде еще выражен слабо; можно содействовать увеличению плотности лосей до оптимальной, при условии активной защиты лесных культур сосны.

При анализе охотничьих угодий установлена низкая доля основной кормовой базы лосей – сосновых молодняков и осинников, что может сказаться на их качестве при нерегулируемом росте численности дендрофагов. Для лосей сложились наилучшие условия при чередовании смешанных лесов, с обязательным участием осины с околосовковым высокотравьем и ивняками по берегам рек, опушек и полевых угодий, зарастающих самосевом сосны. Известно, что смешанные и лиственные молодняки на зарастающих вырубках в возрасте 5–20 лет – также при-

годные места обитания в связи с высоким качеством кормовых угодий и присутствием фактора защищенности [1].

Как типичные дендрофаги, лоси в поздний осенний, зимний и ранний весенний периоды питаются древесно-веточными кормами.

Наиболее предпочитаемыми в зимний период на зарастающих вырубках 12-летней давности, а поэтому повреждаемыми лосями являются рябина, ива и осина [1, 2]. В молодых культурах сосны излюбленный корм – центральные и боковые побеги верхних мутовок.

В условиях Брасовского лесничества зимой лоси посещали культуры до 15-летнего возраста и участки естественного возобновления лесных пород. Отмечаем сложное кормовое поведение лосей на ПП. Во взрослых лесных культурах сосны практически отсутствовали кормовые предпочтения, лоси питались всеми видами растений из подростка и подлеска, но в зоне досягаемости вершинок и верхних мутовок. В молодых культурах на объектах исследования они предпочитали питаться боковыми побегами и вершинками сосны, попутно поедая побеги осины. Эти две породы составляли основной зимний рацион.

Частым видом повреждения в целом, за два сезона наблюдений, явилось повреждение боковых побегов – 7,9 % и утилизация вершин – 6,3 %.

Зимой 2019–2020 гг. активнее повреждались верхушечные побеги. Погрызы коры встречались редко – до 1,5 %. Лоси повреждали гладкую кору на относительно молодых деревьях. Малое повреждение культур сосны зимой 2019–2020 гг. свидетельствовало о наличии доступного веточного корма лиственных пород.

Зимой 2020–2021 гг. доля повреждений увеличилась. Питание боковыми побегами возросло в 21,5 раз, вершинками – в 3,1 и корой стволиков – в 3,2 раза по сравнению с прошлым сезоном. Общее количество повреждений сосны увеличилось в 5,0, а по осине уменьшилось в 1,4 раза. В целом количество повреждений возросло в 2,8 раз (табл. 1).

Повреждение боковых побегов не причиняло деревьям заметного вреда. Но в сосняках, где лоси кормились в течение ряда лет, это вызывало снижение прироста и, наконец, усыхание деревьев. Полом стволиков и верхушек наблюдали в 13–15-летних культурах, куртинах крупного подростка [2], что также подтверждалось нашими наблюдениями [7].

Таблица 1

Обобщенная характеристика повреждения основных кормовых древесных пород

Зимние сезоны	Порода	Количество деревьев без повреждений, шт.	Повреждения, шт.					Всего деревьев, шт.
			Боковых побегов	Вершин	Коры на стволах	Поломано стволиков	Всего повреждений	
2019–2020	С	546	4	16	6	7	33	579
	Ос	110	2	13	5	17	37	147
2020–2021	С	353	86	49	19	12	166	519
	Ос	38	12	5	7	3	27	65

Таблица 2

Средние значения показателей кормового поведения лосей, %

Показатели	Порода	2019–2020		2020–2021	
		M±m	C, %	M±m	C, %
Обилие породы	С	80,2±1,18	3,60	88,4±2,01	5,56
	Ос	20,5±1,55	18,56	11,6±2,01	42,32
Предпочтение породы	С	5,6±0,86	37,33	31,2±1,72	13,54
	Ос	25,1±3,03	29,57	41,8±1,94	11,37
Фактор утилизации	С	4,5±0,70	38,87	27,6±1,67	14,82
	Ос	5,2±0,71	33,92	4,8±1,79	39,73
Долевое участие породы в общем балансе кормов	С	46,2±6,68	35,44	85,1±2,37	6,84
	Ос	53,8±6,68	30,43	14,9±2,38	39,04

При глубоком снеге перемещение лосей по зимним пастбищам сократилось, а интенсивность питания при задержке на одном месте заметно увеличилась по всем ПП. Возрос фактор утилизации побегов и доля участия сосны в общем балансе зимних повреждений (табл. 2). Но при невысокой доле осины в составе зимних пастбищ предпочтение отдавалось ей.

Деятельность лосей в молодых насаждениях по лесосекам, гарям и вновь созданным лесным культурам может вызывать не только смену пород, но и изменить состав, ярусность и качество формирующего древостоя. При значительной плотности животные способны нанести существенный вред лесному хозяйству, повреждая лесные культуры, подрост и подлесок – предпочитаемый древесно-веточный корм [10].

Как показывают исследования, при высокой встречаемости осины в составе возобновления лоси питаются ею интенсивнее, включая в состав зимнего рациона.

Частота встречаемости наиболее повреждаемых пород составила 100 % по всем ПП, как в сезон 2019–2020 гг., так и в после-

дующий зимний период. Различалось лишь долевое участие каждой породы.

Интенсивность повреждений, как известно, зависела от состава и возраста лесных культур. Возраст возобновления оценивали только на примере главной породы среди неповрежденных и поврежденных растений (табл. 3).

Средний возраст поврежденных и неповрежденных растений не превышал 8 лет. Различия между возрастными группами двух групп не существенны ($F_{\text{факт.}} = 0,12$; $F_{\text{крит.}} = 5,32$ и $P = 0,74$). В данном возрастном диапазоне возобновления лоси не отдавали предпочтения растениям определенного возраста, следовательно, питание носило случайный характер.

В целом амплитуда изменчивости возрастов поврежденных растений шире, чем неповрежденных, что говорит о несколько меньшей избирательности при питании побегами возобновления сосны. Различия коэффициентов варьирования этого показателя по ПП говорят об изменчивости кормового поведения при расширении нормы реакции в изменяющихся условиях.

Таблица 3

Породный состав и средний возраст возобновления сосны в местах питания лосей

Квартал, выдел (ПП)	Состав лесных культур	Возраст растений, лет			
		неповрежденных		поврежденных	
		M±m	C, %	M±m, м	C, %
37, 11 (ПП 1)	5С3Ос1Б1Дн+Кл	7,8±0,36	20,6	7,1±0,27	16,9
47, 9 (ПП 2)	8С2Ос+Б	7,3±0,33	20,5	6,6±0,31	21,1
58, 17 (ПП 3)	10С+Б	7,5±0,33	19,7	7,9±0,27	15,3
72, 18 (ПП 4)	10С+Б+Ос	7,1±0,38	23,7	7,9±0,37	20,9
75, 3 (ПП 5)	8С1Ос1Д+Б	7,8±0,37	21,5	7,4±0,28	17,2



Варианты повреждений сосны (квартал 47, выдел 9)

Самые распространенные виды повреждений молодых деревьев: переламывание верхушки, скусывание боковых побегов и обгрызание коры [8] – также установлены и нами (рисунок).

Восстановление растений от повреждений зависит от возраста: чем моложе возраст хвойных и лиственных растений, тем хуже идет их восстановление. Возможна гибель рябины и осины (в основном до 4 лет). Известно, что наиболее быстро адаптируются к повреждениям разные виды ив (в возрасте до 8–12 лет) и осина (4–6 лет) [1].

Лоси при питании повреждали побеги растений в диапазоне возрастов от 5 до

10 лет, чаще – более зрелые экземпляры сосны обыкновенной.

Интенсивность повреждений оценивали, учитывая количество боковых побегов верхней мутовки каждого растения. В ряде случаев повреждения носили комбинированный характер: лоси скусывали не только боковые побеги, но и уничтожали центральные, дополнительно повреждая кору стволиков.

В качестве интегрального показателя повреждений нами предложен балл повреждения, комплексно учитывающий соотношение поврежденных и неповрежденных побегов верхней мутовки, а также степень повреждения центрального побега – по оставшейся части после поедания (табл. 4).

Таблица 4

Интенсивность повреждений растений сосны на пробных площадях

№ пробной площади	Встречаемость комбинированных повреждений, %	Поврежденные боковые побеги, шт.		Балл повреждений	
		M±m _M	C, %	M±m _M	C, %
1	45,0	3,2±0,42	59,4	1,3±0,24	82,92
2	20,0	2,9±0,35	47,3	0,9±0,16	81,87
3	50,0	5,4±0,44	37,0	1,8±0,30	75,43
4	40,0	3,8±0,35	41,5	1,5±0,29	86,90
5	20,0	3,4±0,47	61,3	1,1±0,24	106,22

Характер повреждений деревьев больше зависел не от возраста, а от высоты деревьев. Наибольший урон от уничтожения вершинок несут деревья высотой до 1,0 м. Задержка в росте у сосен наступает только после отторжения 2/3 количества побегов. Скусывая вершинный побег, лоси укорачивали его на 12–18 см. В месте скусывания образовывалась мутовка. Располагающийся за ней промежуток ствола представлял собой прирост дерева на следующий после повреждения сезон вегетации и, как правило, имел искривление.

Если повреждались только боковые побеги, балл изменялся от 0,2 до 1,0. Повреждения, равные 1 баллу, соответствовали полной утилизации всех боковых побегов верхней мутовки. В случае повреждений центрального и боковых побегов вместе интенсивность повреждения изменялась – от 1,2 до 3,8 баллов.

Лимиты колебаний количества повреждений – от 1 до 8 побегов верхней мутовки.

Интенсивность их уничтожения составила 20–100% на каждом отдельно взятом растении, а по ПП в среднем изменялась в пределах 45–67%. Но изредка повреждался только центральный побег. Охотнее поедались побеги верхних мутовок на ПП № 3. Интенсивность повреждения зависела от длины оставшейся части после скусывания и оценивалась в 1–3 балла. Встречаемость 100% уничтожения боковых побегов верхней мутовки составила: на ПП № 2 – 10% и на № 4 – 5%.

Успешность возобновления определяется объемом развития надземных вегетативных органов. Важнейший показатель для светолюбивой породы – сосны обыкновенной – рост в высоту. Поврежденные растения имели более высокие показатели роста,

реже – примерно одинаковые, кроме ПП № 5, где наблюдалось более интенсивное питание лосей (табл. 5).

Но различия между высотами поврежденных и неповрежденных растений не существенны. $F_{\text{факт.}} = 1,09$, при $F_{\text{крит.}} = 5,32$ и $P = 0,33$. Варьирование высоты неповрежденных растений находилось на среднем и повышенном уровне. Поврежденные деревья имели более значительные колебания по высоте и относительно высокие коэффициенты вариации.

Таким образом, изменчивость растений по высоте свидетельствовала о проявлении стресс-реакции на повреждение боковых побегов.

Главным показателем развития растений является прирост центрального побега (табл. 6).

На неповрежденных растениях он в среднем не превысил 28 см. На поврежденных – в основном меньше 27 см, что говорит о замедлении развития. Коэффициент варьирования прироста центрального побега у поврежденных растений очень высок.

У сосен не менее важны и боковые побеги верхних мутовок, отвечающие за общий вид взрослого растения. Количество боковых побегов верхней мутовки неповрежденных и поврежденных растений приблизительно одинаково, данный показатель различался в интервале 1–2 шт. При питании боковыми побегами в целом лоси действовали неизбирательно. Это также можно объяснить особенностями физиологии растений при закладке боковых почек. Регулярные повреждения боковых побегов приводили растения к угнетению, а нерегулярные однократные – к стимуляции роста.

Таблица 5

Статистические показатели высоты сосны в местах питания лосей

№ пробной площади	Высота растений, м					
	Неповрежденные			Поврежденные		
	Лимиты колебаний	$M \pm m_M$	C, %	Лимиты колебаний	$M \pm m_M$	C, %
1	1,44–2,54	1,9 $\pm$ 0,08	17,87	1,09–3,48	2,3 $\pm$ 0,17	33,34
2	1,03–2,88	1,8 $\pm$ 0,11	27,46	0,57–3,39	1,8 $\pm$ 0,14	36,26
3	1,42–3,08	2,3 $\pm$ 0,12	24,23	1,26–3,49	2,4 $\pm$ 0,13	23,88
4	1,09–2,84	1,8 $\pm$ 0,11	26,17	1,32–3,04	2,2 $\pm$ 0,13	25,33
5	1,34–3,02	2,1 $\pm$ 0,12	25,79	1,32–2,62	2,0 $\pm$ 0,09	20,27

Таблица 6

Статистическая характеристика роста деревьев сосны
в местах питания при повреждении боковых побегов

№ пробной площади	Неповрежденные		Поврежденные	
	$M \pm m_M$	C, %	$M \pm m_M$, см	C, %
Приросты центрального побега, см				
1	28,60±2,73	42,63	31,20±3,80	54,85
2	28,25±2,57	40,72	23,80±2,98	55,95
3	38,05±2,84	33,41	26,35±4,09	69,41
4	27,95±2,60	41,67	25,30±2,63	46,58
5	32,45±2,11	29,04	25,35±3,00	52,88
Показатели апикального доминирования				
1	0,24±0,03	58,13	0,48±0,06	57,67
2	0,22±0,03	65,59	0,30±0,05	69,35
3	0,26±0,04	76,85	0,37±0,09	114,18
4	0,21±0,03	68,87	0,31±0,04	61,53
5	0,21±0,04	86,42	0,34±0,06	85,53

Показатели апикального доминирования при повреждении только боковых побегов оказались выше и существенно отличались от неповрежденных растений – $F_{\text{факт}} = 14,72$, при $F_{\text{крит.}} = 5,31$ и $P = 0,005$.

Если в верхней мутовке сохранялся боковой побег, то он начинал выполнять заместительную функцию. Происходил, как правило, интенсивный рост в высоту.

Средние приросты боковых побегов, заменивших центральные, находились в диапазоне 32,2±5,50 – 90,7±21,18 см с широким варьированием признака 24,5–70,1%. На ПП № 1 рост боковых побегов более неоднороден, растения крайне изменчивы по способности проявления заместительной функции.

Развитие центрального побега у сосны обыкновенной тормозило рост боковых, но его повреждение, наоборот, ускоряло. При комбинированном повреждении, если сохранялась часть боковых побегов, то один из них начинал расти с высокой интенсивностью. Наблюдалось проявление стресс-реакции при однократном повреждении лосями возобновления сосны обыкновенной.

Заключение

Кормовое поведение лосей в зимние сезоны оказалось пластичным. Они регулярно посещали лесные культуры и участки естественного возобновления сосны разного состава, с ограничениями по возрасту, чаще не более 10 лет, и по высоте растений 1,8–2,4 м в среднем. Основу зимнего ра-

циона составляли сосна и осина. Лоси наносили разнообразные повреждения этим лесным породам: от простых однократных до комбинированных. На состоянии молодых сосен отрицательно сказывались не однократные повреждения, особенно полумы стволы. В условиях снежной зимы интенсивность и частота повреждений возросли. При утилизации центральных побегов боковые выполняли заместительные функции, но при условии сохранения хотя бы одного неповрежденного в верхней мутовке к вегетационному периоду.

Ухудшение условий существования вида в многоснежный зимний сезон привело к росту интенсивности повреждения возобновления.

Для снижения ущерба молоднякам сосны необходимо внедрить комплекс видовых биотехнических мероприятий, направленных на улучшение условий существования лосей и защиту сосновых культур от повреждений в лесном фонде Брасовского лесничества.

Список литературы

1. Пилипко Е.Н. Трофическое влияние лося (*Alces alces* L.) на территории смешанных и лиственных молодняков Вологодской области в летний период // Лесной журнал. 2017. № 2. С. 52–66. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.2.52.
2. Пилипко Е.Н. Оценка трофической роли лося *Alces alces* (L. 1758) на вырубках Вологодской области в зимний период // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2018. № 2. С. 211–220.
3. Blouin J., DeBow J., Rosenblatt E., Alexander C., Gieder K., Fortin N., Murdoch J. Modeling moose habitat use by age, sex,

and season in vermont, usa using high-resolution lidar and national land cover data. *Alces. A Journal Devoted to the Biology and Management of Moose*. 2021. Vol. 57. P. 71–98.

4. Lowe S.J., Patterson B.R., Schaefer J.A. Lack of behavioral responses of moose (*Alces alces*) to high ambient temperatures near the southern periphery of their range. *Canadian Journal of Zoology*. 2010. Vol. 88. No. 10. P. 1032–1041. DOI:10.1139/Z10-071.

5. Шабров Ф.А. Влияние сплошных рубок леса на изменение численности лося (*Alces alces* L.) в условиях Костромской области // *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2015. № 3 (46). С. 60–66.

6. Романов В.С., Козло П.Г., Падайга В.И. *Охотоведение*. Мн.: Тесей, 2005. 451 с.

7. Кистерный Г.А., Исаенков П.Г. Кормовое поведение лося в сосновых лесных культурах Брасовского лесничества Брянской области // *Среда, окружающая человека: природная, техногенная, социальная: материалы IX Международной научно-практической. конференции*

(Брянск, 23–25 апреля 2020 г.). Брянский государственный инженерно-технологический университет. Брянск, 2020. С. 29–32.

8. Дворников М.Г., Пилипко Е.Н., Воробьев Е.Д. Оценка ущерба от трофической деятельности лося (*Alces alces* L.) на антропогенно-нарушенных территориях // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2021. № 4 (106). Ч. 2. С. 47–52. DOI: 10.23670/IRJ.2021.106.4.033.

9. Кистерный Г.А., Исаенков П.Г., Пронов М.В. Динамика численности лося и косули европейской в угодьях Брасовского охотничьего хозяйства Брянской области // *Современные тенденции молодежной науки: сборник научных трудов национальной конференции* (Брянск, 06–08 февраля 2020 г.). Брянский государственный инженерно-технологический университет. Брянск, 2020. С. 170–172.

10. Мартынов Е.Н., Масайтис В.В., Гороховников А.В. *Охотничье дело. Охотоведение и охотничье хозяйство*. СПб.: Лань, 2011. 448 с.

УДК 633.34:631

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАННЕСПЕЛЫХ СОРТОВ СОИ В УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ

¹Кошкарова Т.С., ²Зейлигер А.М., ³Зинченко Е.В., ²Ермолаева О.С.

¹ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур
имени В. С. Пустовойта», Краснодар, e-mail: koshkarova_ts@vniioz.ru;

²РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва;

³ВНИИ орошаемого земледелия, Волгоград

Целью исследований является проведение сравнительного анализа производственных характеристик раннеспелых сортов сои в Саратовской области в условиях орошения для получения стабильного урожая бобов сои с высокими качественными показателями и увеличения экономической эффективности возделывания. Опыт проводился на почвах УНПО «Поволжье» Энгельсского района Саратовской области в стационарном севообороте. В основном представлены каштановые почвы с разной степенью промывости и осолонцевания. Мощность гумусового горизонта составляет в среднем 0,55 м. Гумуса в верхнем слое почвы – 0...0,1 м содержится от 3,2 до 4,3 %, в слое 0,3...0,4 м – от 2,4 до 3,6 %. В полевом опыте изучались сорта сои ранней группы спелости: Соер 7, Мезенка, Командор и Натали. Посев проводили рядовым способом посева нормой 750 тысяч штук всхожих семян на гектар. Вегетационные поливы осуществлялись дождевальной машиной (ДМ) «Каскад» кругового действия, разработанной в СГАУ им. Н.И. Вавилова. В ходе проведения исследований выявлено, что высокими значениями урожайности характеризуется соя, выращенная на орошении сорта Мезенка, и Соер 7 (в среднем 5,28; 4,81 т/га соответственно). Определение показателей содержания белка и жира в зерне сои показало, что в семенах изучаемых сортов белка было накоплено от 36,2 до 39,9 % и жира от 16,0 до 20,5 %, что соответствует характеристике изучаемых сортов. В результате проведенных нами полевых исследований установлено, что почвенно-климатические условия Саратовского Заволжья в условиях орошения позволяют посевам сои раннеспелых сортов Мезенка и Соер 7 сформировать урожайность зерна в пределах 4,81–5,28 т/га с высоким качеством продукции.

Ключевые слова: соя, орошение, структура урожая, сорт, селекция, урожайность, белок, жир, Саратовское Заволжье

COMPARATIVE ANALYSIS OF EARLY-MAPING SOYBEAN VARIETIES UNDER THE CONDITIONS OF THE SOUTH OF RUSSIA

¹Koshkarova T.S., ²Zeyliger A.M., ³Zinchenko E.V., ²Ermolaeva O.S.

¹All-Russian Research Institute of Oilseeds named after V.S. Pustovoyt, Krasnodar,
e-mail: koshkarova_ts@vniioz.ru;

²RGU – MSHA named after K.A. Timiryazev, Moscow;

³VNI of Irrigated Agriculture, Volgograd

The purpose of the research is to conduct a comparative analysis of the production characteristics of early-ripening soybean varieties in the Saratov region under irrigation to obtain high, stable yields of soybean seeds with high quality indicators and increase the economic efficiency of cultivation. The experiment was carried out on the soils of the UNPO «Povolzhye» of the Engelsky district of the Saratov region in a stationary crop rotation. Chestnut soils are mainly represented with varying degrees of leaching and alkalization. The thickness of the humus horizon is on average 0.55 m. Humus in the upper soil layer of 0 ... 0.1 m contains from 3.2 to 4.3 %, in the layer of 0.3 ... 0.4 m – from 2.4 to 3.6 %. In the field experiment, soybean varieties of the early ripeness group were studied: Sauer 7, Mezenka, Komandor and Natalie. Sowing was carried out by the ordinary method of sowing with a norm of 750 thousand pieces of viable seeds per hectare. Vegetation irrigation was carried out by a sprinkling machine (DM) «Kaskad» of circular action, developed in the SSAU. N.I Vavilov. In the course of the research, it was revealed that soybeans grown on irrigation of the Mezenka variety and Sauer 7 are characterized by high yields (an average of 5.28, 4.81 t/ha, respectively). Determination of indicators of protein and fat content in soybean grain showed that in the seeds of the studied varieties of protein was accumulated from protein from 36.2 to 39.9 % and fat from 16.0 to 20.5 %, which corresponds to the characteristics of the studied varieties. As a result of our field studies, it was found that the soil and climatic conditions of the Saratov Trans-Volga region under irrigation conditions allow soybean crops of early ripe varieties Mezenka and Sauer 7 to form a grain yield in the range of 4.81-5.28 t/ha with high product quality.

Keywords: soybean, irrigation, crop structure, variety, selection, yield, protein, fat, Saratov Zavolzhye

Культура соя по своему разнообразию биологическому и химическому составу семян, а также многостороннему использованию в пищевых, кормовых и технических целях является сельскохозяйственной культурой мирового значения.

В мире посевы сои по площади превышают 100 млн га, выращивают ее в основных

растениеводческих регионах более 80 стран. Производство этой культуры в мире превышает 300 млн т. Успешное продвижение обуславливается как ее огромными возможностями в пищевой индустрии, так и агрономическими и даже экологическими преимуществами по сравнению с другими сельскохозяйственными культурами [1].

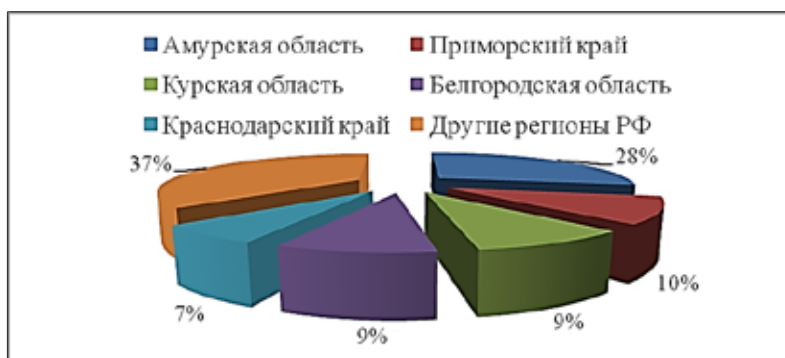


Рис. 1. Производство сои по регионам РФ, 2019 г.

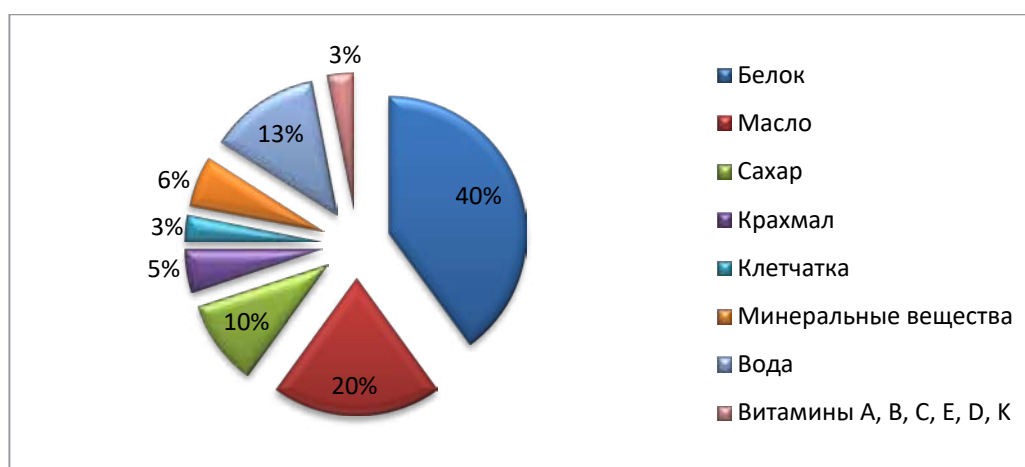


Рис. 2. Химический состав зерна сои

Главным регионом по производству сои является Дальний Восток, где под посевом занято более 70%, и примерно по 15% в Южном и Центральном федеральных округах Российской Федерации. По размеру площадей лидерами производства сои в 2019 г. были: Амурская область, Приморский край, Курская область, Белгородская область, Краснодарский край. Также посевы имеются в Воронежской, Орловской, Тамбовской, Самарской, Липецкой, Пензенской, Саратовской областях, Ставропольском, Алтайском и Хабаровском краях (рис. 1) [2].

Белок и жир являются важнейшими питательными элементами, содержащимися в бобах сои. Среднее содержание полноценного протеина в семенах сои колеблется в пределах 32–48% с высококачественным аминокислотным составом, жира – 16–25% и углеводов – более 20%. Также в состав зерна сои входит большое количество растворимых сахаров, макро- и микроэлементов, витаминов и минеральных солей. Из 1 т

семян получают 0,7–0,75 т шрота, содержащего, около 40% протеина и 14% жира. Высокие кормовые достоинства сои и являются главной причиной широкого распространения во многих регионах страны (рис. 2).

Положительная динамика увеличения объема производства сои в Российской Федерации определяется стабильно высокими мировыми и российскими ценами на семена, улучшением экономического состояния отечественного сельского хозяйства, а также ростом эффективности селекции сои [3].

Саратовская область является благоприятной зоной для возделывания сои, но недостаток влаги очень сдерживает развитие производства сои по сравнению с тепловыми ресурсами. Основой успешного возделывания сои в этом регионе является орошение и комплекс связанных с ним технологий, а также правильный подбор высокопродуктивных сортов [4, 5]. На это были направлены исследования с целью проведения сравнительного анализа производственных характеристик раннеспелых со-

ртов сои в Саратовской области в условиях орошения для получения стабильных урожаев зерна при высоких экономических показателях эффективности ее возделывания.

Материалы и методы исследования

Экспериментальная часть исследований проводилась в Энгельсском районе Саратовской области в 2019–2021 гг. Климат в Саратовской области умеренно континентальный, имеется недостаток атмосферных осадков, низкая относительная влажность воздуха и сильный перепад температур [6].

На опытном участке в основном представлены каштановые почвы с разной степенью промывости и осолонцевания. Мощность гумусового горизонта в среднем 0,55 м. Содержание гидролизуемого азота по Тюрину – 30–47 мг/кг, нитратного азота 20–30 мг/кг почвы, подвижного фосфора – 80–120 мг/кг, обменного калия – 140–180 мг/кг почвы (по Чирикову) [7, 8].

Полевой опыт включал в себя изучение двух факторов.

Фактор А – ранние сорта сои, варианты:

1. Соер 7, оригинатор ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока».

2. Натали, оригинатор ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ».

3. Мезенка, оригинатор ГНУ ВНИ-ИЗБК Россельхозакадемии.

4. Командор, оригинатор Евралис Семанс (savenue Gaston Phoebe F-64230 Les-car, France).

Фактор В – проведение орошения, варианты:

1. Посевы под орошением.

2. Посевы без орошения.

Статистическую обработку результатов в опытах проводили согласно методическим указаниям Б.А. Доспехова. Данные отбирались согласно картограмме, где показаны точки отбора образцов по сортам. Сорт сои Командор – 8 и 12 точка, Мезенка – 7 точка, Натали – точки 6 и 11, Соер 7 – точки 1, 2, 4, 14 (рис. 3).

В севообороте соя размещалась после зерновой кукурузы. Сразу после уборки предшественника проводили провокационный полив нормой 450 м³/га, чтобы спровоцировать всходы сорняков. Основная обработка почвы проводилась отвальным способом – вспашкой.

В весенний период подготовку участка начинали с боронования и двух культиваций. Под первую культивацию с 20 по 22 мая внесли аммиачную селитру нормой 125 кг/га [9].



Рис. 3. Картограмма точек отбора образцов растений сои

Перед посевом семена сои обработали инокулянтom Ризобаш нормой 3 л/т. Высев семян проводили 23–25 мая при прогревании почвы на глубину заделки семян (0,04–0,06 м) до 12 °С сеялкой СНП-16, широкорядным способом посева нормой 750 тыс. штук всхожих семян на гектар. Гербициды вносили 1 июня согласно вариантам исследований.

Вегетационные поливы этого посева осуществлялись дождевальной машиной (ДМ) «Каскад» кругового действия, разработанной в СГАУ им. Н.И. Вавилова. И проводились в течение вегетационного периода с конца мая по конец августа 2021 г. Урожай убирали комбайном «Сампо» при влажности зерна более 14%.

Результаты исследования и их обсуждение

В полевых исследованиях проводилось определение показателей структуры урожая, таких как масса 100 семян, количество ветвей, узлов и бобов на растении, количество растений на квадратный метр, вес листьев, бобов с одного растения, эти показатели считаются необходимыми для общей биологической характеристики и обоснования полученных результатов [10, 11].

Пригодность сорта к уборке комбайном в огромной степени определяется высотой прикрепления нижних бобов, от которой зависят потери урожая при уборке. Влажность почвы и воздуха, норма высева, географическая широта, площадь питания влияют на высоту прикрепления нижних бобов, причём изменчивость признака определяется наследственными факторами на 20%, а остальное зависит от агротехни-

ческих и природно-климатических условий возделывания. 10 см от корневой шейки считается лучшей высотой прикрепления нижних бобов сои, а значит, такой посев хорошо будет срезаться жатками и весь урожай семян попадет в бункер. В нашем опыте потерь за жаткой от несрезанных нижних бобов на стеблях не наблюдается, и у всех изучаемых сортов высота прикрепления нижнего боба была больше 10 см (табл. 1). Максимальная высота прикрепления нижнего боба отмечалась у сорта Натали при орошении – 21,75 см.

При одинаковой норме высева 750 тыс. штук всхожих семян на гектар ко времени учета урожая количество растений на квадратный метр зависело в большей мере от применения орошения на посевах сои. Так, на орошаемых посевах растений сои осталось от 71 (сорт Мезенка) до 64 штук на м² (сорт Натали). На неорошаемых посевах растений сои было в среднем от 40 (сорт Соер 7) до 24% (сорт Мезенка) меньше, чем на соответствующих орошаемых посевах.

Показатель массы 1000 семян на всех изучаемых вариантах соответствовал сортовой характеристике. Большей массой 1000 семян на орошении отмечалась соя сорта Натали (162,1 г), меньшей – соя сорта Соер 7 (134,7 г). Посевы без применения орошения показали максимальные значения массы 1000 семян с сортом Командор (в среднем 185,7 г), с применением орошения у этого сорта масса 1000 семян составила 156,3 г (на 15,5% выше, чем без применения орошения). Значения массы 1000 семян колебались в зависимости от сортов сои и применения или неприменения орошения.

Таблица 1

Структурные элементы урожая сои (среднее за 2019–2021 гг.)

Сорт	Орошение	Количество растений на м ² , шт.	Высота, см		Количество на одном растении, шт.		Масса с одного растения, г		Масса 1000 семян, г
			растений	прикрепления нижнего боба	ветвей	семян	листьев	семян	
Командор	да	67	129,75	12	9,5	8,5	8	33,5	156,3
	нет	45	89,25	16,5	7	9,75	8,75	16,25	185,7
Мезенка	да	71	209,7	12,3	12,5	21,3	6,8	22	143,1
	нет	54	136,75	14,5	6,8	14,8	4,75	9,4	117,5
Натали	да	64	135	21,25	7,75	23	14,5	12,75	162,1
	нет	48	87	11,75	7,5	14,25	7,75	12,25	180,3
Соер 7	да	68	278,25	14,5	8,4	5,3	12,8	6,75	134,7
	нет	41	49	12,4	5,4	0,1	5	0,1	123,6

Таблица 2

Урожайность сои разных сортов за 2019–2021 гг.

Сорт	Орошение	Урожайность сои, т/га			Средняя урожайность сои, т/га
		2019 г.	2020 г.	2021 г.	
Командор	да	2,97	3,49	3,61	3,36
	нет	0,10	0,46	0,14	0,23
Мезенка	да	5,16	5,27	5,42	5,28
	нет	1,12	1,43	1,67	1,41
Натали	да	1,77	2,15	2,21	2,04
	нет	1,68	2,06	2,13	1,96
Соер 7	да	4,62	5,03	4,77	4,81
	нет	0,10	0,30	0,11	0,17
НСР ₀₅		0,16			

Таблица 3

Главные показатели фотосинтетической продуктивности посевов сои при орошении

Фотосинтетические показатели	Сорт			
	Командор	Мезенка	Натали	Соер 7
Максимальная площадь листовой поверхности, тыс. м ² /га	24,2	48,9	53,5	58,7
Фотосинтетический потенциал, млн. м ² ×дн./га (ФП)	0,76	1,62	2,17	2,28
Чистая продуктивность фотосинтеза, г/м ² ×сутки (ЧПФ)	8,4	7,49	4,28	4,72
Продолжительность периода «всходы – налив» семян, дн.	67	78	94	98
НСР ₀₅	0,18			

Растения сои, выращенные без условий орошения, имели большие показатели массы 1000 семян за счет того, что количество растений на квадратный метр здесь было меньше, что позволило этим растениям разветвиться и сформировать большое количество семян.

Богарные условия возделывания сои способствовали формированию низкой урожайности, в зависимости от сорта на неорошаемых посевах была получена урожайность от 0,17 т/га (сорт Соер 7) до 1,96 т/га (сорт Натали) (табл. 2).

Наибольшей урожайностью сои при орошении отмечаются сорта Мезенка (в среднем за 3 года 5,28 т/га) и Соер 7 (4,81 т/га).

Одна из главных ролей в получении высокого урожая сельскохозяйственных культур принадлежит фотосинтезу, так как в процессе его образуется органическое вещество, используемое для формирования органов репродукции. Так как основным органом фотосинтеза является лист, то фотосинтетическая активность растения должна быть направлена на образование

мощного листового аппарата [12]. Поэтому приемы, приводящие к улучшению развития и увеличению площади листьев, являются главным средством в борьбе за высокую урожайность. При проведении наших исследований были получены высокие показатели фотосинтетической деятельности посевов сортов сои в периоды налива и созревания бобов (табл. 3).

Исходя из этого, раннеспелые сорта характеризуются длительностью функционирования ассимиляционного аппарата, более значительными размерами и активностью. Поэтому они дают высокие уровни урожайности семян в посевах Саратовского Заволжья при орошении, а урожайность является самым главным и ценным признаком сорта, потому что она показывает результат проявления биологических свойств и признаков.

Величина полученного урожая не может быть единственным критерием достоинства изучаемого сорта. Для сои, как белково-масличной культуры, большое значение имеют и показатели качества зерновой продукции.

Таблица 4

Влияние сортовых особенностей (в среднем за 2019–2021 гг.)

Сорта	Орошение	Урожайность, т/га	Содержание белка, %	Содержание жира, %
Командор	да	3,36	39,0	19
	нет	0,23	37,5	16
Мезенка	да	5,28	37,5	19,8
	нет	1,41	36,2	18,0
Натали	да	2,04	39,9	16,4
	нет	1,96	38,7	16,2
Соер 7	да	4,81	37,9	20,5
	нет	0,17	35,0	16,3
HCP ₀₅			0,24	

Для выяснения зависимости качественных показателей зерна от возделывания различных сортов сои при орошении нами было проведено изучение содержания протеина и жира в семенах, а также сбор этих ценных веществ в перерасчете на один гектар.

Накопление семенами сои сырого протеина определяли в лаборатории массовых анализов ФГБНУ ВНИИОЗ (г. Волгоград) фотометрическим индофенольным методом, сырого жира – по обезжиренному остатку (табл. 4).

Определение содержания протеина и жира в зерне сои показало, что в семенах сои, выращенных в условиях орошения, содержание протеина и жира максимальное. Так, высоким процентом белка отличались семена сорта Натали – 39,9%, а жира – сорта Соер 7 – 20,5%. Отметим, что полученные значения содержания жира и протеина в семенах сои соответствуют характеристике изучаемых сортов (белка от 36,2 до 39,9% и жира от 16,0 до 20,5%).

Заключение

Основой эффективного возделывания сои в Энгельском районе Саратовской области при орошении, является правильный подбор высокопродуктивных сортов сои. В результате наших исследований установлено, что почвенно-климатические условия Саратовского Заволжья в условиях орошения позволяют посевам сои ранних сортов Соер 7 и Мезенка сформировать урожайность зерна в пределах 5 т/га. А по показателям содержания белка в зерне сои отличались семена сорта Натали при орошении – 39,9%, а жира – сорта Соер 7 также при орошении – 20,5%.

Данное исследование проводилось при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта МК 19-2905621 «Картографическое моделирование влагозапасов почвенного покрова на основе комплексной

геофизической влагометрии для целей цифрового орошаемого земледелия».

Список литературы

1. Василенко С.А., Метлина Г.В., Кравченко Н.С. Влияние сроков посева на качество семян, экономическую и энергетическую эффективность возделывания сои // Зерновое хозяйство России. 2019. № 2 (62). С. 3–7.
2. Дорохов А.С., Бельшклина М.Е., Большова К.К. Производство сои в Российской Федерации: основные тенденции и перспективы развития // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3 (47). С. 25–33. DOI: 10.18286/1816-4501-2019-3-25-33.
3. Иваненко А.С., Созонова А.Н. Хозяйственно-биологическая и селекционная ценность скороспелых сортов сои в лесостепной зоне Зауралья // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2020. № 10 (183). С. 3–16. DOI: 10.33920/sel-05-2010-01.
4. Иванова Г.Ф., Левицкая Н.Г. Изменчивость максимально возможного и суммарного испарения на территории Саратовской области в условиях меняющегося климата // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Науки о Земле». 2015. Т. 15. Вып. 3. С. 5–8. DOI: 10.18500/1819-7663-2015-15-3-5-8.
5. Прякина С.И., Скляров Ю.А., Левицкая Н.Г. Агрометеорологические прогнозы: монография. Саратов, 2006. 72 с.
6. Ларионов М.В., Ларионов Н.В., Левкина Г.В. Факторы деградации почв и атмосферного воздуха и их влияние на состояние растений в городских и пригородных экосистемах // Samara Journal of Science. 2020. Т. 9. № 2. С. 78–85.
7. Stobaugh B., Florez-Paiacios L., Chen P., Orazaly M. Agronomic evaluation of high – protein and high oil soybean genotypes for specialty markets. Journal of Crop improvement. 2017. № 31 (2). P. 247–260. DOI: 10.1080/15427528.2017.1287807.
8. Тедеева А.А., Хохоева Н.Т. Усовершенствованные элементы технологии возделывания зернобобовых культур // Успехи современного естествознания. 2018. № 7. С. 59–64.
9. Зейлигер А.М., Ермолаева О.С. Информационные технологии в мониторинге богарных и орошаемых агроценозов. Современные наукоемкие технологии. 2016. № 10-1. С. 62–66.
10. Бурляева М.О., Ростова Н.С. Изменчивость структуры корреляций морфологических и хозяйственных признаков у сои с разным типом роста и ветвления // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. Т. 23. № 6. С. 78–86. DOI: 10.18699/VJ19.544.
11. Записоцкий Д.Н., Барчукова А.А. Фотосинтетическая деятельность растений сои в зависимости от применения в технологии ее возделывания регуляторов роста // Плодородие. 2018. № 6 (105). С. 26–28. DOI: 10.25680/S19948603.2018.105.08.
12. Толоконников В.В., Канцер Г.П., Кошкарлова Т.С., Плющева Н.М., Кожухов И.В. Сортовая отзывчивость сои на режим орошения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2018. № 3 (51). С. 128–133.

УДК 631.452:528.946/551.43

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ АГРОЛАНДШАФТОВ ДОНСКОЙ ГРЯДЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И КОСМОСНИМКОВ

Синельникова К.П.

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

Территория Донской гряды в настоящее время активно используется для производства сельскохозяйственной продукции, около 1/2 территории занято посевными площадями. Состояние агроландшафтов на исследуемой территории обусловлено сложными для ведения сельскохозяйственной деятельности почвенными и геоморфологическими условиями. Оценка существующего состояния почв на тестовом участке, в частности пространственного распределения эродированных почв, является актуальной проблемой для выбранной территории исследований. Объект исследований – водосбор балки Назарова, расположенной в Суворовкинском районе Волгоградской области. Новизна исследования состоит в актуализации данных о состоянии почв и картографировании существующего пространственного размещения деградированных участков. Задачей исследований являлось выполнение геоинформационного анализа агроландшафтов исследуемой территории. Для оценки современного состояния агроландшафтов использовали космокарты, разработанные по снимкам спутников Sentinel 2, и цифровую модель рельефа SRTM. В процессе дешифрирования тестового участка «Балка Назарова» было установлено, что площадь, используемая для производства сельскохозяйственной продукции, занимает 8764,2 га. Минимальная площадь пахотных земель на тестовом участке – 3,3 га, максимальная – 474,2 га. Более 51,7% (6150,2 га) от общей площади участка занимают почвы каштановые с солонками каштановыми (10–25%) со слабой водной эрозией. Почвенный контур площадью 217,17 га (1,9% от общей площади) занят каштановыми, малогумусированными среднеэродированными почвами. По результатам обработки космоснимков в программе ENVI было выявлено, что агроландшафты на исследуемой территории «Балка Назарова» на площади 44,3 га и 37,6 га имеют уровни деградации «норма» и «кризис» соответственно.

Ключевые слова: пашня, Донская гряда, почва, деградация, космоснимки, агроландшафт, ГИС-технологии, состояние

ASSESSMENT OF THE STATE OF AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE DON RIDGE USING GIS TECHNOLOGIES AND SATELLITE IMAGES

Sinelnikova K.P.

*Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation
of the Russian Academy of Sciences, Volgograd, e-mail: sinelnikova-k@vafanc.ru*

The territory of the Don ridge is currently actively used for the production of agricultural products, about 1/2 of the territory is occupied by acreage. The condition of the agricultural landscapes in the study area is due to the soil and geomorphological conditions that are difficult for agricultural activities. Assessment of the existing soil condition at the test site, in particular the spatial distribution of eroded soils, is an urgent problem for the selected research area. The object of research is the Nazarov gulch catchment, located in the Suorovikinsky district of the Volgograd region. The novelty of the study consists in updating data on the state of soils and mapping the existing spatial distribution of degraded areas. The objective of the research was to perform a geoinformation analysis of the agricultural landscapes of the studied territory. To assess the current state of agricultural landscapes, space maps developed from Sentinel 2 satellite images and a digital terrain model SRTM were used. In the process of decoding the test site «Nazarov's beam», it was found that the area used for the production of agricultural products occupies 8764.2 hectares. The minimum area of arable land on the test site is 3.3 hectares, the maximum is 474.2 hectares. More than 51.7% (6150.2 ha) of the total area of the plot is occupied by chestnut soils with 10-25% chestnut solonets with weak water erosion. The soil contour with an area of 217.17 hectares (1.9% of the total area) is occupied by chestnut, low-compacted medium-eroded soils. According to the results of the processing of satellite images in the ENVI program, it was revealed that the agro-landscapes in the studied area «Nazarov's beam», on an area of 44.3 hectares and 37.6 hectares have degradation levels of «norm» and «crisis», respectively.

Keywords: arable land, don ridge, soil, degradation, satellite images, agricultural landscape, GIS technologies, condition

С появлением геоинформационных систем время на составление и разработку документации, предназначенной для ведения сельского хозяйства, значительно уменьшилось. При этом увеличилась скорость ее составления, повысились качество и точность. Картографический материал дает возможность определить местоположение объектов с высокой точностью, соответствующей разрешению космоснимка. С ис-

пользованием космоснимков можно решить ряд задач: провести инвентаризацию земель сельскохозяйственного назначения, выявить процессы деградации почв, определить потенциальную опасность деградации для выращиваемых культур и установить эффективность их производства [1, 2].

Волгоградская область является крупным производителем сельскохозяйственной продукции. Анализ данных,

опубликованных в Государственном (национальном) докладе «О состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2019 году» показал увеличение площади земель сельскохозяйственного назначения, которые участвуют в хозяйственном обороте в Волгоградской области, на 6,4 тыс. га [3]. По данным краткого аналитического обзора статистического ежегодника Волгоградской области, в 2020 г. площадь посевов сельскохозяйственных культур в хозяйствах составила 3090,9 тыс. га, что меньше по сравнению с 2019 г. на 55,2 тыс. га (на 1,75%) [4].

Процессы деградации, которые ведут к потере плодородия сельскохозяйственных угодий, такие как эрозия, дефляция, засоление и иные, являются опасными для земель сельскохозяйственного назначения. В настоящее время водная эрозия почв считается главным видом деградации сельскохозяйственных угодий на территории Донской гряды, которая активно проявляется в бассейне реки Чир [5].

Территория Донской гряды интенсивно используется для производства сельскохозяйственной продукции, около 52% территории занято посевными площадями, в связи с чем главная задача состоит в сохранении плодородия почвы. Определение состояния пахотных земель Донской гряды является актуальным как для определения пространственного размещения деградированных участков, так и для планирования и проведения работ по восстановлению плодородия [6, 7, 8].

Применение геоинформационных технологий позволяет дистанционно оценить состояние земель сельскохозяйственного назначения с проверкой полученных данных контрольными исследованиями на натурных объектах, при этом объем информации и скорость ее обработки значительно увеличиваются [9, 10]. Таким образом, достигается цель исследования – выявление процессов деградации почв и определение потенциального снижения продуктивности посевов.

Материалы и методы исследования

Геоинформационные исследования современного состояния сельскохозяйственных земель объекта исследований – водосбора балки Назарова – проводились по методическим разработкам работ Б.В. Виноградова, А.С. Рулева, К.Н. Кулика, В.Г. Юферова [6, 11] с использованием программы QGIS 3.18.

Оценка состояния сельхозугодий проводилась с применением космоснимков, полученных со спутника Sentinel 2, размещенных на сервисе USGS [12]. На основе космоснимков создается обзорная космическая карта среднего масштаба. Полученный геоинформационный слой позволяет выделять векторными контурами основные объекты для подробного исследования.

При основе на почвенной карте Волгоградской области (М 1:400 000) в геоинформационной среде создается векторный слой почвенных контуров для водосбора балки Назарова. На основании полученных пространственных данных разрабатывается карта деградации почв.

Определение состояния почв проводилось по результатам дистанционного зондирования Земли спутником Sentinel 2 по каналам B2, B3, B4 (R, G, B соответственно) с разрешением 10 м. Оценка выполнялась по фототону изображения при помощи программы анализа растровых изображений ENVI 5.3. В программе ENVI выбирали классификацию снимка «density slice». При этой классификации устанавливаются диапазоны тона изображения по уровням деградации (рис. 1).

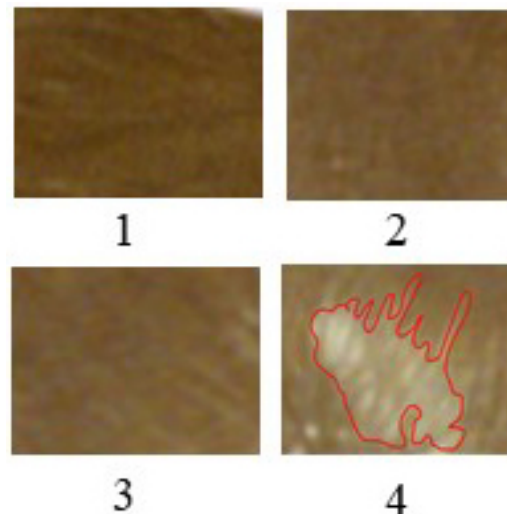


Рис. 1. Эталоны деградации пашни:
1 – уровень деградации «норма»,
2 – уровень деградации «риск»,
3 – уровень деградации «кризис»,
4 – уровень деградации «бедствие»

По снимку выделяются контуры вспаханных земель и уровни отражения по диапазонам соответственно: «норма» – 30–110; «риск» – 111–121; «кризис» – 122–139; «бедствие» – 140–250. В компьютерной

программе QGIS 3.18 создаются слои с атрибутивным описанием характеристик объектов исследования, выделяется граница водосбора балки, устанавливается общее количество полей. По цифровой модели рельефа с применением инструментов рассчитываются геостатистические параметры полей, расположенных на исследуемой территории. Полученные параметры заносятся в таблицу [13].

Результаты исследования и их обсуждение

Исследуемый объект находится в Суrowинском районе Волгоградской области на территории с координатами 48°30.00' и 48°42.00' С.Ш. и 43°09.00' и 43°27.00' В.Д. Общая площадь водосбора 11 888,5 га.

На основе космоснимков сверхвысокого разрешения были разработаны тематические картографические слои. На рисунке 2 показан результат исследования, где изображены макроструктура и геометрия полей участка балки Назарова.

Цель геоинформационного анализа состоит в том, чтобы определить современный уровень деградации почв в агроландшафте исследуемой территории, в связи с чем структура полей не устанавливалась.

В ходе дешифрирования исследуемой территории были выделены 92 участка пашни (полей), агролесомелиаротивное обустройство которых не полностью обеспечивает защиту их от деградации. Поле № 75 имеет наименьшую площадь – 3,3 га. Наибольшую площадь имеет поле № 9 – 474,2 га. Средняя площадь всех полей тестового участка – 95,3 га.

В таблице приведены геостатистические параметры для выбранных полей по репрезентативности, которые были получены при анализе рельефа водосбора балки Назарова.

При изучении полученной цифровой почвенной карты Волгоградской области [14] было выявлено, что в почвенном покрове исследуемой территории преобладают каштановые с солонцами каштановыми 10–25% со слабой водной эрозией, которые занимают 6150,2 га (51,7%) от общей площади территории; каштановые с солонцами каштановыми 25–50% со слабой водной эрозией занимают 2938,8 га; солонцы каштановые с каштановыми 25–50% со слабой водной эрозией занимают 2582,3 га (21,7% от общей площади исследуемого участка), и всего 217,2 га (1,9% от общей площади территории) занимают каштановые малогумусированные почвы со средним уровнем водной эрозии.

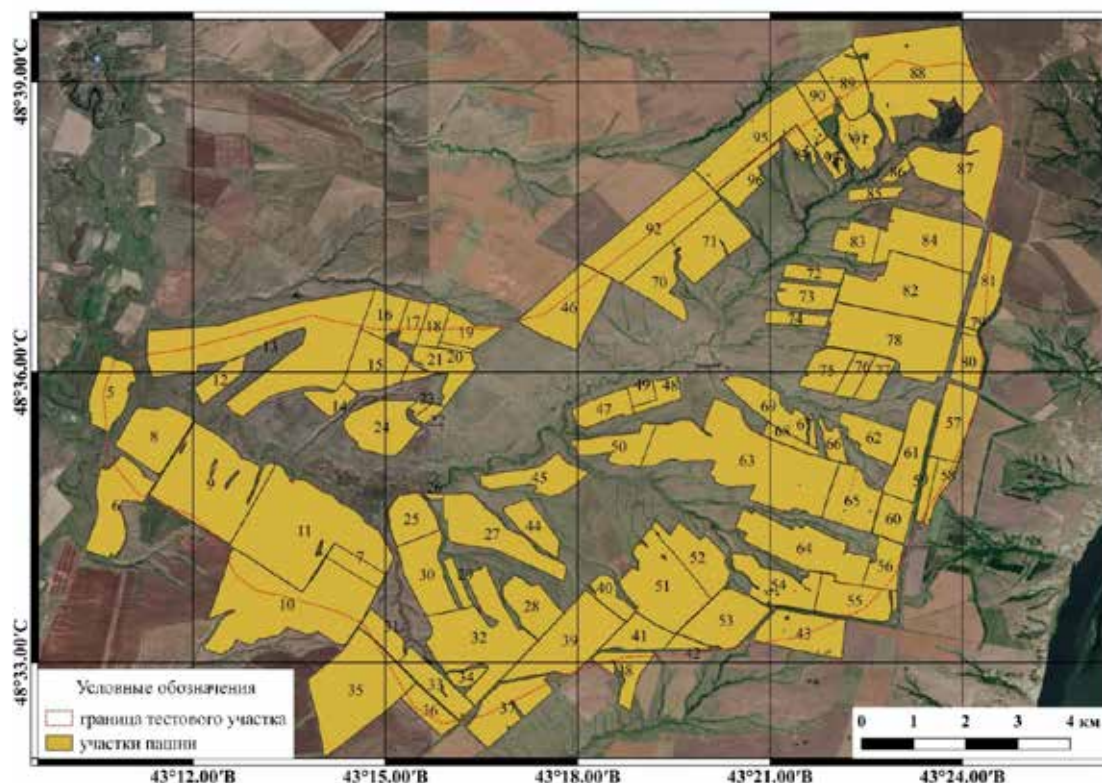


Рис. 2. Карта размещения полей на тестовом участке «Балка Назарова»

Геостатистические параметры полей на тестовом участке балки Назарова

№ поля/ № of the field	Периметр, км/ Perimeter, km	Площадь, га/ Square, ha	Минимальная высота, м/ Min elevation, m	Максимальная высота, м/ Max elevation, m	Средняя высота, м/ Average elevation, m	Стандартное отклонение высоты, м/ Standard deviation of elevation, m	Максимальный угол наклона склона, °/ Maximum slope, °	Средний угол наклона склона, °/ Average slope, °	Стандартное отклонение угла наклона склона, °/ Standard deviation of a slope, °
1	5,808	85,321	39	43	41	0,7	1,17	0,47	0,21
2	8,636	127,55	38	76	51	12	4,98	1,85	1,11
3	4,452	36,099	82	99	91	4	3,64	2,31	0,27
4	6,479	118,6	44	74	55	8	2,97	1,51	0,49
5	12,958	281,43	45	88	71	11,02	3,93	1,37	0,73
6	16,451	381,23	83	118	102	7	3,76	1,23	0,59
7	13,834	372,35	52	106	80	13,3	4	1,59	0,67
8	4,469	37,486	47	70	60	4,6	2,53	1,33	0,43
9	22,908	474,23	46	100	75	14,2	2,67	1,25	0,42
10	4,048	33,231	85	97	92	2,3	4,5	1,34	0,81
11	5,798	97,429	95	110	101	3	2,02	0,78	0,31
12	4,51	54,579	97	111	102	2,3	3,54	0,98	0,48
13	3,817	33,194	105	117	109	3,4	2,36	1,1	0,44
14	3,743	34,186	106	117	111	3,3	2,71	1,08	0,49
15	4,744	47,374	109	122	115	2,7	2,35	1,04	0,39
16	2,319	6,139	116	120	116	0,5	2,08	0,61	0,35
17	8,407	78,33	104	119	113	3,3	2,39	0,89	0,47
18	2,184	11,317	109	114	111	1,3	2,27	1,15	0,45
19	1,871	6,551	104	111	107	1,5	2,02	1,4	0,26
20	6,624	109,79	86	108	96	4,9	2,66	1,29	0,45
21	4,779	68,808	57	77	65	4,5	2,18	1,25	0,42
22	1,334	3,491	58	63	60	1,5	2,06	1,24	0,3
23	9,767	143,84	63	117	85	13,1	4,11	1,96	0,81
24	5,459	77,139	99	134	119	10	3,49	1,86	0,69
25	3,664	19,262	81	109	94	9,2	2,82	1,88	0,43
26	6,943	106,71	70	111	85	11	2,93	1,65	0,58
27	4,295	39,946	101	117	111	4,2	3,58	1,64	0,91

Использование геоинформационных компьютерных программ позволило провести анализ смывости почв на территории балки Назарова. В процессе дешифрирования космоснимков полей № 71, 72, 73 были установлены уровни деградации почвы на полях и разработан геоинформационный слой «деградация почвы» (рис. 3). По результатам анализа было получено распределение уровней деградации по площади полей. Можно отметить, что около 50% почвы на исследуемых

полях не деградировано – уровень деградации «норма» 34% и «риск» 16%, или 65,3 га. При этом присутствуют достаточно большие площади, которые имеют уровни деградации «кризис» и «бедствие», – соответственно 29% (37,6 га) и 21% (26,5 га) (рис. 4).

В процессе анализа состояния деградации почв на тестовом участке балки Назарова выявлено, что пашни находятся на уровне «норма» и «кризис» и выполняют сельскохозяйственные функции.

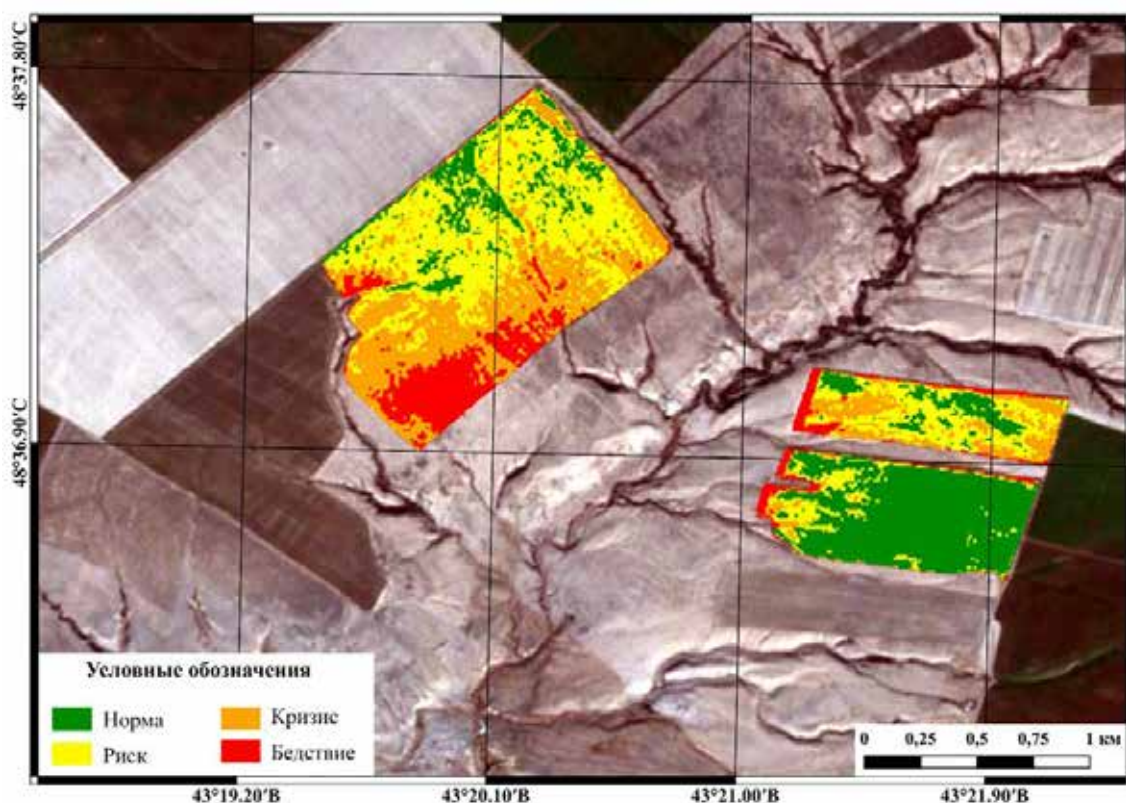


Рис. 3. Карта деградации почв на тестовом участке балки Назарова

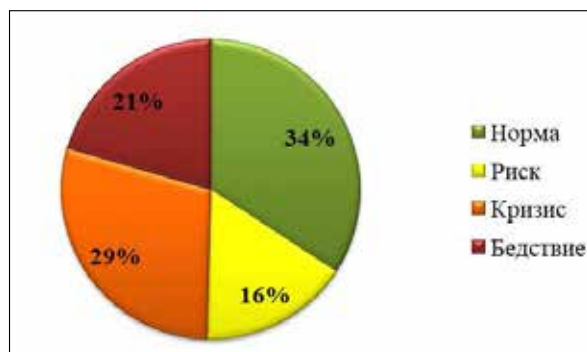


Рис. 4. Распределение деградации почв на тестовом участке балки Назарова по уровням

Создание геоинформационных слоев и их совмещение дают возможность составлять прогноз урожайности по полям и определить местоположение деградированных участков для выполнения работ по восстановлению плодородия почв.

Заключение

Анализ с помощью геоинформационных систем широко используется для решения таких задач, как мониторинг состояния агроландшафтов. Выполненное дешифрирование состояния сельскохозяйственных земель

на исследуемом участке балки Назарова дало возможность выявить положение почвенных контуров и определить уровни деградации почв на исследуемой территории.

Основываясь на результатах исследования, можно отметить, что исследуемая территория расположена на участках с каштановыми с солонцами каштановыми 10–25% почвами (3152,6 га) и с каштановыми с солонцами каштановыми 10–25% со слабой водной эрозией почвы (2997,6 га). На тестовой территории балки Назарова доминируют пашни с уровнем деградации

«норма» и «кризис», что в сумме составляет 63% от общей площади участка. Таким образом, дешифрирование аэрокосмоснимков и совмещение тематических слоев в геоинформационной системе позволяют определить пространственное распределение ухудшенных участков агроландшафтов, установить уровень деградации и ее вид, оценить экономический ущерб, а также разработать план восстановления плодородия почв в агроландшафтах.

Тематические карты, которые были разработаны в ходе выполнения исследования, можно рекомендовать для создания комплексной агролесомелиоративной ГИС, обеспечивающей систему агролесомелиоративных противоэрозионных мероприятий. Пространственное определение участков пашни с различной степенью деградации обеспечит возможность проведения работ с дифференциацией по уровню и объемам работ по восстановлению их плодородия и способствует рациональному использованию имеющихся средств. Разработанные тематические карты можно рекомендовать как основу для планирования агролесомелиоративного противоэрозионного обустройства земель сельскохозяйственного назначения.

Список литературы

1. Рулев А.С., Литвинов Е.А., Кочкарь М.М., Воробьева О.М. Методология оценки эрозионного состояния агроландшафтов по материалам дистанционного зондирования // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2011. № 4(24). С. 51-57.
2. Хабарова И.А., Непоклонов В.Б. Деградация земель Юга Российской Федерации // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2017. № 2. С. 111-115.
3. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2019 году. М.: Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии, 2020. 197 с.
4. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Волгоградской области. 2021. [Электронный ресурс]. URL: https://volgastat.gks.ru/storage/mediabank/RwG4p42N/area_under_crops_vo_04032021.htm (дата обращения: 26.06.2022).
5. Литвинов Е.А., Кочкарь М.М., Воробьева О.М. Водосборная структура и оценка агроэкологического состояния территории Доно-Чирского междуречья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 4. С. 35-40.
6. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984. 320 с.
7. Кулик К.Н. Развитие агролесомелиоративной науки в России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 3 (35). С.12-19.
8. Кулик К.Н., Рулев А.С., Юфев В.Г. Дистанционно-картографическая оценка деградационных процессов в агроландшафтах юга России // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. Наука и высшее профессиональное образование. 2009. № 4. С. 12-25.
9. Морозов А.В., Быкова Е.Н., Сулин М.А. Оценка размещения земельного участка крестьянского (фермерского) хозяйства с учетом пространственных условий использования территории // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2020. Т. 64. № 1. С. 93-103. DOI 10.30533/0536-101X-2020-64-1-93-103.
10. Сизов А.П., Хабаров Д.А., Хабарова И.А. Новые подходы к разработке методики формирования семантической информации мониторинга земель на основе обработки и анализа картографической информации // Известия высших учебных заведений «Геодезия и аэрофотосъемка». 2018. Т. 62. № 4. С. 434-441. DOI 10.30533/0536-101X-2018-62-4-434-441.
11. Yuferev V.G., Pleskachev Y.N., Vdovenko A.V. et al. Degradation of landscapes in the south of the Privolzhsky Upland. Journal of Forest Science. 2019. Vol. 65. No 5. P. 195-202. DOI 10.17221/141/2018-JFS.
12. Сервис загрузки данных дистанционного зондирования Геологической службы США (U.S. Geological Survey). 2021 [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (дата обращения: 26.06.2022).
13. Linkina A.V., Nedikova E.V. Assessment of the State and Management of Modern Agricultural Landscapes in the Central Black Earth Region. Advances in Engineering Research: Proceedings of the VIII Science and Technology Conference "Contemporary Issues of Geology, Geophysics and Geo-ecology of the North Caucasus" (CIGGG 2018), Essentuki, 10–13 октября 2018 года. Essentuki: Atlantis Press, 2019. P. 369-373. DOI 10.2991/ciggg-18.2019.70.
14. Почвенная карта Волгоградской области [Карты] / Государственный агропромышленный комплекс РСФСР; Всероссийское производственное проектное объединение по использованию земельных ресурсов; Южный государственный проектный институт по землеустройству, Волгоградский филиал; спец. содерж. разработано А.Н. Жулидовой, Н.И. Ивашковой под рук. Б.П. Чурсина; отв. ред. Е.М. Цылев; сост. и подгот. к печати Киевским НРКП ПКО «Картография» в 1989 г.; ред. В.Г. Усенко, С.В. Яворский. Москва: ГУГК, 1989.

СТАТЬИ

УДК 551.324.63

**ДЕГРАДАЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ БОЛЬШОГО КАВКАЗА
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ**

¹Аджиев А.Х., ²Шевченко А.В., ¹Кондратьева Н.В., ¹Юрченко Н.В.

¹ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик, e-mail: adessa1@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный университет им. Х.М. Бербекова»,
Нальчик, e-mail: avkbsu@rambler.ru

В связи с масштабными планами России по освоению рекреационного потенциала ледников Северного Кавказа и потребностью интенсивного использования их водных ресурсов в хозяйственной деятельности, особо востребованными в настоящее время стали данные о динамике ледниковых образований. Статья посвящена изучению деградации основных ледников ледникового массива Большого Кавказа и выявлению причин роста темпов уменьшения их площади. Оценка пространственного распространения, масштабов изменения границ площадей ледников Большого Кавказа выполнена на примере динамики ледников южного склона г. Эльбрус и Козидон, Земегондон, Цахвоа, Чугуш, Большой Фиштинский, Джаловчат, Муркар, Когутай. Собранные данные показывают, что темпы деградации исследуемых ледников в последние три года значительно превысили ранее наблюдаемые. Это произошло и за счёт сокращения ледников по ширине и деградации крайних потоков льда, которые уменьшаются быстрее, так как уменьшилась толщина льда в области питания этих потоков. Некоторые части потоков льда ледников сократились за три года по длине на 100 и более метров. Выявлено, что исследованные ледники отступают из-за увеличения скорости роста летних температур до 0,4 °C/10 лет в период глобального потепления с 1976 г. по настоящий период. Скорости уменьшения площади ледников значительно выросли в последние годы и достигали максимальных значений: ледники Малый Азау и Терскол – 25–27 тыс. м² в год, а ледник Гарабаши – 23 тыс. м² в год.

Ключевые слова: оледенение, Большой Кавказ, динамика деградации, ледник, термический режим, площадь ледников, изменение климата

**GLACIATION DEGRADATION OF THE GREATER CAUCASUS
UNDER THE IMPACT OF CLIMATE CHANGES**

¹Adzhiev A.Kh., ²Shevchenko A.V., ¹Kondrateva N.V., ¹Yurchenko N.V.

¹High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik, e-mail: adessa1@yandex.ru;

²Kabardino-Balkarian State University named after Kh.M. Berbekov, Nalchik, e-mail: avkbsu@rambler.ru

In connection with the large-scale plans of Russia to develop the recreational potential of the glaciers of the North Caucasus and the need for the intensive use of their water resources in economic activities, data on the dynamics of glacial formations have now become especially in demand. The article is devoted to the study of the degradation of the main glaciers of the Greater Caucasus glacial massif and to the identification of the reasons for the increase in the rate of decrease in their area. An assessment of the spatial distribution, the scale of changes in the boundaries of the areas of glaciers in the Greater Caucasus was made on the example of the dynamics of glaciers on the southern slope of Elbrus and Kozidon, Zemegondon, Tsakhvoa, Chugush, Bolshoy Fishtinsky, Dzhalogchat, Murkar, Kogutai. The collected data show that the rates of degradation of the studied glaciers in the last three years have significantly exceeded those previously observed. This happened also due to the reduction of glaciers in width and the degradation of the extreme ice flows, which decrease faster, since the thickness of the ice in the area where these flows are fed has decreased. Some parts of the ice flows of glaciers have decreased in length by 100 meters or more over three years. It was revealed that the investigated glaciers are retreating due to an increase in the rate of increase in summer temperatures up to 0.4°C/10 years during the period of global warming from 1976 to the present. The rate of decrease in the area of glaciers has increased significantly in recent years and reached maximum values: the Maly Azau and Terskol glaciers – 25–27 thousand m² per year, and the Garabashi glacier – 23 thousand m² per year.

Keywords: glaciation, Greater Caucasus, degradation dynamics, glacier, thermal regime, glacier area, climate change

Деградация оледенения Большого Кавказа происходит ускоренными темпами и создаёт условия для активизации разрушительных процессов горных образований.

В XXI в. на Северном Кавказе произошел ряд чрезвычайных ситуаций, связанных с ледниками: сход ледника Колка (РСО-Алания) в 2002 г., прорывы ледниковых озёр (в 2006, 2011 и 2017 гг.), гляциальные сели (в 2000, 2011 и 2017 гг.), крупные ледово-каменные обвалы (в 2006, 2014, 2019 гг.), наводнения и селевые потоки.

Одним из наиболее характерных символов изменения климата является таяние ледников. По данным работы [1], за последние 30 лет исчезло более 20 % европейских ледников.

В XXI в. увеличились скорости уменьшения площади горного оледенения на Кавказе из-за роста среднесуточных летних температур. Скорости роста летних температур с 1976 г. по настоящий период составили 0,04 °C в год.

Наибольшие темпы деградации ледников прослеживаются на Западном Кавказе.

На территории Краснодарского края есть несколько участков с развитым оледенением, темпы отступления которых выше, чем среднее отступление ледников на Северном Кавказе.

Особую озабоченность специалистов вызывает изменение площади и объема ледового образования на г. Эльбрус, где сформировалось около 25 ледников. Темпы сокращения площадей ледников на г. Эльбрус (особенно южно-ориентированных) значительно выросли в последние годы и достигали максимальных значений. Например, ледники Малый Азау и Терскол сократились на 25–27 тыс. м² в год, а ледник Гарабаши – на 23 тыс. м² в год.

В связи с масштабными планами России по освоению рекреационного потенциала ледников Северного Кавказа и потребностью интенсивного использования их водных ресурсов в хозяйственной деятельности, особо востребованными в настоящее время стали данные о динамике ледниковых образований.

Целью работы являлось изучение деградации основных ледников ледникового массива Большого Кавказа и выявление основных причин ускоряющегося уменьшения их площади.

Задачами исследований были:

- оценка пространственного распространения, масштабов изменения границ ледников на территориях склонов Большого Кавказа, уточнение местоположения их катастрофического проявления;
- оценка параметров сокращения отдельных ледников на Северном Кавказе.

Материалы и методы исследования

Глобальное потепление способствует уменьшению площади оледенения в горных районах, однако степень такого воздействия различна в разных горных регионах мира. Значительная угроза такого влияния наблюдается для ледникового массива Большого Кавказа. Система ледников Большого Кавказа является важным фактором для жизнедеятельности и для формирования горного ландшафта. Ледниковые комплексы не только формируют горные ландшафты, но и оказывают существенное влияние на климат и растительный покров Северного Кавказа.

По данным нового каталога ледников [2] по результатам обработки космоснимков Sentinel-2 2017–2018 гг. на Кавказе обнаружено 2046 ледников общей площадью 1067 км². В том числе больше половины горного оледенения Большого Кавказа (более 70% от площади оледенения) находится на территории Центрального Кавказа. Лед-

ники значительной площади сосредоточены на г. Эльбрус и на Безенгийской стене (ледник Безенги – наибольший ледник Большого Кавказа длиной около 17 км). Ледниковый массив Эльбруса состоит из 25 ледников, имеющих одну поверхность, у них разные условия питания, разная толщина, и они изменяются по-разному.

История изучения ледников Большого Кавказа начинается с работ Г. Абиха, посетившего этот район в середине XIX в. [3], и продолжается по настоящее время [4, 5]. Учитывая, что ледники обеспечивают основную воду для орошения в июле-августе, их деградация под воздействием изменения климата может иметь тяжелые последствия для производства продовольствия, экономики и населения.

В данной работе представлены результаты совместного исследования многолетней динамики южноориентированных ледников склона г. Эльбрус, а также ледников Козидон, Земергондон, Цахвоа, Чугуш, Большой Фиштинский, Джаловчат, Муркар, Когутай (всего 11 ледников) и сезонных климатических факторов. Указанные ледники являются наиболее типичными ледниками Большого Кавказа, и они характеризуют общую динамику их состояния на этапе глобальных климатических изменений. Оценка динамики изменения площади указанных ледников выполнена по результатам обработки:

- материалов инженерно-гидрометеорологических изысканий и исследований на территории оледенения Большого Кавказа за многолетний период времени;
- полученных данных при маршрутных обследованиях языков исследуемых ледников;
- разновременных космоснимков, сделанных в период максимального снеготаяния.

Для определения климатических характеристик на территории южноориентированных ледников г. Эльбрус и прилегающей территории в качестве основных источников информации использовались:

- ряды наблюдений на метеостанции «Терскол» (2144 м);
- ряды наблюдений на метеостанции «Чегет» (3040 м);
- ряды наблюдений на метеостанции «Пик Терскол» (3150 м);
- справочники по климату СССР;
- метеорологический ежемесячник.

Формирование архива данных для данной территории начато с 1957 г. И с этого времени выполнен анализ изменения площади исследуемых ледников.

Таблица 1

Изменения площади и длины ледников Терскол, Малый Азау и Гарабаши
с 1957 по 2019 г.

Период времени, гг. (количество лет)	Уменьшение площади, тыс. м² (в год)	Уменьшение длины, м (в год)	
1	2	3	
Малый Азау			
1957-1997 (40)	339,7 (8,4)	273 (6,8)	
1997-2009 (12)	216,9 (18,0)	249 (20,7)	
2009-2015 (6)	142,3 (23,7)	69 (11,5)	
1957-2019 (62)	960,6 (15,5)	575 (9,3)	
Гарабаши		восточная часть	западная часть
1957-1997 (40)	102,1 (2,5)	111 (2,8)	77 (1,9)
1997-2009 (12)	101,2 (8,4)	107 (8,9)	131(10,9)
2009-2015 (6)	90 (15)	115 (19,2)	95 (15,8)
1957-2019 (62)	760,6 (12,3)	390 (6,3)	390 (6,3)
Терскол (правый язык)			
1957-1997 (40)	128,4 (3,2)	85 (2,1)	
1997-2009 (12)	200,6 (16,7)	88 (7,3)	
2009-2015 (6)	120,8 (20,1)	130 (21,6)	
1957-2019 (62)	640,0 (10,3)	560 (9,03)	

Результаты исследования и их обсуждение

Для оценки современного состояния ледников и выявления тенденции их изменения было использовано более 20 аэро- и космоснимков.

На рис. 1 показана схема ледников Малый Азау, Гарабаши, Терскол на территории исследований с контурами ледников в 1957 и 2015 г. Основную трудность в определении границ ледников представляла идентификация ледников и мёртвых льдов. В изучении динамики ледников это одна из серьёзных проблем [6].

Чтобы избежать ошибочных оценок сокращения ледников при дешифрировании космоснимков и аэрофотоснимков, такие участки не включались в контуры ледников. Контуры ледников обрисовывались с учётом анализа динамики поверхности мёртвых льдов. Граница ледника проводилась по линии ложбины, отделяющей ледник от мёртвого льда.

Для определения изменения площади ледника за разные периоды времени (от 1 до 10 и более лет) составлялись полигоны изолиний границ ледников с использованием ГИС технологий и программного инструмента Calculate Geometry.

В результате анализа размера площади ледников, находящихся на южном скло-

не горы Эльбрус за различные периоды с 1957 по 2019 г. получены следующие данные, представленные в табл. 1.

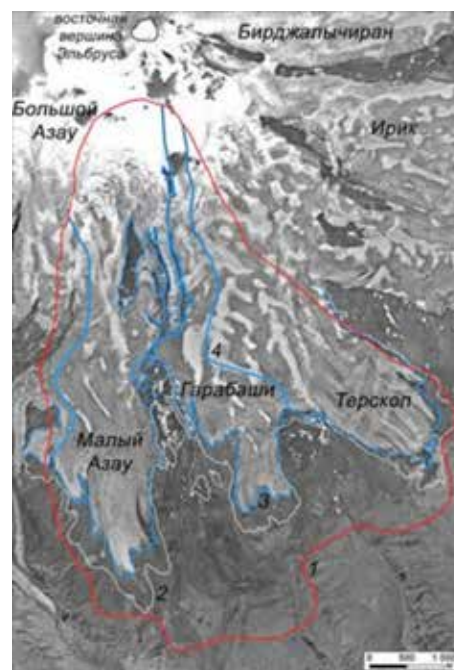


Рис. 1. Схема ледников Терскол, Гарабаши и Малый Азау на космоснимке спутника Pleiades от 23 августа 2015 г.: 1 – участок исследования, 2 – границы ледников в 1957 г., 3 – границы ледников в 2015 г., 4 – ледоразделы

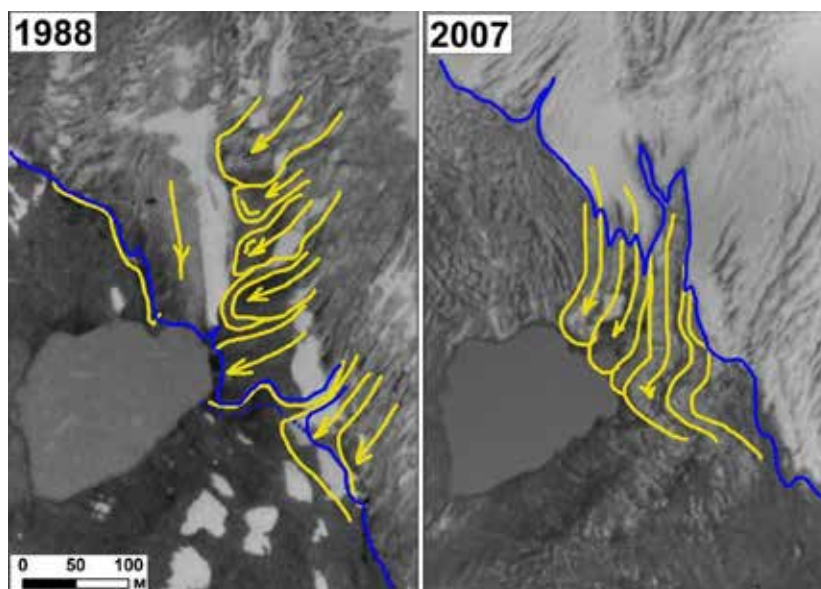


Рис. 2. Изменение морфологии рельефа на участке восточной окраины озера ледника Малый Азау вследствие его наступания в 1990-х гг. Жёлтыми линиями показаны направления движения потоков ледника с грядами поверхностных морен

По данным Е.А. Золотарёва [7, 8] за период с 1957 по 2007 г. ледник Малый Азау сократился на 681 тыс. м². Наша оценка составила 504,6 тыс. м², что значительно меньше данных Золотарева. Возможно, при оценке площади Е.А. Золотарёвым учтены другие участки ледника, вне фронтальной зоны. Наши результаты касаются исчезнувшей площади ледника только во фронтальной части. Что касается линейного отступления, то наши данные отличаются незначительно: 435 м и 404 м у Е.А. Золотарёва.

Как было отмечено в работах [9–12], в период с конца 1980-х до второй половины 1990-х гг. наблюдалось наступание большого количества ледников и на северном и южном склонах Эльбруса и в других районах Кавказа. Например, наступание ледника Бирджалычиран по данным Е.А. Золотарёва [8] составило 160 м.

Наступания не избежал и ледник Малый Азау. На рис. 2 показано значительное изменение морфологии его морен и мёртвых льдов после 1988 г.

В целом в результате анализа динамики ледника Малый Азау можно констатировать то, что скорость уменьшения его площади в последние два-три года замедлилась, но аномально тёплое лето 2015 г. привело к интенсивному таянию снежного покрова ледника на значительных абсолютных высотах.

Наибольшие скорости уменьшения площади ледника Гарабаши также наблюдались

в период с 2007 по 2015 г. Более высокие темпы уменьшения длины данного ледника наблюдались в 2009–2015 гг. В XX в. скорость сокращения площади ледника Гарабаши составляла около 2–3 тыс. м² в год. В сравнении – Малый Азау в этот период отступал со скоростью 8–9 тыс. м² в год. Это можно объяснить параметрами самого ледника. Его ширина в начале выводного языка была примерно на 1000 м меньше, чем у ледника Малый Азау.

В результате сравнения аэрофотоснимка 1957 г. и космоснимка 08.08.2019 г. Sentinel 2A получены данные об изменении общей площади ледника Гарабаши (рис. 3). Значительные изменения произошли не только во фронтальной части, но и с боков и на границе с ледниками Терскол и Малый Азау.

Уменьшение площади составило 760 тыс. м² (12,3 тыс. м² в год). Длина ледника уменьшилась на 390 м (6,3 м в год).

В целом общее сокращение площади ледника Терскол составило около 640 тыс. м², а левого языка (выше ригеля) – около 200 тыс. м². В среднем за 62 года площадь ледника Терскол уменьшалась на 10,3 тыс. м² в год (рис. 4). На современном этапе (XXI в.) ледник сокращается на 19,2 тыс. м² в год. При этом в период с 2009 г. темпы сокращения площади ещё более увеличились и доходили до 25–27 тыс. м² в год, т.е. в 3 раза выше среднеголетних значений. Вследствие значительного утончения языка

ледника в ближайшие несколько лет ледник Терскол покинет участок ригеля, и основная масса льда будет располагаться на широкой поверхности с углом наклона 4–6°.

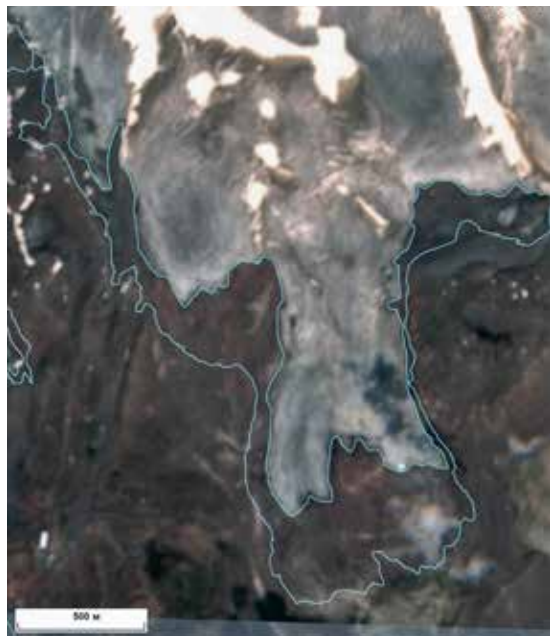


Рис. 3. Изменение границ ледника Гарабаши в 1957–2019 гг.



Рис. 4. Изменение границ ледника Терскол за 1957–2019 гг.

Аналогичный анализ был выполнен и для других вышеуказанных ледников Большого Кавказа. Изменения площади ледников Козыдон и Земергондон представлены в табл. 2 и на рис. 5.

Таблица 2

Площади ледников Козыдон и Земергондон в разные годы

Номер ледника	Площадь, кв. км	Год
Бассейн р. Козыдон		
269	0,59	1888
269	0,2	1969
269 а	0,215	2014
269 б	0,095	2014
269б	0,089	2019
317 (Козыдон)	1,22	1888
317	0,4	1969
317	0,936	1957
317	0,804	1975
317	0,728	2010
317	0,692	2014
317	0,439 (два ледника)	2019
Итого:	0,838	2019
Бассейн р. Земергондон		
270 (Земергондон)	1,18	1888
270	0,9	1969
270	1,005	1957
270	0,852	1975
270	0,681	2010
270	0,555,4 и 0,023 (0,578)	2019
271	0,46	1888
271	0,3	1969
271	0,412	2014
271	0,365	2019
272	0,39	1888
272	0,3	1969
272	0,238	2014
272	0,189	2019
б/н (273)	0,091	1888
б/н (273)	0,04	2014
274	0,56	1888
274	0,189	2019
275	0,19	1888
275	0,1	1969
275	0,087 и 0,020 (0,107)	2019
276	0,38	1888
276	0,1	1969
276 а	0,056	2014
276 б	0,087	2014
278	0,75	1888
278	0,3	1969
278	0,150	2014
278	0,103	2019
Итого:	1,714	2019

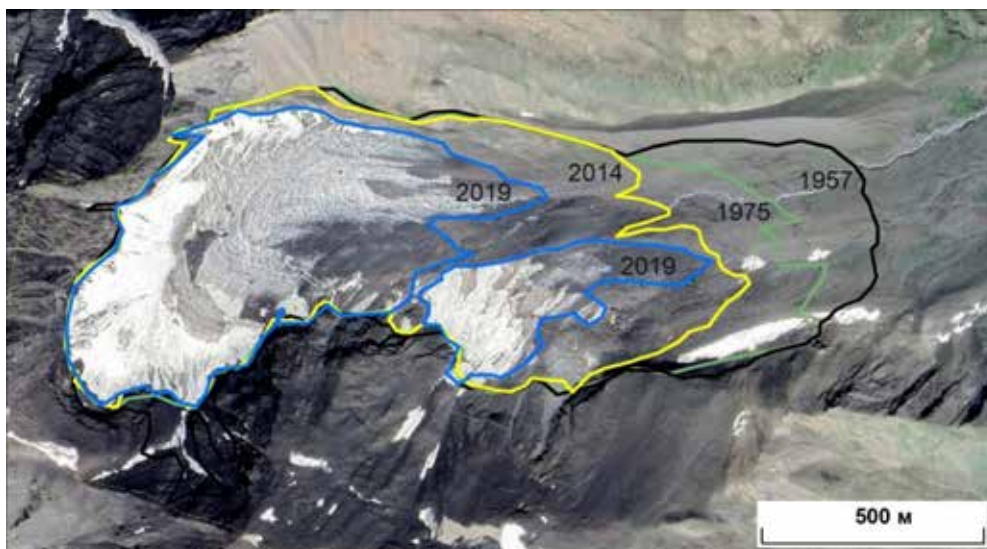


Рис. 5. Схема динамики ледника Козыдон

Таблица 3

Изменения площади и длины отдельных характерных ледников
на Северном Кавказе с 1957 по 2019 г.

№	Ледники	Площадь по каталогу, км ²	Уменьшение площади, тыс. м ² (в год)	Уменьшение длины, м (в год)
1	Малый Азау	9,7	823,8,0 (13,3)	570 (9,2)
2	Гарабаши	2,8	760,0 (12,3)	390 (6,3)
3	Терскол	7,7	640,0 (10,3)	585 (9,4)
4	(№ 18) Р. Козидон	0,4	497 (8,0)	697 (11,2)
5	(№ 20) Р. Земергондон	0,9	427 (6,9)	464 (7,5)
6	Цахвоа	0,7	334 (7,6) 1975–2019	250 (5,7) 1975–2019
7	Чугуш	1,2	487,0 (7,6) 165 (23,5) 2012–2019	160 (22,8) 2012–2019
8	Большой Фиштинский	0,9	324,0 (5,2) 54(9,0) 2013–2019	292 (4,7) 90 (15) 2013–2019
9	Джаловчат	6,8	2599 (59,0) 1975–2019 Ледник разделился на 4 ледника	693 (15,7) 1975–2019
10	Муркар	1,0	38,0 (0,6)	130 (2,3)
11	Когутай	1,6	533,0 (9,2)	307 (5,0)

Как видно из табл. 3, из рассмотренных ледников наибольшие темпы уменьшения площади оледенения имеют место у ледника Большой Фиштинский, расположенного на территории Краснодарского края.

Для отдельных ледников за последние 20 лет темпы отступления составили от 4,7 до 15 м в год, а скорость сокращения площади оледенения доходила до 0,129 км² в год (ледник Джикигуанкез). В долине реки Земергондон (республика Северная Осетия – Алания) отдельные ледники потеряли 65–71 % площади.

Термический режим территории исследования

Среднесуточные температуры воздуха в теплый период года оказывают значительное влияние на таяние ледников Большого Кавказа. Общеизвестным фактом является потепление климата, которое для юга европейской части России по разным оценкам составляет от 0,5 до 1 °С. При этом наблюдаются значительные положительные аномалии среднесуточных температур в летний период года.

В работе [1] отмечено, что в последние годы на территории России среднегодовая температура воздуха на $1,35\text{ }^{\circ}\text{C}$ превысила климатическую норму (среднее значение за период 1961–1990 гг.). Согласно докладу [1] средняя скорость увеличения среднегодовой температуры воздуха на территории России в 1976–2021 гг. составила $+0,49\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет (вклад в общую изменчивость 54%). Эти данные значительно больше скорости роста глобальной температуры за тот же период – $0,18\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет и более чем в полтора раза больше средней скорости потепления приземного воздуха над сушей земного шара. В работе [1] отмечено, что в 2015–2020 гг. ледники Эльбруса сокращались в 5 раз быстрее, чем в XX в. (данные подготовлены М.Д. Докукиным).

В различных климатических зонах юга России в изменениях температуры и осадков за последние 60 лет наблюдаются следующие особенности:

1. Наблюдается рост скорости увеличения среднегодовых температур: от наименьшей скорости роста среднегодовой температуры на побережье Черного моря – $0,16\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет до наибольших значений в предгорьях Большого Кавказа – $0,31\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет.

2. На всей территории, прилегающей к Большому Кавказу, наблюдается общая закономерность – устойчивый рост температуры в летний сезон с максимальными значениями вклада объясненной дисперсии в тренд (D , %): от прикаспийской зоны $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет ($D = 28,2\%$) до степной зоны $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет ($D = 31,3\%$). Такая же тенденция статистически значимого роста средней летней температуры (единственной из сезонных температур) на $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет ($D = 35,6\%$) наблюдалась в Терсколе.

Из анализа динамики абсолютных максимумов температур за 2006–2019 гг. следует, что в этот период происходит значительное увеличение максимальных зимних на $0,96\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ($D = 71\%$) и максимальных летних на $0,65\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{год}$ ($D = 37\%$). Десятилетие 2006–2019 гг. характеризуется также ростом средних зимних и весенних температур, с наиболее значимым вкладом за счет увеличения абсолютных максимумов температур. Темпы роста летних температур увеличились с $0,32\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет до $0,44\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет в 1976–2019 гг., что привело к росту темпов отступления исследуемых ледников в XXI в.

В районах Большого Кавказа по данным высокогорных станций имеет место рост среднегодовых значений количества осад-

ков с трендом $+2,3$ мм в год. Данный факт является крайне благоприятным для сохранения суммарной массы ледника. Таким образом, осадки не являются негативным фактором в отступании ледников.

По нашему мнению, деградация (отступление) рассматриваемых ледников связана с такой динамикой летних температур.

Выводы

1. Выполнена оценка пространственного распространения, масштабов изменения границ оледенения некоторых ледников Большого Кавказа, уточнены местоположения их катастрофического проявления.

Выполнена оценка параметров сокращения южноориентированных ледников склона г. Эльбрус, а также ледников Козидон, Земегондон, Цахвоа, Чугуш, Большой Фиштинский, Джаловчат, Муркар, Когутай на Северном Кавказе.

Собранные данные показывают, что темпы деградации исследуемых ледников в последние три года значительно превысили ранее наблюдаемые. Это произошло и за счёт сокращения ледников по ширине и деградации крайних потоков льда, которые уменьшаются быстрее, так как уменьшилась толщина льда в области питания этих потоков. Некоторые части потоков льда ледников сократились за три года по длине на 100 и более метров.

2. Проведенные математические расчеты по оценке воздействия основных климатических характеристик на изменения площади рассмотренных ледников показали:

– Причиной уменьшения площади оледенения является значительный рост средних летних температур. Среднегодовой рост летних температур составляет $0,04\text{ }^{\circ}\text{C}$ в год. Такие темпы роста температуры наблюдаются с 1976 г. по настоящее время. Этот период признан периодом глобального и регионального потепления климата.

– Скорости уменьшения площади ледников выросли за последние пять-шесть лет и достигли максимальных значений. Для ледника Малый Азау и Терскол она составила 25–27 тыс. м^2 в год, а для ледника Гарабаши – 23 тыс. м^2 в год.

3. Для отдельных ледников за последние 20 лет темпы отступления составили от 4,7 м до 15 м в год, а скорость сокращения площади оледенения доходила до $0,129\text{ км}^2$ в год (ледник Джикиуганкез). В долине реки Земегондон (Республика Северная Осетия – Алания) отдельные ледники потеряли 65–71 % площади.

Список литературы

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М., 2022. 104 с.
2. Хромова Т.Е., Носенко Г.А., Глазовский А.Ф., Муравьев А.Я., Никитин С.А., Лаврентьев И.И. Новый каталог ледников России по спутниковым данным (2016–2019 гг.) // *Лёд и снег*. 2021. Т. 61. № 3. С. 341–358. DOI: 10.31857/S2076673421030093.
3. Abich H. Geologische Beobachtungen auf Reisen im Kaukasus um Jahre 1873. H. Abich. Moskau. 1875. 138 p.
4. Оледенение Эльбруса (под ред. Г.К. Тушинского). М.: Изд-во МГУ, 1968. 345 с.
5. Васильчук Ю.К., Чиждова Ю.Н., Буданцева Н.А., Мухина Ю.С. Быстрое сокращение ледника Большой Азау в Приэльбрусье на фоне стабильных климатических условий и возникающие при этом риски // *Геориск*. 2010. № 2. С. 16–29.
6. Frank Paul, Andreas Bauder, Christoph Marty, Jeannette Notzli. Schnee, Gletscher und Permafrost. Kryosphärenbericht für die Schweizer Alpen. DIE ALPEN. 2015. P. 46–52.
7. Золотарёв Е.А. Эволюция оледенения Эльбруса. Картографо-аэрокосмические технологии гляциологического мониторинга. М.: Научный мир, 2009. 258 с.
8. Золотарев Е.А., Харьковец Е.Г. Эволюция оледенения Эльбруса после малого ледникового периода // *Лёд и снег*. 2012. № 2 (118). С. 15–22.
9. Докукин М.Д., Савернюк Е.А., Багов А.М., Маркина А.В. О перестройке гидрографической сети северо-восточного подножия Эльбруса (бассейны рек Бирджалы-Су и Кара-Кая-Су) // *Лёд и снег*. 2012. № 2 (118). С. 23–30.
10. Докукин М.Д., Савернюк Е.А. Наступание ледников в конце XX века как фактор активизации гляциальных селевых процессов (Центральный Кавказ) // *Труды Второй конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита», посвященной 100-летию С.М. Флейшмана (Москва, 17–19 октября 2012 г.)*. / Ответственный редактор С.С. Черноморец. М.: Географический факультет МГУ, 2012. С. 31–32.
11. Аджиев А.Х., Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Залиханов М.Ч., Ташилова А.А., Юрченко Н.В. Мониторинг деградации горных ледников Приэльбрусья в условиях изменения климата // *Материалы IV Всероссийской научной конференции «Экология и космос» имени академика К.Я. Кондратьева: посвящается 100-летию со дня рождения академика К.Я. Кондратьева (Санкт-Петербург, 16–18 сентября 2020 г.)*. СПб.: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2020. С. 6–24.
12. Беккиев М.Ю., Докукин М.Д., Калов Р.Х., Ташилова А.А. Современная деградация долинных ледников Центрального Кавказа // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2021. Т. 8. № 3. С. 113–141. DOI: 10.21513/2410-8758-2021-3-113-141.

УДК 631.415:581.55

**КИСЛОТНОСТЬ ПОЧВ КАК ФАКТОР ФОРМИРОВАНИЯ
ВИДОВОГО СОСТАВА ФИТОЦЕНОЗОВ
НЕКОТОРЫХ ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ
КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ РОССИИ**

Несговорова Н.П., Савельев В.Г.

ФГБОУ ВО «Курганский государственный университет», Курган, e-mail: geograf@kgsu.ru

Данное исследование отражает взаимосвязь кислотности почвы и состава фитоценоза охраняемых территорий. С целью доказательства взаимосвязи разработана модель, в которой кислотность почвы является рычагом, запускающим или, наоборот, блокирующим работу механизмов, обеспечивающих степень подвижности и доступности элементов питания растений. Результатом такого действия становится устойчивость фитоценоза. Проверка теоретических положений модели проводилась на фитоценозах охраняемых территорий Курганской области (Усть-Уйский бор, дендрарий Ботанического сада КГУ, Суерский бор). На исследуемых территориях была проведена оценка фитоценоза, а также почвенного покрова по соответствующим методикам, которые позволили смоделировать списки биоразнообразия растений на фоне уровня активной, обменной, гидролитической кислотности почвы, отражающих типовые характеристики почвы. Фитоценоз Усть-Уйского бора можно охарактеризовать как суходольный бор с дерновинно-злаково-разнотравьем и участками кустарниковой степи. Основу фитоценоза дендрария Ботанического сада КГУ составляют «Дубовая роща» и «Аллея уссурийской груши». Что касается Суерского бора – бор суходольный, в понижениях рельефа с зеленомошными участками и колками березняков. В процессе исследования подтверждена взаимосвязь кислотно-основных свойств почв и видового состава фитоценозов через жизнеобеспеченность растений. Выявлена сильная отрицательная корреляционная связь между низкими значениями кислотности почвы и количеством видов в фитоценозе Суерского бора, а также положительная корреляционная связь между высоким уровнем кислотности почвы и количеством охраняемых видов растений в фитоценозе Усть-Уйского бора.

Ключевые слова: кислотность почвы, фитоценоз, видовой состав растительности, корреляционные взаимодействия, охраняемые территории Курганской области

**SOIL ACIDITY AS A FACTOR FOR FORMING THE SPECIES COMPOSITION
OF PHYTOCOENOSIS IN SOME PROTECTED TERRITORIES
OF THE KURGAN REGION OF RUSSIA**

Nesgovorova N.P., Savelev V.G.

Kurgan State University, Kurgan, e-mail: geograf@kgsu.ru

This study reflects the relationship between soil acidity and the composition of the phytocenosis of protected areas. In order to prove the relationship, a model has been developed in which soil acidity is a lever that triggers or, conversely, blocks the operation of mechanisms that ensure the degree of mobility and availability of plant nutrients. The result of this action is the stability of the phytocenosis. Verification of the theoretical provisions of the model was carried out on phytogeocenoses of protected areas of the Kurgan region (Ust-Uisky pine forest, arboretum of the Botanical Garden of KGU, Suersky pine forest). In the study areas, an assessment of the phytocenosis, as well as the soil cover, was carried out using the appropriate methods, which made it possible to model the lists of plant biodiversity against the background of the level of active, exchangeable, hydrolytic soil acidity, reflecting the typical characteristics of the soil. The phytocenosis of the Ust-Uisky pine forest can be characterized as a dry forest with turf-grass-forbs and areas of shrub steppe. The basis of the phytocenosis of the arboretum of the Botanical Garden of KSU is the Oak Grove and the Alley of the Ussuri Pear. As for the Suersky pine forest, it is a dry pine forest, in relief depressions with green moss areas and birch groves. The study confirmed the relationship between the acid-base properties of soils and the species composition of phytocenoses through the vitality of plants. A strong negative correlation was found between low soil acidity and the number of species in the phytogeocenosis of the Suersky pine forest, as well as a positive correlation between a high level of soil acidity and the number of protected plant species in the phytogeocenosis of the Ust-Uisky pine forest.

Keywords: soil acidity, phytocenosis, species composition of vegetation, correlation interactions, protected areas of the Kurgan region

Актуальность работы состоит в том, что кислотно-щелочные свойства почв определяют подвижность и доступность для питания растений микро- и макроэлементов, видовой состав и активность почвенной микрофлоры, скорость минерализации органических остатков и многие другие процессы.

Кислотно-основные свойства почв – важный фактор в обеспечении питания растений.

Л.Г. Исаева, Е.В. Гавриленко доказали, что в кислых почвах значительно выражен дефицит элементов питания вследствие выщелачивания растворимых солей [1]. В щелочных почвах, по мнению О.И. Клименко, А.С. Ивановой, фосфор, кальций, магний, железо и другие элементы переходят в нерастворимые соединения и становятся труднодоступными для растений [2].

Таким образом, кислотно-основные свойства почв могут существенно влиять на видовой состав фитоценозов и жизнеспособность растений.

Проблемой работы является предположение о том, какое влияние оказывает кислотность почвы на состав фитоценоза охраняемых территорий и какие факторы ее определяют?

Объект исследования – почвы и фитоценозы охраняемых территорий.

Предмет исследования – влияние кислотности почв на формирование состава фитоценозов охраняемых природных территорий.

Цель исследования – построить модель влияния кислотности почв на почвенные факторы формирования фитоценозов охраняемых территорий, провести опытно-экспериментальную работу по определению взаимосвязи свойств почв в фитогеоценозах различных охраняемых природных территориях и состава фитоценозов.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны фитогеоценозы некоторых охраняемых территорий Курганской области [3, 4].

Первый объект – памятник природы регионального значения Усть-Уйский бор. Усть-Уйский бор располагается на юге Курганской области в пойме реки Уй по левому берегу. Одной из особенностей бора является произрастание на его территории можжевельника казацкого. Возраст основной лесобразующей породы, сосны лесной, составляет 90 лет.

Второй объект – дендрарий Ботанического сада Курганского государственного университета, который был заложен в 1960-х гг. Ботанический сад располагается в черте г. Кургана на правом берегу р. Тобол. Возраст древесной флоры составляет 57 лет.

Третий объект – памятник природы регионального значения Суерский бор. Бор располагается на правобережной террасе р. Суерь. Возраст основной лесобразующей породы, сосны лесной, составляет 75 лет.

Геоботаническое описание территорий проводилось с 2018 по 2021 г. в летнее время по методикам К.К. Полуяхтова, Т.А. Работнова, Л.Г. Раменского. На территории каждого объекта были заложены пробные площади размером 25*25 м², разбросанные случайным образом. На заложенных площадях проводился сбор растений, их морфометрический осмотр, с последующей гербаризацией и определением видового со-

става, проводился учет обилия видов, отмечалась жизненность растений [5].

Определение видового состава растительности проводили на основе списка видов Н.И. Науменко для флоры Южного Зауралья с опорой на определители флоры Тюменской области (В.А. Глазунов и др.), Томской области (Н.Ф. Вылцан), определитель растений средней полосы европейской части СССР (М.И. Нейштадт) [6].

На каждой территории размером 25*25 м² по диагонали были отобраны образцы почвы, в центре закладывался почвенный профиль с его описанием. Почвенный профиль описывали по общепринятым методикам с опорой на труды Б.Г. Розанова «Морфология почв» [7]. Определение типов почв в полевых условиях проводили на основе работ В.Д. Наумова по направлению «География почв. Почвы России», а также результатов лабораторного анализа [8].

Отбор проб и пробоподготовка проводились в соответствии с методикой ГОСТ Р 58595-2019 Почвы «Отбор проб» [9].

В лаборатории комплексных экологических исследований кафедры географии, фундаментальной экологии и природопользования Курганского государственного университета проводили химический анализ почв.

Активная кислотность (актуальная) почвенного раствора (pH_{H_2O}) определяется количеством ионов водорода, образующихся при диссоциации кислот, содержащихся в почвенном растворе навески почвы.

Обменная кислотность почвы (pH_{KCl}) определяется обменными катионами водорода и алюминия, которые переходят в почвенный раствор из почвенного поглощающего комплекса при взаимодействии с нейтральными солями.

Гидролитическая кислотность (pH_{CH_3COONa}) – количество ионов водорода, которые вытесняются из почвы водным раствором солей слабых кислот и сильных щелочей.

Активную и обменную кислотность почв определяли потенциометрическим методом, а гидролитическую кислотность почв титриметрическим методом на основе методик ГОСТ (ГОСТ 26483-85. Почвы «Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО», ГОСТ 26212-91 Почвы «Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО») [10].

Статистическая обработка материала проводилась на основе корреляционно-

го анализа. Расчет коэффициентов корреляции Пирсона проводился в программе Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ научной литературы (работы Л.Г. Исаева, Е.В. Гавриленко, О.И. Клименко, А.С. Ивановой) позволили разработать модель влияния кислотности почвы на фитоценоз. В данной модели основным фактором, влияющим на фитоценоз (разнообразие растений и обилие растений фитоценоза), является кислотность почв (актуальная, обменная, гидролитическая). Кислотность почвы запускает или блокирует работу механизмов, обеспечивающих степень доступности элементов питания для роста и развития растений. Как следствие, влияет на устойчивость фитоценоза.

Результаты исследования кислотности почв. Почвы дендрария ботанического сада Курганского государственного университета по уровню активной кислотности почвенного раствора являются в основном щелочными с диапазоном колебания pH_{H_2O} от 7,6 до 8,4. Что касается почв Суерского бора, то они характеризуются нейтральной реакцией почвенного раствора (pH_{H_2O} 6,8). А вот водородный показатель почвенного раствора для почв Усть-Уйского бора неоднозначен, среди них есть почвы с нейтральной и щелочной реакцией.

Обменная кислотность проб почв дендрария ботанического сада является неоднородной и изменяется от слабокис-

лых значений до щелочных с диапазоном от 6,4 до 8,0.

Все пробы почв Суерского бора характеризуются слабокислой и нейтральной реакцией (pH_{KCl} 6,2–6,8).

Такие результаты можно объяснить тем, что ионы, определяющие обменную кислотность, подкисляют нейтральный почвенный раствор, увеличивая актуальную кислотность в процессе взаимодействия твердой фазы почвы с катионами растворимых солей, образующихся при минерализации органических веществ.

Обменная кислотность почв Усть-Уйского бора аналогична актуальной кислотности почвенного раствора. Выявлено, что в пойме р. Уй почвы проявляют слабокислый характер обменной кислотности, что способствует перенасыщению солями пойменных почв р. Уй, в прибрежной зоне отсутствует растительность, способная поглощать и накапливать соли.

На основе результатов оценки гидролитической кислотности следует вывод, что почвы дендрария являются нейтральными, а Усть-Уйского и Суерского боров – кислыми. Причем почвы Суерского бора более кислые по уровню гидролитической кислотности (рис. 1).

В целом на основе полевых исследований почвенных профилей и результатов лабораторного анализа выявлено, что преобладающим типом почв для Усть-Уйского и Суерского боров является серая лесная почва с расположенными на ней сосновыми лесами.

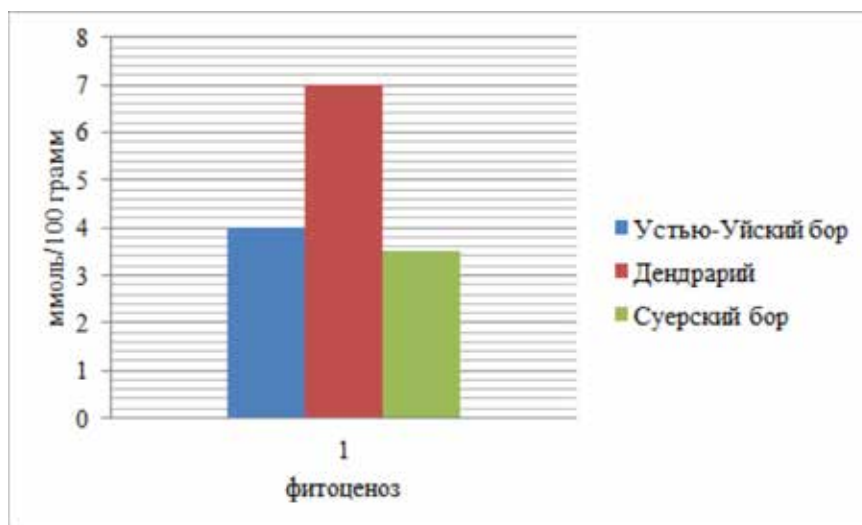


Рис. 1. Гидролитическая кислотность почв исследуемых фитоценозов

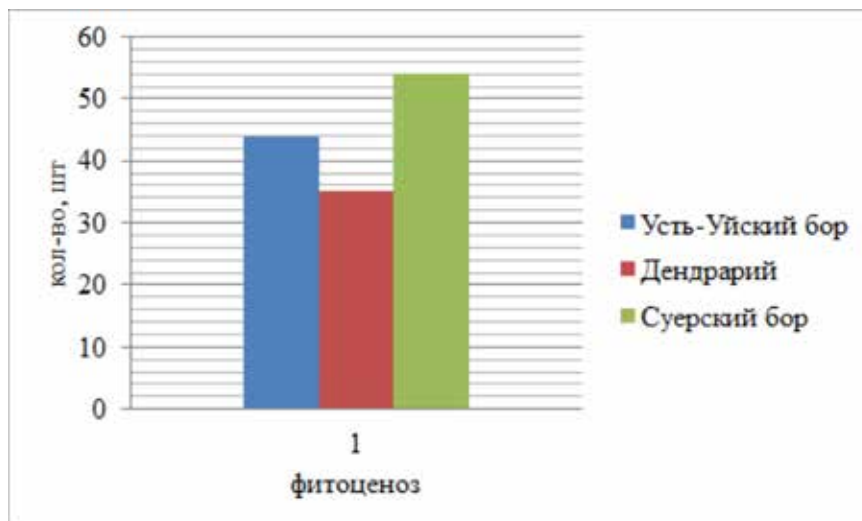


Рис. 2. Количество выявленных видов в исследуемых сообществах

На территории Усть-Уйского бора встречаются пятна боровых песков, чернозема обыкновенного, аллювиальных почв и солонцов. В Суерском бору отмечены пятна чернозема выщелоченного, аллювиальных почв и солоди. В дендрарии ботанического сада преобладает чернозем обыкновенный.

Результаты исследования фитоценозов. Фитоценоз Усть-Уйского бора можно охарактеризовать как суходольный бор с дерновинно-злаково-разнотравьем с участками кустарниковой степи.

Основу фитоценоза дендрария ботанического сада КГУ составляют дубовая роща и аллея уссурийской груши.

Что касается Суерского бора – бор суходольный, в понижениях рельефа

с зеленомошными участками и колками березняков.

Наиболее богат по количеству видов фитоценоз Суерского бора по сравнению с сообществами Усть-Уйского бора и дендрария ботанического сада КГУ (рис. 2).

В исследуемых сообществах количество видов распределяется в ярусах неравномерно. В древесном ярусе дендрария выявлено больше видов, чем в двух других фитоценозах (рис. 3).

Основу древесного яруса Суерского бора составляют сосна лесная, береза Крылова, в Усть-Уйском бору сосна лесная и дендрарии ботанического сада – туя западная, дуб обыкновенный, груша уссурийская, черемуха виргинская, яблоня ягодная.

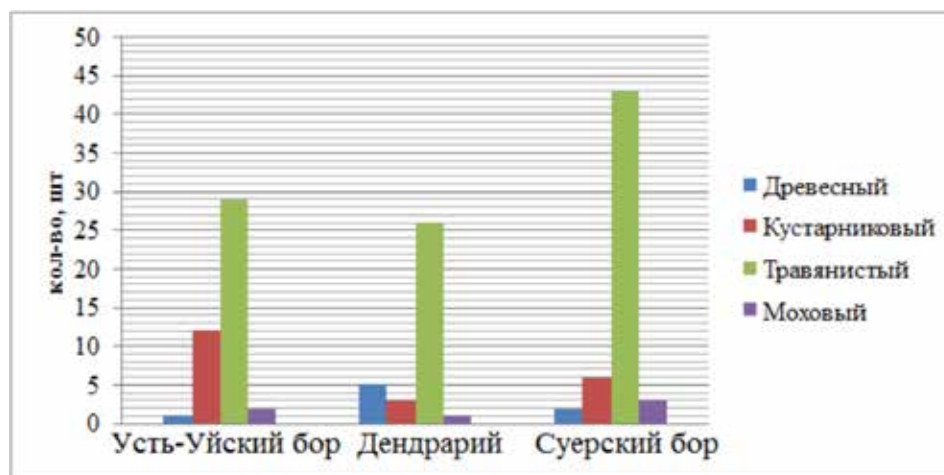


Рис. 3. Количество выявленных видов в ярусах исследуемых сообществ

Кустарниковый ярус Усть-Уйского бора более многочислен по количеству видов. Ярус составлен можжевельником казацким, жостером слабительным, дроком красильным, караганой кустарниковой, раkitником русским, шиповниками майским, гололистным и горенковским, таволгой городчатой, жимолостью татарской.

В кустарниковом ярусе Суерского бора отмечены следующие виды: ива пепельная, ива козья, боярышник кроваво-красный, шиповник майский, кизильник черноплодный.

В дендрарии выявлены – боярышник крупноплодный, облепиха крушиновая, смородина черная, ирга обыкновенная.

Наиболее богат количеством видов травянистый ярус во всех фитоценозах, но особенно в Суерском бору. Здесь выявлены: хвощи зимующий, луговой, лесной, плаун булавовидный, осоки заячья, гвоздичная, вейник наземный, мятлик луговой, полевица гигантская, купена душистая, ластовень степной, клевер средний, люпиновик пятилисточковый.

В Усть-Уйском бору: осока ранняя, ковыль перистый, мятлики степной, узколистый, овсяница ложноовечья, тимopheевка степная, лабазник степной, кермек Гмелина, полыни австрийская, рассеченнолистная.

В дендрарии: мятлик луговой, вейник наземный, бодяк полевой, астра степная, ромашка лекарственная, осот полевой, мать и мачеха; василек сибирский, полынь горькая, цикорий обыкновенный, амория ползучая, донник лекарственный, гвоздика травянка, костяника лесная, лапчатка гусиная, земляника лесная, подорожник большой, выюн полевой, купена многоцветковая.

Количество охраняемых видов наиболее широко представлено в Усть-Уйском

бору по сравнению с другими исследуемыми фитоценозами. В Усть-Уйском бору произрастают редкие виды растений: лилия саранка, ковыль перистый, горицвет весенний, алтей лекарственный, астрагал крупноногий, гвоздика Борбаша, солодка Коржинского и др.

В Суерском бору можно встретить: дифазиаstrum Зейлера, щитовник мужской, щитовник гребенчатый, лилию саранку, ковыль перистый, венерин башмачок настоящий, гроздовник виргинский, дремлик темнокрасный, кокушник комариный, любку двулистную, синюху голубую, ятрышник шлемоносный, купальницу европейскую, горицвет весенний.

В дендрарии: пальчатокоренник мясoкрасный, Фукса, венерин башмачек настоящий, ятрышник шлемоносный, любку двулистную (рис. 4).

Результаты корреляционного анализа. Выявлена отрицательная сильная корреляционная связь между кислотностью почвы и количеством видов в фитогеоценозе Суерский бор ($r = -0,86$). Низкие значения актуальной, обменной и гидролитической кислотности почв обеспечивают высокую подвижность и доступность элементов питания именно для данных растений, произрастающих в фитоценозе Суерского бора.

Выявлена положительная корреляционная связь между высоким уровнем кислотности почвы и количеством охраняемых видов растений ($r = 0,81$) в фитогеоценозе Усть-Уйского бора.

На основании результатов корреляционного анализа между кислотностью почв и количеством видов в ярусах дендрария можно сделать вывод о том, что выявлены слабые связи.

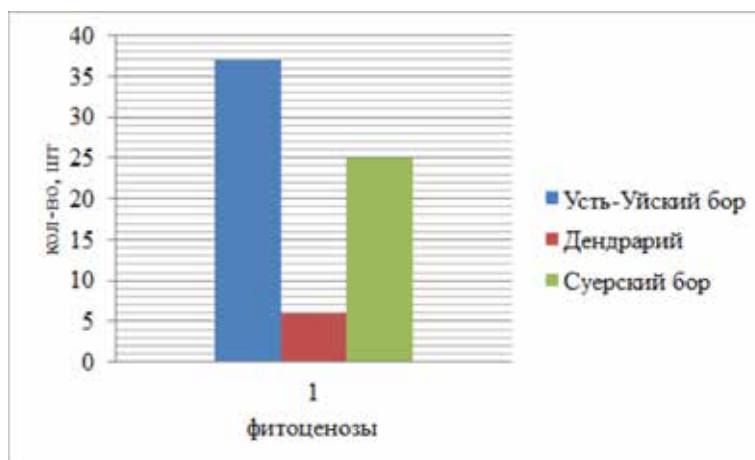


Рис. 4. Количество охраняемых видов в исследуемых сообществах по Н.И. Науменко

Объяснить это можно тем, что дендрарий – искусственно созданное сообщество, на территории которого более высокая антропогенная нагрузка и он более подвержен действию антропогенных факторов (выбросы загрязняющих веществ от передвижных и стационарных источников).

Для фитогеоценозов Усть-Уйского и Суерского боров характерно большинство сильных корреляционных связей между кислотностями почв и количеством видов в ярусах. Что может говорить о тесном взаимодействии кислотности с видовым богатством, так как данные территории являются естественными ненарушенными природными.

Выводы

1. Кислотность почв исследуемых фитогеоценозов различна. Активная кислотность почвенного раствора характеризуется щелочной реакцией почвы дендрария Ботанического сада, слабощелочной реакцией почвы Усть-Уйского бора, нейтральной реакцией почвы Суерского бора. Обменная кислотность почв дендрария ботанического сада изменяется от слабокислых значений до щелочных. Все пробы почв Суерского бора характеризуются нейтральной и слабокислой реакцией ($\text{pH}_{\text{КС}}$ 6,2–6,8). Обменная кислотность почв Усть-Уйского бора аналогична актуальной кислотности почвенного раствора. По уровню гидролитической кислотности почвы дендрария относятся к нейтральным, а Усть-Уйского и Суерского боров – к кислым.

2. Преобладающим типом почв для Усть-Уйского и Суерского боров является серая лесная почва с расположенными на ней основными лесами. В Усть-Уйском бору встречаются пятна боровых песков, чернозема обыкновенного, аллювиальных почв и солонцов. В Суерском бору отмечены пятна чернозема выщелоченного, аллювиальные почвы и солоды. В дендрарии ботанического сада преобладает чернозем обыкновенный.

3. Фитоценоз Усть-Уйского бора можно охарактеризовать как суходольный бор с дерновинно-злаково-разнотравьем и участками кустарниковой степи. Основу фитоценоза дендрария Ботанического сада КГУ составляют «Дубовая роща» и «Аллея уссурийской груши». Что касается Суерского бора – бор суходольный, в понижениях рельефа с зеленомошными участками и колками березняков.

4. Наиболее богат количеством видов фитоценоз Суерского бора по сравнению с Усть-Уйским бором и дендрарием ботанического сада КГУ. В исследуемых сооб-

ществах количество видов распределяется в ярусах неравномерно. В древесном ярусе дендрария выявлено больше видов, чем в двух других фитоценозах. Кустарниковый ярус Усть-Уйского бора многочисленнее по количеству видов. Наиболее богат количеством видов травянистый ярус во всех фитоценозах, особенно в Суерском бору.

5. Количество охраняемых видов наиболее многочисленно в Усть-Уйском бору по сравнению с другими исследуемыми фитоценозами.

6. Выявлена отрицательная сильная корреляционная зависимость между низким уровнем кислотности почвы и количеством видов в фитогеоценозе Суерского бора ($r = -0,86$). Вероятно, низкие значения кислотности почв обеспечивают высокую подвижность и доступность элементов питания для растений фитоценоза Суерского бора. Выявлена положительная корреляционная связь между высоким уровнем кислотности почвы и количеством охраняемых видов растений ($r = 0,81$) фитогеоценоза Усть-Уйского бора.

Список литературы

1. Гавриленко Е.В., Исаева Л.Г. Микоризообразование, кислотность и химический состав почв старовозрастных сосновых лесов Кольского полуострова // Грибы в природных и антропогенных экосистемах: труды международной конференции, посвященной 100-летию научной работы профессора А.С. Бондарцева в Ботаническом институте им. В.Л. Комарова РАН (Санкт-Петербург, 24–28 апреля 2005 г.). Т. 1. СПб., 2005. С. 123–127.
2. Клименко О.И., Иванова А.С., Клименко Н.И. Влияние щелочности почвы на подвижность элементов питания растений // Бюллетень государственного Никитского Ботанического сада. 2007. № 95. С. 46–50.
3. Особо охраняемые природные территории Курганской области / Под ред. И.Н. Некрасова. Курган, 2014. 188 с.
4. Несговорова Н.П., Прусова Н.Г., Савельев В.Г., Волкова Н.Г. Стоково-обменные процессы анионов в почвах охраняемых территорий и устойчивость растительных сообществ // Региональные проблемы развития Дальнего Востока России и Арктики: тезисы докладов II Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции, посвященной памяти камчатского ученого Р.С. Моисеева (Петропавловск-Камчатский, 09–10 декабря 2021 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, 2021. С. 57–62.
5. Раменский Л.Г. Введение в комплексное почвенно-геоботаническое исследование земель. М., 1938. 620 с.
6. Глазунов В.А., Науменко Н.И., Хозяинова Н.В. Определитель сосудистых растений Тюменской области. Тюмень: РГ «Перспект», 2017. 744 с.
7. Несговорова Н.П., Савельев В.Г. Почвоведение с основами экологии почв (региональный компонент). Курган: Курганский государственный университет, 2020. 299 с.
8. Наумов В.Д. География почв. Почвы России. М.: Проспект, 2016. 345 с.
9. Несговорова Н.П., Иванцова Г.В., Неумывакина Н.А., Савельев В.Г. Организация научно-исследовательской деятельности студентов: теоретико-прикладной аспект. Курган: Курганский государственный университет, 2017. 352 с.
10. Ванчикова Е.В., Шамрикова Е.В., Беспятых Н.В., Кызылорова Е.В., Кондратенко Б.М. Метробиологическая оценка методики измерений содержания кислот и ионов металлов, обуславливающих обменную кислотность почв. Почвоведение. 2015. № 2. С. 188.

УДК 91:502.7

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ НЕРЮНГРИНСКОГО ПРОМУЗЛА В ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

Николаева Н.А.

*ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: nna0848@mail.ru*

Наиболее динамично развивающимся регионом Республики Саха (Якутия) является Южная Якутия с ее громадными топливно-энергетическими ресурсами и экспортным потенциалом, направленным на страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Это предопределяет дальнейшее развитие и формирование на этой территории экспортно ориентированного угольного кластера. Одним из его ключевых объектов является Нерюнгринский промузел, в состав которого входят угольный разрез, обогатительная фабрика и ГРЭС-ТЭЦ. В то же время освоение топливных ресурсов региона усиливает негативное воздействие на природную среду Южной Якутии и требует решения многих аспектов экологических проблем с целью разработки и выполнения адекватных природоохранных мероприятий. Таким аспектом является оценка устойчивости ландшафтов промузла с прерывистым и островным распространением мерзлых пород, характеризующихся слабой устойчивостью к механическим антропогенным нагрузкам под техногенным воздействием промышленного освоения. Оценка устойчивости ландшафтов зоны воздействия Нерюнгринского промузла получена путем ранжирования основных ландшафтообразующих факторов природной среды в соответствии со значением присвоенных им эмпирических оценочных баллов, а также анализа их сочетания. Показано, что от сочетания мерзлотных и биоклиматических характеристик зависит устойчивость исследуемых ландшафтов. Определено, что в зоне воздействия Нерюнгринского промузла наибольшей устойчивостью характеризуются горноредкосные типы местностей, расположенные на сплошных мерзлых породах: приводораздельные элювиальные кустарничково-лишайниково-моховые и долинные среднетеррасовые. Относительно устойчивыми определены расположенные на сплошных мерзлых грунтах горноредкосные подгольцовые заросли; горносклоновые лиственничные редколесья на сплошных мерзлых породах; приводораздельные редколесья на прерывистых мерзлых породах, а также горно-таежные горносклоновые делювиально-коллювиальные сосново-лиственничные редколесья. Относительной неустойчивостью характеризуются горноредкосные склоновые лиственничники делювиально-солифлюкционные и моренные, а также долинные низкотеррасовые комплексы на прерывистых и островных многолетнемерзлых породах. Самыми неустойчивыми являются горно-таежные мари с лиственничными рединами на сплошных мерзлых грунтах.

Ключевые слова: Южная Якутия, угледобывающий промузел, ландшафты, устойчивость, мерзлотные и биоклиматические условия

ASSESSMENT OF THE DEGREE OF STABILITY OF LANDSCAPES OF THE NERYUNGRI INDUSTRIAL HUB IN SOUTH YAKUTIA

Nikolaeva N.A.

*Institute of Physical and Technical Problems of the North of the Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences Russia, Yakutsk, e-mail: nna0848@mail.ru*

The most dynamically developing region of the Republic of Sakha (Yakutia) is South Yakutia with its huge fuel and energy resources and export potential. This predetermines the further development and formation of an export-oriented coal cluster in this territory. One of its key facilities is the Neryungri Industrial Center, which includes a coal mine, a processing plant and a state district power plant. At the same time, the development of fuel resources in the region increases the negative impact on the natural environment of South Yakutia and requires the solution of many aspects of environmental problems in order to develop and implement adequate environmental measures. Such an aspect is the assessment of the stability of landscapes with discontinuous and insular distribution of frozen rocks, which are characterized by low resistance to mechanical anthropogenic loads under the technogenic impact of industrial development. An assessment of the sustainability of landscapes in the impact zone of the Neryungri industrial hub was obtained by ranking the main landscape-forming factors of the natural environment in accordance with the value of the empirical evaluation points assigned to them, as well as analyzing their combination. It is shown that the stability of the studied landscapes depends on the combination of permafrost and bioclimatic characteristics. It has been determined that in the zone of influence of the Neryungri industrial hub, the most stable are the mountain-sparse types of terrain located on continuous frozen rocks: water-separated eluvial shrub-lichen-moss and valley middle terrace. The mountain sparse under-alpine thickets of Siberian dwarf pine located on continuous frozen soils are determined to be relatively stable; mountain-slope colluvial larch woodlands on continuous frozen rocks; drive-dividing eluvial mountain woodlands on discontinuous frozen rocks, as well as mountain-taiga mountain-slope deluvial-colluvial pine-larch woodlands. Relative instability is characteristic of mountain-sparse sloping larch forests of deluvial-solifluction and moraine, as well as valley low-terrace complexes on discontinuous and insular permafrost rocks. The most unstable are the mountain-taiga mari with larch sparse patches on solid frozen ground.

Keywords: South Yakutia, coal-mining industrial site, landscapes, sustainability, permafrost and bioclimatic conditions

Энергетической стратегией Республики Саха (Якутия) на период до 2032 г. с целевым видением до 2050 г. [1] предусмотрено дальнейшее строительство и эксплуатация экспортно ориентированных объектов топливно-энергетического комплекса в Южной Якутии – угледобывающих комплексов, месторождений углеводородов и их транспортировка, а в перспективе – строительство гидроэлектростанций на крупных реках.

Угледобывающая промышленность занимает третье место в структуре объемов производства после алмазодобывающей и нефтедобывающей отраслей в экономике Республики Саха (Якутия) [2]. Нерюнгринское каменноугольное месторождение, отработываемое в настоящее время разрезом «Нерюнгринский», находится в Алдано-Чульманском угленосном районе Южно-Якутского угольного бассейна и своей южной частью примыкает к территории г. Нерюнгри. Одним из ключевых промышленных энергообъектов отрасли является расположенный в Южной Якутии Нерюнгринский промузел, в состав которого входят угольный разрез «Нерюнгринский» проектной мощностью 15 млн т в год, обогатительная фабрика «Нерюнгринская» производственной мощностью 9 млн т в год, Нерюнгринская ГРЭС мощностью 570 мВт ГРЭС и Чульманская ТЭЦ мощностью 73 мВт с соответствующей инфраструктурой (ЛЭП, дороги, населенные пункты). Центральное место занимает разрез «Нерюнгринский», на котором добывают высококачественные коксующиеся и энергетические угли, которые перерабатываются на обогатительной фабрике и поставляются металлургическим и коксохимическим предприятиям центральных районов России, экспортируются в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. ГРЭС и ТЭЦ обеспечивают электроэнергией центральные и южные районы Якутии [3].

В то же время освоение топливных и природных ресурсов региона усиливает негативное воздействие на природную среду Южной Якутии. Это диктует необходимость поисков решения различных природоохранных задач для минимизации негативного влияния на окружающую среду горнодобывающего производства. Оценка степени устойчивости ландшафтов в сфере воздействия Нерюнгринского промузла является одним из важных направлений в решении вопросов оптимизации взаимодействия промышленного производства и природной среды.

Цель исследования – оценка степени устойчивости ландшафтов зоны расположения Нерюнгринского промышленного узла в условиях интенсивной антропогенной нагрузки [4].

Материалы и методы исследования

Общей методической базой решений задачи оценки устойчивости природных комплексов Нерюнгринского промузла к механическому нарушению явилась методика покомпонентной оценки влияния основных ландшафтообразующих факторов на устойчивость ландшафтов криолитозоны Западной Сибири [5]. При этом мерзлотные условия каждого ландшафта были дополнены климатическими и биотическими характеристиками. Также была использована электронная мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия) [6, 7]. В области криолитозоны степень устойчивости определяется посредством выявления относительной или потенциальной устойчивости в основном при механических нарушениях поверхности [8].

Результаты исследования и их обсуждение

Мерзлотно-ландшафтное районирование Республики Саха (Якутия) явилось основой для оценки степени устойчивости ландшафтов зоны воздействия Нерюнгринского промузла. Она расположена на территории Олекмо-Тимптонской плоскогорной, Чульманской плоскогорной, Становой среднегорной и Тимптоно-Учурской среднегорной ландшафтных провинций физико-географической страны Горы Южной Сибири, внутри которых выделено 10 типов местностей [9].

Это следующие типы местности: 28б – подгольцовые заросли кустарничково-лишайниковые на сплошных мерзлых грунтах; 29б – горноредколесные приводораздельные горные редколесья на сплошных мерзлых породах; 29в – горноредколесные горносклоновые редколесья кустарничково-лишайниковые и моховые на сплошных мерзлых породах; 30а – горноредколесные приводораздельные горные редколесья на прерывистых мерзлых породах; 30б – горноредколесные листовенничники склоновые на прерывистых мерзлых породах; 30г – горноредколесные горносклоновые моренные листовенничники на слабопрерывистых породах; 32б – горно-таежные горносклоновые сосново-лиственничные редколесья кустарничково-лишайниковые и моховые на подзолистых смытых щебнистых почвах, на слабопрерывистых мерз-

лых породах; 34д – интразональная горно-редколесная долинная среднетеррасовая растительность на сплошных многолетнемерзлых породах; 35е – интразональная горноредколесно-горно-таежная низкотеррасовая растительность на прерывистых и островных многолетнемерзлых породах; 36ж – интразональные горно-таежные мари с листовенными редианами на сплошных мерзлых грунтах. Их названия и обозначения соответствуют [6] и приведены в табл. 1.

С точки зрения мерзловедов, основным ландшафтообразующим фактором на Севере является криогенный, при котором восстановление или стабилизация природных комплексов полностью определяются свойствами многолетнемерзлых пород и их устойчивость зависит от льдисто-

сти поверхностных отложений – основной причины ранимости и уязвимости северных ландшафтов [4]. В то же время климат является не только фактором, формирующим структуру ландшафта, но и определяющим его эволюцию. Мерзлотные ландшафты неотделимы от формирования и развития криолитозоны. Основными факторами, определяющими их формирование, дифференциацию и развитие, являются тесно связанные друг с другом климатогенный, литогенный, биогенный и антропогенный факторы. Отрицательные температуры горных пород являются интегральным показателем сложного взаимодействия комплекса климатических характеристик – радиационного баланса, температуры и влажности воздуха, осадков и т.д. [10].

Таблица 1

Мерзлотные и биоклиматические показатели ландшафтов
зоны воздействия Нерюнгринского промузла

Обозначения ландшафтов	Продуктивность, ц/га	Запасы фитомассы, ц/га	Теплообеспеченность, град	Индекс сухости, ккал. см ² /год	Мощность (стс/смс), м	Температура мерзлых пород, °С	Объемная льдистость пород, доли ед.	Характер распротр. мерзлых пород
28б	низкопродуктивные 20–40	330–700	холодные 600–800	влажные, 0,5–1,0	2,0–3,0	-3...-8	до 0,2...0,2–0,4	сплошной
29б	среднепродуктивные 40–60	720–1000	умеренно холодные, 560–1100	влажные, 0,5–1,0	2,0–3,0	-2...-6	до 0,2...0,2–0,4	сплошной
29в	среднепродуктивные 40–60	720–1000	умеренно холодные, 560–1100	влажные, 0,5–1,0	1,0–2,0	-2...-4	0,2–0,4 (0,6)	сплошной
30а	повышенно-продуктивные, 60–80	ок. 1000	умеренно холодные, 800–1100	недостат. влажные, 0,5–1,5	2,5–3,0	0,5...-2	до 0,2...0,2–0,4	прерывист.
30б	повышенно-продуктивные, 60–80	ок. 1000	умеренно холодные, 800–1100	недостат. влажные, 0,5–1,5	2,0–3,0	1...-2	0,2–0,4 (0,6)	прерывист.
30г	среднепродуктивные 40–60	700–1000	умеренно холодные, 800–1100	влажные, 0,5 – 1,0	1,5–2,5	-0,5...-1,5	0,2–0,4 (0,6)	слабо прерывист.
32б	повышенно-продуктивные, 60–80	ок. 1600	умеренно теплые 1200–1400	умеренно влажные 1,0– 1,5	3,0–4,0	0,2...0,5	0,2–0,4	слабо прерывист.
34д	повышенно-продуктивные, 60–80	ок. 1600	умеренно теплые, 1200–1400	влажные 0,5–1,0	0,6–1,2	-2...-5	0,2–0,4	сплошной
35е	повышенно-продуктивные, 60–80	ок. 1600	умеренно теплые, 1200–1400	влажные 0,5–1,0	2,0–3,0	0,5...-2	0,2–0,4	прерывист. и островной
36ж	низкопродуктивные, 20–40	330–720	умеренно холодные, 800–1000	избыточно влажные менее 0,5	0,4–0,8	- 0,5...-2	0,4–0,6 (0,8)	сплошной

Таким образом, устойчивость северных экосистем понимается «...как комплекс ведущих экологических факторов... которые можно объединить в три крупные группы: климатические (солнечная радиация, температура воздуха, осадки и пр.), биотические (характер растительности, биологическая продуктивность, биоразнообразие и пр.), литогенные...» [11, с. 80].

Для оценки степени устойчивости ландшафтов Нерюнгринского промузла мы исходили из ряда мерзлотных и биоклиматических характеристик каждой исследуемой ландшафтной единицы.

Были выбраны факторы, обеспечивающие восстановление криогенной составляющей ландшафтов, самоочищение и самовосстановление почвенно-растительного комплекса. Это среднегодовое значение температуры мерзлых пород на подошве слоя годовых колебаний (0°C), льдистость поверхностных отложений (%), мощность сезонно-мерзлого и сезонно-талого слоев (м), характер распространения многолетней мерзлоты, а также биологическая продуктивность (ц/га), запасы фитомассы (ц/га), условия теплообеспеченности, выраженные

суммой среднесуточных температур выше 100°C и условия увлажнения, выраженные значениями радиационного индекса сухости (ккал. см²/год) [4], табл. 1.

Оценка устойчивости природных комплексов рассчитана методом присвоения экспертных баллов ряду рассматриваемых мерзлотных и биоклиматических показателей для каждого ландшафта и приведена в табл. 2. Количественные значения этих показателей приняты из работы [12]. При этом они распределены на четыре группы по степени влияния каждого фактора на снижение устойчивости ландшафта от 1 балла (слабо влияет) до 4 баллов (нарушает) [13]. Суммарное значение каждого ландшафта характеризует степень его устойчивости, табл. 3.

Таким образом, получена следующая суммарная оценка устойчивости исследуемых ландшафтных комплексов: устойчивые – 13–14; относительно устойчивые – 16–17; относительно неустойчивые – 19 и неустойчивые – 20 и более баллов (рисунок). На рисунке приведена карта оценки устойчивости ландшафтных комплексов Нерюнгринской промзоны.

Таблица 2

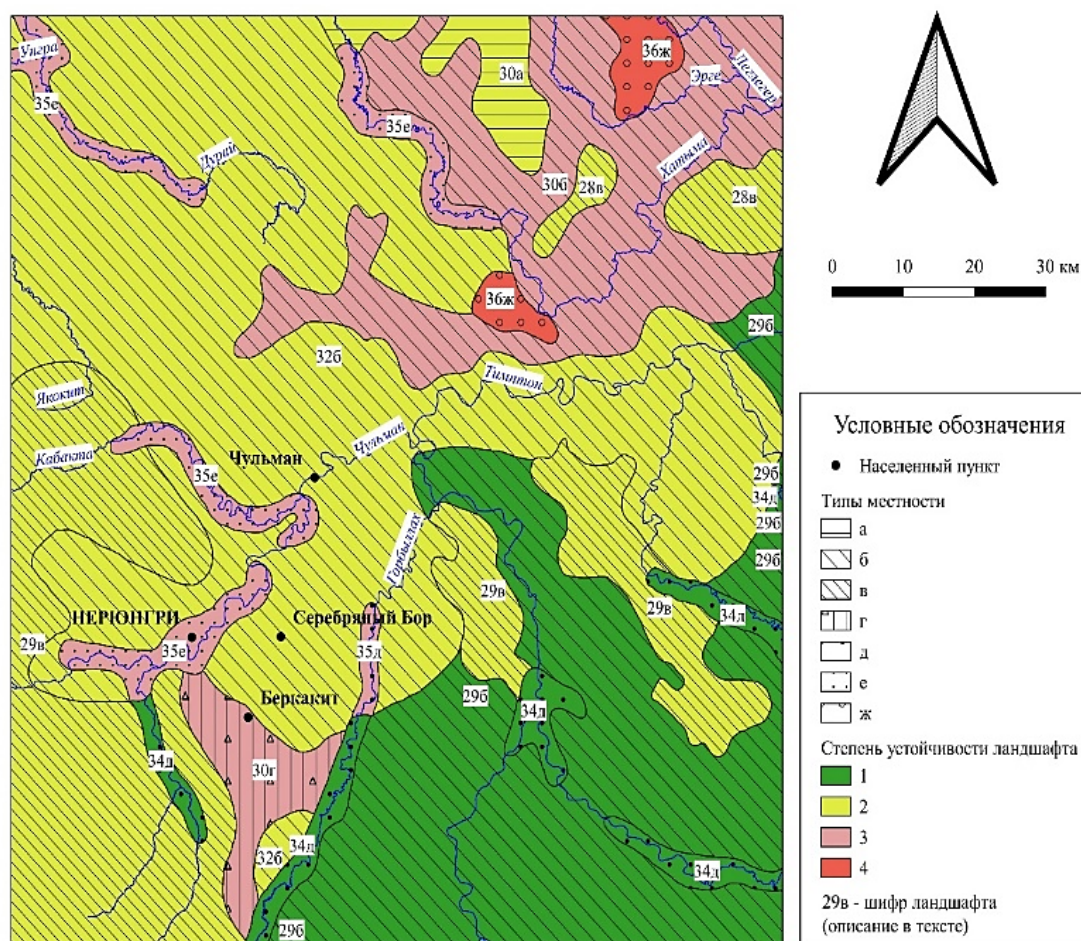
Оценка влияния криогенных и биоклиматических условий
на устойчивость природных комплексов сферы воздействия Нерюнгринского промузла

Криогенные и биоклиматические условия	Оценка устойчивости в баллах			
	1 балл (устойчивые)	2 балла (относительно устойчивые)	3 балла (относительно неустойчивые)	4 балла (неустойчивые)
Продуктивность, ц/га	повышенно-продуктивные, 60–80	среднепродуктивные, 40–60	низкопродуктивные, 20–40	минимально продуктивные, менее 20
Запасы фитомассы, ц/га	1200–1600	1000–1200	700–1000	менее 800
Теплообеспеченность, град.	теплые, более 1600	умеренно теплые, 1200–1400; 1400–1600	умеренно холодные, 500–1000; 1000–1200	холодные, менее 700
Индекс сухости, ккал. см ² /год	влажные 0,5 – 1,0, 0,5–1,5	умеренно влажные 1,0–1,5	недостаточно влажные 1,5–2,5	избыточно влажные 0,5
Мощность стс/смс, м	более 2,0	1,4–2,0	0,8–1,4	0,2–0,8
Температура пород, град	– 5 и ниже	–5...–2	–2...–1	–1...+1
Объемная льдистость пород, отн. ед.	0,1–0,2	0,2–0,4	0,4–0,6	0,6 и более
Характер распростра- нения мерзлоты	сплошной	слабопрерывистый	прерывистый	прерывистый и островной

Таблица 3

Оценка степени устойчивости ландшафтов
зоны воздействия Нерюнгринского промузла

Тип местности	Продуктивность, ц/га	Запасы фитомассы, ц/га	Теплобес- ценность, град	Индекс сухости, ккал. см ² /год	Мощность стс/смс, м	Температура пород, град	Объемная льдистость пород, %	Характер распространения мерзлоты	Сумма баллов
28б	3	4	4	1	1	1	1	1	16
29б	2	3	3	1	1	1	1	1	13
29в	2	3	3	1	2	2	3	1	17
30а	1	2	3	2	1	3	1	3	16
30б	1	2	3	2	1	4	3	3	19
30г	2	3	3	1	2	3	3	2	19
32б	2	1	2	3	1	4	2	2	17
34д	2	1	2	1	3	2	2	1	14
35е	2	1	2	1	1	3	2	4	16
36ж	3	4	3	4	4	3	3	1	25



Карта оценки устойчивости ландшафтных комплексов Нерюнгринской промзоны

Заключение

В результате проведения исследований установлено, что степень устойчивости ландшафтов зоны, прилегающей к Нерюнгринскому промузлу, обусловлена сочетанием основных региональных ландшафтообразующих факторов – мерзлотных и биоклиматических. Так, устойчивыми явились следующие горноредколесные типы местностей, расположенные на сплошных мерзлых породах: приводораздельные элювиальные кустарничково-лишайниково-моховые и долинные среднетеррасовые. Относительно устойчивыми определены расположенные на сплошных мерзлых грунтах горноредколесные подгольцовые заросли из кедрового стланика; горносклоновые коллювиальные лиственничные редколесья на сплошных мерзлых породах; приводораздельные элювиальные горные [4] редколесья на прерывистых мерзлых породах, а также горно-таежные горносклоновые делювиально-коллювиальные сосново-лиственничные редколесья. Относительной неустойчивостью характеризуются горноредколесные склоновые лиственничники делювиально-солифлюкционные и моренные и долинные низкотеррасовые комплексы на прерывистых и островных многолетнемерзлых породах. Горно-таежные мари с лиственничными рединами на сплошных мерзлых грунтах определены как неустойчивые. Оценка устойчивости ландшафтных комплексов Нерюнгринской промзоны может иметь практическое значение для обоснования региональных природоохранных мероприятий, основанных на ландшафтных методах экологических исследований промышленного освоения Севера, в недостаточно освоенных малозаселенных и труднодоступных районах области криолитозоны, что является особенно актуальным в современных геополитических и экономических условиях.

Список литературы

1. Мониторинг реализации Энергетической стратегии РС(Я) на период до 2030 года. Цели и задачи Энергетической стратегии РС(Я) на период до 2032 года с целевым видением до 2050 года. (этап 1). Якутск, 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura> (дата обращения: 20.06.2022).
2. За углем в Якутии дело не встанет [Электронный ресурс]. URL: <https://www.yktimes.ru/новости/za-uglem-v-yakutii-delo-ne-vstanet/> (дата обращения: 14.03.2022).
3. Миронова С.И., Иванов В.В. Добыча угля в Южной Якутии и ее воздействие на растительность (на примере разреза «Нерюнгринский») [Электронный ресурс]. URL: <https://monographies.ru/en/book/section?id=17265> (дата обращения: 14.03.2022).
4. Николаева Н.А., Пинигин Д.Д. К вопросу об устойчивости природных комплексов зоны освоения Эльгинского каменноугольного месторождения // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2 (2). С. 457–461.
5. Шполянская Н.А., Зотова Л.И. Карта устойчивости ландшафтов криолитозоны Западной Сибири // Вестник МГУ. 1994. № 1. Сер. 5. География. С. 56–65.
6. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк. 2018. 2 л.
7. Николаева Н.А. Оценка устойчивости ландшафтов бассейна р. Индигирки к антропогенному воздействию // Успехи современного естествознания. 2021. № 9. С. 59–64.
8. Горохов А.Н. Оценка устойчивости мерзлотных ландшафтов Верхоянского района Республики Саха (Якутия) // География и геоэкология на службе науки и инновационного образования: материалы XI Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному Дню Земли и 100-летию заповедной системы России. Красноярск: Изд-во КГУ, 2016. С. 25–28.
9. Nikolaeva N.A. Modern high technologies. Assessment of stability of landscapes of ESPO-1. 2012. No. 2. P. 7–10.
10. Федоров А.Н. Эволюция и динамика мерзлотных ландшафтов Якутии: автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Иркутск, 2020. 38 с.
11. Бурцева Е.И. Геоэкологические аспекты развития Якутии. Новосибирск: Наука, 2006. 270 с.
12. Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П., Васильев И.С., Грибанова С.П., Дорофеев И.В., Климовский И.В., Самсонова В.В., Соловьев П.А. Мерзлотные ландшафты Якутии: Пояснительная записка к «Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР». М.: ГУГК, 1989. 170 с.
13. Салова Т.А., Николаева Н.А. Гидробиологические и ландшафтные особенности трассы нефтепровода ВСТО в Якутии // Естественные и технические науки. 2014. № 9–10. С. 127–129.

УДК 556.531.4:556.165

ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕКИ ВИЛЮЙ ПОСЛЕ ЗАРЕГУЛИРОВАНИЯ СТОКА

Ноговицын Д.Д., Шеина З.М., Сергеева Л.П.

ФГБУН Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова
Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru

В статье представлены результаты анализа многолетних наблюдений основных характеристик речного стока р. Вилюй по данным многолетних наблюдений на гидрологических постах в естественных условиях и их изменений после ввода в эксплуатацию Вилюйских ГЭС. Приводятся результаты исследования колебаний годового стока р. Вилюй на водный режим р. Лены под воздействием работы ГЭС. На основе полученных данных установлено снижение летне-весеннего стока, увеличение осеннего и значительное увеличение зимнего стока. После ввода ГЭС основная часть стока приходится на зимний сезон за счет суточного и недельного регулирования водности. Приводятся условия формирования наледей на р. Вилюй после строительства ГЭС. Причина их заключается в образовании зимой по всей длине р. Вилюй ниже ГЭС выступания на лед и замерзания сработанных гидроэлектростанцией объемов воды. Образование наледей способствует росту ледяного покрова и увеличению минерализации вод в нижнем бьефе реки Вилюй. Показатели минерализации также подвержены сезонным изменениям. Максимальные показатели минерализации воды приходятся на осень и зиму, наименьшие в летний период. Изменения естественного состояния речного стока являются ключевым фактором, определяющим наиболее существенное изменение минерализации воды р. Лены в зимний период. Изменения на р. Лене прослеживаются до гп. Кюсюр. Выявленные изменения режима р. Вилюй и его возможного влияния на химический состав воды р. Лены и на различные объекты экосистемы в настоящее время не учитываются.

Ключевые слова: Вилюй, Лена, Вилюйская ГЭС, годовой сток, водный режим, наледи, минерализация воды

CHANGES IN THE HYDROLOGIC REGIME AND CHEMICAL COMPOSITION OF THE VILYU RIVER AFTER FLOW REGULATION

Nogovitsyn D.D., Sheina Z.M., Sergeeva L.P.

V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch
of Russian Academy of Science, Yakutsk, e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru

The article presents the results of the long-term observations analysis of the main characteristics of the Vilyui River flow according to the perennial observations at hydrological posts in natural conditions and their changes after the placing in service of the Vilyui hydroelectric power plants. The research results of fluctuations in the annual flow of the Vilyui River on the Lena River water regime under the influence of the HPP operation are presented. Based on the data obtained, a decrease in summer-spring runoff, an increase in autumn runoff and a significant increase in winter runoff have been found. After the placing in service of the HPP, the main part of the runoff falls on the winter season due to daily and weekly regulation of water content. The conditions for the formation of glaciers on the Vilyui River after the HPP construction are given. The reason for them is the formation in winter time along the entire length of the Vilyui River below the HPP of protrusions on ice and the freezing of water volumes triggered by the hydroelectric power station. The formation of glaciers contributes to the growth of ice cover and the increase in water mineralization in the tail race of the Vilyui River. Mineralization indicators are also subject to the seasonal changes. The maximum indicators of water mineralization occur in autumn and winter, the lowest – in summer. Changes in the natural state of river flow are a key factor determining the most significant change in water mineralization of the Lena River in winter time. The changes on the Lena River can be traced to the gauging station Kyusyur. The revealed changes in the regime of the Vilyui River and its possible impact on the chemical composition of the Lena River water and on various objects of the ecosystem are currently not taken into account.

Keywords: the Vilyui, the Lena, the Vilyui HPP, annual flow, water regime, glaciers, mineralization of water

Выявленные изменения режима рек на территории вечной мерзлоты требуют учета и прогнозирования влияния антропогенных и естественных факторов на фоновые показатели воды и их воздействие на различные объекты экосистемы в региональном масштабе.

Цель работы – на примере р. Вилюй выявить характерные особенности изменения гидрологического режима северных рек после регулирования стока, а также возможное изменение химического состава поверхностных вод в узлах их слияния.

Материалы и методы исследования

В работе были использованы фоновые материалы, литературные источники и данные, полученные институтом физико-технических проблем СО РАН в составе первой комплексной Вилюйской экспедиции в 1989 г. Малочисленность опорных гидрометеорологических пунктов, а также их неравномерное распределение на данной территории исключают возможность длительного накопления данных наблюдений для оценки пространственного распре-

деления речного стока. В связи с этим был применен метод географо-гидрологического районирования. Подготовительный этап выполнялся на основе картографических и фондовых материалов. В полевой сезон были проведены полевые гидрометрические и гидрографические исследования. За показатель однородности географо-гидрологических районов были приняты общность гидрологических явлений (водный и ледовый режимы, элементы водного баланса) с обуславливающими их основными природными факторами.

Результаты исследования и их обсуждение

Вилуйская ГЭС на р. Вилуей – первая крупная гидроэлектростанция в зоне сплошного развития многолетнемерзлых пород (рис. 1).

В связи с обширностью территории водосбора Вилуей и большим разнообразием ее природных условий наблюдаются существенные различия в водном режиме рек как по территории, так и во времени. Обилие водных объектов и малочисленность опорных гидрометеорологических пунктов на данной территории исключают возможность длительного накопления данных наблюдений. В этих условиях наиболее при-

емлемым методом изучения режима рек является метод географо-гидрологического районирования [1] и, в частности, закон зональности водного режима рек в целом. На рис. 2 на основе генетического подхода к рассмотрению основных фаз водного режима на территории бассейна р. Вилуей было выделено три района: Мархинский, Чонский и Нижневилуейский [2].

К Мархинскому району относятся: верхняя северная часть бассейна Вилуей, верхняя и средняя часть бассейна Мархи, Тюнга, бассейны Далдына, Моркоки и других рек. На севере и западе граница района проходит по водоразделу с Оленьком и Нижней Тунгуской, на юге – по линии Амбардаах-Олгуйдаах, Улахан-Дьуктели, затем пересекает Чилии, Тююкэн и идет вдоль Тюнга.

К Чонскому району относятся средняя и южная часть бассейна Вилуей, включающая водосборы р. Чоны, Улахан-Ботубуйи, Оччугуй-Ботубуйи, Вилуейчана и других. Западная и южная граница района проходит по водоразделу с бассейнами Нижней Тунгуски и Лены, восточная граница проходит по Сунтарской излучине.

К Нижневилуейскому району относится нижняя часть бассейна Вилуей, охватывающая низовье Тюнга, Чилии, Тююкэна, водосборы Тангнары, Унга-Харыйалаах и других.



Рис. 1. Схема расположения Вилуейских ГЭС на территории РС Якутия

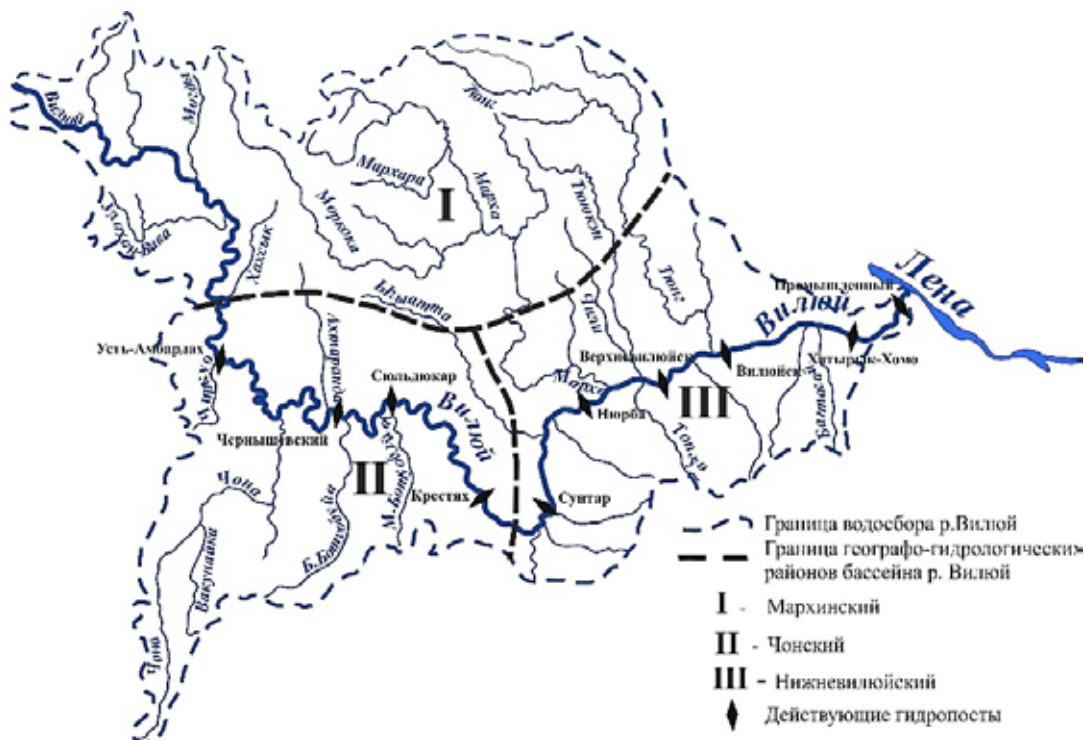


Рис. 2. Географо-гидрологическое районирование бассейна р. Вилюй [2]

После строительства Вилюйской ГЭС в выделенных географо-гидрологических районах, Вилюй может быть разделен на три участка. От истока до створа ГЭС – верхний участок, от створа ГЭС до устья Мархи средний участок и от впадения Мархи до устья – нижний участок [3].

Водосборная площадь Вилюя в створе ГЭС охватывает два географо-гидрологических района – Мархинский и Чонский. Объем стока боковой приточности составляет 24–34%, т.е. в 2–3 раза меньше, чем сток с верховьев Вилюя. Сток с водосбора Чоны (гм/с Усть-Марха) не превышает и 10% общего объема стока у пос. Чернышевский.

Основная доля весеннего стока (70–80%) формируется в Мархинском районе. Паводковые воды (60–70%) образуются в северной, наиболее возвышенной, части бассейна Вилюя. В средний по водности год объем паводков составляет 5,45 км³. Зимний сток в зависимости от водности года составляет 5–10%. Режим стока имеет характер постепенного уменьшения от начала к концу зимы, и наименьший зимний расход, понижающийся до 0,3 м³/с, наблюдается в конце апреля.

На среднем участке Вилюя, протяженностью 797 км, летне-осенняя межень, как пра-

вило, прерывается летними паводками. Объем стока за летне-осенний сезон составляет 22–43% годового, или 4,5–9,9 км³. На зимний период (ноябрь – апрель) приходится всего 1–2% годового объема стока. Расход воды в этот период имеет тенденцию постепенного плавного понижения, в апреле, по данным наблюдений у с. Сунтар, расход воды в Вилюе может уменьшиться до 0,5 м³/с.

На нижнем участке Вилюя объем летне-осеннего стока составляет 14 и 31%. Здесь в этот сезон, так же как и на предыдущем участке, наблюдаются дождевые паводки. Зимний период – самый маловодный. В течение этого периода (ноябрь – апрель) объем стока составляет всего 0,6–2,8 км³ (2–35%).

Объем стока воды за май – июнь в створе Вилюйской ГЭС уменьшился в средний по водности год в 6 раз, а в период наполнения водоема (1969–1971 гг.) при работе всех четырех агрегатов I очереди ГЭС – в 5–8 раз.

В режиме реки отмечаются никогда ранее не наблюдавшиеся резкие колебания расходов воды, связанные с суточным и недельным регулированием мощности ГЭС. Разница между крайними значениями расходов воды при суточном регулировании за 1967–1971 гг. в период весеннего половодья достигла 40–50 м³/с.

Расход воды в декабре в естественных и зарегулированных условиях

Сток	Год	Средний расход в декабре, м ³ /с		
		Пос. Чернышевский	Пос. Сунтар	Пос. Хатырык-Хомо
Естественный	1963	24	27	111
Зарегулированный	1968	138	108	78
	2019		671	820

В результате благоприятных топографических условий русла реки и наличия в 8 км от ГЭС порога «Улахан-Хаан», имеющего на протяжении 3,0 км падение почти 8 м, колебания расходов воды затухают уже на 66 км от створа ГЭС. У с. Сунтар половодье вновь формируется, но уже не достигает той величины, которая была до регулирования стока. Гидрограф половодья характеризуется стройной одновершинной формой, аналогичной ходу расходов воды рек Чонского географо-гидрологического района.

Поскольку половодье на среднем участке Вилюя в результате зарегулирования стока формируется в основном талыми водами, поступающими с Чонского географо-гидрологического района, то и продолжительность его и сроки прохождения максимального расхода стали совпадать с этими же показателями на Чоне, Улахан-Ботубуйе, Оччугуй-Ботубуйе и других реках района. Более повышенная величина модуля стока на Вилюе объясняется дополнительными базовыми расходами воды через турбины ГЭС для выработки электроэнергии. На среднем участке Вилюя в зависимости от водности года максимальные весенние расходы снизились на 2000–8500 м³/с. Сократилась и продолжительность весеннего половодья: в среднем она стала короче на 10–15 дней.

В результате регулирования стока на нижнем участке уменьшение объема весеннего половодья произошло в меньшей степени, чем на участке Вилюя выше устья Мархи, это объясняется влиянием сравнительно многоводных весенних вод рек Мархинского района. Весенний сток Вилюя у пос. Хатырык-Хомо составляет 43 % вместо 62 % в естественных условиях. В связи с тем, что на Вилюйском водохранилище происходит задержание весенних вод Чонского географо-гидрологического района, на участке Вилюя ниже устья Мархи произошло перераспределение стока внутри самого весеннего половодья. За июнь стало проходить 36 % весеннего стока вместо 75 % в прежних естественных условиях.

Летний сток на всем протяжении Вилюя от створа ГЭС до устья уменьшился, но не в такой значительной степени, как весенний. На среднем участке Вилюя у с. Сунтар объем стока за июль – август уменьшился на 42 %, на нижнем участке у пос. Хатырык-Хомо – на 10 %. Колебания расходов воды в этот период на среднем участке существенно отличаются от естественных. Здесь в результате зарегулирования стока летние паводки формируются только на основе осадков, выпадающих на территории водосбора боковой приточности. Продолжительность и объем их значительно сократились.

В осенний период величина стока Вилюя существенно не изменилась. Однако амплитуда колебания расходов воды за этот период значительно снизилась. В естественных условиях расход воды изменялся в среднем от 40 до 650 м³/с.

В зимний период сток Вилюя резко увеличился. Согласно графику электропотребления наибольшая выработка электроэнергии предусматривается зимой. Характер уменьшения расхода воды Вилюя в декабре в естественных и зарегулированных условиях показан в таблице.

После строительства ГЭС в холодный период на р. Вилюй наблюдается значительное повышение объема льда и возникновение наледей, которых раньше на Вилюе не наблюдалось. Толщина льда в нижнем бьефе по сравнению с бытовыми условиями намного увеличилась. Зимой 1968–1969 гг. в условиях работы четырех агрегатов ГЭС величина сбросных расходов в среднем равнялась 140 м³/с. В бытовых условиях расходы в створе ГЭС в зимний период колебались от 48 м³/с в ноябре до 4,5 м³/с в апреле. Повышенные сбросные расходы зимой способствуют росту толщины ледяного покрова путем образования наледей. Толщина льда увеличилась в 1,5–2 раза. Увеличение ее по длине нижнего бьефа неравномерно и зависит не только от величины сбросных расходов воды, но и от местных особенностей русла реки. По сравнению

с максимальной толщиной льда в средний по метеоусловиям год толщина льда зимой 1968–1969 гг. увеличилась в с. Сюльдакаре на 30, в с. Велючане – на 103, в с. Крестьяхе – на 55, с. Сунтаре – на 50, г. Нюрбе – на 72, с. Верхневиллойске – на 98, и в г. Виллойске – на 49 см. Наибольшая толщина льда зимой 1968–1969 гг. была установлена у с. Вилючан (223 см). Рост толщины льда в течение зимы происходит скачкообразно.

Также в зимний период регулирование стока на р. Виллой вследствие работы Виллойской ГЭС вызвало колебание водности на р. Лена до гидропоста Кюсюр. До работы ГЭС величина стока р. Виллой на сток р. Лены составляла 3,6%, после зарегулирования Виллой расход воды в месте впадения составляет уже от 45% до 57,5% величины расхода р. Лены. При прохождении зимнего паводка до регулирования стока приращение его от предпаводочного расхода 2440 до пика 2940 м³/с составляло в среднем 500 м³/с. После регулирования эта же величина достигла 840 м³/с (2790–3630 м³/с) [4].

Исследования физико-химического режима вод Виллойского водохранилища начаты в 1969 г. До этого сведения о химическом составе воды р. Виллой (до его зарегулирования) были представлены лишь незначительными данными гидрохимической лаборатории при Якутском управлении гидрометеослужбы, относящимися к району п. Сунтар (600 км ниже существующей сейчас плотины). Систематических наблюдений над становлением химического состава воды и гидрохимического режима Виллойского водохранилища ранее не проводилось.

Основными питающими реками водохранилища являются Виллой и Чона. Под их воздействием и проходит формирование химического состава вод. Реки Виллой, Чона и Виллойское водохранилище по гидрохимическому составу воды относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, второго типа (C_{II}^{Ca}).

В первые годы формирования водохранилища (1969–1972 гг.) за счет более активного выщелачивания затопленной территории и некоторой маловодности, когда поверхностный приток составлял лишь 73–87% от нормы, наблюдалась относительно повышенная минерализация.

В начальный период заполнения ложа водохранилища наблюдалась существенная неоднородность в распределении солевого состава, что, по-видимому, обуславливалось столь же значительной неоднородностью подтопляемых почвогрунтов.

В многоводные годы, 1973–1976, поверхностный приток в водохранилище составил 116–144% от нормы, что, по-видимому, и вызвало понижение минерализации. Показатели минерализации воды по акватории водохранилища в эти годы не отличались большим разбросом, и некоторое их повышение фиксировалось лишь в подпорных участках р. Чоны. В частности, приток р. Чоны – р. Ичода имеет минерализацию от 81 до 150 мг/л; р. Бэс-Юрях – 129 мг/л; р. Марха – 140 мг/л. Все эти притоки формируют свои воды среди осадочных пород кембрийского и пермского возрастов. Они характеризуются ограниченным водным расходом и не могут оказать существенного влияния на минерализацию воды Виллойского водохранилища в целом. Влияние прослеживается на протяжении 1–2 км от устьев рек, после чего речные воды разбавлялись маломинерализованными водами водохранилища. Минерализация вод Чонского разлива все же оказалась несколько большей (64–73 мг/л), чем в остальных участках водоема (38–63 мг/л). Показатели минерализации подвержены сезонным изменениям, которые определяются в основном весенним паводком и летне-зимней меженью рек Виллой и Чоны. Максимальные показатели минерализации приходится на зиму и осень, минимальные – на лето. С ростом минерализации воды возрастает содержание гидрокарбонатных ионов (коэффициент корреляции 0,88–0,98) и ионов кальция (коэффициент корреляции – 0,68–0,86).

Распределение гидрокарбонатов по акватории водохранилища аналогично минерализации воды. Более высокие показатели свойственны Чонскому переменному подпору (39–71 мг/л) и Чонскому разливу (30–50 мг/л), наиболее низкие – Дьелкюконскому разливу (15–30 мг/л) [4].

Плотина, образующая водохранилище, обеспечивая постоянный напор воды, изменяет естественное состояние речного стока и является ключевым фактором, определяющим его негативное воздействие на ниже лежащие экосистемы [5]. Так, сброс больших объемов высокоминерализованных вод из карьеров привел к резкому ухудшению качества воды на всем протяжении р. Виллой. По данным ФГБУ «Якутское УГМС» в 2020 г. качественный состав воды р. Виллой и его притоков оценивался как «очень загрязненные» (3-й класс, разряд «б»). По данным ГБУ РС (Я) «РИАЦЭМ» в 2020 г. качество воды р. Виллой в пределах Сунтарского улуса оценивалось 3 кл. разряда «б»,

«очень загрязненная», значение УКИЗВ 3,22. В начале февраля в воде реки нормативы превышены по содержанию железа в 3,2 раза, меди в 2,6 раза, цинка в 4,3 раза. Хозяйственно-питьевой норматив не соответствует по показателю ХПК в 2,6 раза [6].

Заключение

Вследствие работы Вилюйской ГЭС величина и режим стока Вилюя испытывают значительные изменения. Произошло уменьшение стока весеннего половодья и частично летне-осенних паводков, существенно увеличился сток воды зимней межени (основная выработка электроэнергии предусматривается в зимний период). С увеличением сброса воды в зимний период нарушаются естественные условия зимней межени, на реке наблюдается значительное повышение объема льда и наледей, а также рост минерализации воды р. Лены в месте впадения р. Вилюй (расход воды Вилюя в узле слияния с Леной увеличился от 3,6% до 57,5%). Современные гидрохимические изменения в определенной мере нивелируют биологический режим сопредельных водотоков, влияя на качество воды.

Выявленные изменения режима рек и его влияние на формирование гидрохимического состава воды, как результат взаимодействия воды с другими фазами (воздушной средой, физических процессов – на ледо-

образование и т.д.) на территории вечной мерзлоты недостаточно учитываются при комплексном использовании водных ресурсов. Такое положение вызывает настоятельную необходимость расширить исследования в этой области. Объектом изучения, как аналог, может служить р. Вилюй.

Список литературы

1. Докучаев В.В. К учению о зонах природы (1898–1900 гг.). Соч., т.п. М.: Изд-во АН СССР, 1951. 592 с.
2. Ноговицын Д.Д. Географо-гидрологическое районирование и внутригодовое распределение стока р. Вилюй в естественных и зарегулированных условиях // Энергетика Якутской АССР: материалы научной сессии, посвященной 50-летию Якутской АССР и 25-летию Якутского филиала СО РАН СССР. Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН ССР, 1974. С. 148–159.
3. Планета Земля. Историческая география. Вилюй река. URL: Вилюй (река) – Россия – Планета Земля (geosfera.org) (дата обращения: 09.02.2022).
4. Ноговицын Д.Д., Шеина З.М., Сергеева Л.П. Изменение гидрологического режима рек при зарегулировании их стока водохранилищами крупных ГЭС (на примере Вилюйской ГЭС) // Наука. Исследования. Практика: сборник избранных статей по материалам Международной научной конференции (Санкт-Петербург, 26 августа 2019 года). СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2019. С. 32–33.
5. Jeff Opgrand, Paul V. Preckel F.T. Sparrow, Gregory Thomas, Daniel P. Loucks. Restoring the natural flow regime of a large hydroelectric complex: Costs and considerations. Energy. 2020. Vol. 190. Issue C. DOI: 10.1016/j.energy.2019.116260.
6. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2020 году. URL: (https://minpriroda.sakha.gov.ru/uploads/ckfinder/userfiles/2021/12/09/files/ГД_ООС_2020.pdf) (дата обращения: 09.02.2022).

УДК 528.8.04

ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ДУБНЕНСКОГО РАЙОНА НА ОСНОВЕ ДИСТАНЦИОННЫХ И ПОЛЕВЫХ МЕТОДОВ

Спиридонова А.Б., Анисимова О.В.

ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна», Дубна, e-mail: naspiri@yandex.ru, ol_anisimova@mail.ru

Использование методов дистанционного зондирования позволяет учесть многообразие растительного покрова севера Московской области (Дубненского района). В статье предложена общая технологическая схема определения и верификации дендрофлоры. Рассматриваются методы автоматического дешифрирования контролируемой классификации космических снимков *Sentinel-2*, полученных за 2021 г. и преобразованных в программном комплексе *Quantum GIS* и неконтролируемой классификации с помощью отечественного программного продукта *Vega-Science*. Рассмотрено понятие жизненного состояния (жизненности) дендрофлоры и его влияние на спектрально-яркостные характеристики космического снимка при дешифрировании растительности. Результаты полевых исследований жизненности отображены на картах-схемах, где отражается состояние растительности, которое можно охарактеризовать как хорошее, удовлетворительное и плохое. Данный метод позволяет получить эталонные участки для повышения результатов дешифрирования дендрофлоры. Использовались методы ландшафтно-индикационного дешифрирования особенностей территории, полевые подспутниковые наблюдения, а также картографические методы, позволяющие наглядно представить результат в виде карт и схем. Верификация полученных данных происходит на основе статистической обработки данных, подсчета и сопоставления площадей при сравнении с картографическими данными за предыдущие годы. Было выявлено, что состояние растительности напрямую отражается на спектрально-яркостных характеристиках и, как следствие, влияет на итоговый результат дешифрирования космических снимков автоматическими методами.

Ключевые слова: ДДЗ, космические снимки, *Sentinel-2*, ГИС, *Vega-Science*, г. Дубна, растительный покров, дендрофлора

IDENTIFICATION OF THE VEGETATION COVER OF THE DUBNA REGION BASED ON REMOTE AND FIELD METHODS

Spiridonova A.B., Anisimova O.V.

Dubna State University, Dubna, e-mail: naspiri@yandex.ru, ol_anisimova@mail.ru

The use of remote sensing methods makes it possible to take into account the diversity of the vegetation cover in the north of the Moscow region (Dubna district). The article proposes a general technological scheme for the determination and verification of dendroflora. Methods for automatic interpretation of the supervised classification of Sentinel-2 space images obtained for 2021 and converted in the Quantum GIS software package and unsupervised classification using the domestic software product Vega-Science are considered. The concept of the vital state (vitality) of dendroflora and its influence on the spectral-brightness characteristics of a space image when deciphering vegetation are considered. The results of field studies of vitality are displayed on maps, which reflect the state of vegetation, which can be characterized as good, satisfactory and poor. This method makes it possible to obtain reference areas to improve the results of interpretation of dendroflora. The methods of landscape-indication interpretation of the features of the territory, field sub-satellite observations, as well as cartographic methods were used, which make it possible to visualize the result in the form of maps and diagrams. Verification of the received data takes place on the basis of statistical data processing, calculation and comparison of areas when compared with cartographic data for previous years. It was found that the state of vegetation directly affects the spectral-brightness characteristics and, as a result, affects the final result of interpretation of space images by automatic methods.

Keywords: remote sensing, satellite imagery, Sentinel-2, GIS, Vega-Science, Dubna, vegetation cover, dendroflora

В настоящее время данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) становятся важнейшей основой информационного обеспечения. С каждым годом происходит увеличение числа потребителей данных ДЗЗ. Космические снимки используются для решения большого количества задач, связанных с дешифрированием природно-территориальных комплексов, динамического состояния территории, оценки качественных и количественных характеристик различных природных и антропогенных объектов, построением тематических карт [1].

В настоящее время происходит постоянное изменение территории, что связано с различными процессами, например увеличение антропогенной нагрузки, появление новых объектов промышленного и хозяйственного назначения, реакции природной среды на воздействия, угнетение видового разнообразия, а также изменения природно-климатического характера.

Данные дистанционного зондирования дают возможность изучения природно-территориальных комплексов, в частности лесных массивов. На спектральную яркостную

характеристику влияет видовое разнообразие, состояние кроны, размер и площадь пластины листа, вегетационный период, жизненное состояние растений. В отсутствие современных карт лесного покрова территории, актуальным является получение оперативной информации о состоянии растительного покрова на больших площадях, учет их видового разнообразия, экологического состояния.

Цель исследования заключается в идентификации дендрофлоры Дубненского района на основе дистанционных и полевых методов.

Материалы и методы исследования

На сегодняшний день рынок программных продуктов по обработке данных ДЗЗ весьма широк. В основе программных средств заложен стандартный набор процедур: предварительная обработка снимка в разных спектрально-яркостных характеристиках, возможность наложения слоев (векторных и растровых), классификация снимков (вручную и автоматическая), определение проекции и многое другое. Программные продукты, преимущественно ГИС-системы, имеют схожие черты, но также имеют характерные различия, например стоимость, удобство, интеграция, работоспособность, специализированный функционал [2].

Одной из современных систем является *Quantum GIS* – это кроссплатформенная геоинформационная система. Преимущество данного продукта в доступности

и многофункциональности. *QGIS* позволяет использовать большое количество распространенных геоинформационных функций, обеспечиваемых встроенными инструментами и модулями [3].

Помимо программного обеспечения, огромную роль играют мультиспектральные приборы и их разрешения. Одним из универсальных и при этом доступных спутников является *Sentinel-2*. Он обеспечивает глобальное 10-метровое разрешение мультиспектральных изображений каждые 10 дней с получением 13 спектральных полос в широком диапазоне [4]. Спутник разработан в целях изучения растительности, наземного покрова и мониторинга окружающей среды. *Sentinel-2B* был запущен 7 марта 2017 г. и работает с данными, доступными на *EarthExplorer*.

Для повышения результативности при работе с космическими снимками предлагается использование общей технологической схемы, которая включает в себя синтезирование дистанционных и полевых методов, компьютерного и визуального дешифрирования, а также использования прямых и косвенных дешифровочных признаков. Верификация полученных данных проводится на основе статистического анализа многоспектральных снимков, а также при сопоставлении данных за различные вегетационные периоды (рис. 1).

Способы и алгоритмы обработки данных ДЗЗ зависят от типа используемых данных и от их пространственного и радиометрического разрешения.



Рис. 1. Общая технологическая схема определения и верификации дендрофлоры

Спектр обработки данных ДЗЗ очень широк: от интерактивного дешифрирования и визуального анализа изображения до создания сложных математических моделей и автоматизированных алгоритмов выделения необходимой информации. Но, так или иначе, все методики направлены на выявление, анализ и оценку состояния площадных, линейных и точечных объектов, расположенных на поверхности [5]. Методы для определения видового разнообразия можно разделить на две группы: отнесение объектов на снимке к определенным классам, соответствующих видов растительности и выявлений числовых или математических значений (параметров растительности) и оценка их величины с определенной точностью. Первая группа задач решается методами теории распознавания образов, а вторая – измерительными методами с применением теории статистического оценивания параметров [6].

К теории распознавания образов относится понятие классификации. Для облегчения задачи и повышения точности разрабатываются алгоритмы автоматизированной классификации. Процесс классификации изображения подразумевает отбор данных по определенным признакам и группирование точек или частей изображения в классы [2]. В общей теории распознавания образов различают два вида классификации: классификация с обучением (контролируемая классификация); классификация без обучения (неконтролируемая классификация).

Для дешифрирования растительности и, в частности, дендрофлоры наиболее подходит классификация с обучением, где идет разделение растительности на определенные группы. Такой подход позволяет повысить эффективность изучения ареалов распространения различных видов растительности и увеличить точность при ландшафтно-индикационном дешифрировании. В каждом пикселе неоднородной поверхности яркостные спектральные характеристики соответствующих объектов интегрируются в разных соотношениях, из-за чего и возникает большой разброс спектральных характеристик внутри одного класса [7].

Одним из значительных моментов дешифрирования является учет «жизненного состояния» и создание эталонных участков по разным категориям. Для оценки состояния дендрофлоры и других растений в популяционной биологии определяют жизненное состояние, или жизнеспособность [8]. Данные методы основаны на реакции

деревьев на изменения окружающей среды (изменение кроны, усыхание и др.). Оценка проводится визуально по ряду признаков.

Разработаны шкалы балльных оценок жизненного состояния: здоровые деревья оцениваются баллом 1, ослабленные – 2, сильно ослабленные – 3, отмирающие – 4, свежий сухостой – 5, старый сухостой – 6. На основании полученных данных производится расчет жизненного состояния древостоев с использованием формул [9]:

$$Ln = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4}{N},$$

где Ln – относительное жизненное состояние древостоя, рассчитанное по числу деревьев, n_1 – число здоровых, n_2 – ослабленных, n_3 – сильно ослабленных, n_4 – отмирающих деревьев лесовосстановителя или лесовосстановителей на пробной площади (или на 1 га), N – общее число деревьев (включая сухостой) на пробной площади или на 1 га.

При ландшафтно-индикационном дешифрировании в качестве индикатора (косвенного признака) природных комплексов на снимках можно использовать особенности ландшафта в целом, при этом ландшафтная индикация позволяет выявлять геологические, гидрогеологические, гидрологические, почвенные и климатические условия, последствия деятельности человека по внешнему облику ландшафта, по отдельным его компонентам (растениям, формам рельефа и т.д.).

Результаты исследования и их обсуждение

Для выполнения проекта по классификации природно-территориальных комплексов одной из проблемных зон является верное распознавание растительного покрова, в связи с чем требуется выстраивание реперных точек по локальному распределению растительности.

Дендрофлора севера Московской области достаточно обширна и разнообразна: список включает 184 вида деревьев, кустарников, полукустарников, полукустарничков и деревянистых лиан [10]. Общее видовое разнообразие представлено на рис. 2. Автоматическая разбивка растительного покрова была сделана для Дубненского района на платформе Vega-Science [11]. BEGA-Science – это сервис, основанный на спутниковых технологиях. Данный веб-интерфейс был создан для анализа состояния растительности и ее оперативного мониторинга в течение всего сезона вегетации.

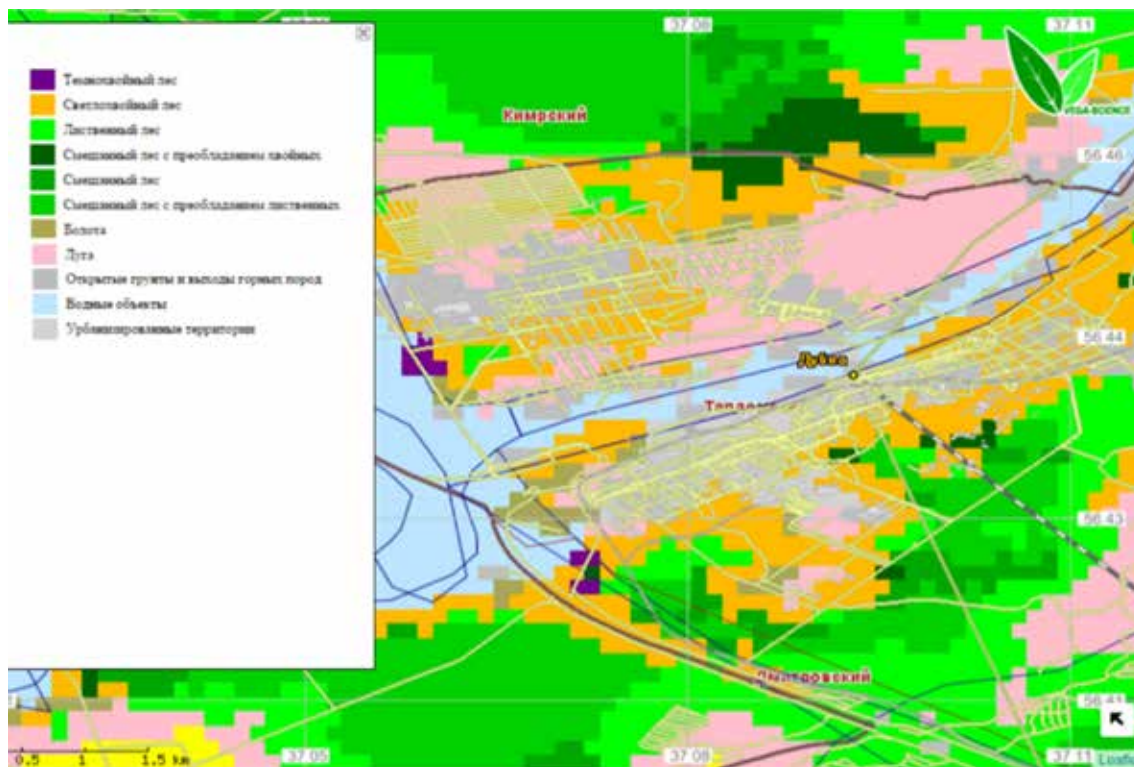


Рис. 2. Интерпретация растительного покрова на платформе Vega-Science

Полученные картографические материалы достаточно полно отражают природно-территориальные комплексы. Имеются явные недостатки дешифрирования водных объектов (отсутствуют озера), болот (зафиксированы подтопляемые территории, но не отражены сами болота, которых достаточно много), антропогенной деятельности, луга и открытые грунты не передают актуальной информации (на 2022 г. застраиваемые территории значительно увеличились, в связи с чем происходит уменьшение лугов и открытых грунтов), виды лесов отражены верно, но их ареал не полностью соответствует действительности. Дубненский район расположен на севере Московской области, разделен на левобережную и правобережную части рекой Волгой. Изучаемые районы относятся к зоне умеренно континентального климата и расположены среди лесных массивов, имеющих переходный характер: в северном направлении от долины р. Волги распространены сильно заболоченные бореальные леса, а южнее от г. Дубны начинаются смешанные широколиственно-хвойные леса.

Анализ растительного покрова по космическим снимкам дает возможность получать однородную и сравнимую по качеству

информацию одновременно для обширных территорий, что практически недостижимо при любых наземных видах съемок. Но при этом наблюдаются погрешности в выявлении дендрофлоры при автоматическом классифицировании по усредненным данным. Для усовершенствования методики распознавания растительного покрова на территории севера Московской области необходимо проведение наземных видов съемки с интегрированием по видам и состоянию растений.

Одним из немаловажных факторов в дешифрировании растительного покрова является «жизненное состояние» растений, период съемки, погодные условия и разрешение космических снимков. Каждый из параметров влияет на спектрально-яркостные характеристики, что может создать высокий уровень погрешности. Согласно общепринятым представлениям «жизненное состояние» растений – это интегрированный показатель комплексного влияния внутренних (почвенно-минеральный состав) и внешних факторов (антропогенные и климатические воздействия) [12].

Для улучшения результатов были проведены полевые работы на территории г. Дубны с отображением «жизненного со-

стояния» растений. Видовой состав преобладающей дендрофлоры района был представлен следующим образом [10, 13]:

Темнохвойный лес: с преобладанием ели (*Picea abies* (L.)).

Светлохвойный лес: лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ledeb), сосна (*Pinus mugo Turra*), туя (*Thuja occidentalis* L.).

Лиственный лес: клён (*Acer ginnala* Maxim, *A. negundo* L.), ольха (*Alnus glutinosa* (L.)), берёза (*Betula pubescens* Ehrh.), осина (*Populus tremula* (L.)), липа (*Tiliaceae* (L.)), дуб (*Quercus robur* L.), ясень (*Fraxinus americana* L.), сирень (*Syringa x henryi* Schneid), лиственница (*Larix sibirica* Ledeb.), яблоня (*Malus baccata* (L.)), черёмуха (*Padus avium* Mill.), тополь (*Populus alba* L.), ива (*Salix acutifolia* Willd.) и т.д.

Смешанный лес с преобладанием хвойных, в частности сосны (*Pinus mugo Turra*, *P. pumila* (Pall.) Regel, *P. sibirica* Du Tour, *P. sylvestris* L.).

Смешанный лес с преобладанием лиственных, в частности тополя (*Populus alba* L., *P. x berolinensis* Dippel), липы (*Tilia cordata* (L.)).

Для наглядного отображения состояния зеленых насаждений севера Московской области была составлена карта зонирования территории г. Дубны по усредненным показателям «жизненного состояния» деревьев (рис. 3).

Дендрофлора территории городского округа находится в зоне с «хорошим» состоянием растительного покрова (процентная доля такой площади составляет 80%). Зона с «удовлетворительным» состоянием зеленых насаждений представлена несколькими участками, отраженными на рис. 3 (процентная доля такой площади составляет 12%). Зона с «плохим» состоянием зеленых насаждений отражает территории промышленного назначения и котельные (процентная доля такой площади составляет 8%).

На основе полевых данных были созданы эталонные участки с видовым разнообразием и учетом жизненности дендрофлоры для проведения автоматизированного дешифрирования по методу «выборка с обучением» снимка *Sentinel-2* за 2021 г. (18 августа) в программе *Quantum GIS*. Пространственное разрешение снимка 10 м, погодные условия стабильные: температура + 24 °С; влажность 39%, давление 768 мм рт. ст.; облачность 25%.

Таким образом, была получена более детальная карта-схема территории г. Дубны, на которой выделены различные участки растительности: хвойные леса, лиственные леса, смешанные леса с преобладанием хвойных деревьев, смешанные леса с преобладанием лиственных деревьев, водные объекты, поля, луга, пашни, антропогенная нагрузка (рис. 4).

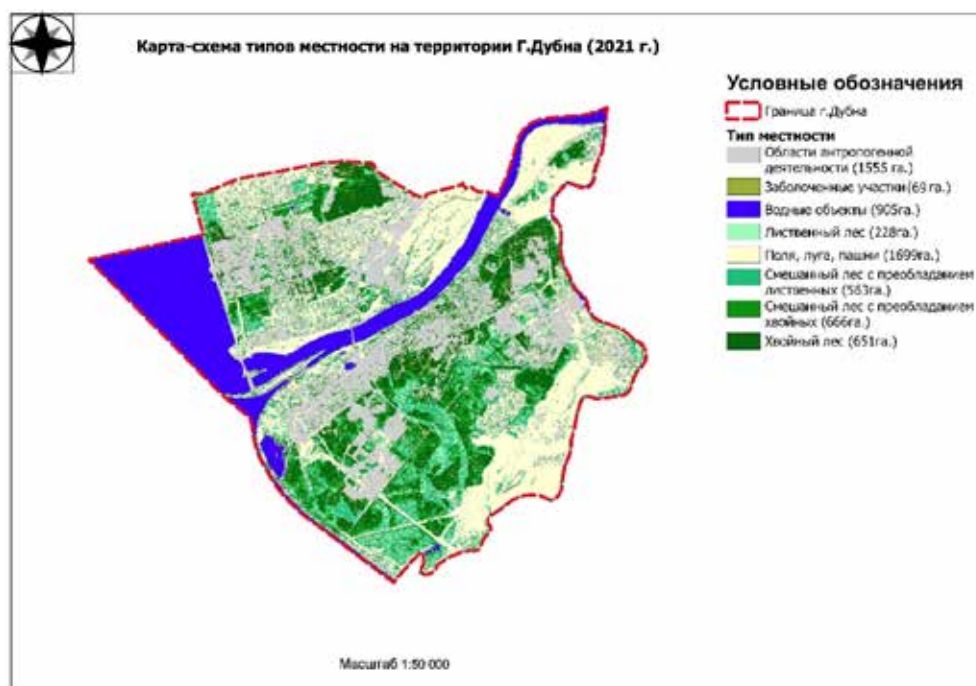


Рис. 3. Карта-схема жизненного состояния зеленых насаждений



Рис. 4. Карта-схема типов местности на территории г. Дубны

Второй цикл технологической схемы предусматривает верификацию полученных данных на основе статистической обработки данных, подсчета и сопоставления площадей при сравнении с картографическими данными за предыдущие годы, определение отражательной способности в разные вегетационные периоды с помощью дополнительных возможностей программы *Vegeta-Science*.

Полученный результат дешифрирования был сопоставлен с картой растительности Московской области 1996 г. [14], где была выявлена существенная динамика сокращения полей, увеличение ареалов распространения хвойных лесов.

Площадное распределение территории были получено на основе эталонных участков, где наблюдается доминирование хвойных и смешанных лесов (рис. 4).

Закключение

Была проведена идентификация дендрофлоры и построена карта-схема жизненного состояния и типов местности на территории г. Дубны. Предложенная технологическая схема позволяет достаточно точно дешифрировать и верифицировать растительный покров. При сопоставлении с данными, полученными с помощью программного комплекса *Vegeta-Science*, погрешность результатов составила более 15%,

что обусловлено различными исходными данными для первичной обработки и отсутствие учета разной отражательной способности жизненного состояния дендрофлоры. Точность результатов была достигнута при выявлении эталонных участков полевыми методами с выявлением жизненного состояния дендрофлоры.

Список литературы

1. Спиридонова А.Б., Анисимова О.В. Изучение геоэкологических условий и динамики антропогенного воздействия на север Московской области на основе космических снимков // Добродеевские чтения. 2019. Сборник научных трудов III Международной научно-практической конференции. С. 288–294.
2. Спиридонова А.Б., Анисимова О.В. Методики автоматизированного дешифрирования многозональных космических снимков различного разрешения для мониторинга природно-территориальных комплексов // Экология. Экономика. Информатика. Серия: Геоинформационные технологии и космический мониторинг. 2020. № 3. С. 58–63.
3. *QGIS* – Возможности работы с данными в QGIS [Электронный ресурс]. URL: http://mapexpert.com.ua/index_ru.php?id=58&table=news (дата обращения: 29.05.2022).
4. *Sentinel-2A, 2B* [Электронный ресурс]. URL: <https://innoter.com/sputniki/sentinel-2a-2b/> (дата обращения: 18.07.2021).
5. Дворкин Б.А. Европейская программа GMES и перспективная группировка спутников ДЗЗ Sentinel // «Геомастика». 2015. № 3 (11). С. 14–26.
6. Абрамов Н.С., Макаров Д.А., Талалаев А.А., Фраленко В.П. Современные методы интеллектуальной обработки данных ДЗЗ // Программные системы: теория и приложения. 2018. № 4 (39). С. 417–442.

-
7. Giraldo Osorio J.D., García Galeano S.G. Development of a sub-pixel analysis method applied to dynamic monitoring of floods // *International Journal of Remote Sensing*. 2012. Vol. 33. No. 7. P. 2277–2295.
8. Заугольнова Л.Б., Жукова Л.А., Комаров А.С. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). М.: Наука, 1988. 184 с.
9. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // *Лесоведение*. 1989. № 4. С. 51–57.
10. Карпухина Е.А., Алексеев Ю.Е., Жмылёв П.Ю., Лазарева Г.А. Флора городского округа Дубна. Дубна: Государственный университет «Дубна», 2016. 275 с.
11. Картографический интерфейс Bera-Science [Электронный ресурс]. URL: <http://sci-vega.ru/maps/?geomap=1/> (дата обращения: 18.01.2022).
12. Полякова Е.В. Дендрофлора г. Владивостока // *Комаровские чтения*. 2005. № 51. С. 154–176.
13. Жмылев П.Ю., Лазарева Г.А., Морозова О.В. Летняя практика по ботанике. Материалы к анализу биологического разнообразия. Дубна: университет Дубна, 2020. 132 с.
14. Карта растительности Московской области [Электронный ресурс]. URL: <http://www.etomesto.ru/map-forest/> (дата обращения: 18.03.2022).

МЕТАЛЛЫ И AS В ТОРФЕ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Татаринцева В.Г., ^{1,2}Котова Е.И., ¹Орлов А.С.,
¹Пономарева Т.И., ¹Селянина С.Б., ³Дайбова Е.Б.

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, e-mail: leratatarintseva@gmail.com;

²ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва;

³Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа
(филиал СФНЦА РАН), Томск

Поступление антропогенных примесей в торфяные отложения связано с деятельностью промышленных объектов, добычей полезных ископаемых, автотранспортом и свалками бытовых отходов. На территории Архангельской области в значительной степени распространены верховые болота, обладающие высокой способностью накапливать загрязняющие вещества. Болота области не находятся под прямым антропогенным воздействием, однако металлы могут попадать на их поверхность путем атмосферного переноса. В работе были изучены торфяные отложения трех верховых болот, расположенных в Архангельской области – Иласский болотный массив (Приморский район), Трофимовское болото (Мезенский район) и болото Большой Мох (Онежский район). Цель работы заключалась в оценке содержания металлов (Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg) и As в торфяных профилях болот региона и их сравнение между собой. Торфяные отложения Иласского и Трофимовского болот, а также верхний горизонт болота Большой Мох относятся к малозольным типам торфа с сильноокислой реакцией среды, что характерно для верховых торфов. Нижние горизонты торфа болота Большой Мох относятся к переходному типу. Основным поллютантом для всех болот является Ni, что особенно характерно для Трофимовского болота – его концентрация в торфяном профиле на порядок превышает его содержание в торфе двух других болот, а также концентрации других элементов. Это может быть вызвано антропогенным воздействием или быть следствием геохимической аномалии. Для подтверждения этого результата необходимы дополнительные исследования. Помимо Ni отмечается значительное содержание в торфе Zn, Cu и Cr. Для болот Приморского и Онежского районов характерно увеличение концентрации металлов с глубиной залегания торфа, а для болота Мезенского района – наоборот. Концентрации Co, Pb, Cd, Hg и As относительно невысоки и сопоставимы для трех болот.

Ключевые слова: торф, болота, Архангельская область, металлы, загрязнение

METALS AND AS IN PEAT OF BOGS IN ARKHANGELSK REGION

¹Tatarintseva V.G., ^{1,2}Kotova E.I., ¹Orlov A.S.,
¹Ponomareva T.I., ¹Selyanina S.B., ³Daybova E.B.

¹N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch
of the Russian Academy of Science, Arkhangelsk, e-mail: leratatarintseva@gmail.com;

²Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow;

³Siberian Research Institute of Agriculture and Peat – branch
of the Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the RAS, Tomsk

Bogs are widely distributed on the Arkhangelsk region and they have a high ability to accumulate pollutants. Impurities can get on their surface through atmospheric transport from different industrial facilities. In the work peat deposits of three bogs of the Arkhangelsk region were studied – the Ilas bog (Primorsky district), the Trofimovskoe bog (Mezensky district) and the Bolshoy Mokh bog (Onega district). The aim of the work was to estimate the content of metals (Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg) and As in the peat profiles. Peat of the Ilas and Trofimovskoe bogs as well as the upper horizon of the Bolshoy Mokh bog are low-ash types of peat with low acidity. The lower peat horizons of the Bolshoi Mokh bog are of the transitional type. Ni is the main pollutant especially for the Trofimovskoe bog – its concentration in the peat is an order of magnitude higher than its content in the peat of two other bogs, as well as the concentrations of other elements. This may be caused by anthropogenic impact or be the result of a geochemical anomaly. Besides Ni there is a significant content of Zn, Cu, and Cr in peat. The bogs of the Primorsky and Onega regions are characterized by an increase in the concentration of pollutants with the depth of peat, and the opposite is true for the bog of the Mezensky region. The concentrations of Co, Pb, Cd, Hg, and As are relatively low and comparable for the three bogs.

Keywords: peat, bogs, Arkhangelsk region, metals, pollution

Несмотря на общемировую тенденцию снижения выбросов загрязнений в окружающую среду [1], металлы (в том числе элементы 1 и 2 классов опасности) остаются в числе наиболее распространенных поллютантов. Основные источники загрязнения торфяных залежей опасными эле-

ментами – атмосферные выпадения из стационарных источников (промышленных объектов черной и цветной металлургии, энергетики и производства минеральных удобрений), водородное загрязнение промышленными сточными водами, разливы нефти и солевых растворов, отвалы золы,

шлака, руд, шламов, свалки бытовых отходов и автотранспорт.

На территории Архангельской области (АО) распространены преимущественно верховые болота [2], торфяные отложения которых обладают высокой способностью аккумулировать загрязняющие вещества из окружающей среды. Большая часть торфяных болот региона не подвергается прямому антропогенному воздействию. Однако в АО расположены предприятия лесопромышленного и топливно-энергетического комплексов, космодром и ядерный полигон, которые оказывают свое влияние на экологическую обстановку в регионе. Кроме того, через эту территорию проходят воздушные массы, способные принести с собой антропогенные примеси [3] с различных направлений, включая мощные промышленные регионы (Мурманскую и Свердловскую области, Красноярский край и др.), а также страны Европы.

Таким образом, для территории Архангельской области изучение содержания металлов в торфяных отложениях болот – актуальная задача. Это необходимо не только для мониторинга состояния болотных экосистем и контроля атмосферных выпадений примесей, но и для оценки качества и чистоты торфа как сырья для последующей переработки. Ранее авторами было изучено поступление металлов на поверхность болот Архангельской области вследствие атмосферного переноса [3]. Следует отметить, что для территории Архангельской области имеются отдельные исследования, посвященные содержанию металлов в торфяных почвах [4–6]. Наиболее изучен в этом отношении Иласский болотный массив, который является базой для многолетних исследований широкого круга специалистов. Что касается болот Онежского и Мезенского районов области, то публикации по данной тематике отсутствуют.

Цель данной работы заключается в изучении и оценке содержания металлов (Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg) и As в торфяных отложениях трех верховых болот региона и их сравнение между собой.

Материалы и методы исследования

Для исследования выбраны три верховых болотных массива, расположенных на территории Архангельской области – Иласский болотный массив (64°19'43" N, 40°36'45" E), Трофимовское болото (65°52,099' N, 44°15,172' E) и болото Большой Мох (63°49'20.8" N, 38°29'48.5" E). Все

точки отбора находятся в отдалении от промышленных объектов, автотранспортных магистралей, свалок и прочих источников загрязнения металлами.

Иласский болотный массив (ИБМ) – типичное плосковыпуклое олиготрофное болото, расположено в 30 км на юго-юго-западе от г. Архангельска в заболоченной части зоны таежных лесов на водоразделе рек Брусовица, Шухта и Бабя, входящих в бассейн Северной Двины. Болото относится к Прибеломорской болотной провинции. Торфяная залежь сложена в основном сфагновыми мхами с примесью древесины сосны в нижних горизонтах. Степень разложения, оцененная в полевых условиях, не превышает 30% – верхние горизонты отличаются слабым разложением растительных остатков (5–10%), с увеличением по глубине залегания до 25–30%. Подстилающие породы – моренные суглинки и глины. Уровень грунтовых вод в течение полевого сезона изменяется от 0 до -30 см.

Трофимовское болото (ТБ) находится на правом берегу р. Мезень, в Мезенском районе Архангельской области, и представляет собой мелкобугристое олиготрофное болото. Торфяная залежь характеризуется высокой однородностью ботанического состава. Доминируют сфагновые мхи и кустарнички. Степень разложения по всей глубине залежи равномерно увеличивается от 0–5% до 10–15%. Подстилающие породы – озерно-ледниковые и ледниковые пески и супеси. Грунтовые воды выходят на поверхность.

Болото Большой Мох (БМ) расположено вблизи с. Порог в Онежском районе Архангельской области, относится к провинции северо-восточноевропейских сфагновых верховых болот (онежско-печорский тип). На данной стадии развития болотный массив представляет собой плосковыпуклое олиготрофное болото. Профиль торфяной залежи имеет характерное для болот данной провинции строение. Верхний слой (примерно до 1 м) однородный, сложенный сфагновым верховым торфом со степенью разложения не более 10%. В слоях торфа ниже 1 м резко повышается степень разложения до 25–30%, торф переходный с заметным присутствием осоковых и древесных остатков. Далее вниз по профилю он остается переходным однородным по ботсоставу, степень разложения увеличивается до 40–50%. Подстилающие породы – озерно-ледниковые и ледниковые супеси и суглинки. Уровень грунтовых вод близок к дневной поверхности.

Таблица 1

Физико-химические показатели торфяных отложений
трех болотных массивов Архангельской области

Болотный массив	Глубина, см	Влажность, %	Зольность, %	pH _{сол}	pH _{вод}
ИБМ	0–270	93,2 ± 0,7	0,9 ± 0,1	2,9 ± 0,1	4,3 ± 0,1
	270–350	87,9 ± 0,7	1,8 ± 0,8	3,1 ± 0,1	4,3 ± 0,1
ТБ	0–100	90,5 ± 0,7	1,2 ± 0,1	2,6 ± 0,1	3,8 ± 0,1
	100–150	88,8 ± 0,7	1,1 ± 0,1	2,7 ± 0,1	3,8 ± 0,1
БМ	0–110	90,3 ± 0,7	1,1 ± 0,1	2,6 ± 0,1	3,9 ± 0,1
	110–180	87,6 ± 0,7	7,8 ± 1,5	3,1 ± 0,1	4,4 ± 0,1
	180–300	84,9 ± 0,7	21,9 ± 0,9	4,3 ± 0,1	5,4 ± 0,1

Пробы торфа отбирали в летний полевой сезон 2019–2021 гг. торфяным буром, а затем визуально разделяли на однородные слои (торф одинакового цвета, структуры и консистенции составляет один слой). Перед анализом на содержание металлов образцы предварительно высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм. Анализ проводили в аккредитованной лаборатории ФГБУ САС «Архангельская» по утвержденным методикам [7, 8]. Для определения концентраций Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg применяли атомно-абсорбционный метод, для As – фотометрический. Определение влажности и зольности торфа проводили по стандартным методикам [9, 10], активной (pH_{вод}) и обменной кислотности (pH_{сол}) – согласно [11].

Результаты исследования и их обсуждение

Естественная влажность исследованных торфяных отложений колеблется в пределах 85–93 % и закономерно уменьшается с глубиной (табл. 1). Торф Иласского болотного массива и Трофимовского болота как в верхних, так и нижних горизонтах малозольный (зольность не превышает 2 %) с характерной для верховых торфяников сильноокислой реакцией среды. Верхний горизонт торфа, отобранный на болоте Большой Мох, имеет сходные характеристики, тогда как нижние горизонты обладают большей зольностью (более 20 %), а значения pH несколько смещены в нейтральную область, что свойственно торфу переходного типа (табл. 1).

Таким образом, различия в физико-химических показателях наблюдаются только в нижних горизонтах торфа болота Большой Мох, которое ранее было переходным, а в настоящий момент находится в стадии верхового болота.

Количество металлов и их распределение в торфе трех болотных массивов по глубине залегания неодинаково (рис. 1, 2). В торфяных отложениях болот ИБМ и БМ в наибольшем количестве обнаружены Ni, Zn, Cu и Cr. Отметим, что содержание Ni в торфе БМ равномерно по профилю залежи (варьируется от 12,7 до 14,4 мг/кг), в то время как количества Zn, Cu и Cr резко увеличиваются в нижних горизонтах и становятся сопоставимы с содержанием Ni. Характерно также то, что, независимо от глубины залегания торфа, количество Ni преобладает, хоть и незначительно, над содержанием других элементов. Кроме того, для торфов ИБМ и БМ отмечается тенденция увеличения концентраций металлов с глубиной залегания (рис. 1, а, б). В целом концентрации всех элементов в торфе БМ несколько выше, чем в торфе ИБМ, однако сопоставимы между собой.

Содержание Co, Pb, Cd, Hg и As значительно ниже, чем вышеупомянутых элементов. Например, по всему профилю залежи торфа ИБМ концентрации Cd ниже предела обнаружения (0,01 мг/кг), а количество Hg не превышает 0,03 мг/кг. Следовые количества Cd обнаружены в верхних горизонтах торфа БМ, а концентрация Hg не превышает 0,04 мг/кг по всему профилю залежи. Содержание Pb и As в торфе БМ несколько выше, чем в торфе ИБМ. Максимальные концентрации этих элементов характерны для нижних горизонтов торфа БМ, и составляют 2,2 мг/кг и 1,0 мг/кг соответственно, в то время как в торфе ИБМ содержание Pb не превышает 0,6 мг/кг (в нижних горизонтах значения ниже предела обнаружения – 0,1 мг/кг), а As – 0,2 мг/кг по всему профилю залежи. Максимальные концентрации Co отмечены для нижнего горизонта торфа БМ – 2,8 мг/кг, тогда как в торфе ИБМ не более 1,7 мг/кг (рис. 1, а, б).

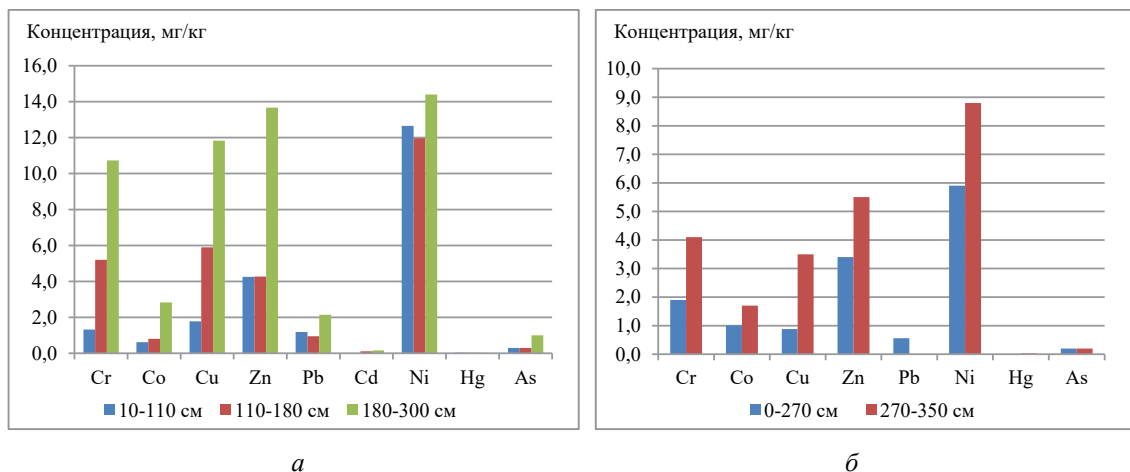


Рис. 1. Содержание металлов в торфе болот Большой Мох (а) и Иласское (б)

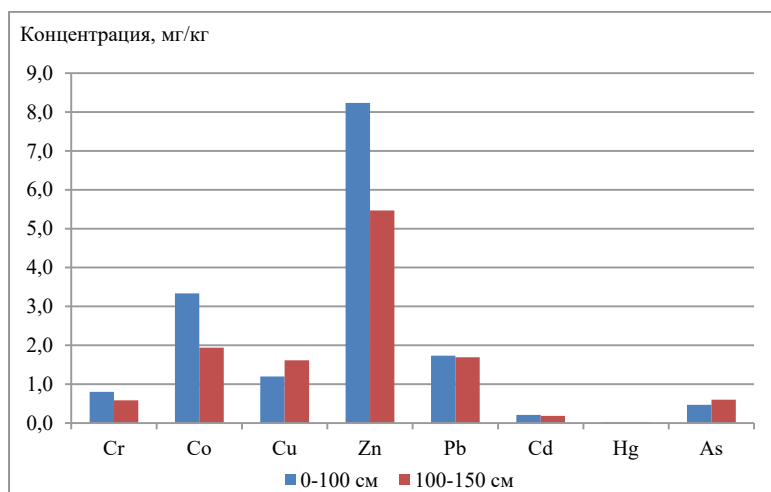


Рис. 2. Содержание металлов в торфе Трофимовского болота

Тенденции накопления металлов в торфяных отложениях ТБ отличаются от двух других исследованных болот. Практически для всех элементов прослеживается уменьшение концентраций с глубиной. Кроме того, в торфе ТБ концентрации Ni на порядок превышают его содержание в торфе двух других: концентрация на глубине до 1 м – 190,0 мг/кг; на глубине 1–1,5 м – 108,0 мг/кг. Эти значения сопоставимы с концентрациями Ni в почвах Северодвинского промышленного района, обнаруженных в 2007 г. [4]. Содержание остальных элементов в торфе ТБ сопоставимо с величинами, наблюдаемыми для двух других изученных болот. Наибольшие концентрации (помимо Ni) отмечены для Zn и Co (рис. 2).

Сравнение полученных нами результатов с данными других авторов показывает, что в целом значения концентраций металлов

сопоставимы, а скачки концентраций элементов могут быть вызваны локальным загрязнением, поступающим от близлежащих промышленных объектов с атмосферными потоками или иными путями. В табл. 2 приведены максимальные зарегистрированные концентрации металлов (в мг/кг) в торфе болот Архангельской и Псковской областей (ПО), полученные нами и другими авторами.

Для оценки экологической опасности загрязнения окружающей среды используют несколько основных эталонов сравнения – предельно допустимые концентрации (ПДК), ориентировочно допустимые концентрации (ОДК), фоновые значения и кларки элементов в земной коре. Показатели ПДК и ОДК разработаны лишь для некоторых компонентов окружающей среды (воздух, вода, почва) и, к сожалению, неприменимы для торфяных залежей.

Таблица 2

Сравнение полученных результатов с данными других авторов

Регион, болотный массив	Cr	Co	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Hg	As
АО, ИБМ [наши данные]	4,1	1,7	3,5	5,5	0,6	<0,01	8,8	0,03	0,2
АО, БМ [наши данные]	10,7	2,8	11,8	13,7	2,2	0,2	14,4	0,04	1,0
АО, ТБ [наши данные]	0,8	3,3	1,6	8,2	1,7	0,2	190,0	0,02	0,6
АО, ИБМ [6]	1,9	0,7	3,9	24,0	5,0	0,1	1,9	0,06	3,2
АО, Черноозерская площадь [5]	28,1	1,1	4,0	40,7	7,1	0,3	2,5	–	0,3
АО, болото близ п. Рикасиха [5]	150,0	2,2	4,7	36,2	21,0	0,1	6,1	–	0,3
АО, почвы Северодвинского промышленного района* [4]	400,0	–	20,0	60,0	30,0	–	150,0	–	–
ПО, верховое болото [12]	–	–	4,1	11,0	0,8	1,8	7,1	–	–

*Концентрации зарегистрированы в 2007 г.

Таблица 3

Кларки металлов в земной коре, мг/кг [13]

Эл-т	А.П. Виноградов (1962)	А.А. Беус и др. (1976)	S.R. Taylor, S.M. McLennan (1985)	S. Gao et al. (1998)	R.L. Rudnick, S. Gao (2003)
Cr	83	34	35	80	92
Co	18	7,3	10	17	17,3
Cu	47	22	25	32	28
Zn	83	51	71	70	67
Pb	16	16	20	18	17
Cd	0,13	0,16	0,098	0,079	0,090
Ni	58	26	20	38	47
Hg	0,083	0,033	–	0,0123	0,05
As	1,7	1,9	1,5	4,4	4,8

Сравнение полученных результатов с фоновыми значениями также проблематично, поскольку все пробы были отобраны в местах, далеких от промышленных объектов и других возможных источников загрязнения, поэтому все пробы можно считать фоновыми для того или иного района области. В работе [13] автор обобщил данные отечественной и зарубежной литературы по кларкам химических элементов в земной коре и показал, что оценка содержания элементов сильно различается у разных авторов. Для удобства обсуждения в табл. 3 приведена выборка из источника [13] применительно к металлам, определявшимся в исследованных образцах торфа. При сравнении полученных результатов с данными табл. 3 можно сказать, что концентрации почти всех элементов, за исключением Cd, Hg и, конечно, Ni значительно ниже их кларков в земной коре. Для Cd и Hg значения кларков, предложенные некоторыми авторами, ниже или равны полученным нами данным.

Что касается Ni, то высокие концентрации этого элемента с большой долей

вероятности являются следствием антропогенного воздействия или геохимической аномалии. Тем не менее отметим, что на территории Трофимовского болота многолетних наблюдений не проводили (торф был отобран только в 2021 г.), поэтому для подтверждения антропогенного влияния или других причин накопления этого элемента необходимы многолетние разносторонние исследования.

Заключение

Торфяные отложения Иласского (Приморский район АО) и Трофимовского болот (Мезенский район АО), а также верхний горизонт болота Большой Мох (Онежский район АО) характеризуются низкой зольностью и сильноокислой реакцией среды, что типично для верхового торфа. Нижние горизонты торфа болота Большой Мох по физико-химическим показателям соответствуют переходному типу.

Анализ торфяных профилей болот на содержание металлов показал, что основным поллютантом является никель, что особенно ярко выражено для Трофимовского боло-

та – его концентрация в торфяном профиле на порядок превышает его содержание в торфе двух других болот, а также концентрации других элементов. С большой долей вероятности такой результат является следствием антропогенного воздействия или геохимической аномалии. Тем не менее отметим, что для подтверждения антропогенного влияния или других причин накопления этого элемента необходимы дополнительные многолетние исследования.

Помимо никеля отмечается значительное содержание в торфе Zn, Cu и Cr. Для болот Приморского и Онежского районов характерно увеличение концентрации металлов с глубиной залегания торфа, в то время как для болота Мезенского района прослеживается обратная тенденция. Концентрации Co, Pb, Cd, Hg и As относительно невысоки и сопоставимы для трех болот.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90037 «Влияние геоэкологических факторов на свойства торфяных отложений Архангельской области (в пределах Арктической зоны)».

Список литературы

1. Водяницкий Ю.Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами // *Агрохимия*. 2013. № 9. С. 88–96.
2. Сафронова И.Н., Юрковская Т.К. Зональные закономерности растительности покрова равнин Европейской России и их отображение на карте // *Ботанический журнал*. 2015. № 11. С. 1121–1142. DOI: 10.1134/S0006813615110010.
3. Татаринцева В.Г., Котова Е.И. Аэротехногенное загрязнение водно-болотных объектов водосбора Белого моря (на примере Архангельской области) // *Географический вестник*. 2021. № 2 (57). С. 135–150. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-135-150.
4. Зыкова Е.Н., Зыков С.Б., Яковлев Е.Ю., Ларионов Н.С. Сравнительно-временной анализ содержания тяжелых металлов в аномальных зонах почв Северодвинского промышленного района // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 8. С. 130–135.
5. Яковлев Е.Ю., Дружинина А.С., Дружинин С.В., Бедрина Д.Д., Орлов А.С., Спиридов Р.К., Мищенко Е.В., Жуковская Е.В. Оценка физико-химических параметров и распределения металлов в верховом болоте Архангельской области // *Успехи современного естествознания*. 2020. № 5. С. 115–120. DOI: 10.17513/use.37401.
6. Сыпалов С.А., Кожевников А.Ю., Иванченко Н.Л., Попова Ю.А., Соболев Н.А. Оценка загрязнения торфа некоторыми тяжелыми металлами в зависимости от глубины залегания // *Химия твердого топлива*. 2020. № 1. С. 38–42. DOI: 10.31857/S0023117720010107.
7. Методические указания по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом. М.: ЦИНАО, 1993. 13 с.
8. ФР.1.31.2012.13573 «Методика измерений массовых долей токсичных металлов в пробах почв атомно-абсорбционным методом». ОАО «Союзцветметавтоматика», Свидетельство об аттестации № 222.0195/01.00258/2012.
9. ГОСТ 11305-83. Торф. Методы определения влаги. М.: Изд-во стандартов, 1983. 9 с.
10. ГОСТ 11306-2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. М.: Росстандарт, 2015. 8 с.
11. ГОСТ 11623-89. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения обменной и активной кислотности. М.: Изд-во стандартов, 1990. 6 с.
12. Федоров Ю.А., Минкина Т.М., Шипкова Г.В. Тяжелые металлы в ландшафтах верховых болот Псковской области // *География и природные ресурсы*. 2017. № 2. С. 46–55. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(46-55).
13. Касимов Н.С., Власов Д.В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // *Вестник Московского университета. Сер. 5. География*. 2015. № 2. С. 7–17.

СТАТЬИ

УДК 552.086

**МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
БИМОДАЛЬНОЙ ТРАХИПИКРОБАЗАЛЬТ-ТРАХИТОВОЙ СЕРИИ
ВУЛКАНИТОВ САРАЛИНСКОГО ГРАБЕН-РИФТА
(КУЗНЕЦКИЙ АЛАТАУ)**

Гринёв О.М., Адылбаев Р.Р., Семиряков А.С., Морозова Е.Н., Гринёв Р.О.
*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
Томск, e-mail: tomskgrom@yandex.ru*

В работе представлены результаты исследований авторов, обосновывающих выделение основных разновидностей девонских вулканитов трахипикробазальт-трахитовой серии и слагаемых ими морфоструктур Саралинского грабен-рифта. Среди вулканитов установлены: трахипикробазальты, габбродолериты, порфировые базальты, гломеропорфировые трахибазальты, а также порфировые фонотефриты, трахиты и трахидациты. В составе базальтов установлены также метабазальты, как результат проявления поздне-постмагматической пропилитизации. По результатам исследования установлено, что нижняя часть разреза вулканитов, составляющая около $\frac{3}{4}$ всего разреза, сложена грубо ритмичной толщей трахипикробазальтов, трахибазальтов, образующих плато в основании разреза. Выше располагаются индивидуализированные вулcano-тектонические морфоструктуры (ВТМ) дифференцированных базальтов средне- и мелкоритмичного строения с прослоями и линзами туфов и туфогенно-терригенных маломощных пород. ВТМ базальтов перекрываются фонотефрит-трахит-трахидацитовой толщей, представленной рядом разрозненных и разновеликих полей экструзивного типа, которые на водоразделе хр. г. Лысой сливаются в единое экструзивно-лаваовое поле. Детальное изучение каменных материалов, а также полевое исследование разрезов грабена позволило наметить основные черты строения частных ВТМ грабена, их петрографический состав и положение в них пропилитов и связанных с ними кварцевых жил. В ходе петро-геохимического, а также электронно-микроскопического изучения вулканитов установлена их редкоземельно-редкометалльная и благороднометалльная специализация в виде многочисленных включений самородных металлов и их сплавов. Обилие микровключений сульфидов, сплавов Cu, Ni, Sn, Zn, Fe, Sb, а также самородных Sn, Fe, Ag со следами присутствия в них ЭПГ указывают на повышенную благороднометалльную специализацию вулканитов грабена и подтверждают полученные ранее геохимические данные на этот счёт. Расположение микровключений базитов в фенокристаллах, основной массе и миндалинах пород подтверждает их мантийное происхождение и перераспределение в ходе наложенных преобразований.

Ключевые слова: трахипикробазальт-трахитовая серия, Саралинский грабен, Кузнецкий Алатау, Алтай-Саянская складчатая область, растровая электронная микроскопия, пропилитизация

**MINERALOGICAL AND PETROGRAPHIC FEATURES
OF THE BIMODAL TRACHIPYCROBASALT-TRACHYTE
VOLCANITE SERIES OF THE SARALINSKY GRABEN-RIFT
(KUZNETSKY ALATAU)**

Grinev O.M., Adylbaev R.R., Semiryakov A.S., Morozova E.N., Grinev R.O.
National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: tomskgrom@yandex.ru

The paper presents the results of the authors' studies, substantiating the identification of the main varieties of Devonian volcanics of the trachypicrobasalt-trachyte series and the morphostructures of the Saralin graben rift that they compose. Among the volcanic rocks, trachypicrobasalts, gabbrodolerites, porphyritic basalts, glomeroporphyritic trachybasalts, as well as porphyritic phonotephrites, trachytes, and trachydacites have been established. The basalts also contain metabasalts as a result of late postmagmatic propylitization. According to the results of the study, it was found that the lower part of the volcanic section, which makes up about $\frac{3}{4}$ of the entire section, is composed of a roughly rhythmic sequence of trachypicrobasalts, trachybasalts, which form a plateau at the base of the section. Above are individualized volcano-tectonic morphostructures (VTM) of differentiated basalts of medium and fine rhythmic structure with interlayers and lenses of tuffs and tuffaceous-terriгенous thin rocks. The VTMs of basalts are overlain by a phonotephrite-trachyte-trachydacite sequence, represented by a number of scattered and different-sized fields of an extrusive type, which are located on the watershed of the ridge. Lysoy merge into a single extrusive lava field. A detailed study of stone materials, as well as a field study of graben sections, made it possible to outline the main features of the structure of partial VTMs of the graben, their petrographic composition and the position of propylites and associated quartz veins in them. In the course of petro-geochemical, as well as electron-microscopic study of volcanics, their rare-earth-rare-metal and noble-metal specialization in the form of numerous inclusions of native metals and their alloys was established. The abundance of microinclusions of sulfides, alloys of Cu, Ni, Sn, Zn, Fe, Sb, as well as native Sn, Fe, Ag with traces of the presence of PGE in them, indicate an increased noble metal specialization of graben volcanics and confirm the previously obtained geochemical data on this matter. The location of mafic microinclusions in phenocrystals, groundmass, and rock amygdulites confirms their mantle origin and redistribution during superimposed transformations.

Keywords: trachypicrobasalt-trachyte series, Saralin graben, Kuznetsk Alatau, Altai-Sayan folded region, scanning electron microscopy, propylitization

Саралинский грабен-рифт является наиболее крупным в пределах Кузнецко-Алатауского горстообразного поднятия, обрамляющего Минусинский прогиб, представляющий самую крупную депрессию осевой депрессионной зоны Алтае-Саянского палеорифта (рис. 1). Он имеет непосредственную связь с Северо-Минусинской впадиной и сходство разреза со стратотипическим Матарак-Шунетским разрезом раннего девона Минусинской зоны [1]. А в пределах обрамляющего Минусу Кузнецко-Алатауского поднятия палеорифта он входит в закономерно расположенный структурный ряд однотипной серии грабенов северной части Кузнецкого Алатау. Грабены кулисно расположены относительно друг друга и трассируют серию субмеридиональных разломов-ответвлений от Кузнецко-Алатауского линейного с расположенными в них фрагментами офиолитов. К грабенам (Саралинскому, Растайскому, Талановскому) приурочен ряд щёлочно-габброидных плутонов Кузнецкого Алатау, в совокупности с которыми они формируют раннедевонскую вулканоплутоническую ассоциацию [1, 2].

На первоначальных этапах изучения вулканитов грабена среди основных членов бимодальной серии были установлены промежуточные разновидности, занимающие на TAS-диаграммах поля трахиандезитов, андезибазальтов [1, 3]. Более детальное изучение характера смены базальтов трахитами в обнажениях позволило установить резкий переход между этими контрастными по составу членами единой серии. Вместе с тем в ряде мест среди базальтовых разновидностей были установлены под микроскопом метабазальты, как раз занимающие на TAS диаграмме промежуточное положение между контрастными членами серии. Наличие этих образований обусловлено проявлением поздне- и постмагматических гидротермально-метасоматических процессов типа пропилитизации, особенно интенсивно проявленных в низах разрезов морфоструктур базальтоидов.

Более того, в дополнительно изученном широтном разрезе (в крест простирания грабена) по р. Левая Сарала, вскрывающем четыре вулканических ритма базальтовых излияний, в нижней его части наряду с пропилитами установлена серия кварцевых жил, имеющих послойно-сколовый характер. Эти материалы потребовали дополнительного изучения вулканитов для более точного выяснения состава как первичных

пород, так и их пропилитизированных разновидностей. Это тем более важно по причине того, что в ходе предыдущих исследований в вулканитах методом ИСР были установлены повышенные (до промышленных) концентрации благородных металлов.

Цель исследования заключается в уточнении минералого-петрографических и геохимических особенностей вулканитов грабена и их пропилитизированных разновидностей с целью выявления природы благороднометалльной специализации этих пород.

Материалы и методы исследования

Каменный материал был получен в ходе геологических экспедиций 2017–2021 гг. Представительные образцы неизмененных и измененных пород были тщательно изучены под микроскопом, в шлифах, а также геохимически (РФА, ИСР-МС) и под растровым электронным микроскопом (РЭМом) в режиме картирования методом энергодисперсионного микроанализатора (ЕДС) в ЦКП «Геохимия природных систем» ТГУ ГГФ.

В ходе анализа фиксировался состав всех минеральных фаз составных компонентов вулканитов: основной массы, миндалин, наложенных минералов, а также их микровключений. Результаты исследований отражались в цифровых таблицах состава минералов и включений, геохимических спектрах и микрофотографиях.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные черты стратиграфии терригенно-вулканогенной толщи грабена. Относительно изученной является северная, наиболее широкая, часть грабена протяженностью около 40 км при ширине от 7 до 14 км. Вместе с южной суженной частью длина грабена составляет около 120 км. В общих чертах у грабена выделяется его базальная сероцветно-красноцветная толща, именуемая устькундустуюльской свитой (аналог красногорской свиты Кузнецкого Алатау). Датирована по находкам нижнедевонской флоры. Толща вскрыта эрозией в Юго-Западной прибортовой части северной половины грабена. Слагается главным образом массивно слоистыми конгломератами, песчаниками, подстилаемыми тонкослоистыми сероцветными известковистыми аргиллитами с включениями грубообломочного материала. Мощность толщи, вскрытой эрозией, изменяется от первых сотен метров до выклинивания. Толща трансгрессивно залегает на складчатых сооружениях R-V-С.

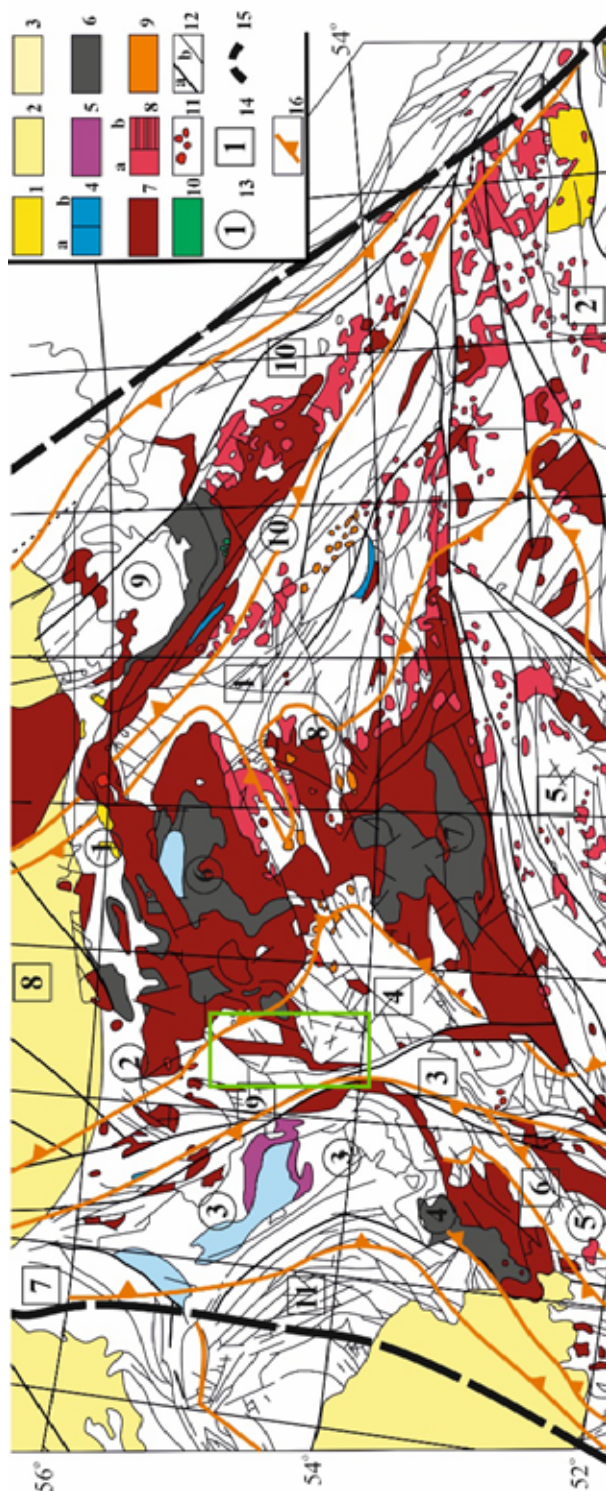


Рис. 1. Фрагмент структурно-тектонической карты девонско-каменноугольного этапа развития Алтае-Саянской складчатой области (АССО) и прилегающих территорий Западной Сибири и Монгольского Алтая. Составлена на основе [1] с дополнениями.

Стратифицированные отложения: 1 – рыхлые нерасчлененные неоген-четвертичные отложения межгорных и прегорных впадин; 2 – рыхлые миоцено-плиоценовые отложения Барнаульской впадины и осадочного чехла Западно-Сибирской плиты; 3 – меловые отложения чехла Западно-Сибирской плиты; 4 – юрские отложения осадочного чехла Западно-Сибирской плиты и мультисистемных впадин АССО (а) и юрские отложения грабенообразных впадин АССО (б); 5 – триасовые отложения Кузнецкого прогиба; 6 – каменноугольные отложения внутренних частей девонских впадин; 7 – девонские отложения стратифицированных тектонических депрессионных структур АССО и прилегающих частей Западной Сибири и Монгольского Алтая. Интрузивно-субвулканические образования девона – карбона: 8 – ранне-палеозойские гранитно-гнейсовые тела гранитно-гнейсового состава (а) и верхнедевонско-ранне-каменноугольные тела гранодиоритов-плагиигранитов (б); 9 – среднедевонские тела доломитов, габбро, сиенитов, щелочных и нефелиновых сиенитов, граносиенитов; 10 – субвулканические тела ранне-среднедевонских базальт-риолитового баянкольского комплекса, черносопкинского комплекса и верхнедевонско-раннекаменноугольного торсалыкского (габбро-диабазы, габбро, сиенит- и гранит-порфиры) комплекса; 11 – массивы щелочных нефелиновых и лейцит-кальциитовых пород г. Сокол, Сангилен и Прихубсугуля; 12 – разрывные нарушения: разломы первого и второго порядков (а); разломы третьего и четвертого порядков (б); 13 – названия структурно-сегментационных структур: 1 – Солгонское и 2 – Горячегорское плато, 3 – Кузнецкий прогиб, 4 – Тельбесский прогиб, 5 – Лебедский прогиб, 6 – Северо-Минусинская и 7 – Южно-Минусинская впадины, 8 – Сыдо-Ербинская, 9 – Рыбинская, 10 – Агурской грабен; 14 – названия горстобразных структур обрамляющих поднятий: 1 – Восточный Саян (Кембросаян), 2 – Восточная Тува, 3 – Горно-Шорский блок, 4 – Батенёвский кряж, 5 – Западный Саян, 6 – Кобинский блок, 7 – Кольвань-Томская область герцинид, 8 – Приалтае-Саянский пояс садирид-каледонид, 9 – Северная часть Кузнецкого Алатау, 10 – Восточный Саян (Протеросаян), 11 – Салаир; 15 – контуры плом-рифтогенной системы; 16 – контуры депрессионных зон и обрамляющих поднятий. Зелёный прямоугольник – Саралинский грабен

Выше залегает непрерывная ритмично построенная толща базальтов с маломощными прослойками терригенно-туфогенных пород. Мощность толщи достоверно не установлена. Её нижняя часть, кроме юго-западной прибортовой зоны, эрозией не вскрыта. Строение разреза базальтов установлено для вскрытой эрозией части. Общее представление о нижней части разреза вулканитов даёт разрез, составленный В.П. Болтухиным (1972), опубликованный в [4]. Он хорошо демонстрирует ритмичное, куэстообразное наложение вулканитов вдоль р. Правая Сарала. Интерпретация диагонального разреза В.П. Болтухина с соавт. (1972) показывает, что в его составе выделяется 9 вулканических ритмов, два из которых (первый и седьмой) имели мощность в пределах 340–360 м, а остальные – от 80–140 до 200 м.

Общая их мощность по графическим построениям составляет в пределах 1660 м, без учета эрозионного среза и возможности дальнейшего наращивания разреза в северо-восточном направлении.

Эта часть разреза параллелизуется с базырской свитой Горячегогорского разреза В.Н. Маркова и др. (1984). А.Н. Уваров коррелирует её с нерасчленённой частью базырско-берешских субщелочных и нефелиновых вулканитов Горячегогорского плато [3].

Проведенный нами морфоструктурный анализ современного рельефа северной по-

ловины грабена показал, что в качестве стратиграфически единой толщи вулканитов, заливавших скорее всего озерный бассейн с расчлененным основанием дна, можно рассматривать лишь нижнюю часть базальтовой толщи, образовавшей своеобразное плато. В дальнейшем на этом плато формировались частные и полуслившиеся вулканотектонические морфоструктуры (ВТМ). Представление об их строении даёт разрез, составленный по р. Левая Сарала (рис. 2). В этом разрезе мы видим так же ритмичное наложение вулканитов с общей мощностью ритма около 80–90 м, состоящего из подритмов, мощностью около 20 м. Этот ритм перекрывается мощной пачкой туфобрекчий, афировых базальтов и туфопесчаников, мощностью до 25 м, которые, возможно, будут использоваться для расчленения более высоких по разрезу горизонтов вулканитов. В нижней части этого разреза были установлены зоны пропилитизации и кварцевые жилы послойно-секущей сложной морфологии.

Подритмы (или пачки) вулканитов ритмов содержат в своем составе серии потоков (от 3 до 7), каждый из которых имеет миндалекаменные оторочки и верхние шлаково-брекчиевые туфо-лавовые зоны. Наиболее мощные ритмы (200–360 м), по-видимому, формировали лавовые озёра или сопровождалась внедрениями силлов габбро-долеритов.

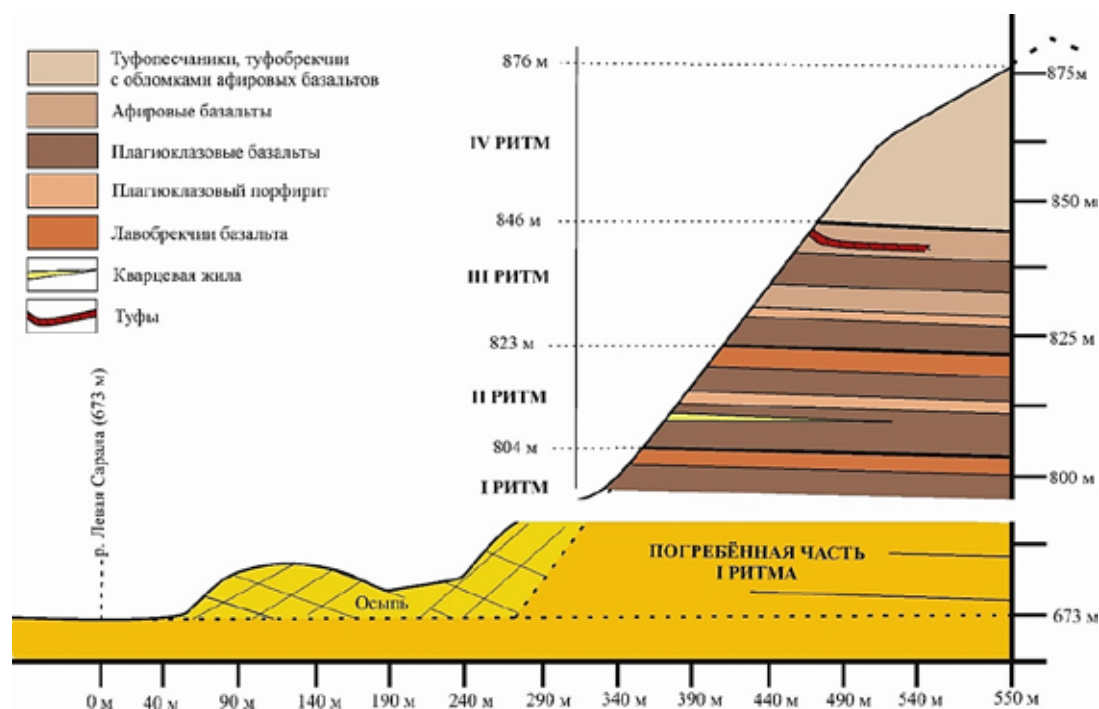


Рис. 2. Схематический разрез левого борта р. Левая Сарала Саралинского грабена

В некоторых ВТМ северной половины грабена эрозией вскрыты штокообразные тела тералитов с площадью от долей до 1–2 км² (в верховьях рек Андриюшкина речка и Лапинская).

Верхняя часть вулканогенного разреза грабена представлена трахитами и трахидацитами. Эти породы венчают базальтовые накопления ВТМ в виде эрозионных останцов округлой и неправильной формы в пределах водораздельной части хр. г. Лысой. Площадь их варьирует от 1–2 до 3–5 км². Они образуют своеобразный ореол останцов в междуречье рек Левая Сарала – Юзек, окружающих основное поле трахитов-трахидацитов, расположенное в верхней части хр. г. Лысая размерами 20х2–4 км. Верхние части этого поля и некоторых останцов трахитов А.Н. Уваров отнес к аналогам ашпанской толщи Горячегогорского плато [3]. У некоторых останцов эрозии трахитов установлены эруптивные подводящие каналы. Тогда как основное тело их представляет собой слившиеся поля близко расположенных ВТМ базальтового состава. В нижних частях разрезов трахиты обладают ритмично-полосчатыми текстурами типа выдержанной флюидалности и расслоенности, по-видимому, указывающими на их субвулканическое происхождение. Верхняя часть разреза сложена продуктами эруптивных извержений и образует мелкообломочные звенящие каменные осыпи на склонах хр. г. Лысой. Иногда в субвулканических образованиях трахитов наблюдаются их эруптивные брекчии, сцементированные ярко-красными стекловидными яшмоидами. Мощность толщи трахитов-трахидацитов может составлять около 400–500 м, без учета их эрозионного среза.

Особенности тектоники грабена и влияющих его вулканитов. В первом приближении строение терригенно-вулканогенных толщ представляется довольно простым. Они характеризуются моноклинальным залеганием, подчеркиваемым куэстообразным типом рельефа, отражающим ритмичное строение вулканитов. Простираание толщ север-северо-западное, реже северо-западное и запад-северо-западное под углами падения 25–40°, редко 15°.

Примерно посредине грабена в районе н.п. Подвинск предшественниками откартирована пологая синклинали складка, выполненная в замковой части мелкоритмичными дифференцированными трахибазальтами, слагающими Жунделевскую (Подвинскую) ВТМ. Морфоструктура наложена

на деформированную платобазальтовую толщу грабена и перекрывается двумя останцами экструзивных трахитов. Общее строение вулканитов северной части грабена позволяет предположить, что подобные складки присутствуют и севернее Подвинска. То есть по простираанию платобазальтовая толща как бы сгофрирована в серию пологих складок. Южная, суживающаяся по простираанию половина грабена устроена значительно проще и представляет собой непрерывную серию куэстообразных гряд, сменяющих друг друга в южном направлении.

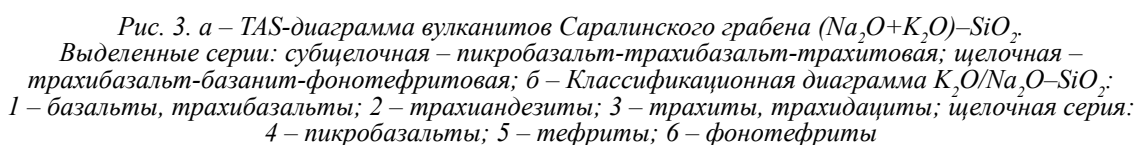
Бортовые зоны грабена имеют разломный характер. В основном контакты стратифицированных толщ грабена сорваны протяженными субмеридиональными разломами, но в отдельных блоках эрозией вскрыты первичные трансгрессивные контакты терригенных и вулканических толщ с подстилающими додевонскими дислоцированными породами.

Западный борт грабена приподнят в рельефе до отметок 800–1000 абс. м, а восточный опущен до высотных отметок 700–800. Разломная система восточного борта более сложная, осложненная дополнительными нарушениями. Внутренняя зона вулканогенных толщ в разной степени разбита равномерной системой субширотных ветвящихся разломов, расходящихся под углом от 80 до 60°. Наиболее ярко проявленной подобной структурой, с глубоким уровнем эрозионного среза, являются разломы р. Правая и Левая Сарала, сопряженная с прибортовым субмеридиональным разломом.

В первом приближении и в поперечном сечении толщ вулканитов грабенов напоминает структуру кинг-бенд с приподнятым западным и опущенным восточным флангами. Ветвящиеся разломы имеют сколовый характер.

Петрографический и петрохимический состав вулканитов грабена. Среди основных разновидностей вулканитов грабена выделены: пойкилоофитовые габбродолериты, миндалекаменные порфиновые базальты и гломеропорфиновые трахибазальты, а также порфиновый фонотэфрит, трахиты и трахидациты. В составе базальтоидных разновидностей установлены порфиновые metabазальты как результат проявления поздней- и постмагматической пропилитизации.

По результатам петрографических исследований установлено, что магматиты грабена представлены доминирующими вулканитами, а также несколькими плутонами и дайками субщелочного и щелочного рядов.



Базальтовые разновидности вулканитов сложены: оливином, титан-авгитом (фассаитом), амфиболами, реже биотитом, плагиоклазами (основного среднего состава), альбитом и примесью КППШ. Трахиты, трахидациты слагаются средним – кислым плагиоклазом, калишпатом, кварцем, реже эгирином и реликтами оливина. Породы постоянно содержат акцессорную минерализацию в качестве ильменита, титаномagnetита, магнетита. В трахитах-трахидацитах периодически отмечается незначительное количество рутила. Стоит отметить, что содержание рудных аксессуаров в основных вулканитах составляет от 5 до 10, а иногда и 15 %. Акцессорные минералы в основном представлены апатитом, карбонатами РЗЭ, фосфатами РЗЭ, флюоритом, цирконом, бадделейтом. Во всех разновидностях установлены многочисленные микровключения самородных металлов и сплавов как в порфировых выделениях, основной массе, так и в миндаликах.

Минералогический состав разновидностей
 трахипикробазальт-трахитовой серии Саралинского грабена

Классификация минералов		Порода	Базальты			Метабазальты		Трахиты-трахидациты		
			Массивный, пойкило-офитовый габбро-долерит (3 шлифа)	Миндалекаменный, порфировый базальт (6 шлифов)	Миндалекаменный, гломеропорфировый трахибазальт (3 шлифа)	Массивны порфировый метабазальт (4 шлифа)	Миндалекаменный, порфировый метабазальт-трахиандезит (6 шлифов)	Массивный, порфировый фонотэфрит (1 шлиф)	Массивный, пилотакситовый трахит (7 шлифов)	Массивный порфировый, трахидацит (9 шлифов)
Породообраз.	Меланократ.	Минерал								
		*Оливин	•	•	•		•			•
		Ti-авгит	•	•	•	•	•			
		Эгирин							•	
		Роговая обманка	•	•						•
		Гедрит					•	•		•
	Лейко-кратов	Куммингтонит	•							
		Биотит		•			•			
		Лабрадор	•	•		•				
		Альбит				•	•	•		•
		КПШ	•		•				•	
		Ортоклаз					•	•	•	•
Рудные окислы		Кварц						•	•	•
		Ильменит	•	•		•	•			•
		Ti-магнетит	•	•			•	•	•	•
		Магнетит		•	•	•	•	•	•	•
Акцессорные		Рутил							•	•
		Карбонат P3Э			•					
		Фосфат P3Э			•					
		Полуторная окись церия							•	
		Апатит	•	*•	*•	•	•	•		•
		Флюорит								•
		Циркон	•					•	•	
		Бадделеит						•		
Самородные элементы и сплавы		Олово			•		•			
		Серебро	•	•			•		•	
		Медь		•						
		Железо		•		•	•			
		Cu-Zn	•		•					
		Cu-Ni		•			•			
		Cu-Sn	•							
		Cu-Sn-Sb	•	•						
		Fe-Zn		•						
		Fe-Cr-Ni	•	•						
		Fe-Cu	•							
		Fe-Ni-Cu	•	•			•			
		Ni-Cu-Sn, Hg	•				•			
		Ag с Pd, Ru		•					•	
Сульфиды		Галенит	•	•						
		Халькопирит	•					•		
		Пирит	•							
		Сфалерит	•							
		Ковеллин		•						
		Халькоцит		•			•			

Окончание табл.

Классификация минералов	Порода	Базальты			Метабазальты		Трахиты-трахидациты		
	Минерал	Массивный, пойкило-офитовый габбро-долерит (3 шлифа)	Миндалекаменный, порфировый базальт (6 шлифов)	Миндалекаменный, гломеропорфировый трахибазальт (3 шлифа)	Массивны порфировый метабазальт (4 шлифа)	Миндалекаменный, порфировый метабазальт-трахиандезит (6 шлифов)	Массивный, порфировый фенотектит (1 шлиф)	Массивный, пилотакситовый трахит (7 шлифов)	Массивный порфировый, трахидацит (9 шлифов)
Вторичные	Альбит	•	•						
	Кальцит		•	•	•				•
	Хлорит	* •	•	•	* •	* •	* •	* •	* •
	Эпидот	•				•			
	Иллит		•						
	Мусковит					•			
	Титанит		•	•		•			•
	Кварц	•	•	•	•	•			
	Анальцит	•							
	Барит						•	•	•
	Охотскит								•
	Пренит					•			
	Родохрозит								•

Примечание: * – наличие минералов установлено при изучении пород в шлифах

Элементный набор представлен включениями: Sn, Ag, Cu, Fe, Cu–Zn, Cu–Ni, Cu–Sn, Cu–Sn–Sb, Fe–Zn, Fe–Cr–Ni, Fe–Cu, Fe–Ni–Cu, Ni–Cu–Sn (+Hg), Ag с примесью Pd, Ru, Rh, а также сульфидами – галенитом, пиритом, сфалеритом, ковеллином, халькоцитом, халькопиритом. Все сульфиды преимущественно сосредоточены в вулканитах базальтовой разновидности за исключением последнего. Основными вторичными минералами, развитыми по породам, являются: альбит (исключительно базальтовые разновидности), хлорит, мусковит, кварц, титанит, анальцит, барит (трахитовые разновидности), родохрозит и охотскит (третья находка в мире). Интенсивность вторичных изменений различна, участками интенсивная вплоть до формирования кварцевых жил, пропитов и метабазальтов, специализированных на благородные металлы.

Геохимический состав вулканических серий. Содержания микроэлементов в установленных сериях пород на геохимическом уровне отражают особенности процессов дифференциации исходных магм, отчетливо проявленные на петрохимическом уровне, а также их геохимическую специфику.

Распределение геохимических спектров базальтоидов Саралы как на рис. 4, а, б, говорит о проявлении тенденции контрастной дифференциации магматического расплава на две составляющие – субщелочную и щелочную, последняя из которых, по-видимому, до конца не была реализована, так как среди них нет нефелиновых разновидностей. При всем при этом для спектров всех пород отмечаются идентичные положительные (Ba, Rb, Th, Nb, U, Lu–Nd, Zr и Sm) и отрицательный (Ga, Ta, Sr, Hf и Ti) пики содержаний микроэлементов, за исключением тефритов, трахибазальтов, и фенотектитов у которых отрицательные пики содержаний Ta и Hf выбиваются из общего фона, отражая тем самым эту особенность их геохимического состава. Относительно известных геохимических индикаторов (рис. 4) изученные вулканиты грабена ближе всего соответствуют реперу OIB, занимая пространство между линиями N-MORB и OIB, имея при этом как общие, так и индивидуальные геохимические черты. Салическая часть вулканитов грабена (трахиандезиты, трахиты и трахидациты), обнаруживают те же геохимические черты, что и отмеченные для базальтоидов (рис. 4, в, г), но при этом у первых они вы-

ражены значительно резче. Отметим, что в спектрах базальтоидов и трахитов слабо проявлен Eu минимум. Более того, отрицательные пики микроэлементов у салитов выражены резче, чем у базальтоидов, причем не только у Ga, Ta и Hf, но и у Sr и Ti. То есть салиты по отношению к базальтоидам резко обеднены этими элементами вследствие фракционирования исходных магм и возможного влияния других факторов эволюции магматической системы, например контаминации коровым веществом.

Геохимические данные указывают на генетическое родство всех членов вулканической серии Саралинского грабена, а также на основании данных прошлых лет [1, 3], породы хорошо сопоставимы с базальтовыми и безнефелиновыми берешскими вулканидами Горячегогорского региона.

Геодинамика, источники вещества и исходные магмы. В ранее опубликованных работах [3] авторами, с опорой на индикатор Eu/Eu^* Балашова (1976), рассчитанный и для исследованных пород, установлено, что все члены серии вулканидов Саралинского грабена являются мантийными производными [6–8]. Вулканиды грабена обнаруживают близость составов породам примитивной (PM) и обогащенной мантии EM-1 с высоким значением Nd/Sm , близки

составам OIB, не достигая поля рециклингового компонента (рис. 5, а). Составы пород располагаются в поле плюмовых источников вещества. Стоит отметить, что вулканиды близки по составу к исходным расплавам OIB, простирая ряд точек в сторону источника N-MORB, при частичном влиянии состава E-MORB (рис. 5, б). На диаграмме (рис. 5, в) локализуются изученные вулканиды в основном в секторе WPVZ – внутриплитных вулканических зон, вытянутых между реперами E-MORB и OIB, тогда как миндалекаменные трахиандезиты попали в сектор базальтов океанических островных, что скорее связано с их аутометасоматическими изменениями. В качестве исходных (рис. 5, г) рассматриваются магмы, из которых кристаллизовались пикробазальты и базальты – трахибазальты, соответствующие по составу умеренно щелочным пикробазальтам и базальтам Восточно-Африканского рифта, гавайитам, сибирским траппам (толеитам) и высокоглинозёмистым субщелочным базальтам Стинс Маунтэн, генерировавшихся на предельных глубинах зон выплавления толеитов и начала выплавления щелочных магм. Диаграммы свидетельствуют о принадлежности выделенных серий к внутриплитным и рифтогенным образованиям.

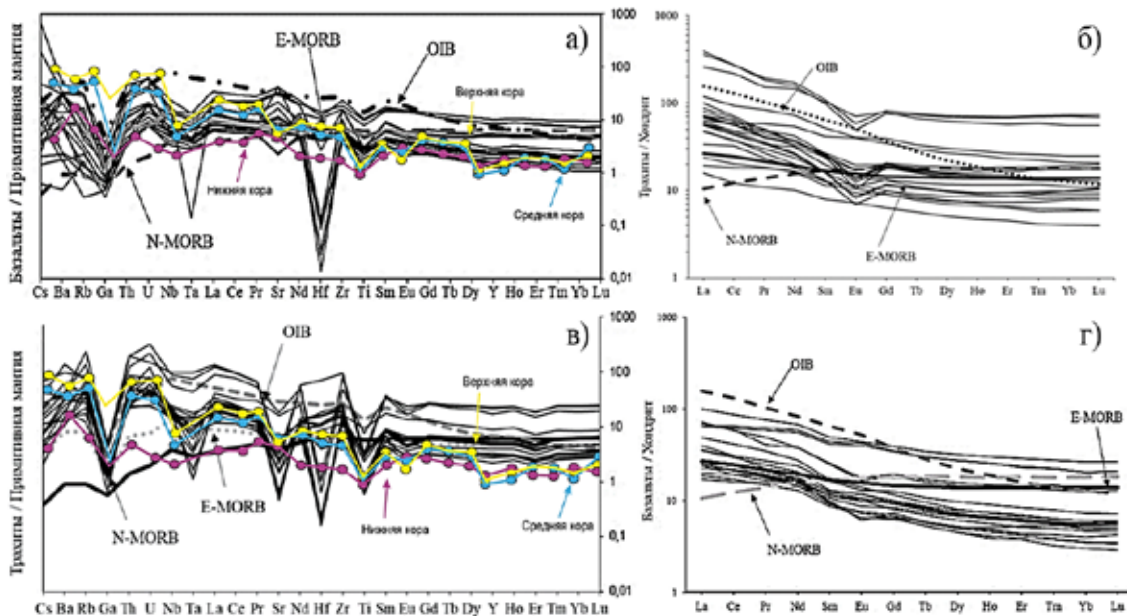


Рис. 4. Мультиэлементные спайдерграммы для базальтов (а), трахитов (б) и редкоземельные для базальтов (б) и трахитов (г) Саралинского грабена. Составы нижней, средней, верхней коры по [5]

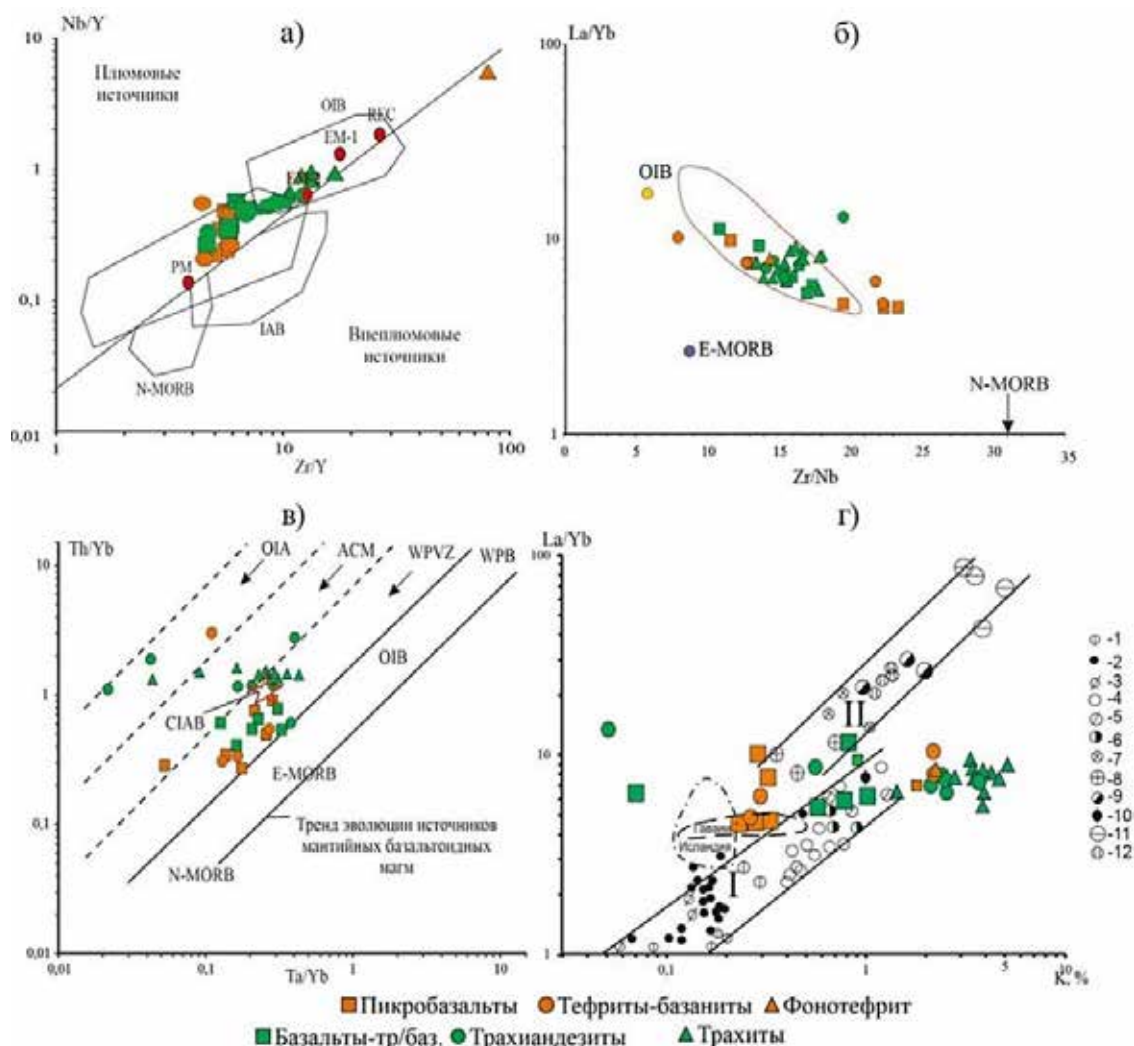


Рис. 5. Геохимические индикаторы источников вещества вулканитов Саралинского грабена: а – Nb/Y-Zr/Y; б – La/Yb-Zr/Nb. Точки и поля составов разных типов базальтов и магматических источников: N-MORB – срединно-океанических хребтов (деплетированных), E-MORB – срединно-океанических хребтов (обогащенных редкими литофильными элементами), базальты активных континентальных окраин и островных дуг (IAB), внутриплитные континентальные и океанические базальты (OIB); PM – примитивная мантия, REC – рециклингового компонента, EM-1 – обогащенной мантии с высоким Nd/Sm, EM-2 – обогащенной мантии с высоким Rb/Sr; в – Th/Yb-Ta/Yb: OIA – океанические островные дуги, ACM – активные континентальные окраины, WPVZ – внутриплитные вулканические зоны, WPB – внутриплитные базальты, N-MORB – нормальные базальты срединно-океанических хребтов, E-MORB – обогащенные базальты срединно-океанических хребтов, CIAB – средний состав базальтов континентальных островных дуг по [9]; г – Корреляция отношения La/Yb с концентрацией K в первичных магмах: толеитах, высокоглиноземистых и щелочных базальтах различных провинций и их сравнение с породами Саралинского и Растайского грабенов: I – толеиты океанического дна; 2 – толеиты хребта Рейкьянис; 3 – высокоглиноземистые разности толеитов океанических хребтов; 4 – континентальные толеиты – траппы Сибирской платформы; 5 – высокоглиноземистые и нормальные субщелочные базальты Стинс Маунтэн; 6 – высокоглиноземистые базальты Курильских островов и Камчатки; 7 – пикриты и базальты умеренной щелочности Восточно-Африканского и Западно-Африканского рифтов и Коморских островов; 8 – щелочные базальты Гавайских островов; 9 – пикритовые базальты острова Гоф; 10 – субщелочные базальты Коморского архипелага и острова Сен-Поль; 11 – меланократовые разности калиевой щелочной серии Западно-Африканского рифта; 12 – меллититовые базальты серии повышенной щелочности Восточно-Африканского рифта; I – поле толеитов и высокоглиноземистых базальтов; II – поле щелочных и субщелочных базальтов океанических островов и Восточно-Африканской системы рифтов

Заключение

По результатам исследований установлено, что разрез Саралинского грабена в своей нижней части представлен ритмично построенной трахипикробазальт-трахибазальтовой пачкой, образующей плато в основании. Выше располагаются индивидуализированные ВТМ, представление о строении которых установлено в разрезе по левому борту р. Левая Сарала. Венчает разрез фонотефрит-трахит-трахидацитовая толща, представленная рядом разрозненных и разновеликих полей экструзивного типа. Особенность тектонического строения грабена свидетельствует о воздействии деформаций, приведших к вздыманию его западного борта, срыву и дроблению толщ восточного борта и расчленению диагональными разломами, что в поперечном сечении напоминает структуру кинг-бенд. Геолого-петрографическое изучение разрезов грабена позволило заметно уточнить состав выполняющих его вулканитов. Среди них выделены базальтовая и трахитовая ассоциации, в составе первых установлены metabasalts, как результат проявления поздней- и постмагматической пропилитизации. Согласно петрохимическим данным, наблюдается вполне закономерная картина, характерная для контрастных дифференцированных серий. Установлено два различных тренда дифференциации: 1) основной тренд – субщелочной пикробазальт, трахибазальт-трахит, трахидацитовый; и 2) дополнительный тренд – щелочной трахибазальт-тефрит-фонотефритовый. Изучение минералогического состава показало, что во всех установленных разновидностях отмечаются многочисленные микровключения самородных металлов и сплавов как в порфировых выделениях, основной массе, так и в минералах. Геохимически вулканиты обладают генетическим родством и очевидным сходством с репером ОИБ. Согласно дискриминантным геохимическим диаграммам и индексу Eu/Eu^* породы имеют мантийно-плюмовую природу, а для трахитов и трахидацитов установлено заметное участие корового вещества. Серия рассмотренных диаграмм устанавливает

глубинный мантийный источник исходных магм изученных серий Саралинского грабена в формировании которого участвовали резервуары вещества РМ, ЕМ-1 и мантийного плюма, подобного тому, что формирует ОИБ.

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта № 20–35–90032.

Работа выполнена с использованием оборудования Томского регионального центра коллективного пользования ТГУ.

Список литературы

1. Grinev O.M., Grinev R.O., Bogorodov A.A., Adylbaev R.R. Material composition of the basalt-trachyte series of the early Devonian of the Saralin graben-rift. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 110. P. 1–9. DOI: 10.1088/1755-1315/110/1/012007.
2. Ernst R.E., Rodygin S.A., Grinev O.M. Age correlation of Large Igneous Provinces with Devonian biotic crises. Global and Planetary Change. 2020. Vol. 185. P. 1–12. DOI: 10.1016/j.gloplacha.2019.103097.
3. Grinev O.M., Grinev R.O., Adylbaev R.R., Bogorodov A.A. O. Saralinsky graben-devonian rift of the Kuznetsk-Minusinsk zone, Altai-Sayan folded area. Geological Tour of Devonian and Ordovician Magmatism of Kuznetsk Alatau and Minusinsk basin. Altay-Sayan Region, Siberia. 2020. P. 43–77. DOI: 10.1007/978-3-030-29559-2_3.
4. Уваров А.Н., Уварова Н.М. Петротип базырско-ашпанского трахит-тефрит-трахибазальтового комплекса. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2010. 180 с.
5. Воронцов А.А., Ярмолюк В.В. Геохимические и изотопные (O, Sr, Nd) свидетельства взаимодействия мантийных и коровых магм при формировании базальт-андезит-трахит-риолитовой серии Батеневского поднятия Минусинского прогиба // Геосферные исследования. Томск. 2017. № 1. С. 16–27.
6. Воронцов А.А., Федосеев Г.С., Андрущенко С.В. Девонский вулканизм Минусинской котловины Алтае-Саянской рифтовой области: геологические, геохимические, изотопные Sr-Nd характеристики и магматические источники // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 9. С. 1283–1313.
7. Воронцов А.А., Перфилова О.Ю., Буслов М.М., Травин А.В., Махлаев М.Л., Дриль С.И., Катраевская Я.И. Плюмовый магматизм северо-восточной части Алтае-Саянской области: этапы, состав источников, геодинамика (на примере Минусинского прогиба) // Доклады академии наук. 2017. Т. 472. № 4. С. 449–455. DOI: 10.7868/S0869565217040223.
8. Vorontsov A.A., Perfilova O.Y., Kruk N.N. Geodynamic setting, structure, and composition of continuous trachybasalt-trachyandesite-rhyolite series in the north of Altai-Sayan area: the role of crust-mantle interaction in continental magma formation. Russian geology and geophysics. 2018. T. 59. No. 12. P. 1640–1659. DOI: 10.1016/j.rgg.2018.12.009.
9. Kelemen P.B., Hanghoj K., Greene A.R. One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust. Treatise on Geochemistry, Elsevier Ltd. 2003. Vol. 3. P. 593–659. DOI:10.1016/B00-043751-6/03035-8.

УДК 504:581.5

**СОДЕРЖАНИЕ АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТЫ
В ПЛОДАХ ЧЕРНИКИ (*VACCINIUM MYRTILLUS*)
В ПРЕДЕЛАХ ХОЛМОГОРСКОГО ТЕКТОНИЧЕСКОГО УЗЛА
АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

Старицын В.В., Полякова Е.В.

*Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. академика Н.П. Лаврова УрО РАН, Архангельск, e-mail: lenpo26@yandex.ru*

Одним из основных компонентов недревесных лесных ресурсов выступают дикорастущие ягодники. Черника (*Vaccinium myrtillus* L.) является доминантом травяно-кустарничкового яруса таежных лесов. Ягоды черники являются источником аскорбиновой кислоты (витамина С). На содержание витамина С в ягодах оказывают влияние генотип, условия окружающей среды, биотические и абиотические стрессы. Узлы пересечений тектонических нарушений (тектонические узлы) выступают связующим звеном между абиотической (геологической) и биотической (биогеоценозы) средами. В статье представлены результаты по изучению содержания аскорбиновой кислоты в плодах черники в центре и на периферии Холмогорского тектонического узла Архангельской области. Исследование является дополнением к циклу статей о влиянии тектонических узлов на состояние окружающей среды на севере Русской плиты. Показано, что содержание аскорбиновой кислоты в ягодах черники отличается в центре тектонического узла от периферии. В ягодах из центра узла ее содержание на 37% больше по сравнению с ягодами с периферии. Предварительно подобную закономерность можно объяснить различием в химическом составе почв в центре и на периферии узла. В почвах центра содержание калия, фосфора и магния – элементов, взаимосвязанных с накоплением витамина С в ягодах, – больше, чем в почвах на периферии. Кроме того, в центре узла выпадает меньшее количество жидких и твердых атмосферных осадков, что снижает сезонное промывание почв и, как следствие, вызывает концентрирование микроэлементов в плодах черники. Подобная зависимость отмечается и для других тектонических узлов на территории Архангельской области.

Ключевые слова: аскорбиновая кислота (витамин С), недревесные лесные ресурсы, тектонический узел, черника (*Vaccinium myrtillus* L.), Архангельская область

**THE CONTENT OF ASCORBIC ACID IN BLUEBERRY FRUITS
IN THE Kholmogorsky Tectonic Knot
OF THE ARKHANGELSK REGION**

Staritsyn V.V., Polyakova E.V.

*N.P. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Ural Branch,
Russian Academy of Sciences, Arkhangelsk, e-mail: lenpo26@yandex.ru*

One of the main components of non-timber forest resources are wild berries. Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) is the dominant herb-shrub layer of taiga forests. Blueberries are a source of ascorbic acid (vitamin C). The content of vitamin C in berries is influenced by genotype, environmental conditions, biotic and abiotic stresses. The nodes of intersections of tectonic disturbances (tectonic nodes) act as a link between the abiotic (geological) and biotic (biogeocenoses) environments. The article presents the results on the content of ascorbic acid (vitamin C) in blueberries in the center and on the periphery of the Kholmogory tectonic knot of the Arkhangelsk region. The study is an addition to a series of articles on the impact of tectonic knots on the state of the environment in the North of the Russian Plate. It is shown that the content of ascorbic acid in blueberries differs in the center of the tectonic knot from the periphery. In berries from the center of the focus, its content is 37% higher than in berries from the periphery. Previously, such a concentration can be explained by an increase in the chemical composition of the soil in the center and at the peripheral nodes. The content of potassium, phosphorus and magnesium – elements associated with the accumulation of carbohydrates in berries – is concentrated in soils, more than in soils on the periphery. In addition, a smaller amount of liquid and a larger amount of atmospheric gases fall out in the center of the outbreak, which affects the seasonal soil leaching and, as a result, an increase in the concentration of trace elements in blueberries. A similar dependence is also observed for other tectonic knots in the territory of the Arkhangelsk region.

Keywords: ascorbic acid (vitamin C), non-timber forest resources, tectonic knot, blueberry (*Vaccinium myrtillus* L.), Arkhangelsk region

Общая площадь лесов Архангельской области составляет 29341,5 тыс. га, лесистость, без островов Белого моря, Северного Ледовитого океана и Новой Земли, – 72,4% [1]. Среди целей, декларированных в Лесном плане Архангельской области на 2009–2018 гг. и пролонгированных в но-

вом на 2019–2028 гг. помимо прочих значатся: «...вовлечение в рыночный оборот недревесных лесных ресурсов и развитие альтернативных видов использования лесов для заготовки пищевых ресурсов...». В связи с этим использование недревесных ресурсов архангельских лесов приобретает

все большее значение и способствует росту экономического потенциала лесного хозяйства области.

Одним из основных компонентов недревесных лесных ресурсов выступают дикорастущие ягодники. В лесах Архангельской области встречается около 20 видов ягод, среди них черника (*Vaccinium myrtillus* L.) является доминантом травяно-кустарничкового яруса таежных лесов [2]. Вид традиционно является ценным пищевым ресурсом для местного населения, кормовым растением для различных млекопитающих и птиц, обладает медоносными и лекарственными свойствами. Ценность дикорастущих ягодников заключается в высокой приспособленности к местным климатическим условиям, иммунитете к болезням и вредителям, кроме того, они содержат более высокое количество биологически активных веществ, не обрабатываются пестицидами и инсектицидами [3]. Ягоды черники являются источником аскорбиновой кислоты (витамина С), которая способствует укреплению иммунитета человека, улучшает процессы кровообращения [4], используется в качестве пищевой добавки при лечении или профилактики цинги [5].

На содержание аскорбиновой кислоты в ягодах оказывают влияние генотип, условия окружающей среды (географическое положение, почва, температура, освещение) [6], биотические и абиотические стрессы [7]. Лимитирующим фактором накопления витамина С в ягодах являются температура воздуха и осадки за вегетационный период: чем выше коэффициент экстремальности (соотношение среднемесячных температур к сумме осадков), тем большее количество витамина содержится в плодах [8]. Продолжительность светового дня также сказывается на содержании витамина С в ягодах – на свету его образуется больше, чем в темноте. Подобные климатические условия (экстремальность факторов, длительный летний световой период) характерны для Архангельской области.

Узлы пересечений тектонических нарушений (тектонические узлы) выступают связующим звеном между абиотической (геологической) и биотической (биогеоценозы) средами. При увеличении количества пересекающихся разломов возрастает степень раздробленности, проницаемости и глубинности узла, возникает вертикальная высокопроницаемая область коро-мантийного взаимодействия, вызывающая постоянный приток флюидов и глубинных газов,

формируется глубинный стволочный канал повышенного тепломассообмена [9]. В работе [10] показано, что в центре узла жидкие атмосферные осадки выпадают практически в 2 раза реже, а их количество на 38% меньше, чем на периферии. Количество осадков авторы увязывают с атмосферным давлением.

Цель настоящей работы – показать влияние Холмогорского тектонического узла на количественное содержание витамина С в ягодах черники.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись плоды черники обыкновенной (*Vaccinium myrtillus* L.), произрастающей в северной тайге Холмогорского района Архангельской области. Сбор плодов для химического анализа проводился в период массового плодоношения черники обыкновенной в первой половине августа 2020 г. Закладывались две пробные площади 25×25 м в центре и на периферии Холмогорского тектонического узла (рис. 1), производился равномерный отбор ягод по 500 г с каждой. Далее пробы передавались в Центр коллективного пользования научным оборудованием «Критические технологии РФ в области экологической безопасности Арктики» (ЦКП КТ РФ «Арктика») ФИЦКИА УрО РАН для определения содержания витамина С и влажности ягод.

Определение аскорбиновой кислоты проводилось колориметрическим методом, основанном на фотометрическом определении избытка 2,6-дихлорфенолиндофенола после восстановления определенной части его аскорбиновой кислоты. Измерения производились на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu Corporation, Япония) при длине волны 515 нм.

Содержание аскорбиновой кислоты (X , мкг/г) рассчитывается по формуле

$$X = \frac{A \times V}{m},$$

где A – содержание аскорбиновой вытяжки, найденное по калибровочной кривой, мкг/мл;

V – объем экстракта, полученного из данной навески, мл;

m – масса навески исследуемого материала, г.

Определение влажности ягод осуществлялось гравиметрическим методом (взвешивание до и после сушки) в сушильном шкафу ES-4620 (Экрос, Россия) при $105 \pm 0,5$ °С.

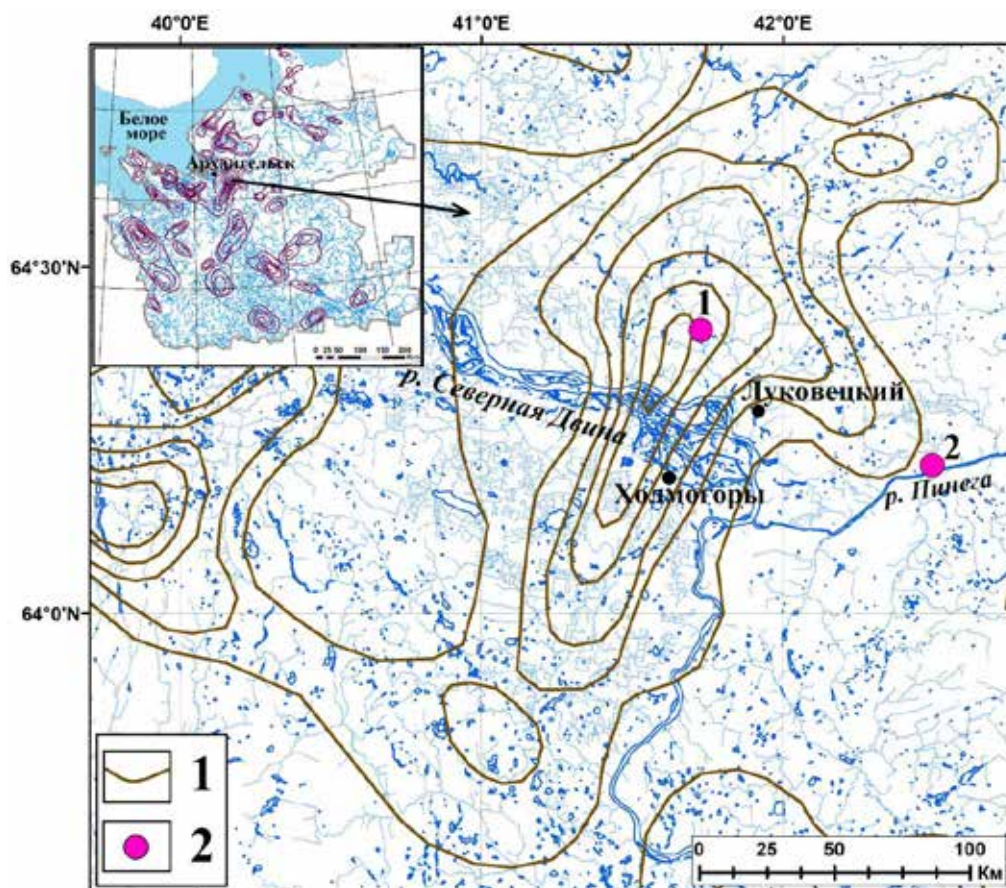


Рис. 1. Места отбора проб на территории Холмогорского тектонического узла:
 1 – изолинии плотности разрывных нарушений, 2 – точки отбора
 (1 – в центре, 2 – на периферии узла)

Результаты исследования и их обсуждение

Черника широко распространена на территории Архангельской области. Ягоды растения являются умеренным источником витамина С. Однако уровень аскорбиновой кислоты в ягодах поддерживается в стабильном состоянии в течение созревания за счет наличия антоцианов и в биологически активной форме, поскольку в ягодах не содержится фермент аскорбатоксидаза, который инактивирует витамин С, превращая его в дегидроаскорбиновую кислоту [7].

Аскорбиновая кислота синтезируется в печени или почках большинства животных, за исключением людей и некоторых высших приматов, которые утратили возможность вырабатывать её самостоятельно [11]. В то же время она важна для нормального функционирования организма и представляет особую ценность в рационе человека [12]. Поэтому необходимо ее внешнее

поступление в организм человека, в основном из свежих фруктов и овощей.

Согласно нормам физиологических потребностей [13] среднесуточная потребность взрослого человека в витамине С составляет 90 мг. По новым нормам [14] данный показатель увеличен до 100 мг в сутки.

В табл. 1 приведено краткое геоботаническое описание пробных площадей, заложенных в центре и на периферии Холмогорского тектонического узла.

Следует отметить, что, согласно [9], тектонический узел – это не аналог понятия «аномалия повышенной плотности линеаментов», поскольку при выделении узлов тектонических нарушений в полной мере используются геолого-геофизические материалы, а не только результаты дешифрирования и морфометрического анализа. При этом под «центром» узла понимается наибольшая плотность тектонических нарушений, под «периферией» – наименьшая.

Таблица 1

Описание пробных площадей
в центре и на периферии Холмогорского тектонического узла

Показатель	Центр	Периферия
Рельеф	Ровный, вершина холма	Ровный, без выраженных повышений
Тип леса	Ельник черничный	Ельник черничный
Формула древостоя	9Е1С	9Е1Б
Древостой	Ель (средний диаметр ствола 11,1 см) Сосна (средний диаметр ствола 19,1 см)	Ель (средний диаметр ствола 21,6 см) Береза (средний диаметр ствола 12,4 см)
Сомкнутость крон	50 %	60–70 %
Подрост	Ель (до 1,7 м) Осина (до 1,5 м)	Ель (средняя высота 1,07 м) Береза (средняя высота 1,65 м)
Опад	20 %	15–20 %
Проективное покрытие: – общее – травяно-кустарничковый ярус – мохово-лишайниковый ярус	90 % 70 % 60 %	95 % 60 % 80 %

Таблица 2

Средние значения содержания аскорбиновой кислоты и влажности плодов черники
в пределах Холмогорского тектонического узла

Параметр	Центр	Периферия	Разница
Аскорбиновая кислота, мг/100 г	144,30 ± 2,11	105,66 ± 3,18	38,64 ± 1,07
Влажность плодов, %	89,01 ± 0,10	89,14 ± 0,16	0,13 ± 0,06

Проведенные исследования показали, что содержание аскорбиновой кислоты в ягодах черники разнится от центра тектонического узла к периферии (табл. 2). Так, в ягодах, отобранных из центра, ее содержание составляет 144,3 мг/100 г, в то время как в ягодах с периферии – 105,66 мг/100 г, то есть разница в 38,64 мг/100 г соответствует 37 % (при принятии периферии за 100 %). При этом среднее значение влажности плодов не имеет существенного территориального различия.

Еще в работе [15] отмечалось, что, помимо прочих условий, содержание аскорбиновой кислоты в растениях определяется химическим составом почвы. Недостаток азота обуславливает уменьшение аскорбиновой кислоты в растениях, а обогащение почвы калием, фосфором и марганцем приводит к ее увеличению.

Геохимические аномалии, возникающие в зоне тектонических разломов, могут вносить изменения в химический состав почв. Элементный состав почвы в центре и на пе-

риферии Холмогорского тектонического узла различается в процентном соотношении (рис. 2). Наибольшее отличие отмечается для содержания марганца в почве. Так, в центре узла его на 221 % больше, чем на периферии. Содержание калия в почвах центральной части узла на 17 % выше, а фосфора – на 5 % выше по сравнению с почвами периферии.

Возможно, именно изменением в химическом составе почв можно объяснить различие в содержании аскорбиновой кислоты в ягодах из центра и периферии тектонического узла. Кроме того, инструментально зафиксировано, что в центре узла выпадает меньшее количество жидких атмосферных осадков [10], их количество на 26–38 % ниже по сравнению с периферией [16]. Выпадение твердых атмосферных осадков (снега) на периферии узла происходит раньше (при большей глубине снежного покрова), а стаивание – позже [16]. Все это снижает сезонное промывание почв и, как следствие, вызывает концентрирование микроэлементов в плодах черники.

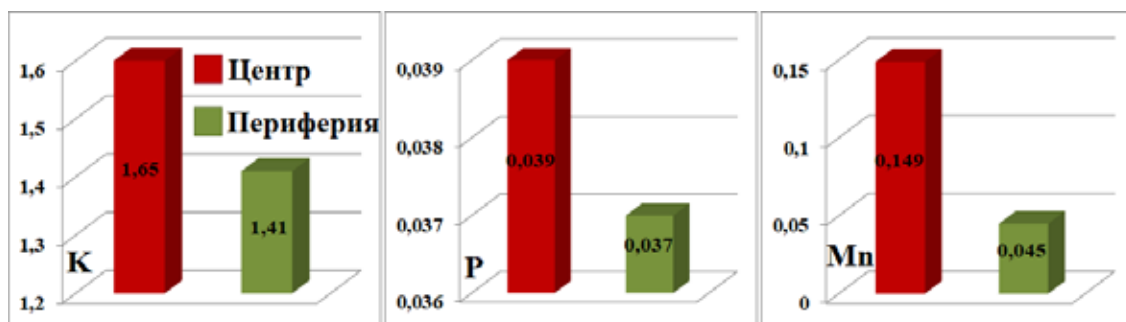


Рис. 2. Распределение микроэлементов в пределах Холмогорского тектонического узла, в процентах

Ранее были получены подобные данные для других тектонических узлов в пределах Архангельской области – Плесецкого (Кенозерского) [17] и Вельско-Устьянского [18]. Так, для Кенозерского тектонического узла установлено, что в центре содержание витамина С в ягодах черники составляет $55,99 \pm 2,00$ мг/100 г, а на периферии – $35,30 \pm 5,13$ мг/100 г, разница соответствует 62% [13]. Нужно отметить, что Кенозерский тектонический узел находится южнее Холмогорского и территориально относится к средней подзоне тайги. То есть при продвижении на север концентрация аскорбиновой кислоты в ягодах увеличивается в 2–3 раза.

Заключение

Таким образом, показано, что тектонические узлы, как наиболее активные структурообразующие элементы геологической среды, оказывают влияние на биологическую компоненту окружающей среды. В частности, в пределах Холмогорского тектонического узла изменяется количественное содержание витамина С в ягодах черники. В ягодах из центра узла его содержание на 37% больше, по сравнению с ягодами с периферии. Предварительно подобную закономерность можно объяснить различием в химическом составе почв в центре и на периферии узла. В почвах центра содержание калия, фосфора и магния – элементов, взаимосвязанных с накоплением витамина С в ягодах, – больше, чем в почвах на периферии. Подобная тенденция отмечается и для других тектонических узлов на территории Архангельской области.

Исследования проведены в рамках государственного задания № 122011300380-5 Федерального исследовательского центра

комплексного изучения Арктики им. Н.П. Лаверова Уральского отделения Российской академии наук.

Список литературы

1. Доклад. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2020 год / Отв. ред. О.В. Перхурова; ГБУ Архангельской области «Центр природопользования и охраны окружающей среды». Текст электронный. Архангельск: САФУ, 2021. 478 с.
2. Астрологова Л.Е. Урожайность черники в сосняках черничных Архангельской области в 2010–2011 годах // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: межвузовский сборник научных трудов / Отв. ред. П.А. Феклистов. Архангельск: САФУ, 2012. Вып. 15. С. 72–74.
3. Лютикова М.Н., Туров Ю.П. Исследование компонентного состава ягод местной дикорастущей брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) // Химия растительного сырья. 2011. № 1. С. 145–149.
4. Мухаметова С.В., Скочилова Е.А., Протасов Д.В. Параметры плодоношения и содержание флавоноидов и аскорбиновой кислоты в плодах голубики (*Vaccinium*) // Химия растительного сырья. 2017. № 3. С. 113–121. DOI: 10.14258/jcrpm.2017031785.
5. Ulbricht C., Basch E., Basch S., Bent S., Boon H., Burke D., Costa D., Falkson C., Giese N., Goble M., Hashmi S., Mukarjee S., Papaliodis G., Seamon E., Tanguay-Colucci S., Weissner W., Woods J. An Evidence-Based Systematic Review of Bilberry (*Vaccinium myrtillus*) by the Natural Standard Research Collaboration. Journal of Dietary Supplements. 2009. No. 6 (2). P. 162–200. DOI: 10.1080/19390210902861858.
6. Лютикова М.Н., Ботиров Э.Х. Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы // Химия растительного сырья. 2015. № 2. С. 5–27. DOI: 10.14258/jcrpm.201502429.
7. Cocetta G., Karppinen K., Suokas M., Hohtola A., Häggman H., Spinardi A., Mignani I., Jaakola L. Ascorbic acid metabolism during bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) fruit development. Journal of Plant Physiology. 2012. No. 169 (11). P. 1059–1065. DOI: 10.1016/j.jplph.2012.03.010.
8. Терентьева В.М. Влияние метеорологических факторов на накопление витаминов в ягодах брусники // Аграрная наука. 2010. № 9. С. 17–18.
9. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Неверов Н.А. Новые данные о влиянии тектонических узлов на состояние окружающей среды на севере Русской плиты // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2020. № 5. С. 12–24.
10. Беляев В.В., Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Хмара К.А. Влияние узлов тектонических дислокаций на характер выпадения осадков в лесных экосистемах // Вестник ПГУ. Сер. «Естественные и точные науки». 2009. № 2. С. 45–50.

11. Nishikimi M., Yagi, K. Biochemistry and Molecular Biology of Ascorbic Acid Biosynthesis. Subcellular Biochemistry. 1996. P. 17–39. DOI: 10.1007/978-1-4613-0325-1_2.
12. Тяпкина Д.Ю., Кочиева Е.З., Слугина М.А. Накопление витамина С в сочных плодах: биосинтез и рециркуляция, гены и ферменты // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019. № 23 (3). С. 270–280. DOI: 10.18699/VJ19.492.
13. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с.
14. Попова А.Ю., Тутельян В.А., Никитюк Д.Б. О новых (2021) Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации // Вопросы питания. 2021. Т. 90. № 4. С. 6–19. DOI: 10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19.
15. Девятнин В.А. Витамины. М.: «Пищепромиздат», 1948. 280 с.
16. Кутинов Ю.Г., Чистова З.Б., Гофаров М.Ю., Минеев А.Л. Современная тектоническая активность Кандалакшского грабена по комплексу данных // Вестник САФУ. Сер. Естеств. науки. 2013. № 4. С. 21–29.
17. Старицын В.В., Беляев В.В. Урожайность и содержание витамина С в бруснике (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и чернике (*Vaccinium myrtillus* L.) в пределах Плесецкого тектонического узла // Лесной журнал. 2015. № 1 (343). С. 78–84.
18. Беляев В.В., Неверов Н.А., Старицын В.В., Бойцова Т.А. Свойства некоторых компонентов фитоценозов, произрастающих на территориях тектонических узлов (Архангельская область) // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 4 (139). С. 197–204.

СТАТЬИ

УДК 556.5

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ
НА УРОВЕННЫЙ РЕЖИМ ОЗЕР ЗОН ИЗБЫТОЧНОГО
И ДОСТАТОЧНОГО УВЛАЖНЕНИЯ**

Давыденко Е.В., Серебрякова Е.Д.

*ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»,
Санкт-Петербург, e-mail: davydenko91@mail.ru*

В работе использовались данные за весь период инструментальных наблюдений на гидрологических постах, расположенных на озерах Чебаркуль, Увильды, Сяберо и Шугозеро. Данные озера расположены в зонах избыточного и достаточного увлажнения (Ленинградская и Челябинская области). Выполнен вероятностный анализ внутригодовой и многолетней изменчивости уровней воды озер. Для объяснения выявленных особенностей многолетних колебаний уровня озер привлекались данные наблюдений за температурой воздуха и осадками на метеостанциях Златоуст, Гдов, Тихвин. Показано, что на рассматриваемых территориях наблюдается общая тенденция на потепление климата. По данным наблюдений на метеорологической станции Златоуст выявлено, что в 1975 г. в течение теплого периода сохранялся дефицит осадков при повышенном температурном фоне, что привело к сильной засухе, которая в свою очередь сказалась на уровненом режиме озер Чебаркуль и Увильды. На озере Чебаркуль до 1975 г. наблюдается незначительный тренд на повышение. За этот же период на озере Увильды выявлен значимый тренд на понижение. Также установлено, что на многолетнюю изменчивость уровней воды озер Чебаркуль и Увильды значимое воздействие оказала антропогенная деятельность, что привело к резкому уменьшению уровней воды в 1975 г. После 1975 г. на обоих озерах наблюдаются статистически значимые тренды на повышение уровней воды. В ходе анализа полученных результатов, резких изменений в уровненом режиме исследуемых озер Ленинградской области (Сяберо и Шугозеро), расположенной в зоне избыточного увлажнения, и характеризующейся умеренными температурными колебаниями и интенсивными осадками, не выявлено.

Ключевые слова: озеро, уровеньный режим, климат, изменчивость, антропогенная нагрузка, хозяйственная деятельность

**THE INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS
AT THE LEVEL REGIME OF LAKES IN AREAS OF EXCESSIVE
AND SUFFICIENT HUMIDIFICATION**

Davydenko E.V., Serebryakova E.D.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, e-mail: davydenko91@mail.ru

The work used data for the entire period of instrumental observations at hydrological posts located on the Chebarkul, Uvildy, Syabero and Shugozero lakes. These lakes are in areas of excessive and sufficient humidification (Leningrad and Chelyabinsk regions). Probabilistic analysis of intra-annual and long-term variability of lake water levels was performed. To explain the revealed features of long-term fluctuations in the lake level, observations of air temperature and precipitation at the Zlatoust, Gdov, Tikhvin weather stations were used. It is shown that there is a general tendency for climate warming in the territories under consideration. According to observations at the Zlatoust meteorological station, it was revealed that in 1975, during the warm period, there was a shortage of precipitation with an elevated temperature background, which led to a severe drought, which in turn affected the level regime of the Chebarkul and Uvildy lakes. There was an insignificant upward trend on Lake Chebarkul until 1975. During the same period, a significant downward trend was revealed on Lake Uvildy. It was also found that anthropogenic activity had a significant impact on the long-term variability of the water levels of the Chebarkul and Uvildy lakes, which led to a sharp decrease in water levels in 1975. After 1975, statistically significant trends in rising water levels have been observed on both lakes. During the analysis of the results obtained, no sharp changes in the level regime of the studied lakes of the Leningrad region (Syabero and Shugozero), located in the zone of excessive moisture, and characterized by moderate temperature fluctuations and intense precipitation, were revealed.

Keywords: lake, level regime, climate, variability, anthropogenic load, economic activity

Озера являются уникальными водными объектами и имеют важное экономическое и экологическое значение. Они служат накопителями чистой пресной воды, выполняют функцию регулирования поверхностных и подземных вод.

Изучение особенностей уровненого режима озер представляет огромный интерес при долгосрочном прогнозировании, а также при расчете максимальных уровней воды

различной обеспеченности, необходимых при производстве инженерных изысканий.

В настоящей работе ведется сравнительный анализ влияния климатических и антропогенных факторов на уровненый режим озер зон избыточного (Ленинградская область) и достаточного (Челябинская область) увлажнения.

Челябинская область расположена на восточных склонах Южного Урала и приле-

гающих территориях Зауральской низменности. В Челябинской области расположено более 3,2 тыс. озер и искусственных водоемов общей площадью около 2,6 тыс. км² (озерность 2,95%), в том числе около 1,7 тыс. озер площадью более 0,01 км² и ряд озер меньшего размера.

Климат рассматриваемой территории умеренно континентальный. На его формирование существенно влияют Уральские горы, создающие препятствие на пути движения западных воздушных масс. Также велико влияние на климат морских воздушных масс, несущих влагу с Атлантического океана.

Ленинградская область расположена на северо-западе Европейской части страны. Климат рассматриваемой территории атлантико-континентальный, морские воздушные массы формируют на территории сравнительно мягкую зиму с частыми оттепелями и умеренно теплое лето.

На территории Ленинградской области расположено более 6,8 тыс. озер и искусственных водоемов общей площадью около 12,1 тыс. км² (озерность 14,42%), в том числе около 3,13 тыс. озер площадью более 0,01 км² и ряд озер меньшего размера.

Целью настоящей работы является анализ временных рядов уровней воды зон избыточного и достаточного увлажнения для выявления закономерностей в их колебани-

ях уровней воды, связанных с изменчивостью климата и антропогенной нагрузкой. Из публикаций на эту тему можно отметить [1–3], а также работы [4, 5], в которых приведены результаты исследований многолетней изменчивости уровня режима крупнейших озер Евразии и Северной Америки.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны озера Шугозеро и Сяберо (Ленинградская область), Чебаркуль и Увильды (Челябинская область) (табл. 1).

Для анализа многолетней изменчивости уровня воды в озере использовались средние годовые значения высоты уровня. Для оценки климатических изменений использовались данные наблюдений по ближайшим к исследуемым озерам метеорологическим станциям: г. Златоуст (Челябинская область), г. Гдов, г. Тихвин (Ленинградская область) (табл. 2).

Однородность рядов значений средних годовых уровней воды озер оценивалась по критериям Фишера и Стьюдента. Для оценки линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции (R). Гипотеза об отсутствии тренда не опровергалась, если выполнялось условие $(|R| / \delta r) < t_{2\alpha}$, при уровне значимости $2\alpha = 5\%$ [6].

Таблица 1

Основные сведения об исследуемых озерах

№ п/п	Озеро – пост	Период наблюдений	Площадь озера, км ²	Площадь водосбора, км ²	Удельный водосбор	Амплитуда, см
Челябинская область (зона достаточного увлажнения)						
1	Чебаркуль – г. Чебаркуль	1940–2016	19,8	169	8,53	38
2	Увильды – пос. Увильды	1945–2016	68,1	196	2,88	28
Ленинградская область (зона избыточного увлажнения)						
3	Сяберо – д. Сяберо	1936–2017	14,2	47,9	3,37	35
4	Шугозеро – д. Ульяница	1969–2017	5,9	98	16,6	41

Таблица 2

Основные сведения о метеостанциях

№ п/п	Индекс ВМО	Название метеостанции	Водный объект	Период наблюдений		Высота над уровнем моря, м
				температура	осадки	
1	28630	Златоуст	Увильды, Чебаркуль	1936–2019	1936–2015	537
2	26157	Гдов	Сяберо	1966–2017	1966–2017	41
3	26094	Тихвин	Шугозеро	1944–2017	1944–2017	61

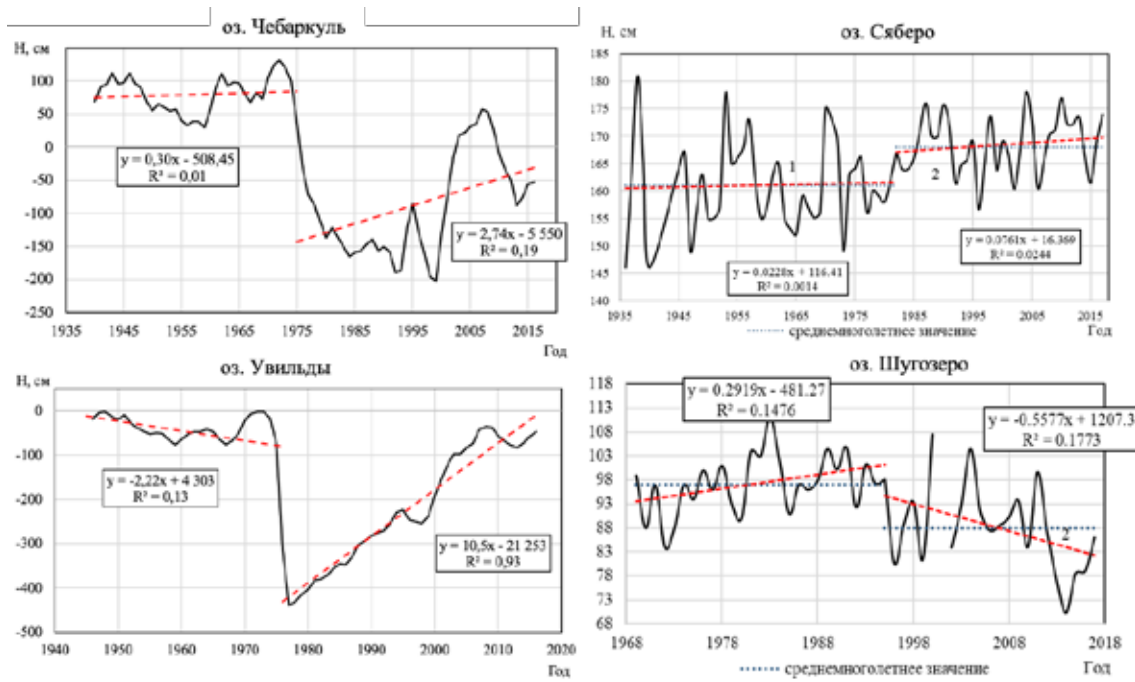


Рис. 1. Хронологические графики хода средних годовых уровней воды исследуемых озер

Результаты исследования и их обсуждение

Установлено, что ряды средних годовых уровней озер Чебаркуль и Увильды (Челябинская область) являются неоднородными по критерию Фишера.

Временные ряды уровней озер Ленинградской области неоднородны по среднему значению, а также по дисперсии за счет большой амплитуды колебаний.

На рис. 1 представлены хронологические графики хода средних уровней воды озер Чебаркуль, Увильды, Сяберо и Шугозеро.

На озере Чебаркуль до 1975 г. наблюдается незначимый тренд на повышение. За этот же период на озере Увильды выявлен значимый тренд на понижение. После 1975 г. на обоих озерах наблюдаются значимые тренды на повышение уровней воды. На полученных хронологических графиках наблюдается резкое понижение уровня воды в 1975–1976 гг. на обоих озерах. Это связано с тем, что в 1975 г. в течение теплого периода сохранялся дефицит осадков при повышенном температурном фоне, что привело к сильной засухе. На хронологическом графике средних температур воздуха и сумм осадков за теплый период (V–IX месяцы) видно резкое уменьшение осадков на фоне высокой средней температуры воздуха в 1975 г. (рис. 2). На хронологическом графике средних годовых уровней воды озе-

ра Чебаркуль отмечаются маловодные годы (1952, 1958, 1975, 2010), что согласуется с результатами, представленными на рис. 2. На озере Увильды отмечаются маловодные годы в те же периоды.

На озере Сяберо до 1982 г. был выявлен значимый положительный линейный тренд, после 1982 г. – также незначимый положительный тренд. Среднегодовое значение за весь период наблюдений поменялось с 161 см до 168 см. За период до 1995 г. на Шугозере наблюдался значимый тренд на повышение, после 1995 г. – незначимый на понижение. Среднегодовое значение уровней воды за всю исследуемую выборку уменьшилось с 97 см до 88 см.

В ходе анализа резких изменений в уровненом режиме исследуемых озер Ленинградской области, расположенной в зоне избыточного увлажнения и характеризующейся умеренными температурными колебаниями и интенсивными осадками (рис. 3 и 4), не выявлено. Однако в сравнении с озерами зоны достаточного увлажнения (Чебаркуль, Увильды) на Шугозере и Сяберо выявлены высокие многолетние колебания уровней воды. Максимальная амплитуда колебаний составляет 61 см. При анализе рис. 3 и 4 были выявлены незначимые тренды на повышение средней температуры и сумм осадков по метеостанциям Гдов и Тихвин.

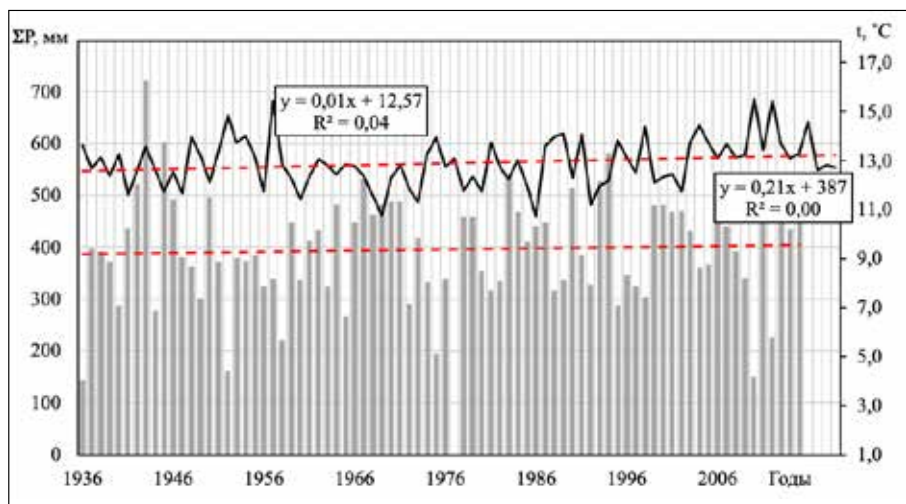


Рис. 2. Хронологические графики хода средних температур и сумм осадков по данным наблюдений на метеостанции Златоуст

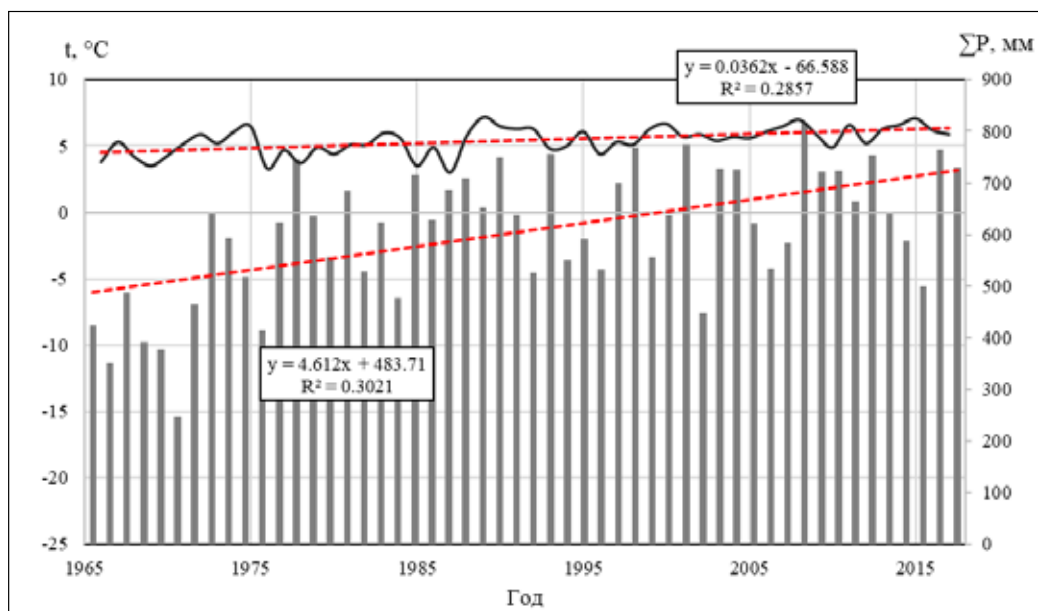


Рис. 3. Хронологические графики хода средних температур и сумм осадков по данным наблюдений на метеостанции Гдов

Скорость изменения значения средней годовой температуры воздуха для метеостанций Ленинградской области составляет в среднем $0,35^{\circ}\text{C}$ за 10 лет, что на $0,25^{\circ}\text{C}$ больше, чем на метеостанции Златоуст (Челябинская область).

Анализ данных инструментальных наблюдений за метеорологическими элементами и уровнями озер свидетельствует о доминирующем влиянии климатических факторов. Но при этом следует отметить, что большое влияние на особенности изменений уровня воды озера Увильды (Челя-

бинская область) оказывают антропогенные факторы (наполнение водохранилища, забор воды на хозяйственные нужды и т.д.), которые нарушают естественный гидрологический режим данного водного объекта.

Так, в результате засухи 1975 г. в Аргазинском водохранилище случился дефицит воды. Чтобы наполнить его водой от озера Увильды, был прорыт канал до самого водохранилища с целью водоснабжения, вследствие чего озеро Увильды сильно пострадало. Уровень воды понизился более чем на 4 м и лишь к 2008 г. смог восстановиться.

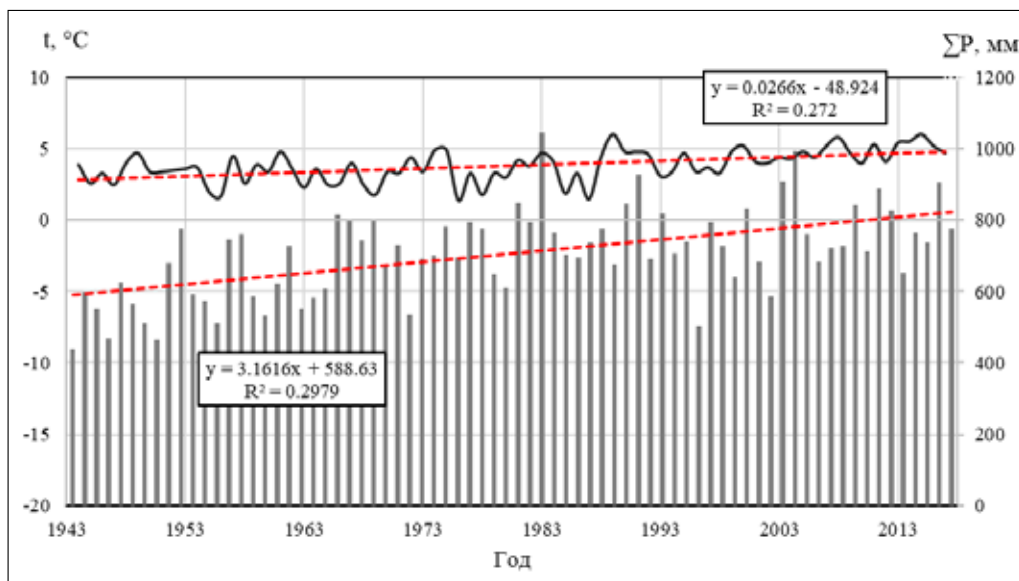


Рис. 4. Хронологические графики хода средних температур и сумм осадков по данным наблюдений на метеостанции Тихвин

Полученные результаты будут использованы при мониторинге состояния уровня режимов озёр избыточного и достаточного увлажнения.

Заключение

На основе анализа данных длительных наблюдений климата на водосборах исследуемых озёр Челябинской области (Увильды, Чебаркуль) и Ленинградской области (Сяберо, Шугозеро) выявлено доминирующее влияние климатических факторов на их уровеньный режим. При этом, в зависимости от факторов подстилающей поверхности, зоны увлажнения, региональных особенностей, реакция гидрологического режима озёр по-разному отзывается на климатические изменения.

Общее для всех рассматриваемых озёр — наличие положительного тренда среднегодовой приземной температуры воздуха в выбранном регионе.

Помимо климатической составляющей на уровеньный режим исследованных озёр оказывает влияние антропогенная деятельность, нарушающая естественную гидрологическую обстановку.

Установлено, что ряды уровней воды исследуемых озёр имеют существенный нестационарный характер.

Было установлено, что водные объекты Челябинской области, Чебаркуль и Увильды, имеют общую закономерность изме-

нения уровня режима, которая связана с хозяйственной деятельностью человека (забор воды в период засухи), а также с климатическими изменениями. Анализ графиков показал, что на данных озёрах маловодные и многоводные периоды наступают практически одновременно.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, № FSZU-2020-0009 «Исследование физических, химических и биологических процессов в атмосфере и гидросфере в условиях изменения климата и антропогенных воздействий».

Список литературы

1. Давыденко Е.В., Гайдукова Е.В., Дрегваль М.С. Особенности уровня режима озёр Кольского полуострова // Ученые записки РГМУ. 2020. № 61. С. 437–445.
2. Филатов Н.Н., Назарова Л.Е., Георгиев А.П., Семенов А.В., Анциферова А.Р., Ожигина В.Н., Богдан М.И. Изменения и изменчивость климата европейского Севера России и их влияние на водные объекты // Арктика: экология и экономика. 2012. № 2 (6). С. 80–93.
3. Филатов Н.Н. Изменения климата Восточной Финляндии и уровня воды крупнейших озёр Европы. Петрозаводск, 1997. 148 с.
4. Филатов Н.Н., Выручалкина Т.Ю. Многолетняя изменчивость уровня воды великих озёр Евразии и Северной Америки // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 5. С. 519–531.
5. Мяхишева Н.В., Давыденко Е.В., Орлов Д.А. Разномасштабная изменчивость уровня воды в озёрах России. Арктический регион. Умбозеро // Успехи современного естествознания. 2021. № 12–1. С. 166–172.
6. Сикан А.В., Малышева Н.Г., Винокуров И.О. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: Издательство РГМУ, 2014. 76 с.

УДК 624.139.62:536.244

**ФОРМИРОВАНИЕ ЛЬДОПОРОДНОГО МАССИВА
НА ДНЕ ОТРАБОТАННОГО КИМБЕРЛИТОВОГО КАРЬЕРА
«ИНТЕРНАЦИОНАЛЬНЫЙ» АК «АЛРОСА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ЖИДКОСТНЫХ ЗАМОРАЖИВАЮЩИХ КОЛОНОК
ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ****Курилко А.С., Соловьёв Д.Е.***ФГБУН Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения
Российской академии наук, Якутск, e-mail: solovjevde@igds.ysn.ru*

В качестве одного из способов обеспечения безопасных условий на действующем руднике «Интернациональный», отрабатывающем подкарьерные запасы, и предотвращения чрезвычайной ситуации из-за накопления на дне отработанного карьера обводненной породной осыпи, предлагается ее искусственное промораживание с использованием жидкостных замораживающих колонок с принудительной циркуляцией хладоносителя. На основе математического моделирования, с учетом влияния температурных условий на поверхности, расположения и взаимовлияния замораживающих колонок, а также способа охлаждения хладоносителя, проведены многовариантные теплофизические расчеты основных параметров. Полученные результаты позволили, в частности, определить продолжительность промерзания пород между замораживающими колонками для различных схем их расположения и выбрать наиболее оптимальные варианты. В целях максимального сокращения времени промораживания рекомендована гексагональная схема размещения замораживающих колонок и двухэтапная схема подготовки хладоносителя. Проведенными исследованиями выявлена зависимость продолжительности промораживания обводненной осыпи от физических свойств слагающих ее геоматериалов (в частности, влажности и плотности). Подчеркивается, что сформированный на дне отработанного карьера льдопородный массив обладает высокой несущей способностью. В условиях криолитозоны при искусственно поддерживаемом отрицательном температурном режиме в период эксплуатации льдопородный массив будет выполнять функции искусственного предохранительного целика, защищая действующий рудник от возможного внезапного прорыва вод.

Ключевые слова: отработанный кимберлитовый карьер, обводненная породная осыпь, криолитозона, жидкостные замораживающие колонки, хладоноситель, атмосферный и искусственный холод, математическое моделирование

**FORMATION OF AN ICE-ROCK MASSIF AT THE BOTTOM
OF THE «INTERNATIONAL» MINED-OUT KIMBERLITE QUARRY
OF ALROSA USING LIQUID FREEZING COLUMNS OF FORCED ACTION****Kurilko A.S., Solovjev D.E.***Federal State Academic Institution "Chersky Mining Institute of the North" Siberian Branch,
Russian Academy of Sciences, Yakutsk, e-mail: solovjevde@igds.ysn.ru*

As one of the ways to ensure safe conditions at the existing mine "International", which mines sub-open-pit reserves and to prevent an emergency, due to the accumulation of watered rock talus at the bottom of the spent quarry, it is proposed to artificially freeze it using liquid freezing columns with forced circulation of the coolant. Based on mathematical modeling, taking into account the influence of temperature conditions on the surface, the location and mutual influence of freezing columns, as well as the method of cooling the coolant, multivariate thermophysical calculations of the main parameters were carried out. The results obtained made it possible, in particular, to determine the duration of freezing of rocks between freezing columns for various schemes of their location and to choose the most optimal options. In order to minimize the freezing time, a hexagonal layout of freezing columns and a two-stage refrigerant preparation scheme are recommended. The conducted studies revealed the dependence of the duration of freezing of watered talus on the physical properties of the geomaterials composing it (in particular, moisture and density). It is emphasized that the ice-rock massif formed at the bottom of the worked-out pit has a high bearing capacity. In permafrost conditions with an artificially maintained negative temperature regime during operation, the ice-rock massif will perform the functions of an artificial safety pillar, protecting the operating mine from a possible sudden breakthrough of water.

Keywords: mined-out kimberlite quarry, flooded rock talus, permafrost zone, liquid freezing columns, coolant, atmospheric and artificial cold, mathematical modeling

К числу основных тенденций, осложняющих освоение минерально-сырьевой базы в России и за рубежом, относится усложнение экономико-географических и горно-технических условий разработки месторождений как открытым, так и подземным способами, в том числе в северных регионах.

В связи с этим перед различными направлениями горной науки, в первую очередь геомеханики и теплофизики, встали ряд сложных задач, в плане выявления особенностей ведения горных работ в экстремальных климатических, геокриологических и геотехнологических условиях и разработке ме-

роприятий по нейтрализации и управлению негативными процессами, приводящими к возникновению чрезвычайных ситуаций, деформированию и разрушению прибортовых горных массивов карьеров и подземных горных выработок шахт и рудников.

Всё вышесказанное в полной мере относится к кимберлитовым рудникам АК «АЛРОСА», дорабатывающим подкарьерные запасы, где горно-технические условия крайне неблагоприятны. В частности, на руднике «Интернациональный» в настоящее время обрушившаяся с бортов на дно карьера порода представляет собой водонасыщенный массив значительной мощности (около 45 м) с наличием на поверхности техногенного озера. Это создаёт дополнительную нагрузку на предохранительный целик, что чревато негативными последствиями, связанными с его разрушением и возможным внезапным прорывом пульпы и скопившихся вод в рудник.

Одним из наиболее приемлемых выходов из сложившейся неординарной, крайне непростой ситуации, при невозможности технической ликвидации накопленных обводненных осыпей может быть их криогенная консервация путем принудительной проморозки. Таким способом будет образовано льдопородное сооружение (целик), обладающее высокой несущей способностью. В связи с этим целью работы является исследование особенностей формирования льдопородного массива из обводнённых осыпей, образованных на дне отработанного карьера «Интернациональный» с использованием жидкостных замораживающих устройств принудительного действия.

Материалы и методы исследования

Искусственное замораживание грунтов

Способ искусственного замораживания грунтов нашел применение практически во всех областях строительства: шахтном, промышленном, гидротехническом, при строительстве метрополитенов и т.д. [1–3]. Его, в частности, применяют для создания монолитного льдопородного основания в фундаментах инженерных сооружений, образования противифльтрационных льдопородных завес в насыпных плотинах хвостохранилищ обогатительных фабрик, сооружения плавучих ледяных платформ на шельфах северных морей, грунтовых аккумуляторов холода в криолитозоне и в других целях [4–6].

Для ускоренного замораживания пород чаще всего применяют жидкостные охлаждающие устройства, работающие на искусственно вырабатываемом холоде с принудительной циркуляцией хладоносителя, имеющие значительные преимущества, по сравнению с воздушными, которые зачастую через короткое время забиваются льдом и инеем, а восстановление их работоспособности требует значительных затрат энергии и рабочего времени, что также немаловажно [7]. Кроме этого, такие колонки могут работать круглый год вне зависимости от температуры окружающей среды.

При промораживании породной осыпи на дне карьера предлагается двухэтапный способ, который включает в себя активное замораживание (в начальный период), а затем поддержание массива в мерзлом состоянии [8].

Необходимо отметить, что активное промораживание осыпи должно вестись в круглогодичном режиме до ее полной проморозки на всю мощность. Пассивное промораживание производится после завершения активного, ежегодно только в зимний период с использованием атмосферного холода.

Для прогнозирования скорости промерзания обводненной породной осыпи в отработанном карьере при ее искусственном замораживании была разработана трехмерная математическая модель, учитывающая ряд параметров, в том числе динамику температурных условий на поверхности, расположение и взаимовлияние замораживающих колонок, а также способ охлаждения хладоносителя.

Были проведены численные расчеты теплового взаимодействия вертикальных замораживающих колонок и обводненной породной осыпи с целью выбора оптимальных параметров их расположения для следующих вариантов схем и шага их установки:

I. Квадратная схема. Расстояние между колонками и рядами колонок – 3 м (рис. 1, а).

II. Шахматная схема. Расстояние между колонками и рядами колонок – 3 м (рис. 1, б).

III. Гексагональная схема, при которой сохраняется шахматный порядок в расположении колонок между рядами, при этом расстояние между колонками (как и между теми, которые располагаются в одном ряду, так и между соседними рядами) должно быть одинаковым в виде равностороннего треугольника (рис. 1, в). Длина ребра равностороннего треугольника: а) 3 м; б) 5 м; в) 6 м; г) 7 м.

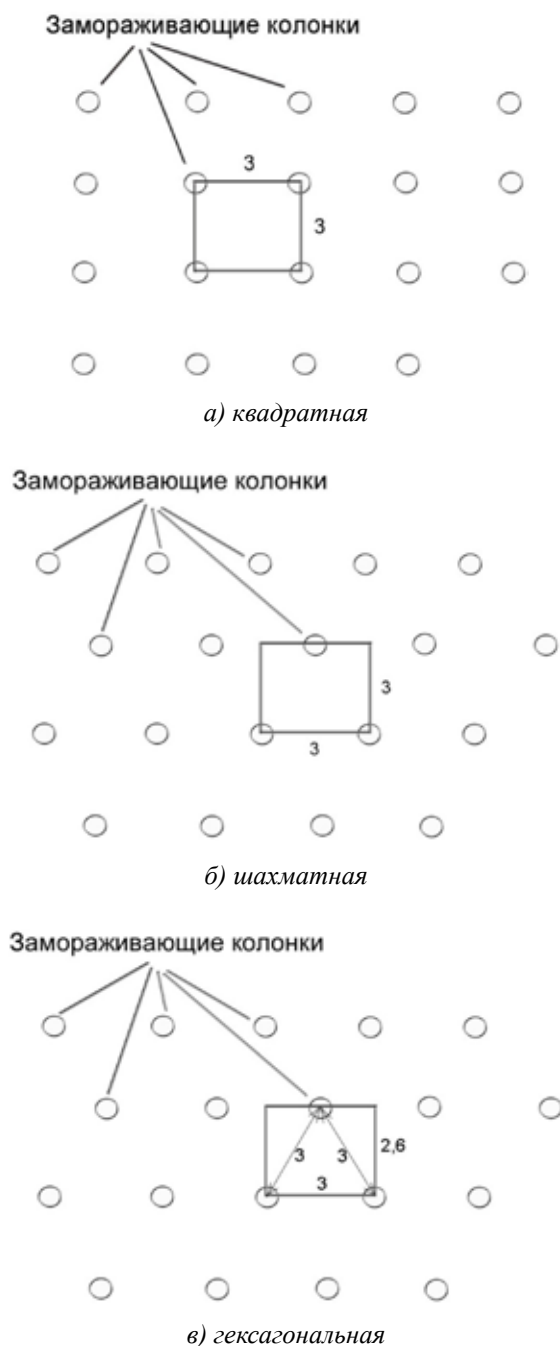


Рис. 1. Схемы размещения замораживающих колонок на породной осыпи

Необходимо отметить, что при построении трехмерной математической модели рассматривалась не вся площадь породной осыпи, а отдельно выделенный участок, на котором расположены три или четыре замораживающие колонки в зависимости от принятой схемы их размещения. Через боковые поверхности выделенных участков тепловые потоки отсутствуют. Данный подход позволяет определить скорость промерзания пород в области между ко-

лонками и существенно снизить затраты машинного времени на проведение численных расчетов.

Расчеты проводились при следующих исходных теплофизических параметрах породной осыпи (которые были получены на основе лабораторных испытаний образцов породной осыпи, отобранных со дна карьера и фондовых источников): естественная температура породной осыпи – $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; температура фазового перехода воды – $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$; коэффициент теплопроводности пород в талом и мерзлом состояниях соответственно $1,73$ и $1,85\text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$; удельная теплоемкость скелета породы – $887\text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$; плотность породы – 2000 кг/м^3 ; влажность породы – $0,15$ д.е.; коэффициент теплопередачи от внешней поверхности замораживающих труб к окружающей породе – $262\text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$; температура хладагента в замораживающих колонках – -15 (-20) $^{\circ}\text{C}$.

Начало расчетов осуществляется с 15 октября, когда устанавливаются отрицательные среднесуточные температуры воздуха в районе расположения карьера «Интернациональный».

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты расчетов приведены в графическом виде на рис. 2–4, где показано температурное поле по горизонтальному и вертикальному сечению породной осыпи между замораживающими колонками для первого варианта их размещения и температуре хладагента $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. На рис. 2 показана температура пород по горизонтальному сечению расчетного участка на глубине 20 от поверхности спустя 4 месяца (121 день) после начала работы системы замораживания. Видно, что происходит прогрессирующее промерзание пород между колонками, при этом в средней части остается зона талых пород с температурой выше $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чтобы произошло полное промерзание пород (рис. 3 и 4) при данной схеме расположения колонок, необходима работа системы замораживания в течение более 6 месяцев (191 день).

Проведенными исследованиями было выявлено, что изменение схемы расположения замораживающих колонок с квадратной на шахматную (второй вариант размещения колонок) позволяет добиться снижения времени, затрачиваемого на промораживание породной осыпи. Полное промерзание пород при данной схеме расположения колонок происходит в течение 177 дней (рис. 5).

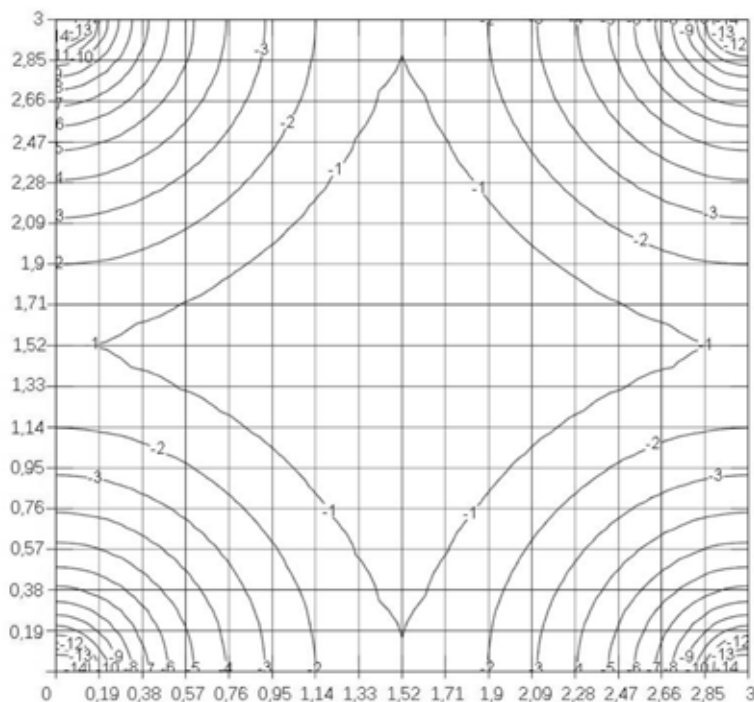


Рис. 2. Температурное поле в породной оси
при I варианте размещения замораживающих колонок, по истечении 121 дня
(горизонтальное сечение на глубине 20 м от поверхности)

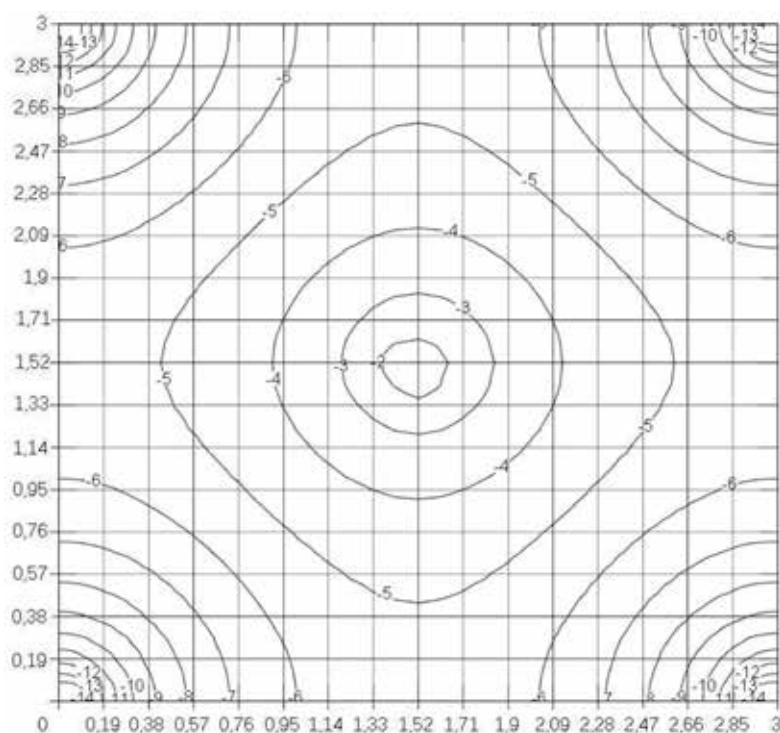
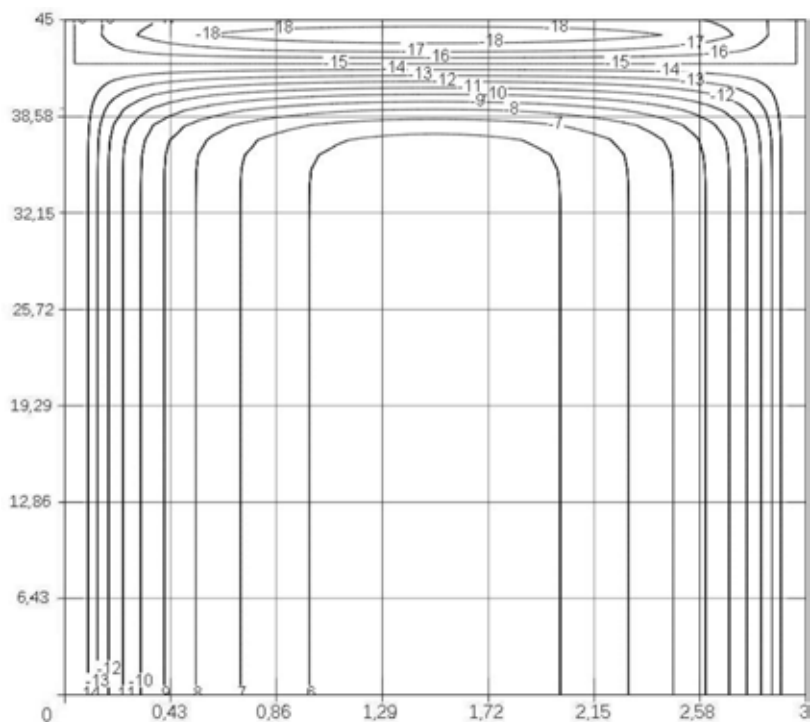
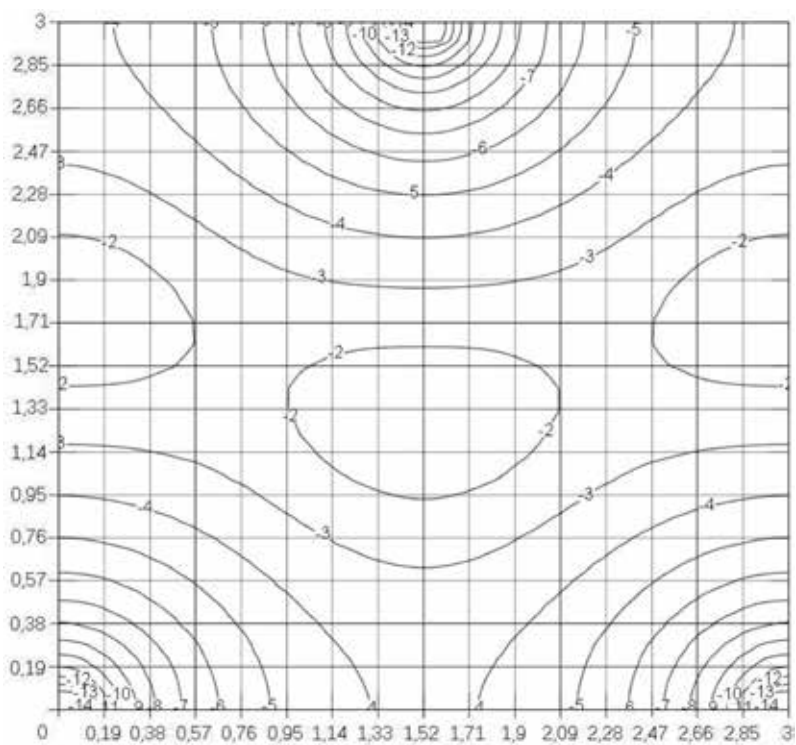


Рис. 3. Температурное поле в породной оси
при I варианте размещения замораживающих колонок,
по истечении 191 дня (горизонтальное сечение на глубине 20 м от поверхности)



*Рис. 4. Температурное поле в породной осяти
 при I варианте размещения замораживающих колонок, по истечении 191 дня
 (вертикальное сечение, между колонками)*



*Рис. 5. Температурное поле в породной осяти
 при II варианте размещения замораживающих колонок, по истечении 177 дней
 (горизонтальное сечение на глубине 20 м от поверхности)*

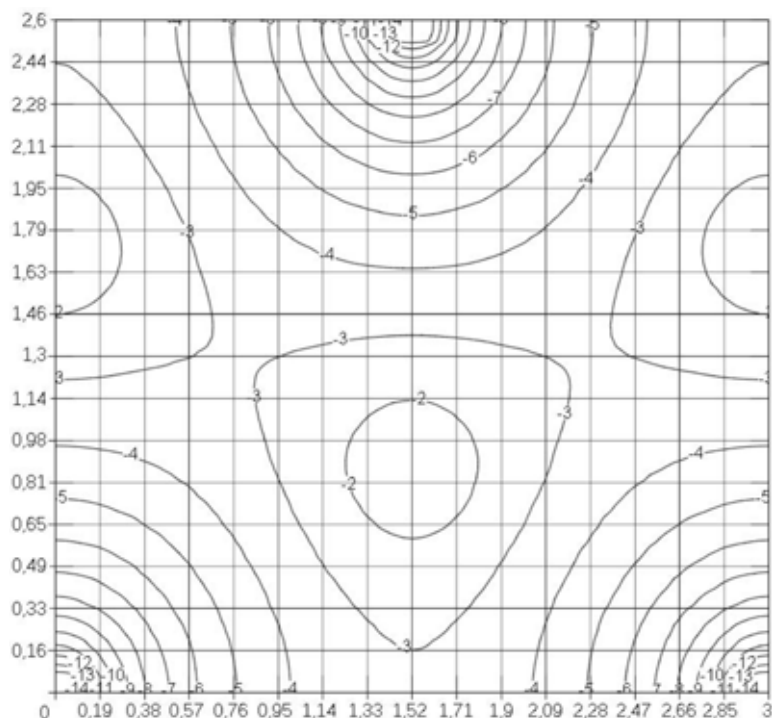


Рис. 6. Температурное поле в породной насыпи при III варианте размещения замораживающих колонок, располагающихся на расстоянии 3 м друг от друга, по истечении 150 дней (горизонтальное сечение на глубине 20 м от поверхности)

Гексагональная схема расположения замораживающих колонок, как следует из приведенных данных на рис. 6, существенно сокращает время полного промораживания породной осыпи, которое составит 150 дней. Для случая, когда расстояние между колонками составляет 3 м, время промораживания породной осыпи сокращается по сравнению с I вариантом на 41 день и, соответственно, на 27 дней по сравнению с II вариантом.

Понижение температуры хладоносителя до -20°C , при данной схеме расположения замораживающих колонок, позволяет дополнительно сократить время промораживания породной осыпи на 35 дней. В этом случае промерзание пород между колонками произойдет за 115 дней, т.е. практически за 4 месяца.

Вышеприведенные варианты расчетов рассматривались для случая, когда температура хладоносителя в течение всего периода промораживания породной осыпи поддерживается на заданном уровне (в данных расчетах приняты температуры -15°C и -20°C). В то же время возможно использовать жидкостную замораживающую систему, в которой применяется двухэтапное охлаждение

хладоносителя, с охлаждением на первом этапе до некоторой постоянной заданной температуры (например -15°C), а на втором этапе при понижении температуры атмосферного воздуха ниже температуры хладоносителя на 5°C , то в этом случае хладоноситель подается в воздушный теплообменник (радиатор) с вентилятором и, охлаждаясь, принимает температуру атмосферного воздуха. При таком варианте, используя атмосферный холод, можно добиться сокращения энергетических затрат и времени на промерозку породной осыпи, что подтверждается результатами расчетов на математических моделях, приведенных в таблице.

Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод, что применение вышеописанного способа подготовки хладоносителя, при гексагональной схеме расположения замораживающих колонок, позволяет добиться значительного сокращения продолжительности промораживания породной осыпи. Например, для случая, когда расстояние между колонками равно 5 м, время промораживания составит 298 дней, что на 226 дней меньше, чем при постоянной температуре хладоносителя, подаваемого в замораживающие колонки.

Время промерзания пород между замораживающими колонками
для III варианта их размещения
(породная осыпь: влажность – 0,15 д.е.; плотность – 2000 кг/м³)

Расстояние между колонками, м	Температура хладоносителя, °С	С учетом атмосферного холода, дни	Без учета атмосферного холода (температура хладоносителя постоянная), дни
3	-15	90	150
	-20	87	115
5	-15	298	524
	-20	276	402
6	-15	499	799
	-20	471	615
7	-15	700	1135
	-20	631	876

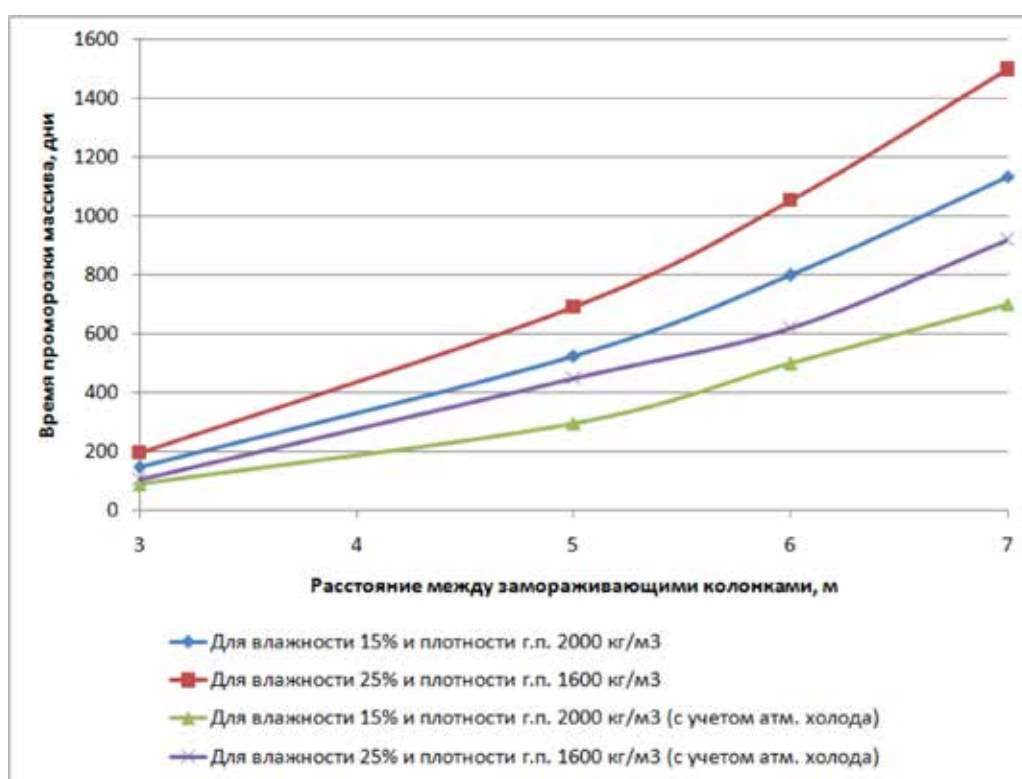


Рис. 7. Время промерзания пород между замораживающими колонками
в зависимости от влажности и плотности
для III варианта их размещения и температуре хладоносителя –15 °С

Применение двухэтапного охлаждения хладоносителя позволяет значительно сократить (до 40%) время промораживания породной осыпи. Таким образом, в целях экономии энергозатрат рационально использовать вариант двухэтапного охлаждения хладоносителя.

Дополнительно были проведены численные расчеты для случая, когда плотность и влажность пород составляют со-

ответственно 1600 кг/м³ и 0,25 д.е. Данное соотношение параметров может быть характерно для центральной части породной осыпи. Остальные исходные параметры оставались без изменений. Результаты расчетов для гексагональной схемы расстановки замораживающих колонок приведены на рис. 7, соответственно для вариантов без и с учетом влияния атмосферного холода на температуру хладоносителя.

Как видно из рисунка, изменение влажности и плотности пород влияет на время, затрачиваемое на промораживание породной осыпи между колонками. Так, например, для проморозки породной осыпи, при расстоянии между колонками 7 м (с влажностью 25 % и плотностью 1600 кг/м³), потребуется непрерывная работа системы замораживания в течение четырех лет (при постоянной температуре хладоносителя -15°C), что почти на 1 год дольше, чем для менее влажных пород (с влажностью 15 % и плотностью 2000 кг/м³).

Таким образом, изменение физических свойств промораживаемого массива значительно влияет на время его проморозки. Для получения более точных расчетных данных потребуются дополнительные исследования, связанные с отбором проб в породной осыпи карьера «Интернациональный», и проведение лабораторных испытаний на определение их физических свойств.

Заключение

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Для предотвращения возможной чрезвычайной ситуации в действующем руднике при внезапном прорыве скопившихся на дне отработанного кимберлитового карьера криолитозоны обводненных породных масс, наиболее рациональным путем является их проморозка с образованием монолитного льдопородного сооружения (целика), обладающего высокой несущей способностью.

Предлагается способ проморозки обводненной породной осыпи и стабилизации отрицательного температурного режима образованного льдопородного целика, с использованием замораживающих колонок, который несложен в реализации и предполагает использование наряду с машинным атмосферного холода для охлаждения хладоносителя.

Наиболее предпочтительно использование двухэтапного способа промораживания техногенного озера и геоматериалов, слага-

ющих породную осыпь. Первый этап реализуется в начальный период и обеспечивает их активное промораживание в круглогодичном режиме с принудительной циркуляцией хладоносителя в колонках. В дальнейшем (второй этап) производится пассивное ежегодное промораживание породной осыпи только в зимний период для компенсации летних холодопотерь льдопородного целика, с использованием атмосферного холода для охлаждения хладоносителя и естественной циркуляцией хладоагента в колонках.

Гексагональная схема расположения замораживающих колонок позволяет максимально сократить время промораживания породной осыпи.

Лабораторные исследования проводились на оборудовании ЦКП ФИЦ ЯНЦ СО РАН (грант № 13.ЦКП.21.0016).

Список литературы

1. Вакуленко И.С. Анализ и перспективы развития способа искусственного замораживания горных пород в подземном строительстве // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 3. С. 338–346.
2. Кузнецов Г.И. Мерзлотные подпорные стены в гидротехническом строительстве // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2018. № 1 (709). С. 76–83.
3. Семин М.А., Левин Л.Ю., Паршаков О.С. Выбор параметров и обоснование режима работы замораживающих колонок для поддержания толщины льдопородного ограждения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2020. № 5. С. 194–205.
4. Хохолов Ю.А., Курилко А.С., Соловьев Д.Е. Расчет температурного поля засоленных горных пород в устьевой части вертикального ствола при работе замораживающей системы // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 3. С. 176–184.
5. Ahmed Marwan, Meng-Meng Zhou, M. Zaki Abdelrehim, Günther Meschke Optimization of artificial ground freezing in tunneling in the presence of seepage flow. Computers and Geotechnics. 2016. Vol. 75. P. 112–125.
6. Mahmoud A. Alzoubi, Minghan Xu, Ferri P. Hassani, Sébastien Poncet, Agus P. Sasmito Artificial ground freezing: A review of thermal and hydraulic aspects. Tunnelling and Underground Space Technology. 2020. Vol. 104.
7. Степанов А.В., Попенко Ф.Е., Рожин И.И. Основы инженерной защиты объектов строительства в криолитозоне. Новосибирск: Наука, 2014. 448 с.
8. Васильев В.И. Моделирование распределения стационарных температурных полей в криолитозоне при проектировании геотехнических сооружений: учебное пособие под ред. В.И. Васильева, Н.И. Сидняева. М.: КУРС. 2017. 624 с.

УДК 630*114:631.436

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНОГО ФОНДА ЧУЙСКОЙ ОБЛАСТИ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ****Тотубаева Н.Э., Максатбекова А.М.***Кыргызско-Турецкий университет «Манас», Бишкек, e-mail: nurzat.totubaeva@manas.edu.kg*

Масштабные изменения ландшафта Чуйского региона и в особенности высокий темп урбанизации г. Бишкека, а также застройки, рост промышленного и сельского хозяйства приводят к изменению систем и циклов, основанных на функционировании экосистем. Эти перемены являются сильной и потенциально серьезной угрозой окружающей среде, а также очень негативно влияют на состояние земельных ресурсов. Чтобы эффективно защитить земельные ресурсы и рационально управлять ими, необходимо иметь точные и достоверные данные о сегодняшнем состоянии земельного ресурса и намеченных тенденциях, включая их использование, владение и их деградацию, а также включать их в геоинформационные системы ГИС, которые легкодоступны для их использования. Актуальность продовольственных проблем в стране обусловлена ограничением условий формирования продовольственных ресурсов растущему населению. Для этого требуется усилить контроль сохранения природных ресурсов, удвоить их научное исследование и найти инновационные пути решения создавшихся проблем. Актуальная задача специалистов широкого круга – обеспечить население жильем, продовольствием, при этом сохранить природные экосистемы. Задача очень сложная, но вполне разрешимая. Для этого требуется консолидация сил ученых широкого круга. Нами изучена динамика земельных ресурсов Чуйского региона, как одного из наиболее подверженных урбанизации регионов. Используя программный комплекс ArcGIS и архив спутниковых данных, провели дистанционное зондирование, оценку земель сельскохозяйственного назначения и произвели расчет площадей. С помощью собранных данных, методом симуляции данных произвели статистические и предсказанные значения изменений земельных ресурсов до 2060 г., где видно значительное уменьшение площадей земель сельскохозяйственного назначения. Для сохранения этих земель необходимо разработать систему рационального использования, создать единый реестр почвенных ресурсов, используя широкие возможности ГИС-технологий.

Ключевые слова: земельные ресурсы, земельный фонд, экологическое состояние, геоинформационная система, геоинформационные технологии

**ANALYSIS OF CHANGES IN THE LAND FUND
OF THE CHUI REGION USING GIS TECHNOLOGIES****Totubaeva N.E., Maksatbekova A.M.***Kyrgyz-Turkish Manas University, Bishkek, e-mail: nurzat.totubaeva@manas.edu.kg*

Large-scale changes in the landscape of the Chui region and in particular the high rate of urbanization of the city of Bishkek, as well as development, industrial and agricultural growth, lead to a change in systems and cycles based on the functioning of ecosystem's. These changes are a strong and potentially serious threat to the environment, as well as a very negative impact on the state of land resources. In order to effectively protect and manage land resources, it is necessary to have accurate and reliable data on the current state of the land resource and the intended trends, including its use, ownership and degradation, and to include it in GIS geographic information systems that are easily accessible for their use. The relevance of food problems in the country is due to the limited conditions for the formation of food resources for a growing population. This requires strengthening control over the conservation of natural resources, doubling their scientific research and finding innovative ways to solve the problems that have arisen. The urgent task of a wide range of specialists is to provide the population with housing and food while preserving natural ecosystems. The task is very difficult, but quite solvable. This requires the consolidation of the forces of a wide range of scientists. In our research, we studied the dynamics of land resources in the Chui region, as one of the region's most prone to urbanization. Using the ArcGIS software package and the satellite data archive, we conducted remote sensing, assessed agricultural land, and calculated the area. With the help of the collected data, statistical and predicted values of changes in land resources up to 2060 were produced using the data simulation method, where a significant decrease in the area of agricultural land is visible. To preserve these lands, it is necessary to develop a system of rational use, create a unified register of soil resources, and introduce GIS technologies into a single system.

Keywords: land resources, land fund, ecological state, geoinformation system, geoinformation technologies

Повышение осведомленности о земельных ресурсах и лучшее понимание экологических и социальных вопросов, связанных с землепользованием, повышает осведомленность политиков, государственных служащих и отдельных граждан о необходимости рационального использования земельных ресурсов. Земля рассматривается не только как вид ресурса, который можно осваивать и использовать в хозяй-

ственных целях, но и как национальное достояние, которое необходимо сохранить и приумножить на благо нынешнего и будущих поколений. Это важная составляющая политической, социальной и культурной жизни и экологического баланса в мире [1]. Защита природных ресурсов планеты является одной из важнейших обязанностей человечества. Земельные ресурсы – это природные ресурсы, без которых невозможна

жизнь человека. Специфика земельного ресурса определяется совокупностью особенностей ландшафта, почвы и другой природной среды [2]. Методологические проблемы были рассмотрены в трудах экономистов П. Лукина и П.С. Огулдина. Среди ученых Кыргызской Республики проблему обеспечения продуктами питания затрагивали А.У. Орузбаев, Т.К. Койчуев, Н.Х. Кумсков, А.А. Апышев, Ж.М. Батырканов и др. в изучении возможностей сельского хозяйства в Кыргызстане. Выявление наиболее продуктивных и перспективных направлений развития сельскохозяйственного производства основывается на оценке природного потенциала и эколого-экономической эффективности его использования. Поиск положительных вариантов и сценариев рационального использования земельных ресурсов должен осуществляться с учетом изучения всех важных аспектов управления. Высочайшая эффективность и надежность в решении возникающих социальных, экономических и экологических проблем возможны только при широком использовании технологий геоинформационных систем (ГИС), геоинформационного картографирования и моделирования, а также современных методов [3]. Система геоинформации является информационной системой, которая обеспечивает сбор, хранения, обработки, доступа, представления и распространения согласованной географической информации в пространстве [4]. ГИС содержит информацию о пространственных объектах в виде их цифрового представления (векторного, растрового, квадратового и т.п.) [5]. Столь широкое использование геоинформационных систем обусловлено их высокой эффективностью и результатами комплексного анализа, которые невозможно получить простым анализом традиционных картографических материалов или табличных данных [6]. Кыргызская Республика является аграрной страной, в которой более 60 % жителей проживает в сельской местности, где уровень бедности значительно выше, чем в городах, и зависит от сельскохозяйственного производства. Показатели сельского хозяйства сильно повлияли на экономические показатели, а сельское хозяйство обеспечило значительную часть в ВП [7].

Однако в последние несколько лет сельские хозяйства Кыргызской Республики теряют своё место в национальном экономическом обороте. В 2004 г. доля сельских хозяйств в ВВП составляла 36 %,

в 2019 г. она сократилась до 12,1 % [8]. В стране 1,3 млн га пашни, что составляет всего 7 % от общей площади страны. Орошается более 70 % пахотных земель. Орошаемые земли обеспечивают более 90 % производства сельскохозяйственной продукции и являются стратегическим природным ресурсом Кыргызстана [9]. В последние годы население Бишкека, столицы Кыргызстана, растет, но это увеличение связано с изменениями в земельном фонде Чуйской области. Одновременно с увеличением площади обрабатываемых земель и пастбищ происходят процессы их деградации. Деградация сельскохозяйственных земель происходит и из-за расширения территорий городских и сельских поселений [10]. Цель работы – проанализировать количественный и качественный состав этих изменений, проанализировать, насколько изменения земельного фонда отвечают целям устойчивого развития страны, с использованием ГИС-технологий. Создание эффективной мониторинговой системы на базе ГИС позволяет решать задачи своевременной оценки, прогноза и разработки решений, направленных на устранение и предупреждение негативных процессов в почве [11].

Материалы и методы исследования

Объект наших исследований, Чуйская область расположена в северной части Кыргызстана. Она занимает 10 % территории Кыргызской Республики. Общая площадь района составляет 20,2 тыс. м². Административный центр – г. Бишкек; столица Кыргызстана расположена в центре Чуйской области. В состав Чуйской области входят 8 районов, а также 7 городов (один город областного значения – Токмок и 6 городов районного значения – Кара-Балта, Шопок, Кант, Кемин, Орловка, Каинды), один городской поселок и 105 сельских округов. Весомое пространство в экономике ареала занимает сельское хозяйство с разной формой принадлежности: муниципальные хозяйства, акционерные общества, кооперативы, агрофирмы, корпоративные деревенские объединения и личные фирмы [8].

Информационной базой исследования являются материалы национального статистического комитета Кыргызской Республики, ГПИ «Кыргызгипрозем» ГП. Спутниковые материалы, использованные в нашем исследовании, взяты из навигационной программы SAS.Планета, Google Earth, базовая спутниковая карта ArcMap.



Рис. 1. Карта административной единицы Чуйского района, показанная в программе ArcMap, и атрибутивная таблица

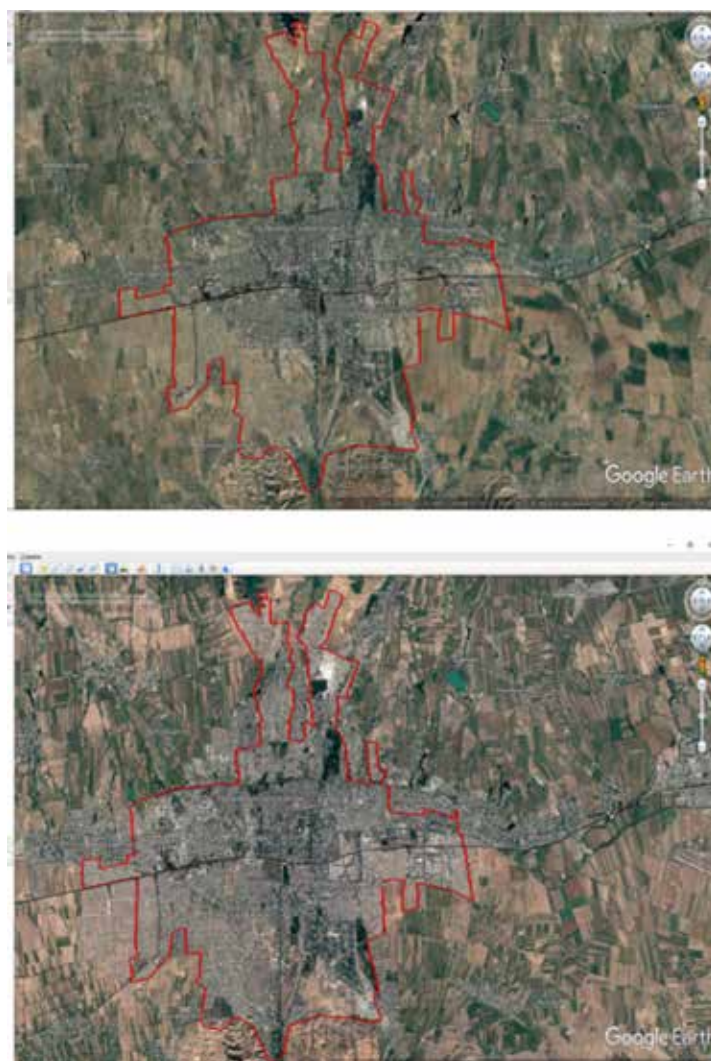


Рис. 2. Сравнительная карта Бишкека 2000–2020 гг., показанная в Google Earth

С помощью спутниковых материалов оценено положение землепользования и земного покрова. Основная геоинформационная программа, использованная в нашем исследовании – ArcMap. В ArcMap вручную произведена оцифровка изучаемой местности (рис. 1). На базе данных построены тематические атрибутированные таблицы. Результаты данных экспортированы в программу Excel, и произведено прогнозирование их последующих изменений.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрены изменения в землепользовании за два периода времени 2000–2020 гг. На основе оценки положения земного покрова изучаемой территории и оцифровки местности выявлены уязвимые участки, подвергшиеся урбанизации и деградации земель сельскохозяйственного назначения. Данные нашего исследования показывают, что естественные ландшафты вблизи г. Бишкека, в особенности пахотные земли Сокулукского и Аламединого районов, подверглись застройке новыми населенными пунктами без соответствия нормам градостроительства. Район исследования оцифрован методом дистанционного зондирования в программе ArcMap. Далее

оцифрованный слой был конвертирован в программу Google Earth. Далее по спутниковым снимкам создана сравнительная карта ситуации в Бишкеке (рис. 2).

Для оценки ущерба в ArcMap вручную оцифрованы все населенные пункты, образовавшиеся после 2000 г. (рис. 3) и участки новых формирующихся жилых районов с 2018 г. (рис. 4).

Создана атрибутивная таблица и рассчитана площадь каждого населенного пункта (табл. 1). Таким образом, площадь населенных пунктов представляет собой площадь утраченных сельскохозяйственных угодий.

Выполнен прогноз изменения сельскохозяйственных земель Аламединого, Сокулукского районов по категориям на основе статистических данных, взятых в ГПИ «Кыргызгипрозем» ГП [8], зависимостью от времени в Excel (табл. 2). Excel создает статистические и предсказанные значения. Если использовать формулу для составления прогноза, то возвращается таблица статистических и прогнозируемых данных и диаграмм. Прогноз предсказывает будущие показатели на основе существующих данных в зависимости от времени и на алгоритме экспоненциальной сглаживания (ETS) версии AAA (рис. 5).

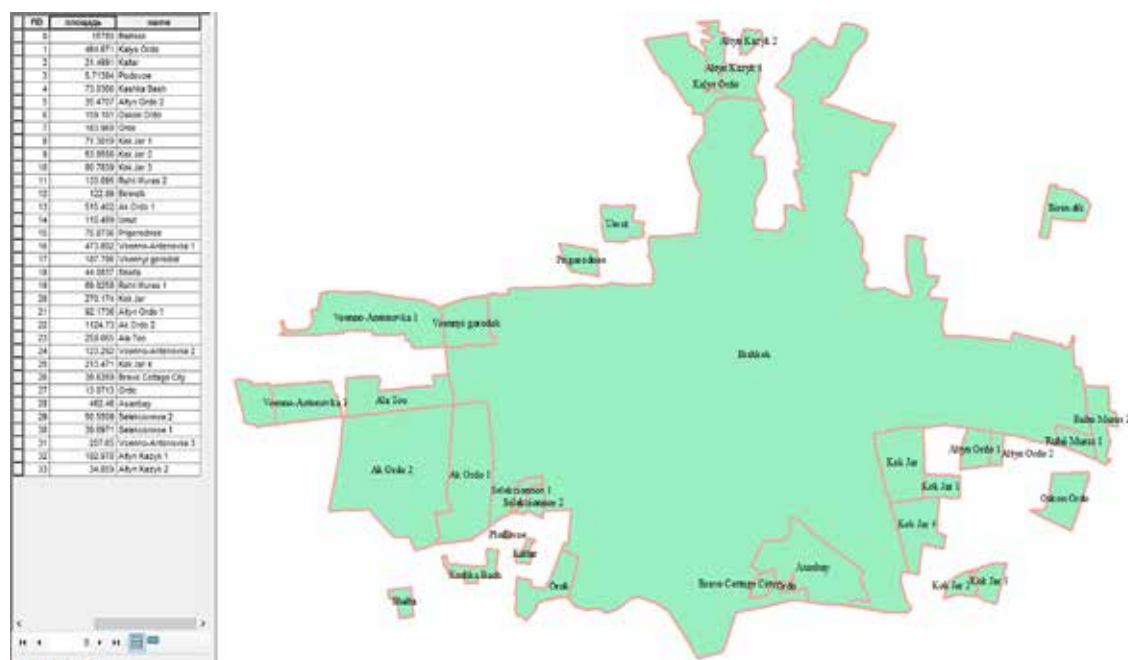


Рис. 3. Карта новых жилых районов на окраине г. Бишкека, образовавшихся после 2000-х гг., и атрибутивная таблица

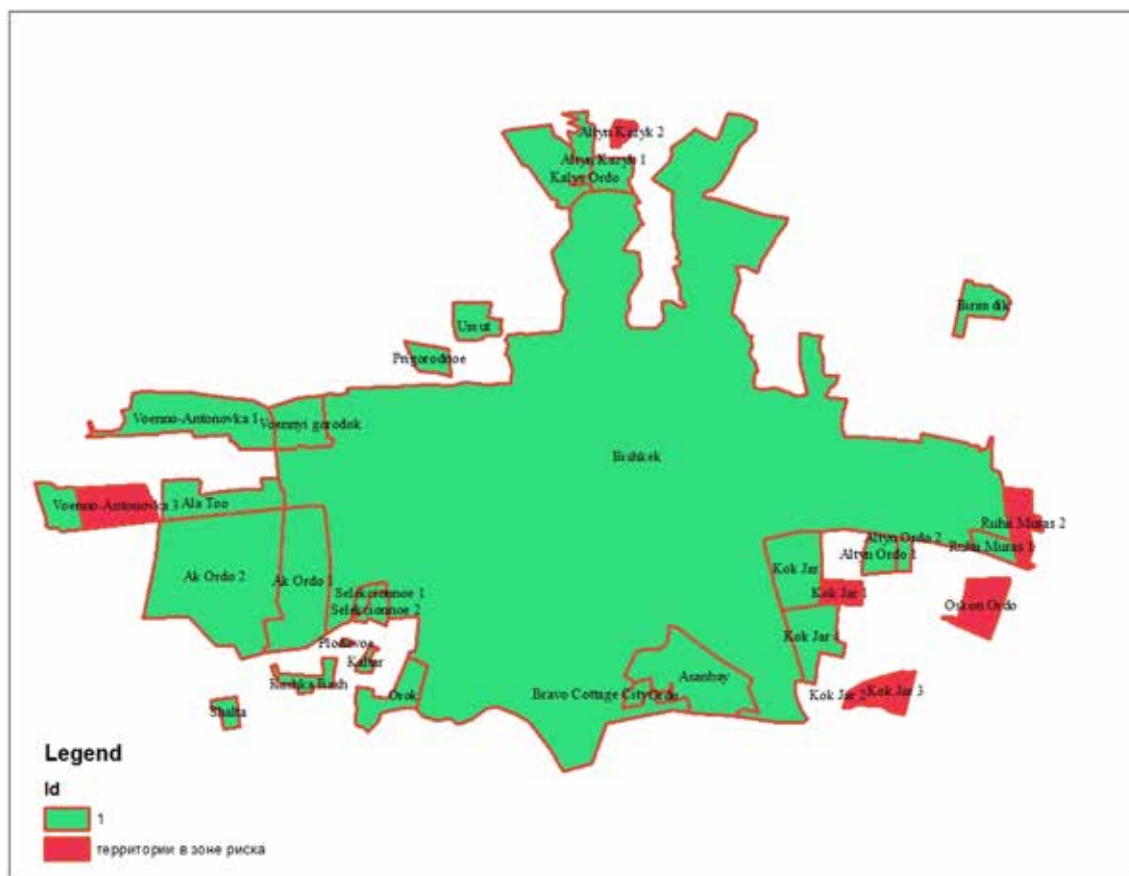


Рис. 4. Карта новых жилых районов на окраине г. Бишкека, образовавшихся после 2018–2020 гг.

Таблица 1

Сводка площадей и названия районов, застроенных после 2000-х гг.

Сокулукский район	Площадь (га)	Аламендинский район	Площадь (га)	Всего (га)
Военный городок	187,786	Алтын Казык 2	34,859004	
Ак Ордо 1	515,402	Алтын Казык 1	182,9783	
Алтын Ордо 2	35,47066	Калыс Ордо	464,6707	
Ала Тоо	258,6648	Умут	110,4989	
Военно-Антоновка 2	123,2918	Пригородное	75,87355	
Военно-Антоновка 1	473,8915	Биримдик	122,8898	
Военно-Антоновка 3	207,6596	Кок Жар	270,1744	
Селекционное 2	50,55087	Кок Жар 1	71,30191	
Селекционное 1	39,69705	Кок Жар 2	53,85985	
Калтар	21,49912	Кок Жар 3	80,78391	
Плодовое	5,713838	Кок Жар 4	213,4711	
Кашка Баш	73,03663	Алтын Ордо 1	92,17364	
Орок	163,969	Браво	39,63586	
Шалта	44,08369	Ордо	13,07132	
Ак Ордо 2	1124,732	Асанбай	462,4597	
		Оскон Ордо	159,181	
		Рухий Мурас 1	202,92077	
	3325,448558		2517,708714	5976,252272

Таблица 2

Прогнозирование изменения сельскохозяйственных земель (га)
Аламединского, Сокулукского районов по категориям

Аламединский район				
Период	Пашни	Мн. насаждения	Сенокосы	Пастбища
1985	36558	3637	2045	58083
1995	36459	2546	2129	50971
2018	33453	1548	2688	43313
2020	33414	1340	2707	41951
2030	32409	742	2911	37675
2040	31405	144	3114	33399
2050	30400	-455	3317	29123
2060	29395	-1053	3520	24846
Сокулукский район				
Период	Пашни	Мн. насаждения	Сенокосы	Пастбища
1985	78685	2226	5310	142487
1995	80697	1445	4079	93227
2018	78755	614	4079	54351
2020	79112	465	3853	45018
2030	78982	-2	3544	20017
2040	78853	-468	3236	-4984
2050	78723	-935	2928	-29985
2060	78593	-1400	2620	-54986

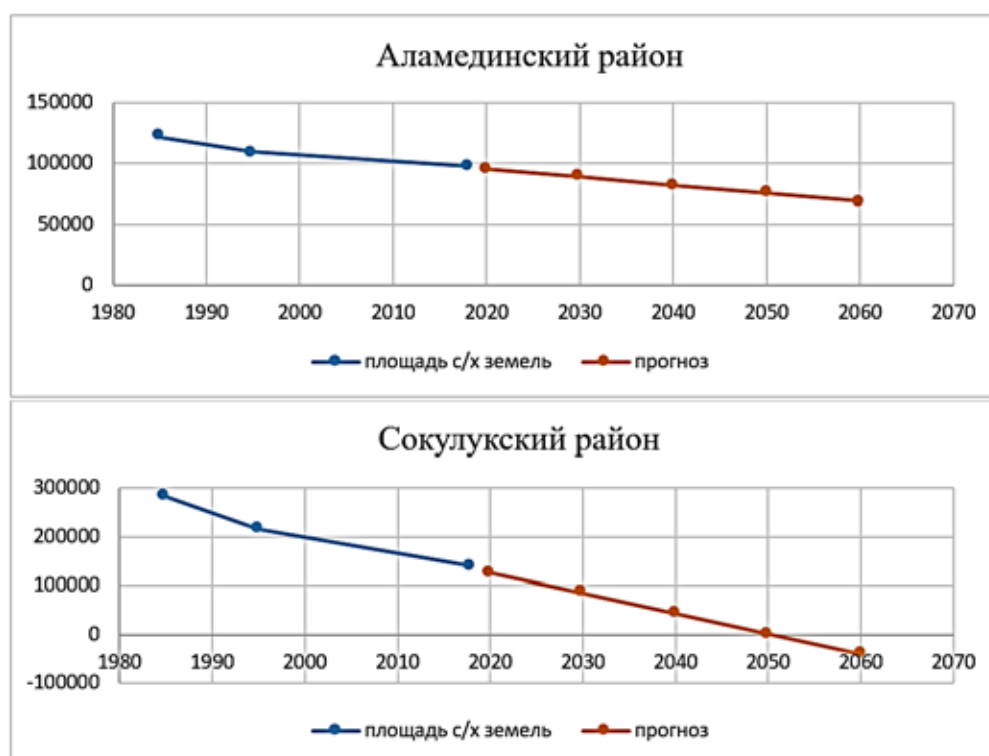


Рис. 5. Прогнозирование изменения сельскохозяйственных земель
Аламединского, Сокулукского районов

Заключение

Наши исследования показали, что земли сельскохозяйственного назначения Чуйского региона быстрыми темпами преобразуются в урболандшафты. Проведенные расчеты показали, что площадь г. Бишкека за последние 20 лет увеличилась на 5976 га и в большей степени за счет трансформации сельскохозяйственных угодий. Кроме этого, преобразованные ландшафты застроены стихийно, без соблюдения санитарно-эпидемиологических, градостроительных и многих других норм и требований. Используя принцип рационального использования земельных и иных природных ресурсов и планируя в среднем возведение 6–7-этажных зданий, можно было сократить площадь застроенных земель в 6 раз. Такими темпами нерационального использования земельных ресурсов к 2040 г. площадь сельского хозяйства значительно сократится и к 2060 г. станет критической. Как известно, сельскохозяйственные земли являются основой продовольственной безопасности и сферой повышения качества жизни населения государства. Для предотвращения экологических, экономических и социальных проблем с большой эффективностью и достоверностью, поможет использование возможностей геоинформационных систем, оперативность и точность данных позволяет качественно проводить планирование и рациональное использование главного богатства – земельных ресурсов.

Список литературы

1. Волков С.Н., Комов Н.В., Хлыстун В.Н. Как достичь эффективного управления земельными ресурсами в Российской Федерации // Международный сельскохозяйственный журнал. 2015. № 3. С. 3–7.
2. Khamidov F.R. Agricultural sciences. The role of land management in organization of rational use and protection of land resources. 2017. P. 124–127.
3. Armin M., Mohammad M., Kheybari V.G. Study and forecast land use ways and ground cover changes in the Yasuja suburb (Kohgiluyeh and Boyer-Ahmed province, Iran). 2020. P. 40–49.
4. Тесленок С.А., Тесленок К.С. Технологии ГИС и ДЗЗ в управлении ресурсами и природопользованием АПК. Проблемы и перспективы развития агропромышленного производства. 2014. С. 166–181.
5. Тесленок С.А., Чендырев А.А., Тесленок К.С. 3D моделирование рельефа Республики. Геоинформационное картографирование в регионах России. 2013. С. 161–166.
6. Daniel A.M., Ayobami T. Salami Application of remote sensing and GIS inland use/land cover mapping and change detection in a part of south western Nigeria. 2007. P. 99–108.
7. Бекенов С.С. Продовольственная безопасность в условиях трансформационной экономики (на примере Кыргызской республики). 2005. С. 2–10.
8. Национальный статистический комитет Кыргызской Республики, ГПИ «Кыргызгипрозем» ГП. 2016–2020 Статистический ежегодник. 2021. С. 240–261.
9. Государственное агентство по земельным ресурсам при Правительстве Кыргызской республики. Пахотные земли Чуйской области. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gosreg.kg/> (дата обращения: 30.05.2022).
10. Агеева А.Б. Проблемы сельскохозяйственного землепользования в иностранных государствах // Актуальные проблемы экономики, социологии и права. 2018. № 4. С. 8–12.
11. Геоинформационные системы и технологии. GIStechniK. Всё о ГИС и их применении. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gistechnik.ru/index.php/ru/geoinformatsionnye-tehnologii-2> (дата обращения: 30.05.2022).

СТАТЬЯ

УДК 528.02

**СРАВНЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ,
КООРДИНАТЫ КОТОРЫХ ОПРЕДЕЛЕНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МЕТОДА ВЫСОКОТОЧНЫХ КООРДИНАТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ
И КЛАССИЧЕСКОЙ ПОСТОБРАБОТКОЙ**

Макаров С.О., Тихонов А.Д.

ФГАОУ ВО «Российский университет транспорта (МИИТ)», Москва, e-mail: makstas96@yandex.ru;

ФГБОУ ВО «Государственный университет по землеустройству», Москва

Современное ПО для постобработки позволяет выполнять вычисление и по PPP алгоритму, но в статье обращается внимание на использование открытых (бесплатных) сервисов. В статье рассматривается определение погрешности приращений координат при использовании современных методов обработки данных. В качестве экспериментальной модели сформирована спутниковая сеть, пункты которой расположены в диапазоне расстояний 4–409 км. Было выполнено сравнение данных, получаемых при обработке по PPP-алгоритму в сравнении с обработкой в статике. По PPP-алгоритму была выполнена обработка с использованием двух интернет-сервисов Trimble RTX и CRSR. Для обработки в статике было использовано программное обеспечение КРЕДО ГНСС. В сравнении разностей приращений координат между собой было выявлено, что среднее отличие при двух- и трехчасовых измерениях минимально и составляет в среднем 3 мм. Научная новизна заключается в том, что производится сравнение разностей приращений координат в случае многократных измерений при использовании PPP-технологий. В качестве факторов, влияющих на точность, рассмотрены: продолжительность измерений, влияние количества принимаемых спутников, влияние ρdop фактора и возможность применения многократных спутниковых измерений при обработке в статике и по PPP-алгоритму.

Ключевые слова: геодезические спутниковые сети, точность определения координат, методы высокоточных координатных определений (ppp)

**COMPARISON OF THE ACCURACY OF GEODETIC NETWORKS,
THE COORDINATES OF WHICH ARE DETERMINED USING THE PRECISE
POINT POSITIONING ALGORITHM AND CLASSICAL POST-PROCESSING**

Makarov S.O., Tikhonov A.D.

Russian University of Transport (MIIT), Moscow, e-mail: makstas96@yandex.ru;

State University of Land Management, Moscow

Modern post-processing software allows you to perform calculations using the PPP algorithm, but the article draws attention to the use of open (free) services. The article considers the determination of the error of coordinate increments when using modern data processing methods. As an experimental model, a satellite network was formed, the points of which are located in the distance range of 4–409 km. A comparison of the data obtained during processing by the PPP algorithm in comparison with processing in static was performed. According to the PPP algorithm, processing was performed using 2 Trimble RTX and CRSR Internet services. The GNSS CREDO software was used for static processing. Comparing the differences in the increments of coordinates among themselves, it was found that the average difference between 2 and 3 hour measurements is minimal and averages 3 mm. The scientific novelty lies in the fact that the differences in the increments of coordinates are compared in the case of multiple measurements. As factors affecting the accuracy, the following are considered: the duration of measurements, the influence of the number of received satellites, the influence of the ρdop factor, and the possibility of using multiple satellite measurements when processing in statics and using the PPP- algorithm.

Keywords: geodetic satellite networks, accuracy of coordinate determination, Precise Point Positioning (PPP)

На сегодняшний день существуют различные методы спутникового позиционирования, в том числе инновационные. Одним из таких методов является Precise Point Positioning или, по-другому, метод высокоточных координат определений (далее «PPP») [1].

Метод точного позиционирования (далее «PPP») относится к абсолютным определениям местоположения, основан на применении спутниковой корректирующей информации, содержащей поправки к эфемеридам и времени бортовых часов навигационных спутников и атмосферных поправок в пределах локальной области, позволяющий опре-

делять пространственные координаты объектов с достаточно высокой точностью.

Помимо этого существует следующая классификация PPP-методов:

PPP (Float PPP) – реализация метода без разрешения целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений.

PPP-AR (Integer PPP) – с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений.

PPP-RTK – с разрешением целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений и использованием атмосферных поправок в пределах локальной области.

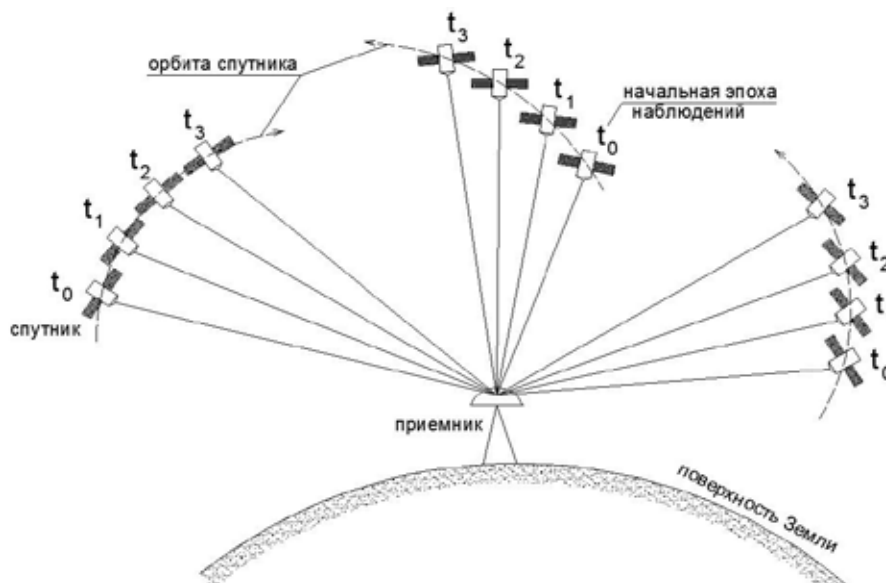


Рис. 1. Схема PPP-метода

Метод PPP можно реализовать как в апостериорном режиме, так и в режиме реального времени. В первом случае результат получают в процессе камеральной обработки или с помощью специализированных сервисов.

Для точного определения пространственного положения точки метод PPP используется ионосферно-свободная комбинация двух несущих частот [2, 3]. В общем виде для одного спутника и приемника комбинации представлены в виде формулы

$$P_A^i = \rho + c(dt - dT) + Tr + \varepsilon_p$$

$$\Phi_{if}^i = \rho + c(dt - dT) + Tr + N\lambda + \varepsilon_\phi$$

где Φ_{if}^i , P_A^i – ионосферная комбинация несущих фаз (L1, L2) и псевдодальностей (P1, P2); dt , dT – ошибка часов приемника и спутника (так называемый сдвиг шкал относительно системной шкалы времени (далее «СШВ»)); c – скорость распространения радиоволн в вакууме; Tr – тропосферная задержка; N – целочисленные колебания несущей фазы; λ – длина несущей волны; ε_p , ε_ϕ – различные шумовые компоненты, включающие многолучевость (многопутность), ρ – расстояние между спутником и приемником.

На рис. 1 изображена обобщенная схема PPP-методов.

Для получения устойчивого решения при использовании PPP-метода необходимо, чтобы продолжительность измерений составляла не менее 2 ч. Однако существует возможность обработки и 10-минутных измерений, но в таком случае получается не-

точное решение. Помимо этого, частота записи должна составлять не менее 10 с [2].

На сегодняшний день существуют два подхода к обработке по PPP-алгоритму: с использованием программных обеспечений и интернет-сервисов. В качестве программных обеспечений можно выделить следующие: Trimble Business Centre (далее «TBC»), КРЕДО ГНСС, RTK LIB. Среди интернет-сервисов – Trimble RTX, APPS, CRSR, magic GNNS. В каждом из интернет-сервисов предоставляется бесплатный, не ограниченный по времени доступ в отличие от программных обеспечений [3].

Цели исследования:

1. Сравнить результаты обработки в статике и PPP при многократных спутниковых измерениях.
2. Проанализировать влияние продолжительности измерений на получаемые разности приращений координат.
3. Проанализировать влияние ρ_{dop} фактора и количества принимаемых спутников на получаемые разности приращений координат.

Материалы и методы исследования

В качестве экспериментальной модели была сформирована спутниковая сеть, состоящая из 5 пунктов. 4 пункта сети входят в состав сети базовых станций EFT-COORS, где были получены RINEX [4–7]. В свою очередь, эталонные координаты 5 пункта получены самостоятельно при использовании двухчастотного спутникового приемника Trimble R10.



Рис. 2. Схема спутниковой сети

На рис. 2 изображена спутниковая сеть, включающая в себя 5 пунктов.

Пункты спутниковой сети находятся на расстояниях от 4 (MSK-МИИТ) до 409 (LOBN-NNV) км. Средние расстояния между пунктами – 210 км.

В свою очередь измерения производились по 3 часа каждый день в течение 12 дней. Для обработки данных по PPP-алгоритму было использовано два интернет-сервиса Trimble RTX и CRSR [8]. Основываясь на координатах, были получены приращения координат. В дальнейшем были определены разности приращений координат между определенными и эталонными приращениями.

Помимо этого, были определены координаты с использованием CRSR, после чего

были высчитаны приращения и разности приращений координат [9].

Для контроля получаемых разностей приращений координат была выполнена обработка базовых линий (векторов) с добавлением высокоточных (финальных) эфемерид в программном обеспечении КРЕДО ГНСС [10]. В качестве исходного (опорного) пункта был выбран пункт МИИТ.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1 и 2 приводится сравнение усредненных разностей приращений координат; в табл. 3 и 4 – максимальные разности приращений координат; в табл. 5 и 6 – минимальные разности.

Таблица 1

Сравнение средних разностей приращений координат
при продолжительности измерений 1 час

Линия	Статика – КРЕДО			PPP-RTX			PPP-CRSR		
	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м
MSK-МИИТ	0,019	-0,002	-0,035	0,012	-0,009	0,014	0,014	-0,010	0,015
KOST-МИИТ	-0,021	0,025	0,009	0,000	-0,002	-0,011	0,006	0,004	0,000
LOBN-МИИТ	0,041	0,036	-0,034	0,004	-0,005	-0,002	0,004	0,000	0,030
NNV-МИИТ	0,008	0,014	0,008	-0,001	0,007	-0,003	0,014	0,021	0,033
MSK-KOST	0,031	-0,029	-0,020	0,012	-0,006	0,025	0,008	-0,014	0,015
MSK-LOBN	0,000	-0,033	-0,014	0,008	-0,004	0,016	0,010	-0,010	-0,014
MSK-NNV	0,012	-0,013	-0,012	0,014	-0,016	0,017	0,001	-0,031	-0,017
KOST-LOBN	-0,034	0,002	-0,007	-0,004	0,003	-0,009	0,002	0,004	-0,030
KOST-NNV	0,021	-0,014	-0,008	0,002	-0,010	-0,008	-0,008	-0,018	-0,033
LOBN-NNV	0,007	0,020	0,007	0,006	-0,012	0,001	-0,010	-0,021	-0,003

Таблица 2

Сравнение средних разностей приращений координат
при продолжительности измерений 2 часа

Линия	Статика – КРЕДО			PPP-RTX			PPP-CRSR		
	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м
MSK-МИТ	0,020	0,001	-0,031	0,012	-0,007	0,004	0,010	-0,008	0,001
KOST-МИТ	-0,008	-0,018	0,003	0,002	0,002	-0,014	0,010	0,013	0,008
LOBN-МИТ	-0,001	0,023	0,037	0,005	-0,001	-0,007	0,005	0,008	0,008
NNV-МИТ	-0,008	0,003	0,012	-0,002	0,010	-0,008	0,003	0,015	-0,007
MSK-KOST	0,014	-0,021	-0,001	0,010	-0,009	0,018	0,000	-0,022	-0,007
MSK-LOBN	-0,007	0,003	-0,012	0,006	-0,006	0,010	0,005	-0,017	-0,007
MSK-NNV	0,041	0,046	0,048	0,014	-0,017	0,012	0,007	-0,024	0,008
KOST-LOBN	-0,033	0,015	0,014	-0,004	0,003	-0,008	0,005	0,005	0,000
KOST-NNV	-0,015	-0,012	-0,033	0,004	-0,008	-0,006	0,006	-0,002	0,015
LOBN-NNV	0,028	0,052	0,065	0,008	-0,011	0,002	0,002	-0,007	0,015

Таблица 3

Сравнение максимальных разностей приращений координат
при продолжительности измерений 1 час

Линия	Статика – КРЕДО			PPP-RTX			PPP-CRSR		
	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м
MSK-МИТ	0,020	0,001	-0,032	0,024	-0,001	0,037	0,028	0,001	0,033
KOST-МИТ	-0,018	0,064	0,036	0,010	0,003	0,000	0,015	0,011	0,007
LOBN-МИТ	0,043	0,043	0,059	0,013	0,003	0,017	0,016	0,023	0,048
NNV-МИТ	0,016	0,044	0,018	0,005	0,015	0,020	0,028	0,039	0,047
MSK-KOST	0,049	0,005	-0,002	0,017	-0,001	0,037	0,013	-0,009	0,027
MSK-LOBN	0,010	-0,003	0,010	0,015	0,002	0,030	0,021	0,005	0,010
MSK-NNV	0,058	0,047	0,041	0,021	-0,010	0,044	0,006	-0,024	0,010
KOST-LOBN	-0,029	0,003	0,016	0,008	0,011	0,005	0,014	0,016	-0,003
KOST-NNV	0,028	-0,012	-0,006	0,009	-0,006	0,014	0,005	-0,010	-0,012
LOBN-NNV	0,017	0,057	0,049	0,010	-0,007	0,023	-0,003	-0,002	0,009

Таблица 4

Сравнение максимальных разностей приращений координат
при продолжительности измерений 2 часа

Линия	Статика – КРЕДО			PPP-RTX			PPP-CRSR		
	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м
MSK-МИТ	0,025	0,001	-0,027	0,022	-0,002	0,014	0,014	-0,006	0,014
KOST-МИТ	-0,004	0,003	0,006	0,008	0,007	-0,007	0,021	0,022	0,029
LOBN-МИТ	0,002	0,030	0,040	0,010	0,007	0,003	0,018	0,040	0,028
NNV-МИТ	-0,001	0,010	0,020	0,004	0,015	0,000	0,010	0,031	0,028
MSK-KOST	0,022	0,023	0,020	0,018	-0,003	0,025	0,011	-0,012	0,014
MSK-LOBN	-0,005	0,004	-0,010	0,013	0,003	0,014	0,025	0,002	0,012
MSK-NNV	0,041	0,046	0,050	0,018	-0,014	0,018	0,016	-0,010	0,048
KOST-LOBN	-0,032	0,018	0,017	0,000	0,007	-0,002	0,023	0,024	0,016
KOST-NNV	-0,013	0,029	0,012	0,007	-0,005	0,002	0,014	0,010	0,037
LOBN-NNV	0,038	0,052	0,072	0,011	0,000	0,008	0,012	0,032	0,036

Таблица 5

Сравнение минимальных разностей приращений координат
при продолжительности измерений 1 час

Линия	Статика – КРЕДО			PPP-RTX			PPP-CRSR		
	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м
MSK-МИТ	0,016	-0,004	-0,035	0,004	-0,022	-0,015	0,004	-0,022	-0,002
KOST-МИТ	-0,042	0,015	0,004	-0,008	-0,015	-0,040	0,000	-0,005	-0,010
LOBN-МИТ	0,033	0,035	-0,042	-0,009	-0,019	-0,033	-0,013	-0,021	0,008
NNV-МИТ	-0,058	0,009	0,007	-0,011	-0,004	-0,037	-0,002	0,008	0,017
MSK-KOST	0,027	-0,032	-0,022	0,002	-0,009	0,015	0,001	-0,019	0,003
MSK-LOBN	-0,005	-0,036	-0,016	0,000	-0,012	0,005	-0,001	-0,029	-0,043
MSK-NNV	0,006	-0,019	-0,017	0,006	-0,024	0,004	-0,013	-0,039	-0,041
KOST-LOBN	-0,037	-0,010	-0,009	-0,011	-0,004	-0,021	-0,008	-0,020	-0,057
KOST-NNV	-0,008	-0,036	-0,031	-0,005	-0,016	-0,021	-0,017	-0,028	-0,054
LOBN-NNV	-0,076	0,016	0,003	-0,003	-0,022	-0,012	-0,031	-0,034	-0,016

Таблица 6

Сравнение минимальных разностей приращений координат
при продолжительности измерений 2 часа

Линия	Статика – КРЕДО			PPP-RTX			PPP-CRSR		
	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м	δX , м	δY , м	δZ , м
MSK-МИТ	0,018	-0,001	-0,032	0,005	-0,012	-0,005	0,005	-0,011	-0,016
KOST-МИТ	-0,033	-0,022	-0,012	-0,003	-0,001	-0,023	-0,004	0,005	-0,011
LOBN-МИТ	-0,003	-0,022	0,007	0,002	-0,006	-0,016	-0,013	-0,011	-0,018
NNV-МИТ	-0,057	-0,022	-0,051	-0,009	0,004	-0,015	-0,005	0,004	-0,038
MSK-KOST	0,008	-0,027	-0,003	0,004	-0,012	0,012	-0,009	-0,030	-0,025
MSK-LOBN	-0,012	0,001	-0,013	0,001	-0,016	0,006	-0,009	-0,048	-0,025
MSK-NNV	0,034	0,042	0,036	0,010	-0,021	0,005	-0,001	-0,040	-0,015
KOST-LOBN	-0,033	0,015	0,013	-0,007	-0,005	-0,013	-0,005	-0,030	-0,012
KOST-NNV	-0,015	-0,016	-0,039	-0,003	-0,012	-0,013	0,001	-0,018	-0,010
LOBN-NNV	-0,074	0,049	0,043	0,004	-0,017	-0,006	-0,009	-0,024	-0,017

При трех часах были получены практически такие же результаты, что и при двух часах. Наибольшие разности составили 5 мм; наименьшие – 3 мм.

При двух часах были выявлены максимальные разности. В сравнении двух- и трехчасовых данных отличаются в среднем на 2–3 мм

Отклонение минимальных разностей по модулю составило в среднем 2–3 мм для минимальных разностей приращений координат в сравнении с трехчасовыми измерениями.

Анализируя табл. 1–6, можно заметить, что приращения координат в среднем отличаются на 2–3 мм при сравнении двух- и трехчасовых измерений соответственно. При этом стоит отметить, что $\rho_{\text{доп}}$ в сред-

нем составил 1.54+/-0,03. Количество принимаемых спутников при одном часе в среднем составило 18; при двух часах – 24, при трех часах – 27.

На основании табл. 1–6 был построен график (рис. 3), иллюстрирующий влияние продолжительности измерений на получаемые результаты.

В работе [10] отмечено, что при продолжительности измерений 1 час расхождения достигают 3 см при расстоянии в 50 км; при продолжительности 2 часа не более 7 мм по δZ ; 3 и 4 ч – расхождения между приращениями координат не превышали 2 мм. В работе [11] было рассмотрено применение PPP-методов для решения задач геодинамики, где было отмечено, что относительный метод проигрывает в плане точности PPP-методам.

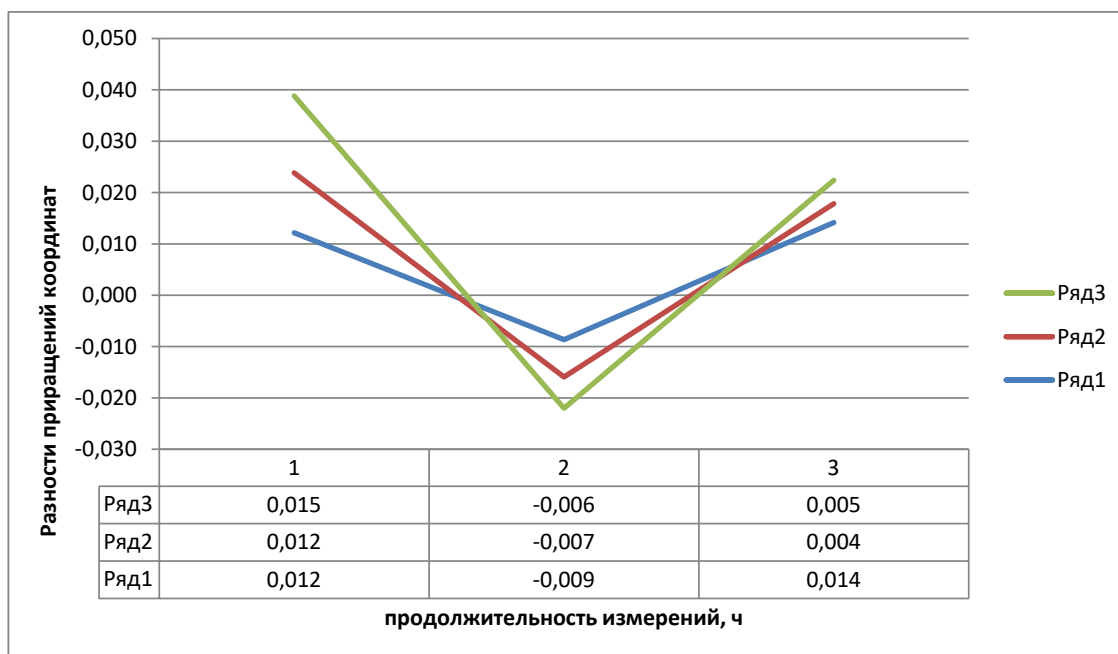


Рис. 3. Распределение разностей приращения

Выводы

1. Точность взаимного положения пунктов, определенных PPP-методами, не зависит от расстояний между пунктами.
2. По PPP-алгоритму возможно обрабатывать и 10-минутные измерения. Однако для получения уточненного решения продолжительность измерений должна составлять не менее 2 ч. При продолжительности измерений 3 ч и более точность взаимного положения пунктов практически не меняется.
3. При многократных измерениях получается примерно одинаковая точность как взаимного положения пунктов, так и одиночного положения пунктов при наличии эталонных координат

Список литературы

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1. Монография / ГОУ ВПО «Сибирская государственная геодезическая академия». М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. 334 с.: ил.
2. Антонович К.М., Липатников Л.А. Совершенствование методики точного дифференциального позиционирования по результатам ГНСС-измерений (Precise Points Positioning) // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. 2013. № 4. С. 44–47.

3. Alkan R.M., Ocalan T. Usability of the GPS Precise Point Positioning Technique in Marine Applications. The Journal of Navigation. 2013. Vol. 66. P. 579–588.

4. EFT COORS – сети базовых станций // EFT COORS. [Электронный ресурс]. URL: <https://eft-cors.ru/about-us> (дата обращения: 20.02.2022).

5. Kouba J. A guide to using International GNSS Service (IGS) products. 2015. 34 с.

6. Виноградов А.В., Войтенко А.В., Жигулин А.Ю. Оценка точности метода PRECISE POINT POSITIONING и возможности его применения при кадастровых работах // Геопроби. 2010. № 2. С. 27–30.

7. Генике А.А., Побединский Г.Г. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии. М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 1999. 272 с.

8. Макаров С.О. Исследование точности определения координат PPP-алгоритмом и другими современными способами обработки данных: магистерская диссертация. Москва: Российский университет транспорта РУТ (МИИТ), 2021. 102 с.

9. Тихонов А.Д., Макаров С.О. Применение алгоритма обработки спутниковых данных для создания геодезических сетей протяженных объектов / Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии. М.: Белорусско-Российский университет, 2021. С. 370–371.

10. Тихонов А.Д., Макаров С.О. Анализ точности координат геодезических пунктов, определённых с помощью PPP сервисов // Качество. Инновации. Образование. 2021. № 3. С. 71–83.

11. Морозов В.Н., Кафтан В.И., Татаринцев В.Н., Колесников И.Ю., Маневич А.И., Мельников А.Ю. Численное моделирование напряженно-деформационного состояния и результаты GPS-мониторинга эпицентральной зоны землетрясения 24 августа 2014 (г. Напа, шт. Калифорния, США) // Геотектоника. 2018. № 4. С. 90–102. DOI: 10.1134/S0016853X18040069.