

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ – 0,807

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,334

Журнал издается с 2001 г.

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

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

Главный редактор

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

Зам. главного редактора

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент Абдулвалеев Р.Р. (Уфа); д.г.-м.н., проф., Абилхасимов Х.Б. (Астатна); д.т.н., проф. Айдосов А. (Алматы); д.г.-м.н., проф., Алексеев С.В. (Иркутск); д.х.н., проф., Алоев В.З. (Нальчик); д.г.н., проф. Андреев С.С. (Ростов-на-Дону); д.г.н., доцент, Андреева Е.С. (Ростов-на-Дону); д.с.-х.н., доцент Анищенко Л.Н. (Брянск); д.с.-х.н., проф. Байрамбеков Ш.Б. (Камызяк); д.т.н., проф. Бейсембаев К.М. (Караганда); д.т.н., проф. Белозеров В.В. (Ростов-на-Дону); д.б.н., доцент Белоус О.Г. (Сочи); д.с.-х.н., проф. Берсон Г.З. (Великий Новгород); д.г.-м.н., проф. Бондарев В.И. (Екатеринбург); д.т.н., профессор Галкин А.Ф. (Ухта); д.г.-м.н., проф. Гавришин А.И. (Новочеркасск); д.с.-х.н., Горбачева А.Г. (Пятигорск); д.с.-х.н., Горянин О.И. (Самара); д.г.-м.н., проф. Гусев А.И. (Бийск); д.с.-х.н., проф. Данилин И.М. (Красноярск); д.б.н., доцент Долгов А.В. (Мурманск); д.э.н., проф. Долятовский В.А. (Ростов-на-Дону); д.х.н., проф. Дресвянников А.Ф. (Казань); д.г.н., проф. Егорина А.В. (Усть-Каменогорск); д.т.н., проф. Ерофеев В.И. (Томск); д.с.-х.н., проф. Залесов С.В. (Екатеринбург); д.с.-х.н., доцент Захарченко А.В. (Томск); д.с.-х.н., проф. Зволинский В.П. (Волгоград); д.х.н., проф. Ивашкевич А.Н. (Москва); д.б.н., доцент Кавцевич Н.Н. (Мурманск); д.т.н., проф. Калякин С.А. (Донецк); д.с.-х.н., проф. Караев М.К. (Махачкала); д.г.-м.н., проф. Кашаев А.А. (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. Кобрунов А.И. (Ухта); д.г.-м.н., доцент Копылов И.С. (Пермь); д.г.-м.н., проф. Костицын В.И. (Пермь); д.с.-х.н., проф. Костылев П.И. (Зерноград); д.э.н., проф. Косякова И.В. (Самара); д.с.-х.н., Коцарева Н.В. (Белгород); д.т.н., доцент 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 – 0,807.

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ – 0,334.

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

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНИТИ.

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

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

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

Ответственный секретарь редакции

Бизенкова Мария Николаевна

+7 (499) 705-72-30

E-mail: edition@rae.ru

Подписано в печать – 28.04.2023

Дата выхода номера – 31.05.2023

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. 15,2

Тираж – 1000 экз.

Заказ УСЕ 2023/4

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1)

СТАТЬИ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА УРОЖАЙНОСТЬ СОИ МЕТОДОМ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Буйлов В.Н., Косарев А.В., Чумакова С.В., Мавзовин С.В. 7

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ОБРАБОТОК ПОЧВЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ
САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ
КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

*Логвинов А.В., Логвинов В.А., Мищенко В.Н.,
Шевченко А.Г., Моисеев А.В., Батракова Н.В.* 15

4.1.2. (06.01.05) Селекция, семеноводство и биотехнология растений

СТАТЬЯ

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ БЕЛКОВ ГЛОБУЛИНОВ
В ГЕНОТИПАХ НУТА (*CICER ARIETINUM L.*)

Салманова М.Р., Садыгов Г.Б., Керимов А.Я., Садыгова С.Б., Калбиева Е.Э. 21

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ
ГОРОДА ЧИТЫ

Биксалиев А.А., Помазкова Н.В. 27

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОЧВ

Волошенко И.В. 32

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА
В АЗОВСКОЕ МОРЕ

Глушко А.Е., Беспалова Л.А., Беспалова Е.В. 38

ОПАСНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
В АГРОЛАНДШАФТАХ ЮГО-ВОСТОКА ПОДТАЙГИ
ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

Евсеева Н.С., Квасникова З.Н., Каширо М.А. 43

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СНЕГА НА СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ
МАЛОЙ РЕКИ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЛАПА В ДЕЛЬТЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

Котова Е.И., Мискевич И.В. 49

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСКА РВ, ZN И CD

Смагин А.И., Маркова Л.М. 55

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕСОВЫХ И РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЫЛИ
В РАЙОНАХ УГЛЕДОБЫЧИ

Сумина А.В., Павлова Е.В., Бортников С.В., Ворожцов Е.П. 62

ТУРИСТСКИЙ СТАТУС СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ:
ДИНАМИКА И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Фаронова Ю.В. 68

Геолого-минералогические науки (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)

СТАТЬИ

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТАСОМАТИЧЕСКИ
ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ИНТРУЗИВА КУВАЛОРОГ
(КАМЧАТКА)

Кунгурова В.Е. 75

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb-ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ
ИЗ ПАЛЕОЗОЙСКО-РАННЕМЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ
ЛАОЕЛИН-ГРОДЕКОВСКОГО ТЕРРЕЙНА (ЗАПАДНОЕ ПРИМОРЬЕ)

Малиновский А.И., Чащин А.А., Хубанов В.Б. 89

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

СТАТЬИ

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА ДРЕНАЖНЫХ ВОД
ПРИ ХРАНЕНИИ ОТХОДОВ ЦИАНИДНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА

Белова Т.П. 96

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ
ВОДОНАСЫЩЕННОСТИ НЕФТЯНОГО ПЛАСТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ
ИНДИКАТОРНЫХ (ТРАССЕРНЫХ) ИССЛЕДОВАНИЙ

Кузнецова К.И. 102

ИЗВЛЕЧЕНИЕ КАТИОНОВ СВИНЦА (Pb) ПРИРОДНЫМ
И МОДИФИЦИРОВАННЫМ ДИАТОМИТОМ

Полещук И.Н., Усова Е.Л., Полещук В.В. 109

Физико-математические науки (1.6.22)

СТАТЬЯ

ОСОБЕННОСТИ ЧАСТИЧНОЙ ТЕРМОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ
ГОРНЫХ ПОРОД КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕСИИ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)

Урусова Б.И., Болатчиева М.С.-Х., Узденов Ш.Х. 115

CONTENTS

Agricultural sciences (4.1.1)

ARTICLES

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PHYSICAL
AND CLIMATIC FACTORS OF THE SARATOV REGION
ON SOYBEAN YIELD BY REMOTE SENSING OF THE EARTH

Buylov V.N., Kosarev A.V., Chumakova S.V., Mavzovin V.S. 7

INFLUENCE OF THE BASIC SOIL TREATMENTS
ON THE YIELD OF SUGAR BEET IN THE CONDITIONS
OF THE CENTRAL ZONE OF THE KRASNODAR REGION

*Logvinov A.V., Logvinov V.A., Mischenko V.N.,
Shevchenko A.G., Moiseev A.V., Batrakova N.V.* 15

4.1.2. (06.01.05) Plant breeding, seed production and biotechnology

ARTICLE

STUDY OF THE GENETIC DIVERSITY OF GLOBULIN PROTEINS
IN CHICKPEA (*CICER ARIETINUM L.*) GENOTYPES

Salmanova M.R., Sadygov G.B., Kerimov A.Ya., Sadygova S.B., Kalbieva E.E. 21

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

PROMISING SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS
OF THE CITY OF CHITA

Biksaleev A.A., Pomazkova N.V. 27

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF TREATED SOILS

Voloshenko I.V. 32

ANALYSIS OF THE SOURCES OF MICROPLASTICS IN THE AZOV SEA

Glushko A.E., Beshpalova L.A., Beshpalova E.V. 38

DANGEROUS MANIFESTATIONS OF EXOGENOUS PROCESSES
IN THE AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE SOUTH-EAST
OF THE SUBTAIGA OF THE WEST SIBERIAN PLAIN

Evseeva N.S., Kvasnikova Z.N., Kashirom M.A. 43

INFLUENCE OF SNOW COMPOSITION ON THE COMPOSITION
OF BOTTOM SEDIMENTS IN A SMALL RIVER (USING THE LAPA RIVER
IN THE DELTA OF THE NORTHERN DVINA RIVER AS AN EXAMPLE)

Kotova E.I., Miskevich I.V. 49

SOIL POLLUTION OF THE CITY OF CHELYABINSK PB, ZN AND CD

Smagin A.I., Markova L.M. 55

STUDY OF WEIGHT AND DIMENSIONAL CHARACTERISTICS
DUST IN COAL MINING AREAS

Sumina A.V., Pavlova E.V., Bortnikov S.V., Vorozhtsov E.P. 62

THE TOURIST STATUS OF CONSTITUENT ENTITIES OF THE RUSSIAN
FEDERATION: DYNAMICS AND SPATIAL FEATURES

Faronova Yu.V. 68

Geological and mineralogical sciences (1.6.3, 1.6.5, 1.6.6, 1.6.10, 1.6.12, 1.6.17, 1.6.21)

ARTICLES

PETROGRAPHICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS
OF METASOMATICALLY ALTERED ROCKS OF KUVALOROG
INTRUSION SOUTHEASTERN FLANK (KAMCHATKA)

Kungurova V.E. 75

FIRST RESULTS OF U-PB DATING OF DETRITAL ZIRCONS FROM
PALEOZOIC-EARLY MESOZOIC DEPOSITS OF THE LAOELING-
GRODEKOVO TERRANE (WESTERN PRIMORYE)

Malinovsky A.I., Chashchin A.A., Khubanov V.B. 89

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

ARTICLES

LABORATORY MODELLING OF DRAINAGE WATER COMPOSITION
WHEN STORING GOLD CYANIDATION WASTES

Belova T.P. 96

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF DETERMINING THE CURRENT
WATER SATURATION OF AN OIL RESERVOIR BASED ON THE RESULTS
OF TRACER RESEARCH

Kuznetsova K.I. 102

EXTRACTION OF LEAD (II) CATIONS WITH NATURAL
AND MODIFIED DIATOMITE

Poleschuk I.N., Usova E.L., Poleschuk V.V. 109

Physical and mathematical sciences (1.6.22)

ARTICLES

FEATURES OF PARTIAL HEAT- SUFFICIAL MAGNETIZATION
OF ROCKS OF KARACHAY-CHEKKESSIA (NORTH CAUCASUS)

Urusova B.I., Bolatchieva M.S.-Kh., Uzdenov Sh.Kh. 115

СТАТЬИ

УДК 631.9

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ФИЗИКО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ
САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА УРОЖАЙНОСТЬ СОИ
МЕТОДОМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

¹Буйлов В.Н., ¹Косарев А.В., ¹Чумакова С.В., ²Мавзовин С.В.

¹ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», Саратов, e-mail: aleteia@inbox.ru;

²ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», Москва, e-mail: MavzovinVS@mgsu.ru

С помощью метода дистанционного зондирования Земли в работе рассмотрено влияние физико-климатических факторов районов Саратовской области на урожайность сои. В качестве характеристик, определяющих агрофизические свойства почвы, выбраны вегетационные индексы: стандартизированный индекс различий увлажненности (NDMI), почвенный вегетационный индекс (SAVI), нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI). Установлена статистически значимая корреляционная взаимосвязь между индексами NDMI, SAVI, NDVI и урожайностью сои. Также установлено, что урожайность сои характеризуется линейной регрессионной зависимостью от рассмотренных вегетационных индексов. Выявлено, что урожайность сои в наибольшей степени зависит от величины засушливости и во вторую очередь примерно одинаково от фотосинтетической продуктивности биомассы и контрастности почвенного фактора по отношению к зеленой биомассе сои. Показано, что аридность районов Саратовской области увеличивается в следующем порядке: Хвалынский район – Балаковский район – Пугачевский район – Аткарский район – Марковский район – Ершовский район – Дергачевский район – Новоузенский район. В этом порядке снижается урожайность сои. При этом контрастность отражения между почвой и растительностью снижается, что связано с уменьшением фотосинтетической активности биомассы. Полученные в работе данные имеют практическое значение, связанное с планированием мелиоративных мероприятий, направленных на ее повышение увлажненности и газообмена в почве.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, вегетационные индексы, засушливость, урожайность, соя

**INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PHYSICAL
AND CLIMATIC FACTORS OF THE SARATOV REGION
ON SOYBEAN YIELD BY REMOTE SENSING OF THE EARTH**

¹Buylov V.N., ¹Kosarev A.V., ¹Chumakova S.V., ²Mavzovin V.S.

¹Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, e-mail: aleteia@inbox.ru;

²Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, e-mail: MavzovinVS@mgsu.ru

In the work, using the method of remote sensing of the Earth, the influence of soil and climatic factors of the districts of the Saratov region on the yield of soybeans is considered. Vegetation indices have been selected as characteristics determining the agrophysical properties of the soil: the standardized index of moisture differences (NDMI), the soil vegetation index (SAVI), the normalized difference vegetation index (NDVI). A statistically significant correlation was established between the NDMI, SAVI, NDVI indices and soybean yield. It is also established that soybean yield is characterized by a linear regression dependence on the considered vegetation indices. It was revealed that the yield of soybeans depends to the greatest extent on the amount of aridity, and secondly, approximately equally on the photosynthetic productivity of biomass and the contrast of the soil factor in relation to the green biomass of soybeans. It is shown that the aridity of the districts of the Saratov region increases in the following order: Khvalynsky district – Balakovsky district – Pugachevsky district – Atkarsky district – Markovskiy district – Yershovskiy district – Dergachevskiy district – Novouzensky district. In this order, the yield of soybeans decreases. At the same time, the contrast of reflection between soil and vegetation decreases, which is associated with a decrease in the photosynthetic activity of biomass. The data obtained in the work are of practical importance related to the planning of reclamation measures aimed at increasing its moisture content and gas exchange in the soil.

Keywords: remote sensing, vegetation indices, aridity, yield, soybean

Соевые бобы являются одними из немногих продуктов растительного происхождения, в составе которых имеются двенадцать незаменимых аминокислот. Эти аминокислоты определяют белковый метаболизм организмов людей и сельскохозяйственных животных. В этой связи расширение зоны эффективного культивирования сои становится важной научно-технической задачей.

Одним из путей решения этой научно-технической задачи является определение влияния почвенно-климатических факторов на урожайность сои и оценка их значимости. Известно, что значения общей пористости почвы и пористости аэрации являются важными характеристиками, определяющими урожайность сои в средней полосе России [1, с. 18]. Учет этих характеристик

позволяет назначить комплекс агротехнических мероприятий, направленных на повышение биопродуктивности сои, таких как прямой посев, севооборот и обработка почвы с использованием прогрессивной почвообрабатывающей техники [2, с. 70; 3, с. 15]. Эти показатели влияют на влагообеспеченность почвы, имеющую прямую корреляцию с ее урожайностью [4, с. 82]. Также урожайность сои увеличивается при ее посадке на поле, где перед этим росла одна из следующих культур: кукуруза, сорго и подсолнечник [5, с. 11; 6, с. 3]. Среди климатических условий, влияющих на урожайность сои, важную роль играют атмосферные осадки в весенне-летний период, которые обеспечивают необходимую влажность почвы. В этой связи определение зон, где можно эффективно возделывать сою, является актуальной задачей [7, с. 25].

Расположенная в зоне умеренно континентального климата, Саратовская область является аридным регионом, земледелие которого определяется комплексом агротехнических мероприятий, направленных на повышение увлажненности почвы с учетом мониторинга ее значений.

Мониторинг значений влажности почвы можно проводить непосредственным и дистанционным зондированием. В настоящее время дистанционное зондирование поверхности Земли является одним из информативных и эффективных методов исследования агроэкологических и агроинженерных свойств почвы и биопродуктивности растений, а также влияния на них окружающей среды. Этот подход позволяет устанавливать влияние засухи, пожаров и фитосанитарного состояния посевных площадей на урожайность сельскохозяйственных культур. Преимуществом такого подхода является его экономичность, а также возможность проводить одновременный сравнительный анализ состояния наделов, находящихся в разных климатических условиях на значительном удалении друг от друга.

При этом основными характеристиками, связывающими спектрометрические характеристики территории и состояние биомассы, являются вегетационные индексы. Они оцениваются на двух стабильных максимумах отражательной способности растений: максимуме поглощения хлорофилла, находящегося в красной области, и максимуме отражения солнечной радиации клеточной структурой листовой пластины [8, с. 3]. Почвенный фактор также влияет на растительные вегетационные индексы, поэтому для учета этого влияния необходима коррекция спектральных измерений загрязненности почвы [9, с. 67]. При

геоинформационном растровом анализе почвенных карт и карт распределения вегетационных индексов отмечено, что индекс растительности, с оптимизированным учетом почвы (OSAVI), позволяет установить пространственные границы между основными типами почв с различными режимами увлажнения. При этом низкие значения вегетационного индекса характерны для почв гидроморфного режима увлажнения, сформировавшихся вблизи берегов небольших озер [10, с. 120]. Применение нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) к исследованию плодородия посевов позволяет определить недостаток увлажнения как причину низкой биопродуктивности выращиваемой культуры [11, с. 34]. Сравнение величины этого индекса, в различные фазы вегетации сельскохозяйственной культуры, как при условии внесения подкормок, так и без них, позволяет оценивать эффективность мелиоративных мероприятий, направленных на рациональное использование агросферы [12, с. 27]. Применение гиперспектрального дистанционного зондирования позволяет понизить спектральную область захвата, что улучшает качество исследования физиологических характеристик растений и их ответа на изменение состояния окружающей среды, а также позволяет выявлять обеспеченность растительного организма питательными веществами. Расширение теоретической базы точного земледелия за счет возрастания возможностей вычислительной базы, основанной на повышении качества разрешения космоснимков и их частоты, позволяет исследовать агрохимические и агрофизические характеристики почв и сельскохозяйственных культур [13, с. 11].

Цель исследования – с помощью данных дистанционного зондирования определить взаимосвязь между урожайностью сои и вегетационными индексами, характеризующими качество почв, расположенных на различных по аридности территориях Саратовской области.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- оценка вегетационных индексов, характеризующих агрофизические свойства почвы – стандартизованного индекса различий увлажненности (*Normalized Difference Moisture Index, NDMI*), почвенного вегетационного индекса (*Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI*) и нормализованного разностного вегетационного индекса (*Normalized Difference Vegetation Index, NDVI*);
- исследование корреляционной взаимосвязи между этими индексами и урожайностью сои, выращенной на почвах, рас-

положенных на различных по аридности территориях Саратовской области.

Материалы и методы исследования

Использование спутниковой информации для диагностики состояния сельскохозяйственных полей – актуальное направление современной аграрной науки. Для решения задач экологической и сельскохозяйственной оценки территорий, с помощью методов дистанционного зондирования, применяются вегетационные индексы. При сборе и анализе картографического материала использовались данные о высотных профилях местности. Для цифровой модели рельефа применялись показатели *SRTM* (*NASA Shuttle Radar Topography Mission*). Значения для исследования поверхности Земли, расположенной между 60 параллелью северной широты и 54 параллелью южной широты, поставляются в варианте сетки с размером ячейки 3 угловые секунды (*SRTM3*). Файлы представляют собой матрицу из 1201x1201 значений.

Исходными материалами при дистанционном зондировании нами использованы мультиспектральные снимки со спутника *Landsat 8* с применением двух инструментов, *Operational Land Imager (OLI)* и *Thermal InfraRed Sensor (TIRS)*. *OLI* сканирует объекты в 9 диапазонах видимого спектра и ближнего инфракрасного излучения, *TIRS* – в двух диапазонах инфракрасного излучения. Размер пикселя при сканировании – 30×30 м. Ширина полосы съемки – $1,85 \cdot 10^5$ м.

Обработка данных *SRTM* и картографирование полученного материала проводилось с помощью программного комплекса *QGIS* (версия 3.28.0) с системой координат проекции Мир WGS 1984 World Mercator. Статистическая обработка полученных данных реализована в программном комплексе *Statistica* (версия 10). Интерпретация полученных данных проведена методом одноканального псевдоцветного изображения (рис. 1–3).

Стандартизованный индекс различий увлажненности (*NDMI*) характеризует уровень влажности в растительности для оценки засушливости среды и подсчитывается по формуле [14, с. 435]:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1}, \quad (1)$$

где *NIR* и *SWIR* – показатели эффективности отражения в ближнем и коротковолновом инфракрасном спектральных каналах соответственно в мультиспектральном снимке.

Нормализованный относительный индекс растительности *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*) подсчитывается по формуле [15, с. 340]:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (2)$$

где *NIR* и *RED* – соответственно показатели эффективности отражения в ближнем и красном каналах в мультиспектральном снимке.

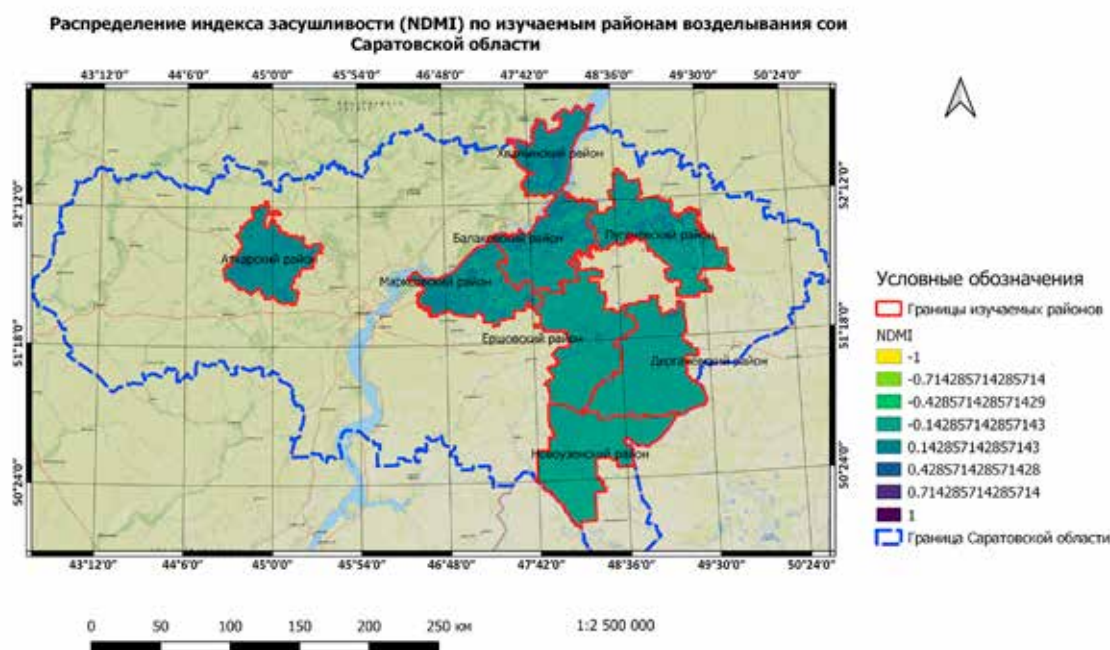


Рис. 1. Карта распределения индекса засушливости *NDMI* по районам возделывания сои в Саратовской области

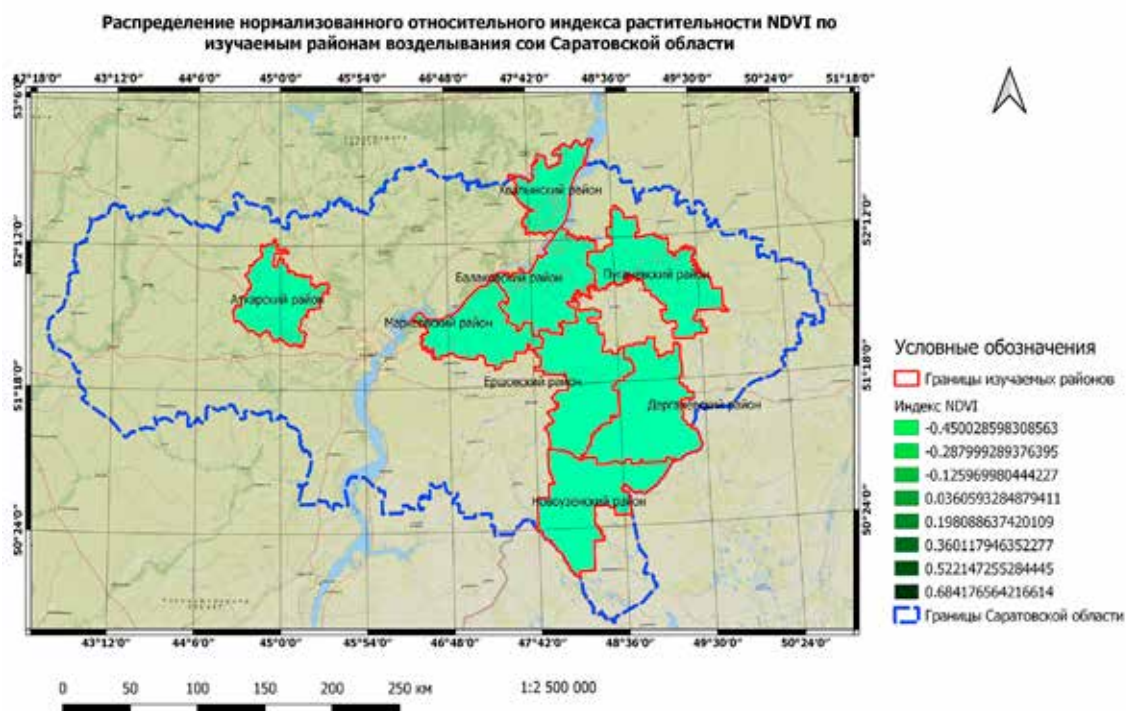


Рис. 2. Карта распределения индекса NDVI по районам возделывания сои в Саратовской области

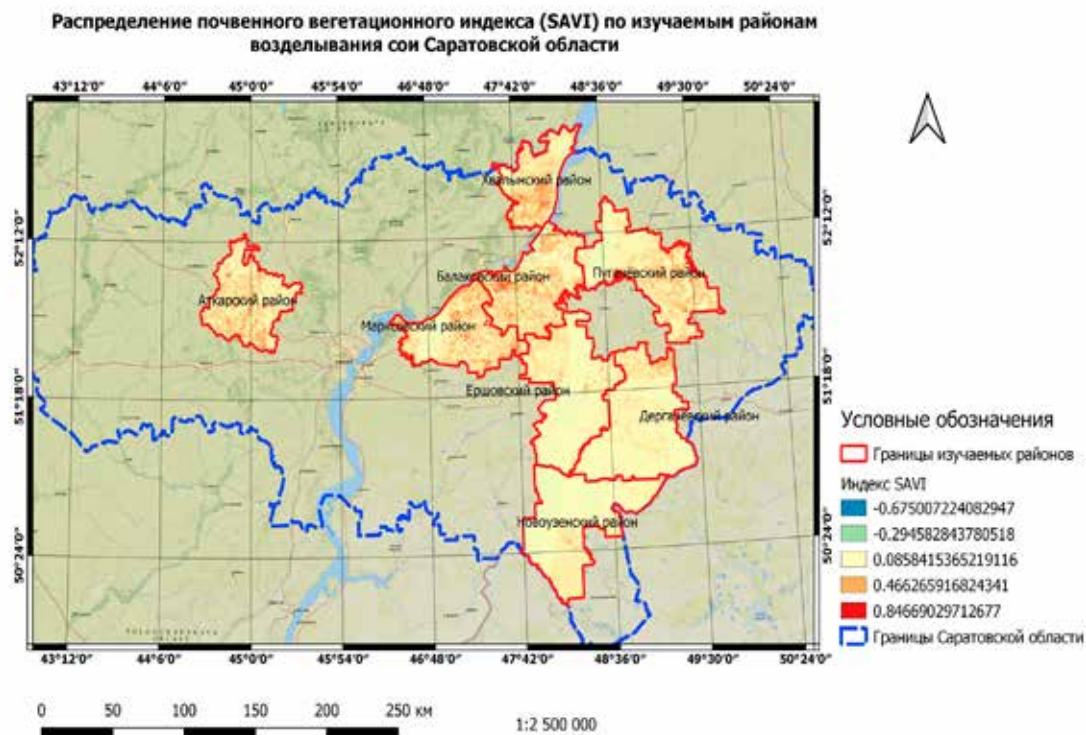


Рис. 3. Карта распределения индекса SAVI по районам возделывания сои в Саратовской области

Средние значения вегетационных индексов и урожайность сои в районах Саратовской области, отличающихся по засушливости

Район	NDMI	NDVI	SAVI	Урожайность, ц/га
Хвалынский	-0,0287	0,7831	0,8154	24,2
Балаковский	-0,0356	0,7845	0,7822	20,1
Пугачевский	-0,0452	0,7613	0,7534	24,8
Аткарский	-0,0622	0,7153	0,7212	22,5
Марковский	-0,0771	0,7005	0,7134	17,2
Ершовский	-0,0782	0,6847	0,7516	20,2
Дергачевский	-0,0834	0,6622	0,6822	12,3
Новоузенский	-0,0867	0,6517	0,6673	11,1

Почвенный вегетационный индекс (*Soil-Adjusted Vegetation Index, SAVI*) определяется по формуле

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \cdot (1 + L), \quad (3)$$

где L – коэффициент облиствения, $L \in [0;1]$, $L = 0$ для наибольшего индекса облиствения, $L = 1$ для наименьшего. В формуле (3) применялось оптимальное значение $L = 0,5$, так как при данном значении индекс позволяет минимизировать влияние яркости почвы на отражательную способность растений.

Изучались следующие районы выращивания сои в Саратовской области: Дергачевский, Новоузенский, Пугачевский, Марковский, Хвалынский, Балаковский, Аткарский, Ершовский. Эти районы различаются по физико-климатическим характеристикам, определяющим плодородие почвы, в частности по ее влажности и засушливости. Информация по урожайности сои в данных районах предоставлена производителями сельскохозяйственной продукции. Средние значения вегетационных индексов и урожайность сои в изучаемых районах представлены в таблице.

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительная характеристика засушливости территорий отражена усиливающейся градиентной окраской карты от менее к более засушливой (рис. 2). Полученные результаты свидетельствуют о том, что аридность районов Саратовской области увеличивается в следующем порядке: Хвалынский район – Балаковский район – Пугачевский район – Аткарский район – Марковский район – Ершовский район – Дергачевский район – Новоузенский район (рис. 1–3).

Оценка влияния физико-климатических факторов на урожайность сои осуществлена проведением корреляционного анализа величин урожайности и вегетационных индексов. Построенная матрица множествен-

ной корреляции (рис. 4) содержит статистически значимые коэффициенты корреляции (выделены красным цветом) между вегетационными индексами и урожайностью.

Анализ корреляционных взаимосвязей между вегетационными индексами и урожайностью позволяет утверждать, что наиболее тесные корреляционные соотношения существуют между индексами *NDMI* и *NDVI*, *SAVI* и *NDMI*. Величина урожайности показывает значительный разброс относительно линейной зависимости.

Для оценки вида нелинейной регрессии между изучаемыми параметрами произведен сравнительный анализ тесноты корреляционной взаимосвязи в рамках нескольких линейных моделей. Установлено, что статистически значимыми являются результаты применения линейной регрессии к описанию взаимосвязи зависимого параметра (урожайности сои) от независимых параметров (вегетационных индексов).

Таким образом, уравнения регрессионной взаимосвязи можно представить следующим образом:

$$\text{Урожайность} = 30,0452 + 176,9502 \cdot \text{NDMI}, \quad (4)$$

$$\text{Урожайность} = -37,8378 + 79,2406 \cdot \text{NDVI}, \quad (5)$$

$$\text{Урожайность} = -43,6041 + 85,1466 \cdot \text{SAVI}, \quad (6)$$

Распределение остатков вблизи прямой зависимости ожидаемого нормального значения урожайности от величины остатка для вегетационных индексов (рис. 5) свидетельствует о статистической значимости регрессионных моделей.

Исходя из величины коэффициента b перед значением вегетационного индекса в соответствующем регрессионном уравнении, можно сделать вывод, что урожайность сои в наибольшей степени зависит от величины – засушливости (*NDMI*) и во вторую очередь – примерно одинаково – от фотосинтетической продуктивности биомассы (*NDVI*) и контрастности почвенного фактора по отношению к зеленой биомассе сои (*SAVI*).

Correlations (Saratov_soy)				
Marked correlations are significant at $p < .05000$				
N=8 (Casewise deletion of missing data)				
Variable	NDMI	NDVI	SAVI	Урожайность, ц /га
NDMI	1,000000	0,983558	0,892621	0,783276
NDVI	0,983558	1,000000	0,896591	0,810443
SAVI	0,892621	0,896591	1,000000	0,821630
Урожайность, ц/га	0,783276	0,810443	0,821630	1,000000

Рис. 4. Матрица множественной корреляции между значениями индексов NDMI, NDVI, SAVI и урожайностью сои (ц/га)

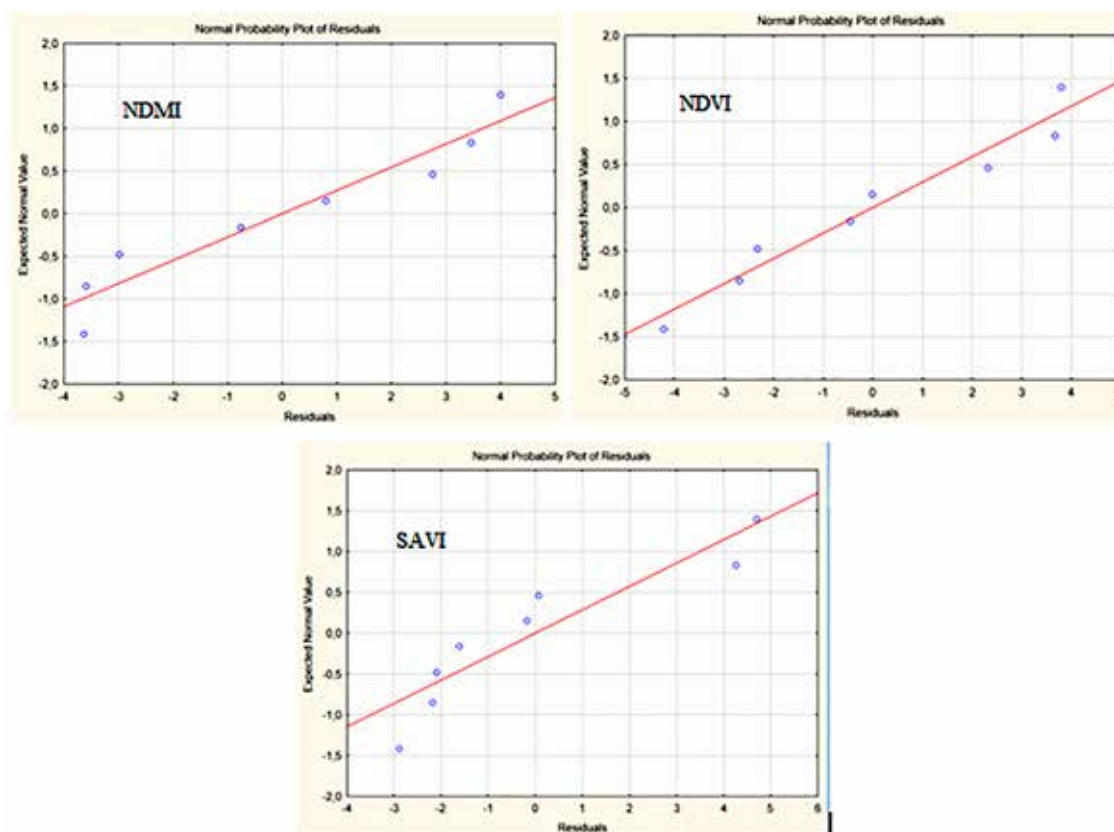


Рис. 5. Разброс величины остатков вблизи прямой ожидаемого нормального значения урожайности сои от величины остатка для вегетационных индексов

Оптимальное соотношение между индексами *NDMI*, *NDVI*, характеризующими влияние климатического фактора на биопродуктивность сои (рис. 6, а), соответствует диапазону изменения *NDMI* [-0,08 ... -0,07], *NDVI* [0,70 ... 0,74], и урожайности [15 ... 20] (ц/га). Понижение величины *NDVI* ниже диапазона оптимальных значений свидетельствует о нехватке влаги или питательных элементов и необходимости проведения мелиоративных мероприятий, направленных на ее повышение: боронования, вспашки, соблюдения норм полива, а также внесения в каштановые почвы биостимуляторов роста, что увеличи-

вает продуктивность зеленой фитомассы. В наибольшей степени почвенный фактор характерен для черноземных почв, типичных для северных районов Саратовского правобережья. В условиях средней величины суммарный коэффициент отражения *SAVI* агрегирует вклады сельскохозяйственной культуры и почвы (рис. 6, б). С севера на юг области тип почв меняется от черноземной к каштановым, а структура почвы меняется с глинистой к песчаной и супесчаной. При этом контрастность отражения между почвой и растительностью снижается, что связано с уменьшением величины зеленой биомассы.

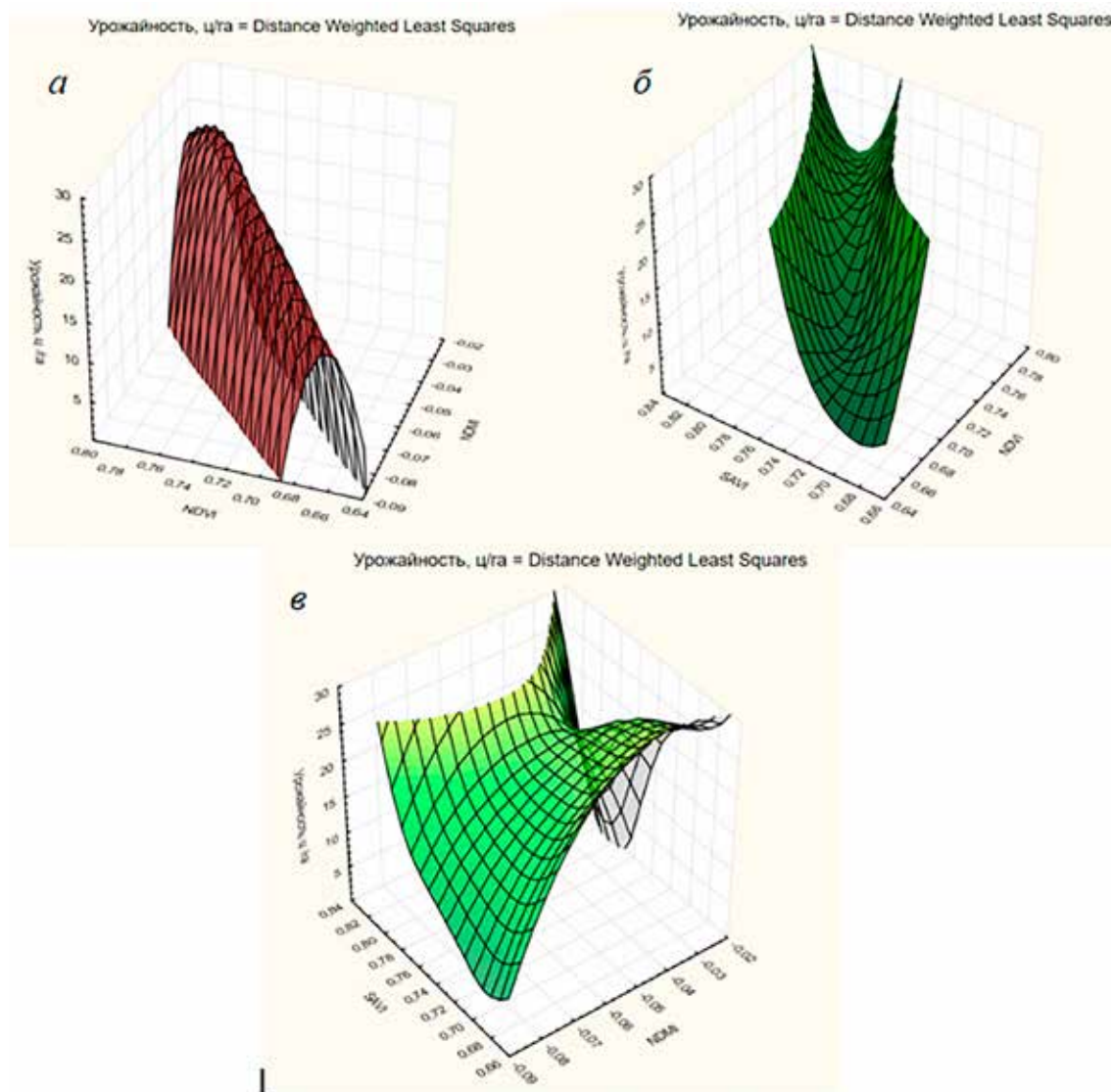


Рис. 6. 3D-зависимость совместного влияния вегетационных индексов на урожайность сои:
а) NDMI, NDVI; б) NDVI, SAVI; в) NDMI, SAVI

Индекс NDMI, снижение которого отвечает возрастанию засушливости климата, несет информацию об актуальности проведения мелиоративных мероприятий, направленных на повышение влажности почвы: полива, вспашки.

Оптимальное соотношение между индексами SAVI, NDMI и урожайностью сои (рис. 6, в) соответствует диапазону изменения SAVI [0,78...0,82], NDMI [-0,07...-0,04], урожайности сои [15...20] (ц/га). Дефицит влагообеспеченности приводит к снижению показателя всхожести сельскохозяйственной культуры и сокращению времени созревания, сопровождающимся понижением продуктивности биомассы и увеличением степени разреженности соответствующего сельскохозяйственного участка.

Анализ данных (рис. 6, а, в) позволяет заключить, что при снижении данных индексов NDMI относительно минимального значения в данных интервалах необходимо применение мелиоративных мероприятий, направленных на увеличение увлажненности почвы.

Заключение

Установлено, что величина урожайности сои коррелирует с вегетационными индексами, характеризующими продуктивность биомассы (NDVI), засушливость климата (NDMI) и степень контрастности отражения почвенного покрова относительно растительности. Линейная регрессионная зависимость урожайности от данных индексов показала, что урожайность сои

в наибольшей степени зависит от величины индекса засушливости (*NDMI*) и во вторую очередь – примерно одинаково – от фотосинтетической продуктивности биомассы (*NDVI*) и величины почвенного вегетационного индекса (*SAVI*). Неравномерность распределения определенных индексов на изучаемых территориях может быть связана с неоднородностью посевов, а также различной продуктивностью сои. Установлены средние интервалы значений между вегетационными индексами и урожайностью сои, при выходе за которые рекомендуется производить мелиоративные мероприятия, направленные на увлажнение почвы.

Список литературы

1. Смольский Е.В., Шпилев Н.С., Силаев А.Л. Влияние общих физических свойств серой лесной почвы на урожайность сои // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. № 5 (93). С. 17–25.
2. Сорокина М.В., Лобков В.Т., Абакумов Н.И., Бобкова Ю.А. Урожайность и качество зерна сои при различной интенсивности обработки почвы // Агробизнес и экология. 2015. Т. 2. № 2. С. 69–71.
3. Епифанцев В.В., Панасюк А.Н., Осипов Я.А., Вайтехович Ю.А. Влияние углубления почвы на урожайность сои при посеве различными агрегатами // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 1. С. 13–22.
4. Пашенко В.Ф., Сыромятников Ю.Н., Храмов Н.С., Войнаш С.А. Влияние локального рыхления почвы на урожайность сои // Тракторы и сельхозмашины. 2019. № 5. С. 79–86.
5. Никульчев К.А., Банецкая Е.В. Влияние культур севооборота на микробиологическую активность, агрофизические свойства почвы и урожайность сои // Земледелие. 2020. № 1. С. 11–14.
6. Mulazzani R.P., Gubiani P.I., Zanon A.J., Drescher M.S., Schenato R.B., Girardello V.C. Impact of soil compaction on 30-year soybean yield simulated with CROPGRO-DSSAT // Agricultural Systems. 2022. Vol. 203. P. 103523.
7. Нозинич М., Пржуй Н., Тркуля В. Влияние потепления климата на производство полевых культур // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии. 2016. № 2 (10). С. 23–31.
8. Классификатор тематических задач оценки природных ресурсов и окружающей среды, решаемых с использованием материалов ДЗЗ. Редакция 7. ООО «Байкальский центр», ООО Инженерно-технологический Центр «СканЭкс». Иркутск, 2008.
9. Асадов Х.Г., Фатуллаев С.А., Зейналова А.Н. Вопросы контроля загрязненности почвы с использованием вегетационных индексов // Контроль. Диагностика. 2012. № 3. С. 65–68.
10. Павлова А.И. Применение вегетационных индексов для цифрового почвенного картографирования на основе космических снимков Sentinel-2 // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 6. С. 119–131.
11. Уфимцева М.Г., Кузнецов С.Э. Мониторинг орошаемых агроландшафтов методами дистанционного зондирования // Агропродовольственная политика России. 2021. № 4. С. 33–36.
12. Коношина С.Н., Коношин И.В., Прудникова Е.Г. Использование технологий точного земледелия при возделывании озимой пшеницы в условиях Орловской области // Вестник аграрной науки. 2022. № 2 (95). С. 26–30.
13. Блохина С.Ю. Применение дистанционного зондирования в точном земледелии // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 5. С. 10–16.
14. Skakun R.S., Wulder M.A., Franklin S.E. Sensitivity of the thematic mapper enhanced wetness difference index to detect mountain pine beetle red-attack damage // Remote Sensing of Environment. 2003. Vol. 86. P. 433–443.
15. Gopp N.V., Savenkov O.A. Relationship between the NDVI, yield of spring wheat and properties of the plow horizon of eluviated clay-illuvial chernozems and dark gray soils // Eurasian Soil Science. 2019. Vol. 52, Is. 3. P. 339–34.

УДК 631.51

ВЛИЯНИЕ ОСНОВНЫХ ОБРАБОТОК ПОЧВЫ НА УРОЖАЙНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЗОНЫ КРАСНОДАРСКОГО КРАЯ

Логвинов А.В., Логвинов В.А., Мищенко В.Н.,
Шевченко А.Г., Моисеев А.В., Батракова Н.В.

*ФГБНУ «Первомайская селекционно-опытная станция сахарной свеклы», Гулькевичи,
e-mail: moiseew_@rambler.ru*

Сахарная свекла является основной культурой в Российской Федерации для получения сахара. Погодные условия Краснодарского края идеально подходят для возделывания сахарной свеклы (за исключением Анапо-Таманской зоны из-за недостаточного количества осадков). Исследования проводились на территории Центральной зоны Краснодарского края. Основной задачей было определение влияния основных обработок на урожайность и сахаристость сахарной свеклы. В опыте рассматривали три вида основных обработок: отвальная вспашка, безотвальная вспашка и поверхностное дискование. За контроль был взят вариант с отвальной вспашкой почвы. Все опыты проводились при внесении одинаковой дозы минеральных удобрений. Изучалось влияние обработок почвы на агрегатный состав почвы и последствия изменения структуры почвы на различных системах. Обработки оказали значительное влияние на рост и развитие растений сахарной свеклы. Основным фактором, влияющим на рост растений, оказалась плотность почвы. Сахарная свекла крайне требовательна к плотности вследствие малого запаса питательных веществ в семени, при прорастании в почве с повышенной твердостью растения гибнут в большом количестве. Возвращение сахарной свеклы в ротацию происходит на седьмой год севооборота. Также проводилось исследование механической борьбы с сорной растительностью. Сорные растения значительно снижают урожайность сахарной свеклы вследствие затенения и поглощения питательных элементов. Задачей данного исследования является выявление наиболее благоприятного варианта обработки почвы для возделывания сахарной свеклы в условиях Краснодарского края. Наряду с урожайностью определялся процент сахаристости и выход сахара с гектара. Исследования проводились во все фазы развития сахарной свеклы, непосредственно в данной статье проанализированы отборы почвы на середину вегетации сахарной свеклы.

Ключевые слова: сахарная свекла, основные обработки почвы, урожайность, выход сахара с гектара, водно-воздушный баланс, сорная растительность

INFLUENCE OF THE BASIC SOIL TREATMENTS ON THE YIELD OF SUGAR BEET IN THE CONDITIONS OF THE CENTRAL ZONE OF THE KRASNODAR REGION

Logvinov A.V., Logvinov V.A., Mischenko V.N.,
Shevchenko A.G., Moiseev A.V., Batrakova N.V.

*Pervomaiskaya Sugar Beet Breeding and Experimental Station, Gulkevichi,
e-mail: moiseew_@rambler.ru*

Sugar beet is the main crop in the Russian Federation for sugar production. The weather conditions of the Krasnodar Territory are ideal for the cultivation of sugar beets, with the exception of the Anapo-Taman zone due to insufficient rainfall. The studies were carried out on the territory of the central zone of the Krasnodar Territory. The main task was to determine the effect of the main treatments on the yield and sugar content of sugar beets. Three types of basic tillage were considered in the experiment: moldboard plowing, non-moldboard plowing and surface disking. The variant with moldboard plowing of the soil was taken as control. All experiments were carried out with the same dose of mineral fertilizers. The influence of tillage on the aggregate composition of the soil and the consequences of changes in soil structure in various systems were studied. Treatments had a significant impact on the growth and development of sugar beet plants. Soil density was the main factor influencing plant growth. Sugar beet is extremely demanding on density, due to the small supply of nutrients in the seed and when germinating in soil with increased hardness, the plants die in large numbers. The return of sugar beets to rotation occurs in the seventh year of the crop rotation. A study of mechanical weed control was also carried out. Weeds significantly reduce the yield of sugar beets due to shading and absorption of nutrients. The objective of this study is to identify the most favorable variant of soil cultivation for the cultivation of sugar beet in the conditions of the Krasnodar Territory. Along with the yield, the percentage of sugar content and the yield of sugar per hectare were determined. The studies were carried out in all phases of the development of sugar beet, directly in this article, soil samples were analyzed in the middle of the growing season of sugar beet.

Keywords: sugar beet, basic tillage, productivity, sugar yield per hectare, water-air balance, weeds

Сахарная свекла – основная сахароносная и стратегическая культура нашей страны. Для получения высокой урожайности и качества корнеплодов необходимо создать оптимальные условия произрастания данной культуры. Плотность почвы является

одним из первостепенных факторов для получения урожая и качества корнеплодов, в том числе и выхода сахара с одного гектара. Одним из условий развития здорового правильно развитого корнеплода является оптимальная плотность сложения почвы.

При несоблюдении оптимальной плотности почвы появляются различные дефекты корнеплода, такие как ветвистость, и развивается болезнь – корнеед, который на начальных стадиях развития сахарной свеклы может вызывать загнивание корня и ведет к его гибели. Сахарная свекла не конкурирует с сорными растениями и очень сильно угнетается, что ведет к слабому развитию и недобору урожая. Данная культура очень требовательна к условиям произрастания, типам почв, засоренности поля и уровню агротехники, который предусматривает использование исключительно интенсивных и высокоинтенсивных технологий, способствующих реализации потенциала гибрида на 70% и более. Ключевыми элементами интенсивных технологий являются система удобрений, необходимая для культуры, представляющая совокупность минеральных и органических удобрений, для удовлетворения потребности культуры в элементах питания и соблюдения законов земледелия, обеспечивающих сохранение плодородия почвы, а также система обработки, играющая важнейшую роль в формировании корнеплода, характеризующегося полноценным ростом, без наличия ряда дефектов, возникающих главным образом из-за неправильного подбора агротехнических мероприятий, угнетающих культуры, которые в полной мере не позволяют реализовать потенциал сахарной свеклы [1]. Поэтому в системе земледелия и технологии возделывания сахарной свеклы необходимо уделять особое внимание системе обработки под данную культуру для оптимизации процессов роста и развития, обеспечивающих получение продукции наивысшего качества с высоким процентным содержанием сахара в корнеплоде.

Цель исследования – изучить влияние различных систем основной обработки почвы на урожайность сахарной свеклы в условиях чернозема обыкновенного в Центральной зоне Краснодарского края; выявить лучшую обработку, обеспечивающую высокую урожайность и наиболее оптимальные условия для возделывания сахарной свеклы.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в Центральной зоне Краснодарского края. Повторность в опыте была трехкратная. Общая площадь делянок 240 м², учетная площадь 144 м². Уборка проводилась комбайном. Определение сахаристости сахарной свеклы проводилось в лаборатории Первомай-

ской СОС. Возделывался гибрид сахарной свеклы Кубанский МС 95. Почва в опыте представлена черноземом обыкновенным. Вносился гербицид после подсчета сорной растительности. Минеральные удобрения на всех вариантах были одинаковы и состояли из N₁₂₀ P₉₀ K₁₁₀ под основную обработку + доза N₃₀ K₅₀ в подкормку в фазу смыкания листьев в ряду.

Основные обработки почвы: отвальная обработка на глубину 30–32 см (контроль); безотвальная обработка на глубину 30–32 см + рыхление на глубину 70 см один раз в ротацию 8-польного севооборота; поверхностная обработка дисками в 2 следа на глубину 6–8 см.

Погодные условия в годы проведения исследований складывались выше средних многолетних данных. Количество осадков за вегетационный период сахарной свеклы было выше средних многолетних данных. Температурный режим не превышал многолетних показателей, что способствовало рациональному использованию воды растениями сахарной свеклы.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ агрегатного состава почвы показал, что обработка почвы оказала значительное влияние на структуру почвы. Результаты анализа приведены в табл. 1.

Агрономически ценными являются агрегаты размером 10–0,25 мм. Оптимальным количеством агрономически ценных агрегатов, при котором создается благоприятный почвенный режим на черноземах Кубани, является 60–75% от общей массы почвы. Содержание большого количества глыбистой фракции (> 10 мм), а также мелкозема (< 0,25 мм) нежелательно. Повышение мелкой почвенной фракции приводит к увеличению плотности почвы [2]. Данные по влиянию основных обработок на плотность почвы представлены в табл. 1.

Из полученных данных следует, что безотвальная обработка почвы способствовала сохранению высокого процента агрономически ценной фракции относительно контрольного варианта. В пахотном слое почвы прибавка составила 7,4%, а в подпахотной – 6,0%. Процент мелкой фракции на безотвальной обработке был близок к контрольному варианту. Прибавка в проценте содержания агрономически ценных частиц почвы была получена благодаря уменьшению процента глыбистой фракции почвы.

Таблица 1

Влияние основных обработок почвы на агрегатный состав почвы под сахарной свеклой, среднее за 2020–2022 гг. (середина вегетации)

Основные обработки почвы	Слой, см	Система удобрений, размер агрегатов, мм, %		
		> 10	10–0,25	< 0,25
Отвальная	0–30	44,3	54,8	0,9
	30–70	42,3	56,6	1,2
Безотвальная	0–30	36,7	62,2	1,0
	30–70	36,3	62,6	1,1
Поверхностная	0–30	47,0	50,9	2,1
	30–70	44,0	53,8	2,2

Таблица 2

Плотность почвы в зависимости от основной обработки почвы, г/см³, среднее за 2020–2022 гг. (середина вегетации)

Основные обработки почвы	Слой, см	Плотность почвы
Отвальная вспашка	0–30	1,37
	45–70	1,35
Безотвальная вспашка	0–30	1,32
	45–70	1,30
Поверхностное дискование	0–30	1,43
	45–70	1,42

Поверхностная обработка почвы оказала отрицательное влияние в накоплении процента агрономически ценной фракции. Уменьшение относительно контрольного варианта составило 4,7% в пахотном слое почвы и 2,8% в подпахотном. Также значительно увеличился процент пылевой фракции, что привело к увеличению плотности на данном варианте. Отмечено увеличение и глыбистой фракции почвы при поверхностной обработке почвы. Следовательно, использование безотвальной вспашки как основной обработки почвы способствует увеличению агрономически ценной фракции почвы, что положительно сказывается на водно-воздушном режиме почвы.

Наблюдения за плотностью почвы показали, что изучаемые основные обработки почвы под сахарной свеклой оказали неодинаковое влияние на этот показатель в пахотном и в подпахотном слоях (табл. 2).

Плотность почвы является одним из важнейших показателей для развития корневой системы сахарной свеклы. Повышенная плотность способствует резкому снижению урожайности данной культуры [3]. Из полученных данных следует, что вариант с без-

отвальной обработкой способствовал сохранению плотности почвы в допустимых диапазонах. Одним из факторов снижения плотности было глубокое рыхление почвы для борьбы с плужной подошвой. Уменьшение плотности относительно контроля составило 0,05 г/см³ в пахотном слое и 0,05 г/см³ в подпахотном.

Вариант с поверхностной обработкой значительно увеличил плотность относительно контроля как в пахотном, так и в подпахотном слое чернозема обыкновенного. Увеличение плотности в пахотном слое почвы составило 0,06 г/см³, а в подпахотном 0,07 г/см³. Следовательно, поверхностная обработка отрицательно сказалась на водно-воздушном и пищевом режиме сахарной свеклы вследствие значительного переуплотнения относительно исследуемых вариантов обработки почвы.

Количество продуктивной влаги зависит от осадков за зимний период и плотности почвы. Часть влаги является непродуктивной вследствие высокой плотности почвы, данная влага не может быть использована растениями для роста и развития. Данные по влиянию основных обработок почвы на количество продуктивной влаги представлены в табл. 3.

Наибольшая общая влага в почве была отмечена на варианте с безотвальной обработкой почвы вследствие более высокого процентного содержания агрономически ценной структуры почвы. Самые низкие показатели общей влаги отмечены при поверхностной обработке почвы, вследствие увеличения мелкой фракции на данной обработке.

В начале вегетации сахарной свеклы самые высокие показатели продуктивной влаги сформировались на варианте с безотвальной обработкой почвы. Увеличение относительно контрольного варианта составило 21,3 мм. Данной прибавке влажности способствовала низкая плотность.

Таблица 3

Влияние основных обработок почвы на запасы общей и продуктивной влаги в слое 0–160 см при возделывании сахарной свеклы, мм, среднее за 2020–2022 гг.

Основные обработки почвы	В начале вегетации		В конце вегетации	
	W общ.	W прод.	W общ.	W прод.
Отвальная	588,3	225,9	351,7	8,6
Безотвальная	602,6	247,2	335,2	5,3
Поверхностная	511,8	182,1	316,3	11,2

Таблица 4

Влияние основных обработок почвы на засоренность посевов сахарной свеклы в начале вегетации, среднее за 2020–2022 гг.

Основные обработки почвы	Содержание сорняков, шт./м ²	
	Однолетние	Многолетние
Отвальная	17,5	1,6
Безотвальная	25,7	2,4
Поверхностная	33,2	8,3

В конце вегетации на варианте с безотвальной обработкой почвы видно самое низкое количество продуктивной влаги среди всех исследуемых вариантов. Снижение относительно контроля составило 3,3 мм.

Вариант с поверхностной обработкой почвы в начале вегетации снизил количество продуктивной влаги относительно контрольного варианта. Уменьшение составило 43,8 мм. Переуплотнение почвы оказало значительное влияние на снижение продуктивной влаги в корнеобитаемом слое почвы.

В конце вегетации сахарной свеклы на варианте с поверхностной обработкой почвы отмечается сохранение продуктивной влаги в почве относительно других вариантов. Прибавка влаги относительно контроля составила 3,6 мм. Сахарная свекла, основной обработкой которой было поверхностное дискование, не смогла использовать продуктивную влагу в почве вследствие плохо развитой корневой системы, что повлекло за собой снижение урожайности.

Можно сделать вывод, что безотвальная обработка увеличивает продуктивную влагу в пахотном и подпахотном слоях почвы благодаря снижению плотности почвы как в пахотном, так и в подпахотном слоях почвы в условиях чернозема обыкновенного.

Сахарная свекла очень чувствительна к сорнякам. При большом количестве сорных растений резко снижается урожайность. Наблюдения, проведенные нами

за засоренностью посевов, показали, что наибольшая засоренность посевов в начале вегетации была при поверхностной обработке почвы (табл. 4) [4].

Преимущество отвальной вспашки заключается в том, что семена сорняков попадают под землю и большая их часть погибает. На варианте с безотвальной обработкой почвы наблюдается рост числа сорной растительности относительно контрольного варианта. Увеличение однолетних сорняков составило 8,2 шт./м², многолетних сорняков – 0,8 шт./м² относительно контрольного варианта.

На варианте с поверхностной обработкой наблюдается значительное увеличение сорной растительности. Прибавка однолетних сорняков составила 15,7 шт./м², что в два раза выше контрольного варианта. Количество многолетних сорняков увеличилось на 6,7 шт./м², что в четыре раза выше контрольного варианта. Вследствие этого значительная часть питательных элементов и продуктивной влаги была поглощена сорными растениями.

Следовательно, отвальная вспашка является лучшим механическим методом борьбы с сорными растениями среди основных обработок почвы. После учета сорной растительности проводилось внесение гербицида с целью получения высоких урожаев.

Вариант с безотвальной обработкой почвы увеличил процент урожайности относительно контроля на 2,9%. Прибавка получена благодаря наиболее оптимальным водно-воздушным условиям. Вариант с поверхностной обработкой снизил урожайность относительно контрольного варианта на 19,6%. Высокая плотность, малое количество продуктивной влаги и высокая засоренность способствовали снижению урожайности сахарной свеклы на данном варианте исследований.

Данные по влиянию основных обработок на урожайность сахарной свеклы представлены в табл. 5.

Таблица 5

Влияние изучаемых основных обработок почвы на урожайность сахарной свеклы, ц/га, среднее за 2020–2022 гг.

Основные обработки почвы	Урожайность, ц/га	Отклонение	
		ц/га	%
Отвальная	440,1	–	–
Безотвальная	452,7	+12,6	+2,9
Поверхностная	353,9	-86,2	-19,6

Таблица 6

Влияние основных обработок почвы на сахаристость корнеплодов и выход сахара с гектара, среднее за 2020–2022 гг.

Основные обработки почвы	Сахаристость, %	Выход сахара с гектара, т	Отклонение выхода сахара от контроля	
			т	%
Отвальная	18,4	8,1	–	–
Безотвальная	18,2	8,2	+0,1	+1,2
Поверхностная	21,5	7,6	-0,5	-6,2

Следовательно, безотвальная и отвальная обработка почвы показали высокую урожайность благодаря созданию оптимальных условий произрастания растений сахарной свеклы.

Качество корнеплодов оценивается по их сахаристости. Между массой корнеплодов существует закономерность: чем больше масса корнеплода, тем меньше содержание в нем сахара. Сахаристость корнеплодов представлена в табл. 6 [5].

Сахаристость на варианте с безотвальной обработкой почвы была ниже контроля на 0,2%, но выход сахара с гектара был выше на 0,1 т. Следовательно, прибавка в урожайности позволила данному варианту получить увеличение по выходу сахара с гектара.

На варианте с поверхностной обработкой почвы сахаристость была самой высокой благодаря низкой массе корнеплодов. Увеличение сахаристости относительно контрольного варианта составило 3,1%. Выход сахара с гектара был ниже контроля вследствие значительного снижения урожайности на варианте с поверхностной обработкой почвы. Выход сахара был ниже контроля на 0,5 т.

Таким образом, отвальная и безотвальная обработка способствовали получению сахара с гектара примерно на одном уровне благодаря формированию оптимального водно-воздушного режима почвы и унич-

тожению сорной растительности. Вариант с поверхностной обработкой уступил в получении сахара с гектара из-за переуплотнения почвы, малого запаса продуктивной влаги и значительного количества сорной урожайности.

Заключение

Следовательно, в условиях чернозема обыкновенного использование отвальной и безотвальной вспашки позволяет получить высокие урожаи сахарной свеклы. Однако преимущество остается при применении безотвальной вспашки, как обработки, сохраняющей гумус почвы. Отвальная вспашка при обороте пласта уничтожает сорную растительность, но приводит к гибели почвенной биоты, что в дальнейшем сказывается на снижении процента гумуса в почве. Снижение гумуса приведет к увеличению плотности почв и ухудшению режима питания сельскохозяйственных культур [6].

Список литературы

1. Нодиров Н.Ф., Федорова Т.Д., Ничипуренко Е.Н. Воздействие технологии выращивания сельскохозяйственных культур на содержания гумуса в подпахотном слое // Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сборник статей по материалам 77-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2021 г. В 3 ч. (Краснодар, 01 марта 2022 г.). / Отв. за выпуск А.Г. Кошаев. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. С. 129–131.
2. Логвинов А.В., Логвинов В.А., Шевченко А.Г., Запесоцкий Д.Н., Моисеев А.В., Моисеев В.В. Экономическая

эффективность производства сахарной свеклы по вариантам основной обработки почвы // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 85–89.

3. Василько В.П., Гаркуша С.В., Ничипуренко Е.Н., Магомедтагиров А.А. Динамика гумуса в травяно-зернопропашном севообороте низинно-западного агроландшафта в зависимости от технологии возделывания сельскохозяйственных культур // Научные приоритеты адаптивной интенсификации сельскохозяйственного производства: материалы Международной научно-практической конференции с элементами школы молодых ученых, (Краснодар, 03–05 июля 2019 г.). Краснодар: Издательство «ЭДВИ», 2019. С. 26–27.

4. Ничипуренко Е.Н., Федорова Т.Д. Влияние основной обработки почвы на засоренность посевов озимой пшеницы в Центральной зоне Краснодарского края // Наука, образование и инновации для АПК: состояние, проблемы и перспективы: материалы VI Международной научно-практической онлайн-конференции, Майкоп, 25 ноября 2020 г.).

Майкоп: Издательство «Магарин Олег Григорьевич», 2020. С. 164–166.

5. Ничипуренко Е.Н., Федорова Т.Д. Влияние минимализации основной обработки почвы на массу корнеплодов сахарной свеклы в низинно-западном агроландшафте на разных фонах удобрённости // Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие»: материалы Всероссийских (национальных) научно-практических конференций (Санкт-Петербург, 10–13 сентября 2021 г.). СПб.: ГНИИ «Нацразвитие», 2021. С. 79–80.

6. Кравцов А.М., Павелко И.А. Сахарная свекла, технология выращивания и продуктивность // Итоги научно-исследовательской работы за 2021 год: материалы Юбилейной научно-практической конференции, посвященной 100-летию Кубанского ГАУ, (Краснодар, 06 апреля 2022 г.). Отв. за выпуск А.Г. Кошаев. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2022. С. 31–32.

УДК 633.1

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО РАЗНООБРАЗИЯ БЕЛКОВ ГЛОБУЛИНОВ В ГЕНОТИПАХ НУТА (*CICER ARIETINUM L.*)

Салманова М.Р., Садыгов Г.Б., Керимов А.Я., Садыгова С.Б., Калбиева Е.Э.

Институт генетических ресурсов НАНА, Баку,

e-mail: salmanovamahbuba@gmail.com

В исследовательской работе проведен электрофоретический анализ запасных белков глобулинов в семенах 76 местных и интродуцированных образцов нута. Подсчитан индекс генетического разнообразия (H -) по частоте встречаемости паттернов по зонам (ω -, γ - β - и α -) в электрофореграммах запасных белков глобулинов в зернах образцов нута. В образцах нута было обнаружено 22 спектра и 42 паттерна, в большинстве из которых наблюдался полиморфизм. В ω -зоне обнаружено 7 спектров и 11 паттернов, в γ -зоне – 5 спектров и 16 паттернов. В β -зоне наблюдалось 6 спектров и 7 паттернов, а в α -зоне – 5 спектров и 8 паттернов. Подсчитан индекс генетического разнообразия для каждой из четырех зон (ω -, γ - β - и α -) по формуле Ней. Согласно подсчетам больше всего генетического разнообразия наблюдалось в γ -зоне ($H = 0,786$), чуть меньше – в ω -зоне ($H = 0,757$) и α -зоне ($H = 0,761$), а меньше всего – в β -зоне ($H = 0,651$). Наряду с этим для определения генетического расстояния между образцами, используя компьютерную программу UPGMA, была построена дендрограмма и посредством маркеров белков глобулинов была определена генетическая близость. Основываясь на результатах кластерного анализа, генотипы были поделены на 5 групп и подгрупп. На основании результатов, полученных с помощью электрофоретического анализа в полиакриламидном геле (A-PAGE) запасных белков глобулинов, впервые был обнаружен полиморфизм генотипов нута. Эти генетические маркеры белка глобулина могут быть использованы в гибридизации, являющейся основным этапом процесса научной селекции, выборе родительских форм и определении уникальности полученного поколения, оценке динамических изменений, происходящих в популяциях, и определении гомо- и гетерогенности сортов (биотипов).

Ключевые слова: нут, генотип, глобулин, запасной белок, ген, паттерн, электрофореграмма, кластер

STUDY OF THE GENETIC DIVERSITY OF GLOBULIN PROTEINS IN CHICKPEA (*CICER ARIETINUM L.*) GENOTYPES

Salmanova M.R., Sadygov G.B., Kerimov A.Ya., Sadygova S.B., Kalbieva E.E.

Institute of Genetic Resources of ANAS, Baku, e-mail: salmanovamahbuba@gmail.com

An electrophoretic analysis of globulins has been performed in the seeds of 76 local and introduced chickpea samples. The index of genetic diversity (H -) was calculated according to the frequency of occurrence of patterns by zones (ω -, γ - β - and α -) in electropherograms of globulins in chickpea seeds. 22 spectra and 42 patterns were found, most of which showed polymorphism. In the ω -zone, 7 spectra and 11 patterns and in the γ -zone, 5 spectra and 16 patterns were observed. In the β -zone, 6 spectra and 7 patterns and in the α -zone, 5 spectra and 8 patterns were found. The genetic diversity index was calculated for each zone according to Ney's formula. The most genetic diversity was observed in the γ -zone ($H = 0.786$), slightly less – in the ω -zone ($H = 0.757$) and α -zone ($H = 0.761$), and the least – in the β -zone ($H = 0.651$). UPGMA computer program was used to determine the genetic distance between the samples. A dendrogram was constructed and genetic proximity was determined using globulin protein markers. Based on the results of cluster analysis, genotypes were divided into 5 groups and subgroups. For the first time, polyacrylamide gel electrophoresis of globulins revealed polymorphism of chickpea genotypes. These genetic markers of globulin can be used in hybridization, which is the main step in the process of scientific breeding, selection of parental forms and determination of the uniqueness of the resulting generation, assessment of dynamic changes occurring in populations, and determination of the homo- and heterogeneity of varieties (biotypes).

Keywords: chickpea, genotype, globulin, storage protein, gene, pattern, electropherogram, cluster

Электрофоретические компоненты запасных белков в семенах злаковых и бобовых культур передаются из поколения в поколение как генетически детерминированный признак, не изменяются и остаются стабильными в зависимости от почвенно-климатических и условий возделывания, используются как универсальные генетические маркеры и сохраняют свою научную актуальность в изучении генетического разнообразия и в ускорении процесса селекции [1].

Так, часть ДНК, связанная с областью какого-либо гена или генов в геноме, яв-

ляется маркером. Маркеры делятся на три типа: морфологические, биохимические и ДНК-маркеры. Молекулярные маркеры классифицируются на две группы: не связанные с полимеразной цепной реакцией (RFLP) и связанные (RAPD, AFLP, SSR) [2]. С помощью молекулярных маркеров можно обеспечить более четкое выявление генетического материала *in vitro*. С использованием различных маркеров были обнаружены генетические вариации в последовательностях ДНК [3]. Генетическая вариация и приспособляемость к условиям окружающей среды у сортов нута высока. Также большое

влияние на процессы, связанные с эволюцией сортов, оказала человеческая деятельность. К ней относятся одомашнивание, выращивание и иммиграция [4]. Несмотря на то, что это очень важно, в некоторых исследовательских работах признавалось, что содержание белка в зерне у различных сортов нута различно и генетически обусловлено. Накопление белка в зерне нута управляется 3–7 генами. Вдобавок генетически это может создать изменчивость в составе белка зерна в сортах нута [5]. Использование биохимических и молекулярных маркеров представляет преимущество перед использованием других маркеров, например фенотипических. Репродуктивность делает эти маркеры особенно привлекательными [6]. В составе зерен нута, выращенного на разных почвах, содержание альбуминов, глобулинов, глютелинов и проламинов в значительной мере различается. Гупта, используя электрофорез в SDS полиакриламидном геле, представил разницу в молекулярном весе полосок белка, различные варианты белков зерна, то есть глобулины, глютелины, альбумины и проламины наблюдались в различных вариантах. Метод электрофореза в полиакриламидном геле (SDS-PAGE) используется для разделения белков [7]. В оценке бобовых растений использовался SRAP [8, 9]. Для оценки генетического разнообразия маркеры SRAP применяются редко [10–12]. В исследовании генетической вариации нута впервые были использованы SRAP маркеры. Для оценки генетической изменчивости в нуте используются эти маркеры.

Используя SDS-PAGE, был определен полиморфизм глобулинов, проламинов и глютелинов в генотипах нута. Вообще, в зернах бобовых растений альбумины составляют 20–35%, глобулины – 43–55%, проламины – 0,73–2,70% и глютелины – 11,84–32,21% [13]. Из них альбумины растворяются в воде, глобулины – в солях, проламины – в спирте, а глютелины – в щелочи. Альбумин и глобулин вместе составляют 63–90% от общего белка зерна. Растворимая в солях фракция (глобулины) составляет 45–50,3% от общей массы. Среднее значение, составляющее 47,7% растворимой фракции, является основной белковой фракцией. Исследуемый белок нута считается водорастворимой фракцией. Альбумины со своим средним значением составляют 31,2–35,5% от общей растворимой фракции. Третьими са-

мыми распространенными белками зерна, содержание которых варьирует между 15,1 и 20,5%, являются глютелины [14].

В данной исследовательской работе преследовалась цель идентификации, паспортизации и изучения генетического разнообразия местных и интродуцированных генотипов нута.

Материалы и методы исследования

В исследовательской работе были использованы местные и интродуцированные из ICARDA образцы нута. В 2021 г. на Апшеронской опытной базе Института генетических ресурсов НАНА было посеяно 76 образцов, полевые испытания проводились во II–III-й декаде ноября.

Электрофоретический анализ белка глобулина проводился в отделе «Биохимическая генетика и технология» Института генетических ресурсов НАНА. Экстракцию и электрофоретический анализ в полиакриламидном геле (A-PAGE) запасных белков глобулинов из зерен образцов нута проводили с помощью нового метода, усовершенствованного на основе модифицированного метода Ф.Ф. Поперелян. Так, после измельчения образца нута и его экстракции дважды в 500 мкл 70%-ного спирта и центрифугирования каждый раз при 3500 об./мин, экстракт промывали дважды в 500 мкл растворе 0,03%-ного уксуса и ацетона и каждый раз после размешивания механической мешалкой его центрифугировали при скорости 3500 об./мин. После добавления к полученному в четвертый раз экстракту 500 мкл 9-молярного раствора уксус-мочевины, проводили анализ на аппарате вертикального электрофореза в глицин-ацетатном буфере (pH – 3,5).

После того, как паттерны пронумеровали, их сравнивали друг с другом в каждой зоне, а затем осуществляли нумерацию всех паттернов без учета повторов. Так, если какой-то определенный паттерн повторялся в образцах, этому паттерну новый номер не присваивался, и так проделывалось со всеми паттернами. Частота встречаемости каждого паттерна образцов нута по всем зонам вычислялась на основании индекса генетического разнообразия Нея по нижеприведенной формуле [15]:

$$H = 1 - \sum P_i^2,$$

где H – индекс генетического разнообразия; P_i – частота каждого паттерна в зонах.

Кластерный анализ был построен с применением метода UPGMA.

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из основных маркеров, используемых в генетической идентификации растений, являются белковые маркеры. Впервые в Азербайджане с помощью модифицированного метода, примененного для бобовых растений, был осуществлен анализ вертикального электрофореза в А-PAGE белков глобулинов, а полученные электро-

фореграммы условно поделили на 4 зоны: их назвали ω -, γ -, β - и α -глобулины. Белки с большим молекулярным весом локализованы в ω -зоне, а белки с малым молекулярным весом – в α -зоне. Белки глобулины зерен образцов нута по сравнению с белками фасоли и сои более полиморфны, и их спектры интенсивнее. Однако белки глобулины резко отличались от показателей запасных белков глиаина и глютена из зерен пшеницы (рис. 1 и 2).

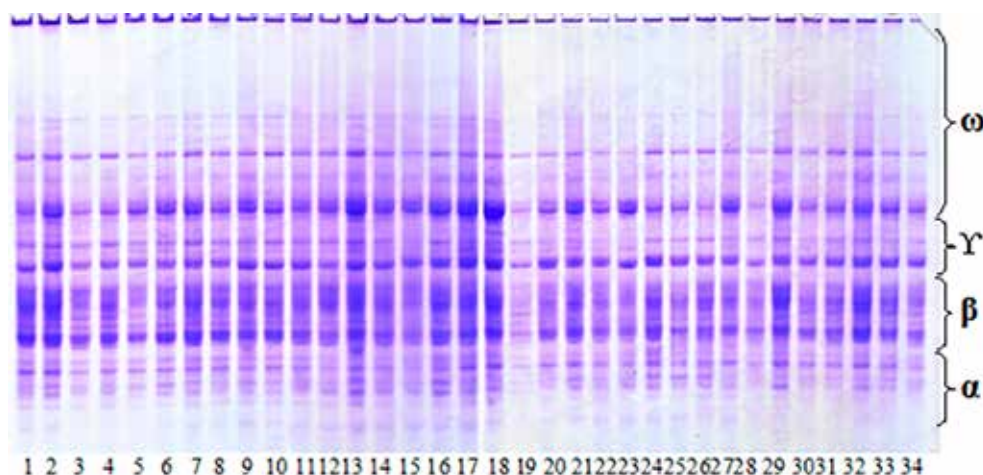


Рис. 1. Электрофореграммы белка глобулина из зерен образцов нута:

1 – Flip 13-70c; 2 – Flip 13-151c; 3 – Flip 13-153c; 4 – Flip 13-154c; 5 – Flip 13-194c; 6 – Flip 13-227c; 7 – Flip 13-234c; 8 – Flip 13-240c; 9 – Flip 13-247c; 10 – Flip 13-250c; 11 – Flip 13-251c; 12 – Flip 13-253c; 13 – Flip 13-258c; 14 – Flip 13-261c; 15 – Flip 13-277c; 16 – Flip 13-278c; 17 – Flip 13-282c; 18 – Flip 13-308c; 19 – Flip 13-314c; 20 – Flip 13-320c; 21 – Flip 13-330c; 22 – Flip 13-335c; 23 – Flip 13-336c; 24 – Flip 13-338c; 25 – Flip 13-340c; 26 – Flip 13-343c; 27 – Flip 13-356c; 28 – Flip 13-358c; 29 – Flip 13-364c; 30 – Flip 13-369c; 31 – Flip 13-376c; 32 – ILC-482c (st); 33 – Flip 82-150c; 34 – Flip 88-85c

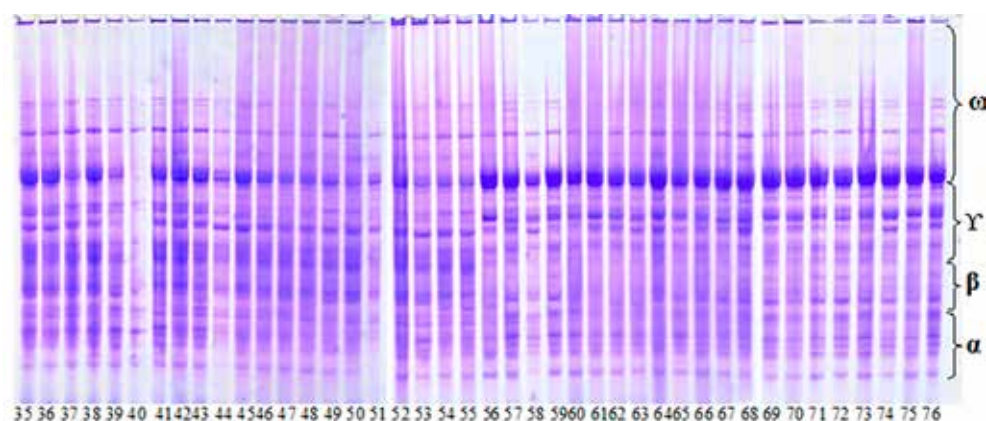


Рис. 2. Электрофореграммы белка глобулина, выделенного из зерен генотипов нута.

35 – Flip 93-93c; 36 – st.Nərmın; 37 – Flip 11-12c; 38 – Flip 11-104c; 39 – Flip 11-21c; 40 – Flip 10-338c; 41 – Flip 11-167c; 42 – Flip 11-76c; 43 – Flip 11-175c; 44 – Flip 11-70c; 45 – Flip 10-332c; 46 – Flip 11-125c; 47 – Flip 11-05c; 48 – Flip 11-208c; 49 – Flip 93-93c; 50 – Flip 11-32c; 51 – Flip 11-66c; 52 – Flip 11-205c; 53 – Flip 11-140c; 54 – Flip 11-08c; 55 – Flip 11-198c; 56 – Flip 11-11c; 57 – Flip 11-209c; 58 – Flip 11-215c; 59 – Flip 11-45c; 60 – Flip 11-72c; 61 – Flip 11-210c; 62 – Flip 10-318c; 63 – Flip 11-16c; 64 – Flip 11-58c; 65 – Flip 11-138c; 66 – Flip 10-345c; 67 – Flip 88-85c; 68 – Flip 11-105c; 69 – Flip 11-01c; 70 – ILC-482c; 71 – Flip 11-216c; 72 – Flip 82-150c; 73 – Flip 11-214c; 74 – Sultan; 75 – Flip 11-190c; 76 – Flip 11-15c

Среди исследованных образцов нута было обнаружено 23 спектра и 42 паттерна и, судя по частоте встречаемости паттернов, образуемых электрофоретическими спектрами, между ними обнаружен полиморфизм. В ω -зоне электрофореграмм запасных белков глобулина было обнаружено 7 спектров и 11 различных паттернов. В этой зоне ω -4 паттерн обнаружен в 43 образцах с частотой встречаемости 43,0%, ω -1 паттерн – в 33 образцах с частотой встречаемости 20,0% и ω -8 паттерн с частотой встречаемости 1,0%. ω_4 среди всех спектров составлял самую высокую частоту встречаемости 100%, ω_3 спектр – составлял среднюю – 60,0%, а ω_1 спектр – низкую частоту встречаемости – 5,0%.

В Υ -зоне электрофореграмм запасных белков глобулинов наблюдалось 5 спектров и 16 паттернов. Υ -3 паттерн обладал частотой встречаемости 43%, Υ -8 паттерн – 11%, а Υ -7 паттерн – 1%. Среди всех спектров Υ_{3s} обладал самой высокой частотой встречаемости – 91,0%, Υ_{4s} – средней частотой встречаемости – 71% и Υ_{2s} низкой – 33,0%. В β -зоне электрофореграмм обнаружено

6 спектров и 7 паттернов. β -2 паттерн составлял частоту встречаемости 53,0%, β -1 паттерн – 24,0% и β -6 паттерн – самую низкую частоту встречаемости, 1%. Была обнаружена самая высокая частота встречаемости 100% у β_{4s} , средняя – 87,0% – у β_{3s} и низкая – 28,0% – у β_{6s} . В α -зоне электрофореграмм было отмечено 5 спектров и 8 паттернов. α -3 паттерн составлял частоту встречаемости 36,0%, α -1 паттерн – 29,0%, а α -6 паттерн – 1,0%. α_{2s} обладал максимумом частоты встречаемости 100%, α_{4s} – средней частотой встречаемости 76,0%, а α_{5s} – низкой частотой встречаемости 45,0%. Применив формулу Нея, между генотипами был подсчитан индекс генетического разнообразия для каждой из четырех зон. В результате проведенных подсчетов было установлено, что Υ -зона обладала более высоким генетическим разнообразием ($H = 0,786$), ω -зоны ($H = 0,757$) и α -зоны ($H = 0,761$) – относительно низким генетическим разнообразием, а у β -зоны ($H = 0,651$) наблюдали самое низкое генетическое разнообразие (рис. 3).

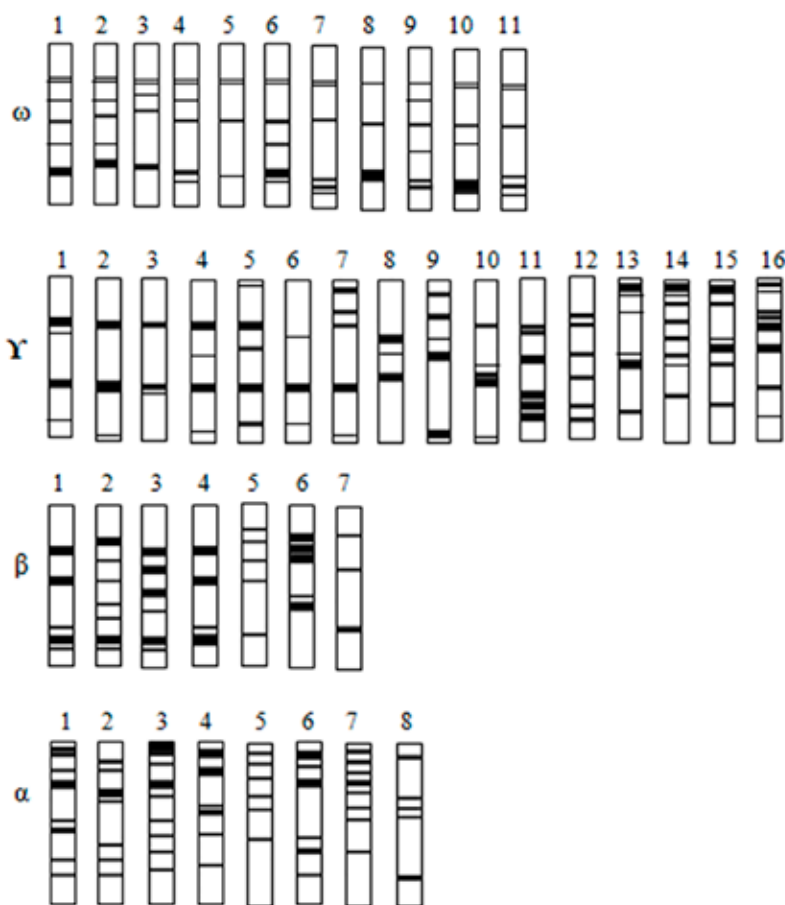


Рис. 3. Идиограмма различных паттернов ω -, Υ -, β - и α -зон, обнаруживаемых в образцах нута

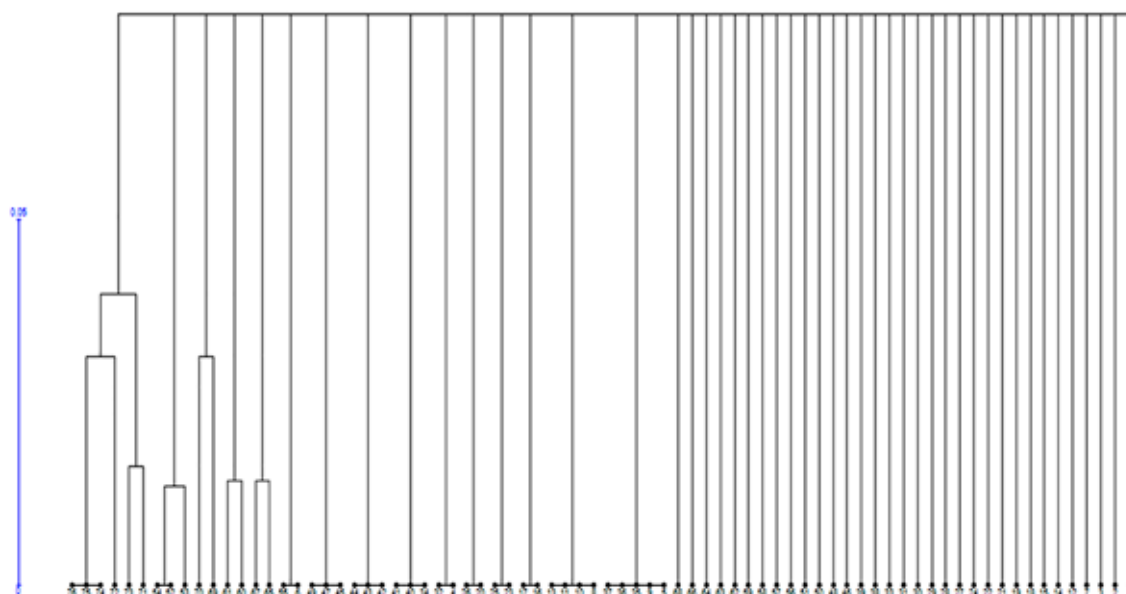


Рис. 4. Дендрограмма, отражающая генетическое расстояние между различными образцами нута на основе полиморфизма электрофореграмм белков глобулинов

После экстракции и проведенного электрофоретического анализа запасных белков глобулинов образцов нута полосы (электрофоретический спектр) между генотипами были пронумерованы на основании метода нумерации «1» и «0». Находящиеся в том же месте полосы пронумерованы на основании бинарной номенклатуры цифрой «1», а те места, где в соответствующей области полосок нет, пронумерованы цифрой «0». Используя компьютерную программу UPAGMA для определения генетической близости образцов, была построена дендрограмма, и посредством маркеров белков глобулинов изучена генетическая близость генотипов нута. Как видно из рис. 4, генотипы за номером 71, 72, 73, 74, 75 и 76 на дендрограмме классифицированы в первом кластере, образцы 52, 53, 54 – во втором, образцы за номером 69 и 70 – в третьем, номера 60 и 61 – в четвертом, а генотипы за номером 65 и 67 – в пятом кластере, и другие образцы классифицированы по два, по три, по четыре и остальные по одному кластеру. На основании полученных результатов можно прийти к заключению, что для выбора родительских форм и ускорения процесса селекции при проведении гибридизации между образцами нута, находящимися по генетическому расстоянию далеко друг от друга, целесообразно осуществление селекции с помощью маркеров.

Заключение

Проводился электрофоретический анализ в Acid-PAGE запасных белков глобулинов в зерне 76 местных и интродуцированных образцов нута *Cicer Arietinum*. Изучение генетического разнообразия на основе запасных белков глобулинов охарактеризовалось определением 23 спектров и 42 различных паттернов в местных и интродуцированных образцах нута. Наряду с этим были вычислены индексы генетического разнообразия электрофореграмм глобулинов (Н-) образцов нута по зонам. Для определения генетической близости была использована компьютерная программа UPGMA, с помощью построения дендрограммы была определена генетическая близость генотипов нута на основе маркеров белков глобулинов.

Список литературы

1. Садыгов Г.Б. Белковый полиморфизм генотипов тетраплоидной пшеницы и связь качественных признаков с генетическими маркерами: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Баку, 2021. 24 с.
2. Ханкишиева Э.М., Шихлинский Г.М. Использование молекулярных маркеров в селекции на устойчивость. Научно-исследовательский институт земледелия: сборник научных трудов. Т. XXVII. Баку, 2016. С. 160–167.
3. Jeina S.M., Al-Hadeithi and Saade Abdalkareem Jasmin. Study of Plant Genetic Variation through Molecular Markers: An Overview // Journal of pharmaceutical Research International. 2021. Vol. 33, Is. 45. P. 464–473.
4. Xiong H., Qin J., Shi A. et al. Genetic differentiation and diversity upon genotype and phenotype in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) // Euphytica. 2017. Vol. 214, Is. 1. P. 4–9.

5. Fernandes S., Antônio D., da Costa C., da Silva W.R., Boiteux L.S. Genetic analysis of total seed protein content in two cowpea crosses // *Crop Sci.* 2012. Vol. 52, Is. 6. P. 2501–2506.
6. Hayward A., Tollenaere R., Dalton-Morgan J., Batley J. Molecular Marker Applications in Plants. In Jacqueline Batley (ed.), *Plant Genotyping: Methods and Protocols*, Methods in Molecular Biology. 2015. Vol. 1245. P. 13–27.
7. Gupta P., Singh R., Malhotra S., Boora K.S., Singal H.R. Cowpea seed proteins: heterogeneity in total proteins and protein fractions // *Legume Res. Int. J.* 2014. Vol. 37, Is. 1. P. 62–67.
8. Alghamdi S., Al-Faifi S., Migdadi H., Khan M., El-Harty E., Ammar M. Molecular diversity assessment using sequence related amplified polymorphism (SRAP) markers in *Vicia faba* L. // *Int. J. Mol. Sci.* 2012. Vol. 13. P. 16457–16471.
9. Alghamdi S.S., Al-Shameri A.M., Migdadi H.M., Ammar H.M., El-Harty E.H., Khan M.A., Farooq M. Physiological and molecular characterization of faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes for adaptation to drought stress // *J. Agro. Crop Sci.* 2014. Vol. 201, Is. 6. P. 401–409.
10. Ammar M.H., Migdadi H.M., Khan M.A., El-Harty E.H., Al-Faifi S.A., Alghamdi S.S. Assessment of genetic diversity among faba bean genotypes using agromorphological and molecular markers // *Saudi J. Biol. Sci.* 2015. Vol. 22, Is. 3. P. 340–350.
11. Guindon M.F., Martin E., Zayas A., Cointy E., Cravero V. Evaluation of SRAP markers for mapping of *Pisum sativum* L. *Crop Breed // Appl. Biotechnol.* 2016. Vol. 16. P. 182–188.
12. Khan M.A., Ammar M.H., Migdadi H.M., El-Harty E.H., Alfaifi S.A., Farooq M., Alghamdi S.S. Field performance and genetic diversity of chickpea genotypes // *Int. J. Agric. Biol.* 2016. Vol. 18. P. 683–688.
13. Tchiagam J.B.N., Bell J.M., Nassourou A.M., Njintang N.Y., Youmbi E. Genetic analysis of seed proteins contents in cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) // *Afr. J. Biotechnol.* 2011. Vol. 10, Is. 16. P. 3077–3086.
14. Salem S. Alghamdi, Muhammed A. Khan, Hussein M. Migdadi, Ehab H. El-Harty, Muhammed Afzal, Muhammad Farooq. Biochemical and molecular characterization of cowpea landraces using seed storage proteins and SRAP marker patterns // *Saudi Journal of Biological Sciences.* January 2019. Vol. 26, Is. 1. P. 74–82.
15. Nei M. Analysis of gene diversity in subdivided population // *Proce. Nat. Acad. Sci. USA.* 1979. Vol. 70. P. 3321–3323.

СТАТЬИ

УДК 502.48(571.55)

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ
ПРИРОДНЫЕ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЧИТЫ**

Биксалеев А.А., Помазкова Н.В.

*ФГБУН «Институт природных ресурсов, экологии и криологии» Сибирского отделения
Российской академии наук, Чита, e-mail: zabaikal_coleoptera@mail.ru*

Создание охраняемых территорий в черте города – один из эффективных способов поддержания экологического равновесия и сохранения ценных природных комплексов в условиях городской среды. По состоянию на 1 января 2023 г. в Чите нет особо охраняемых природных территорий. Целью исследования является выявление территорий, имеющих природоохранную ценность. В связи с этим были поставлены следующие задачи: анализ литературных и общедоступных данных по выявлению достопримечательностей и оценки их значения; полевые исследования; анализ нормативной базы для предложения категории и статуса охраны природных территорий; картографирование выявленных объектов. Объект исследования – территория г. Читы. Предмет исследования – природные и природно-исторические объекты и урочища, перспективные для включения в городскую сеть особо охраняемых природных территорий (ООПТ). В качестве методов исследования использовались: натурное обследование территории, литературный обзор, анализ информации из источников СМИ регионального и всероссийского уровней. Авторами была проведена инвентаризация перспективных природных территорий г. Читы с учетом их научной, природоохранной, культурной, рекреационной, эколого-просветительской значимости. Приводится картосхема размещения данных объектов, их краткая характеристика и предлагаемые категории охраны. Восемь объектов рекомендованы к включению в схему развития и размещения особо охраняемых природных территорий в Забайкальском крае (два регионального и шесть местного значения). При включении данных объектов в городскую сеть ООПТ доля охраняемых территорий города Читы составит около 3,79%.

Ключевые слова: городские охраняемые территории, памятники природы, охрана окружающей среды, охраняемый природный ландшафт, ООПТ, экология, геоэкология, лесопарковая зона

**PROMISING SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS
OF THE CITY OF CHITA**

Biksaleev A.A., Pomazkova N.V.

*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Chita, e-mail: zabaikal_coleoptera@mail.ru*

The creation of protected areas within the city is generally accepted as one of the effective ways to maintain the ecological balance and preserve valuable natural complexes in the urban environment. As of January 1, 2023, there are no specially protected natural areas in the city of Chita. The purpose of the study is to identify areas of conservation value. In this regard, the following tasks were set: analysis of literary and publicly available data on identifying sights and assessing their significance; field studies; analysis of the regulatory framework to propose the category and status of protection of natural areas; mapping of identified objects. The object of study is the territory of the city of Chita. The subject of the study is natural and natural-historical objects and tracts that are promising for inclusion in the urban network of specially protected natural areas (SPNA). The following research methods were used: field survey of the territory, literature review, analysis of information from media sources of the regional and all-Russian levels. The authors carried out an inventory of promising natural areas in the city of Chita, taking into account their scientific, environmental, cultural, recreational, environmental and educational significance. A map of the placement of these objects, their brief description and proposed categories of protection are given. Eight objects are recommended for inclusion in the scheme for the development and placement of specially protected natural areas in the Trans-Baikal Territory (two of regional and six of local significance). When these objects are included in the urban network of protected areas, the share of protected areas in the city of Chita will be about 3.79%.

Keywords: urban protected areas, natural monuments, environmental protection, protected natural landscape, protected areas, ecology, geoecology, forest park zone

Статья выполнена в рамках государственного задания института по проекту № FUFР-2021-001 «Механизмы обеспечения экономической устойчивости и экологической безопасности в новой модели развития регионов Востока РФ в условиях трансграничных отношений и глобальных вызовов 21 в.».

Особо охраняемые природные территории в России занимают 240 млн га (по информации Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации) [1]. Это составляет около 12% от общей площади страны [2]. В широком понимании большинства людей ООПТ представляется как отдаленный от населенных пунктов

природный объект или же ценная природная территория.

Однако на территории многих городов России существуют ООПТ, и зачастую в самом их центре. Из анализа работы, проделанной А.И. Шатровой из Пермского государственного национального исследовательского университета, наиболее значи-

тельные показатели по площади, занимаемой ООПТ на территории города, у таких населенных пунктов, как Екатеринбург (17%), Пермь (10,6%), Воронеж (9,9%), Казань (9,4%) [3]. Эти же города занимают и лидирующие места по наличию ООПТ федерального значения.

Если обратиться к идеальной модели поляризованных ландшафтов Б.Б. Родомана, мы увидим, что именно ООПТ занимают центральные места в модели развитых, экологически сбалансированных городов [4]. Согласно этой модели большой город и дикая природа – противоположные виды окружающей среды, в равной степени необходимые людям. А охраняемые территории являются важнейшей составляющей городского ландшафта, являясь своего рода защитным щитом [4]. Данная концепция подразумевает идеальную модель взаимодействия двух разных сред. Модель, сложно реализуемую на практике, но, так или иначе, наиболее полно отражающую проблему совмещения урбанизированных территорий с природной средой.

Наличие ООПТ непосредственно на территории города и в его окрестностях выполняет сразу несколько важных функций, например таких, как экранирование города от неблагоприятных природных условий (лесные участки); снижение влияния вредных веществ при их выбросе в атмосферу; сохранение природных ценных популяций в их первозданном виде / сохранение исторических или палеонтологических объектов; рекреационная функция; близость исследовательских площадок, используемых в научных целях разными отраслями естественных наук; экологическое воспитание подрастающего поколения.

В Забайкальском крае 10 городов, самый крупный город – Чита, общей площадью 534 км² и населением 350047 чел. (2022 г.). Город Чита является административным центром Забайкальского края. Располагается в Читино-Ингодинской впадине между климатообразующими хребтами Черского и Яблоновым, что, в свою очередь, влияет на внутренний климат города и разнообразие природы. Климат резко континентальный с малоснежной зимой и теплым летом [5]. На протяжении десятилетия г. Чита входит в число самых загрязненных городов России [6].

Материалы и методы исследования

Объектом исследования является территория г. Читы. Предмет исследования – при-

родные и природно-исторические объекты и урочища, перспективные для включения в городскую сеть ООПТ.

Целью нашего исследования является выявление объектов, имеющих природоохранное, научное, историко-культурное и рекреационное значение на территории городского поселения – города Читы, которые можно было бы включить в городскую сеть ООПТ.

Задачи исследования: анализ литературных и общедоступных данных по выявлению достопримечательностей и оценки их значения; натурные исследования; анализ нормативной базы для предложения категории и статуса охраны природных территорий; картографирование выявленных объектов.

Исследования проводились общепринятыми методами. Для оценки соответствия критериям городских территорий для придания статуса ООПТ, представленности местообитаний редких видов растений и урочищ использовались собственные полевые исследования, опубликованные материалы, данные ИПРЭК СО РАН. Материалами для анализа послужили опубликованные материалы, нормативно-правовая база функционирования охраняемых территорий, информация из источников СМИ регионального и всероссийского уровней [7]. В качестве картографической основы были задействованы общедоступные карты масштаба 1:50000. Пространственный анализ и вычисления производились в ArcGIS 10.3 (ESRI).

Результаты исследования и их обсуждение

По состоянию на 1 января 2022 г. в Забайкальском крае природно-заповедный фонд состоит из 95 ООПТ разных категорий, из них 8 – федерального значения (4,25% территории края) и 87 – регионального значения (4,23% территории края). Общая площадь ООПТ в Забайкальском крае на сегодняшний день составляет 3663,288 тыс. га (около 8,5% территории края), что ниже общероссийского уровня взятых под охрану природных территорий (около 12%) [2]. Несмотря на наличие природных и природно-исторических достопримечательностей в черте города, на 2022 г. в Чите нет охраняемых территорий, в перспективе предлагается создание одного памятника природы регионального значения – «Красная Горка» [7, 8].

В то же время наблюдается постоянно растущий интерес со стороны населения

к посещению природных объектов и достопримечательностей. Это прослеживается в росте спроса на услуги турфирм и роста числа групп в соцсетях, организующих посещение природных объектов. В этих условиях очень важно обеспечить сохранность привлекательных природных экосистем, в том числе и путем создания ООПТ. Кроме этого, в последние годы наблюдается рост природоохранной инициативы горожан. Это выражается в стремлении к приданию статуса ООПТ определенным территориям, которые, по мнению самих горожан, заслуживают этого статуса, например Титовская сопка, а также лесной массив СибВО.

Городские охраняемые территории могут иметь федеральное, региональное и местное значение. В настоящее время законодательство РФ выделяет шесть категорий ООПТ федерального значения, различающихся режимом, целью, уровнем управления. Законом Забайкальского края «Об особо охраняемых территориях в Забайкальском крае» предусмотрено создание восьми категорий регионального значения

и четырех – местного значения. В большинстве регионов России среди городских ООПТ преобладают категории регионального и местного значения.

Охраняемые территории регионального значения находятся в ведении Министерства природных ресурсов Забайкальского края и его подведомственного учреждения ГКУ «Дирекция ООПТ Забайкальского края». Для городских ООПТ местного значения г. Читы нормативными документами, определяющим основу их функционирования, являются решения городской Думы г. Читы и постановления Администрации г. Читы.

В результате комплексного исследования, на основе собственных данных и анализа открытой информации региональных турфирм, СМИ, сайтов [9–11], нами сформирован перечень перспективных для включения в городскую сеть ООПТ объектов, предложен статус и категория охраны, согласно Закону Забайкальского края «Об особо охраняемых территориях в Забайкальском крае» от 9.03.2010 г. № 338 (таблица, рис. 1).

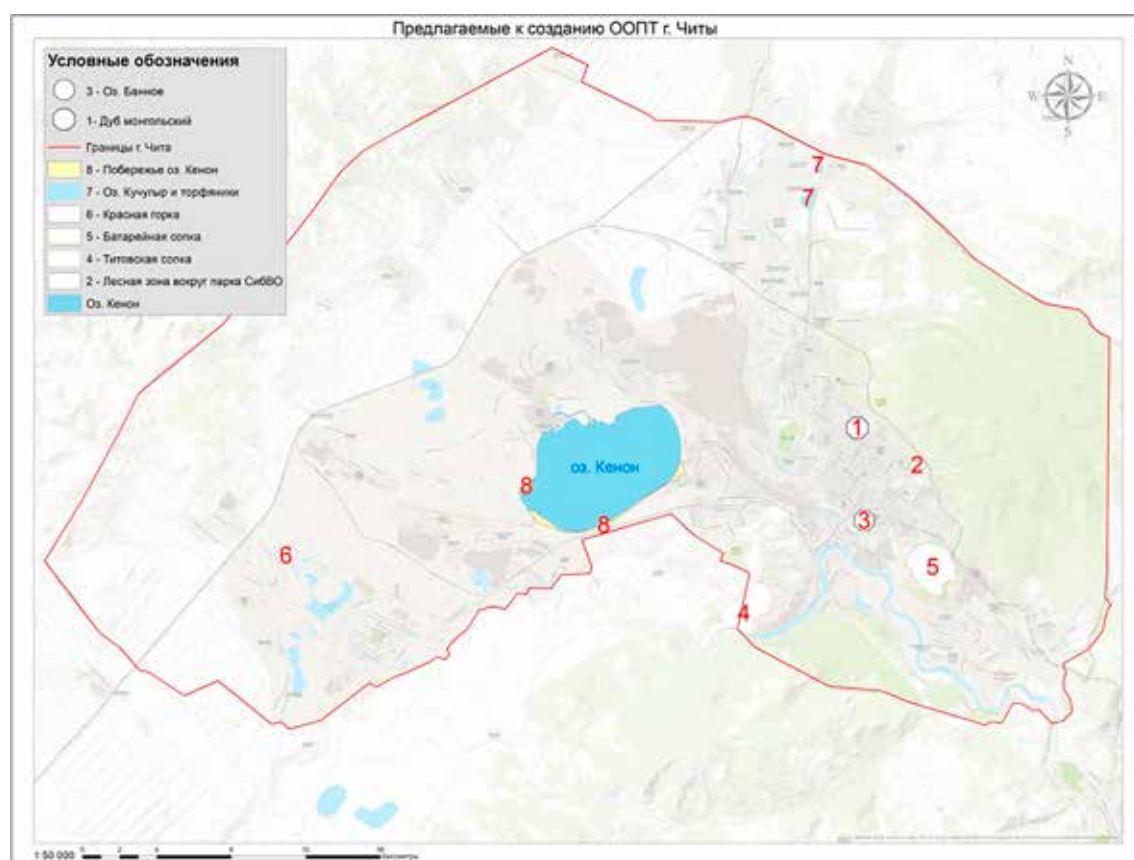


Рис. 1. Схема размещения предлагаемых к созданию ООПТ на территории г. Читы:
1 – дуб монгольский; 2 – лесная зона вокруг парка СибВО; 3 – оз. Банное; 4 – Титовская сопка;
5 – Батарейная сопка; 6 – Красная горка; 7 – оз. Кучугыр и торфяники; 8 – побережье оз. Кенон

Предлагаемые к созданию ООПТ г. Читы

№	Объект	Площадь, км ²	Значение	Предлагаемая категория и статус	Ключевой объект охраны
1	Банное озеро	0,0097	Рекреационное Природоохранное Научно-исследовательское Образовательно-воспитательное	Охраняемый водный объект Местный	Старичное озеро, расположено в границах первого поселения – Читинского острога
2	Дуб монгольский (ул. Богомягкова)	0,000009	Природоохранное Образовательно-воспитательное	Памятник природы Местный	Дуб монгольский (<i>Quercus mongolica</i>), единственный возрастной дуб на территории города
3	Батарейная сопка	1,67	Рекреационное Природоохранное Научно-исследовательское Образовательно-воспитательное	Лесопарковая зона Местный	Ландшафтный комплекс сосновых и лиственных лесов на крутых склонах, комплекс редких растений [12]
4	Лесная зона вокруг парка СибВО	0,23	Эколого-рекреационное Научно-исследовательское Образовательно-воспитательное	Лесопарковая зона Местный	Лесной массив из сосны обыкновенной (<i>Pinus sylvestris</i>) и подлеском из рододендрона даурского (<i>Rhododendron dauricum</i>)
5	Красная горка	0,017	Научно-исследовательское Историко-культурное и рекреационное Природоохранное Образовательно-воспитательное	Памятник природы (палеонтологический) Региональный	Палеонтологическое обнажение с остатками вымерших гинкговых и беннетитовых растений времен позднелурской эпохи [8]
6	Оз. Кучугыр и торфяники	0,05	Природоохранное Научно-исследовательское	Охраняемый водный объект Местный	Термокарстовое озеро с комплексом заболоченных лугов и сфагновых болот в долине р. Чита
7	Юго-западное побережье оз. Кенон	16,64	Рекреационное Природоохранное Научно-исследовательское Образовательно-воспитательное	Охраняемый водный объект Местный	Участок юго-западного побережья озера – береговой линии и части акватории [13]
8	Титовская сопка	1,5	Историко-культурное Природоохранное Рекреационное Научно-исследовательское и образовательное	Учебно-научный стационар Региональный	Пермско-раннетриасовый стратовулкан, на склонах которого расположена серия археологических памятников палеолитического времени, остепенные склоны с комплексом редких растений [14, 15]

Предлагаемые к созданию ООПТ представляют собой ценные урочища, природно-исторические комплексы, геологические образования и водные объекты, характеризуются природным разнообразием относительно окружающих его урбанизированных ландшафтов, наличием редких видов, высоким рекреационным потенциалом для различных видов отдыха на природе, а также наличием историко-культурных объектов.

Данные объекты либо уже пользуются повышенным спросом для отдыха и рекреации жителей города, либо могут стать таковыми при проведении работ по благоустройству.

Заключение

Таким образом, нами была проведена инвентаризация перспективных территорий для внесения в список городских ООПТ. Предложено создание восьми охраняемых

территорий: двух регионального значения – Титовская сопка и Красная Горка (рис. 2) и шести местного значения. Создание особо охраняемой природной территории местного значения может проходить без изъятия земель у собственников, землепользователей, землевладельцев и арендаторов, категория принадлежащих земель не изменяется. Здесь устанавливается особый правовой режим использования с учетом ограничений, установленных режимом охраны особо охраняемой природной территории.



Рис. 2. Палеонтологический образец, с фрагментами хвои и шишки древних чекановских (Czekanowskiales) растений, с перспективной ООПТ «Красная Горка»

При условии включения данных объектов в городскую сеть ООПТ доля охраняемых территорий г. Читы составит около 3,79%. Этого недостаточно для полноценного поддержания экологического баланса территории, и если ориентироваться как на рекомендуемый показатель на долю ООПТ г. Москвы (13,8%), то работу в данном направлении необходимо продолжить. В том числе за счет участков с выходами подземных вод, прирусловых лесов, лесостепных и степных ландшафтов котловины – с целью формирования связанной в единую взаимодействующую территориальную сеть системы ООПТ.

Кроме расширения сети охраняемых территорий необходимо совершенствование нормативной базы для создания дополнительных категорий местных ООПТ (памятник природы, охраняемый природный ландшафт, историко-природный комплекс) и обоснования их режима функционирования.

Создание предложенных нами ООПТ может стать первым этапом формирования

экологического каркаса города. Данные территории могли бы дать возможность увеличения зеленой зоны города, охраняемые водоемы и побережья благоприятствовали бы внутреннему климату и увеличению биоразнообразия природных экосистем города, благоустройство популярных объектов для посещения снизит антропогенный пресс и позволит стабилизировать негативные процессы.

Список литературы

1. Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации [Электронный ресурс] URL: https://www.mnr.gov.ru/press/news/ploshchad_zapovednykh_territoriy_rossii_v_2019_g_uvelichitsya_na_2 mln_gektarov/?phrase_id=547676 (дата обращения: 12.03.2023).
2. Заказники, природные парки, памятники природы. Министерство природы Забайкальского края [Электронный ресурс]. URL: <https://minpriir.75.ru/deyatel-nost/osobohranyaemye-prirodnye-territorii> (дата обращения: 12.03.2023).
3. Шатрова А.И. Особо охраняемые природные территории в крупнейших городах РФ. Новосибирск: Антропогенная трансформация природной среды, 2018. С. 113–117.
4. Родман Б.Б. Поляризованная биосфера. Смоленск: Ойкумена, 2002. 336 с.
5. Администрация городского округа город Чита [Электронный ресурс]. URL: <http://admin.msuchita.ru/%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4-%D1%87%D0%B8%D1%82%D0%B0> (дата обращения: 25.02.2023).
6. Шарапов Н.М., Маслова А.В., Манилюк Т.А. Анализ уровня загрязнения атмосферного воздуха на территории города Чита // Водные ресурсы и водопользование: материалы III Всероссийской с международным участием научно-практической конференции (Чита, 21–22 мая 2020 г.). Чита: ЗабГУ, 2020. С. 92–97.
7. Синица С.М. Черновские копи. Малая энциклопедия Забайкалья. Природное наследие. Новосибирск: Наука, 2009. С. 629–630.
8. Синица С.М., Вильмова Е.С., Вильмова Е.С. Геологические памятники «Белая гора» и «Красная горка» в Забайкалье: общность и отличие стратиграфии, палеонтологии и палеореконовструкций // Вестник Забайкальского государственного университета. 2014. № 7 (110). С. 49–64.
9. Забайкалье. Современный путеводитель. М.: Press-Pass, 2019. 264 с.
10. Забтуризм: экскурсии по Забайкалью [Электронный ресурс]. URL: <https://zabturizm.ru/> (дата обращения: 25.02.2023).
11. Чита-тревел: туристический портал [Электронный ресурс]. URL: <https://chitatravel.ru/> (дата обращения: 25.02.2023).
12. Поляков О.А., Попова О.А., Афонина О.М., Гилева М.В., Макрый Т.В., Першина Н.А., Петров А.Н., Ткачук Т.Е., Харченко Т.Е. Красная книга Забайкальского края. Растения. Новосибирск: ООО «Дом мира», 2017. 384 с.
13. Крылова Е.В., Лиханова В.В., Пучкова Ю.Л., Титова М.П., Батоева С.А., Лях О.А., Шувалова К.В., Новиков А.Н., Новикова М.С., Козырева К.С. / Развитие туризма в Забайкальском крае: монография; под общ. ред. Е.В. Крыловой; Забайкальский государственный университет. Чита: ЗабГУ. 2018. 284 с.
14. Алкин С.В. Исследователь коренного населения Восточной Сибири Еллифидор Иннокентьевич Титов // Вузовская научная археология и этнология Северной Азии. Иркутская школа 1918–1937 гг. Материалы Всероссийского семинара, посвященного 125-летию Бернгарда Эдуардовича Петри (Иркутск, 3–6 мая 2009 г.). Иркутск: Амтера, 2009. С. 8–21.
15. Разгильдеева И.И. История исследований памятников Титовской сопки: к юбилею открытия палеолитических стоянок Сухотино-2 и Сухотино-4 // Известия Лаборатории древних технологий. 2020. Т. 16. № 4. С. 9–23.

УДК 911:631.4:502.5

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОЧВ**Волошенко И.В.***ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»,
Белгород, e-mail: Voloshenko_i@bsu.edu.ru*

В работе показано, что деградация почв является одной из актуальных проблем современности. Уникальным почвенным объектом по своим свойствам и потенциальному плодородию являются черноземы. Но и они могут превратиться в вспаханную деградированную почву под влиянием интенсивных сельскохозяйственных технологий. Поэтому сельское хозяйство столкнулось с острой проблемой сохранения и повышения плодородия почв. Это привело к актуализации вопросов оценки земель. Для обрабатываемых почв встречаются различные виды оценок, но нет однозначной методики, которая была бы, с одной стороны, простой в использовании, а с другой – достаточно информативной. В работе предложена методика комплексной геоэкологической оценки земель сельскохозяйственного использования, для которой использовались 4 группы показателей: агрохимические, физического состояния почв, деградации, содержания микроэлементов-загрязнителей. Каждому параметру присваивается один из пяти рангов (1 ранг соответствует низкому уровню деградации, 5 ранг – высокому). По полученной сумме баллов по каждому участку вычисляем средний балл, по которому и определяется степень деградации почв. На примере опытного участка ФГНБУ «Белгородский НИИСХ», расположенного в Белгородском районе Белгородской области, осуществлена геоэкологическая оценка обрабатываемых почв. Выявлено, что почвы исследуемой территории относятся к слабо- и среднедеградированным.

Ключевые слова: Белгородская область, зональная система земледелия, адаптивно-ландшафтная система земледелия, геоэкологическая оценка, устойчивое развитие, деградация почвенного покрова

GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF TREATED SOILS**Voloshenko I.V.***Belgorod National Research University, Belgorod, e-mail: Voloshenko_i@bsu.edu.ru*

The paper shows that soil degradation is one of the urgent problems of our time. Chernozems are a unique soil object in terms of their properties and potential fertility. But even they can turn into plowed degraded soil under the influence of intensive agricultural technologies. Therefore, agriculture is faced with the acute problem of preserving and increasing soil fertility. This led to the actualization of land valuation issues. For cultivated soils, there are various types of assessments, but there is no unambiguous methodology that would be, on the one hand, easy to use, and, on the other hand, sufficiently informative. The paper proposes a methodology for a comprehensive geo-ecological assessment of agricultural land for which 4 groups of indicators were used: agrochemical, soil physical condition, degradation, content of trace elements-pollutants. Each parameter is assigned one of five ranks (rank 1 corresponds to a low level of degradation, rank 5 to a high level). Based on the total score for each plot, we calculate the average score for which the degree of soil degradation was determined. On the example of the experimental site of the FGNB «Belgorod Research Institute of Agriculture», located in the Belgorod district of the Belgorod region, a geoecological assessment of cultivated soils was carried out. It was revealed that the soils of the study area are classified as weakly and moderately degraded.

Keywords: Belgorod region, zonal farming system, adaptive landscape farming system, geoecological assessment, sustainable development, soil degradation

Возросшая в последние годы антропогенная нагрузка на пахотные почвы повлияла на их способность сохранять свои функции, что в долгосрочной перспективе приведет к деградации почвенного покрова [1]. Таким образом, сельское хозяйство РФ столкнулось с острой проблемой сохранения и повышения плодородия почв [2]. Поэтому рациональное использование почв является важнейшим составляющим сбалансированного развития агропромышленного комплекса страны [3].

С целью предотвращения разрушения почв в 1980-е гг. в нашей стране появляется зональная система земледелия, которая, однако, не учитывает полностью ландшафтные особенности регионов и не может обеспечить сохранение земель

в процессе их сельскохозяйственного использования [4]. Принятая в 1992 г. стратегия устойчивого развития человечества и биосферы послужила толчком для экологизации в сельскохозяйственной науке и разработки концепции адаптивно-ландшафтного земледелия, впервые предложенной В.И. Кирюшиным [5].

Для почв Белгородской области характерна повышенная антропогенная нагрузка, так как земли сельскохозяйственного назначения занимают более 70% территории. Также характерной чертой региона является то, что склоновый тип рельефа составляет 72% от общей площади. Поэтому ландшафтное земледелие с контурно-мелиоративной системой организацией территории является актуальным направлением разви-

тия региона, и изучение свойств почв при осуществлении указанных мероприятий является актуальной задачей.

Это привело к актуализации вопросов оценки земель, их соответствия требованиям общества и принятию решений в области рационального природопользования [6], важную роль в которой играет оценка почв. В научной литературе для почв сельскохозяйственного использования предлагаются различные виды оценок, таких как агроэкологическая, экологическая, геоэкологическая, почвенно-экологическая.

В настоящее время существует множество публикаций по геоэкологической оценке почв, но они касаются преимущественно урбанизированных или промышленных территорий. Отличаются и методики данной оценки. Так, ряд авторов изучают содержание химических элементов, которые поступают в почву при применении средств химизации, от автотранспорта, проводят их сравнение с ПДК и ОДК и показателями местного фона, а также применяют суммарный показатель загрязнения (Z_c) и коэффициент концентрации химического вещества (K_c) [7]. Существуют и методики, где ведущую роль играют степень сокращения мощности гумусового горизонта и его окраска [8].

Часто при геоэкологической оценке почвенного покрова определяют единый показатель на основе системы баллов. Существуют работы в виде «взвешенных баллов» или системы обычных баллов, количество которых может быть различным [9]. Следует отметить, что преобладающее количество методик требует большого объема полевых и лабораторных работ, а также сложного математического обеспечения.

Обращает внимание и отсутствие единого набора критериев, рекомендуемых в качестве индикаторов состояния почвенного покрова при осуществлении его оценки. Их минимальное число в исследуемых источниках составляло 7, максимальное – 19. Не совпадает и набор этих критериев: чаще всего это просто элементы-загрязнители, но встречаются и такие параметры, как гранулометрический состав, содержание элементов питания, гумус, кислотность-основные свойства и численность бактерий.

Цель исследования – разработать комплексную методику геоэкологической оценки обрабатываемых почв и осуществить деление исследуемой территории по степени деградации.

Материалы и методы исследования

Изучение почвенного покрова опытного участка осуществлялось с использованием таких полевых методов почвенных исследований, как профильно-генетический и морфологический. Также проводилось лабораторно-аналитическое определение физико-химических свойств отобранных образцов (содержание гумуса определялось по Тюрину, микроэлементов – с применением рентгенофлуоресцентного анализа на приборе СПЕКТРОСКАН МАКС, pH – потенциометрическим методом, фосфора и калия – по методу Чирикова, структурно-агрегатный состав – методом «сухого» просеивания Н.И. Саввинова, гранулометрический состав – с использованием метода пипетки). При анализе полученных данных, применялись вероятностно-статистические (математико-статистические, кластерный анализ в программе STATISTICA) методы и сравнительный анализ.

Результаты исследования и их обсуждение

Несмотря на активное внедрение в России ландшафтных систем земледелия, отмечается недостаточное количество стационарных полевых опытов, в пределах которых возможно проведение комплексной сравнительной характеристики зональной и почвозащитной систем земледелия. На территории Белгородской области расположен один из таких опытов – участок ФГНБУ «Белгородский НИИСХ», организованный в 1991 г. [10]. На данном участке и проводили изучение почвенного покрова. Изучаемая территория находится на южной окраине Среднерусской возвышенности в пределах Белгородского района и удалена на 7 км к северо-северо-западу от г. Белгорода, на 300 м – от села Ерик, на 1,8 км – от трассы «Крым» (Москва – Симферополь). Территориальные границы и структурное деление опытного участка представлены на рис. 1.

Территория стационарного полевого участка расположена в пределах денудационной равнины, основной почвообразующей породой которой являются лесосвидные суглинки и глины, получившие распространение на большей части Среднерусской возвышенности. Исследуемый участок, как и преобладающая территория Белгородской области, входит в состав лесостепной почвенной зоны. На рис. 2 приведен фрагмент почвенной карты Белгород-

ской области с указанием опытного участка. На исследуемой территории представлены два типа почв: серые лесные и черноземы.

На ключевом участке ФГНБУ «Белгородский НИИСХ» применяются две системы земледелия: обычная и ландшафтная. Территория, на которой используется почвозащитная система земледелия с контурно-мелиоративной организацией, разделена на две части: в верхней, на склоне, крутизна которого составляет $1-3^\circ$, введены пропашные севообороты (I эколого-технологическая группа пашни), в нижней – крутизной $3-5^\circ$ – зернотравяной севооборот (II эколого-технологическая группа). Границами се-

вооборотов выступают трехрядные лесные полосы, состоящие из тополя бальзамического и березы повислой без подлеска (шириной 8 м, высотой деревьев 12–15 м).

На опытном участке применялось несколько способов основной обработки почвы: отвальная с различной глубиной оборота пласта в зависимости от возделываемой культуры (под сахарную свеклу – до 30–32 см; кукурузу – 25–27 см; под горох, озимую пшеницу и ячмень – 20–22 см); безотвальная – представляющая собой распашку на глубину 20–32 см плугами типа «Параплау» и использование дисковой бороны БДТ-7 на глубину до 15 см.



Рис. 1. Расположение исследуемого участка и его территориальные границы



Рис. 2. Фрагмент почвенной карты Белгородской области (красным цветом выделены границы исследуемого участка)

Таким образом изучены следующие варианты опыта: плакор, зональная система земледелия на склоне 1–3° и склоне 3–5°, ландшафтная система земледелия на склоне 1–3° и на склоне 3–5°.

При проведении геоэкологической оценки почв исследуемого участка был разработан комплекс оценочных критериев, среди которых: содержание элементов питания (азот, фосфор, калий), pH, содержание гумуса, гранулометрический и структурно-агрегатный составы, водопропрочность агрегатов, снижение мощности органогенного горизонта, кратность снижения гумуса, суммарный показатель загрязнения.

При ранжировании критериев использовалась балльная оценка, которая явля-

ется распространенным методом, если необходимо учитывать большое число факторов [11]. Каждому параметру присваивается один из пяти рангов (1 ранг соответствует низкому уровню деградации, 5 ранг – высокому). В качестве примера в таблице приведено ранжирование такого параметра, как содержание агрономически ценных фракций (АЦФ).

По полученной сумме баллов по каждому участку вычисляем средний балл. Автором предложена следующая градация: 0–1 балл – недеградированные (соответствуют естественному плодородию); 1–2 балла – слабodeградированные; 2–3 балла – среднедеградированные; 3–4 балла – повышенный уровень деградации; 4–5 баллов – сильнодеградированные почвы.

Ранги показателей, используемые при оценке

Параметр	Баллы					Источник информации
	1	2	3	4	5	
Содержание АЦФ, %	Отличное > 80	Хорошее 80–60	Удовлетворительное 60–40	Неудовлетворительное 40–20	Плохое 0–20	[12]

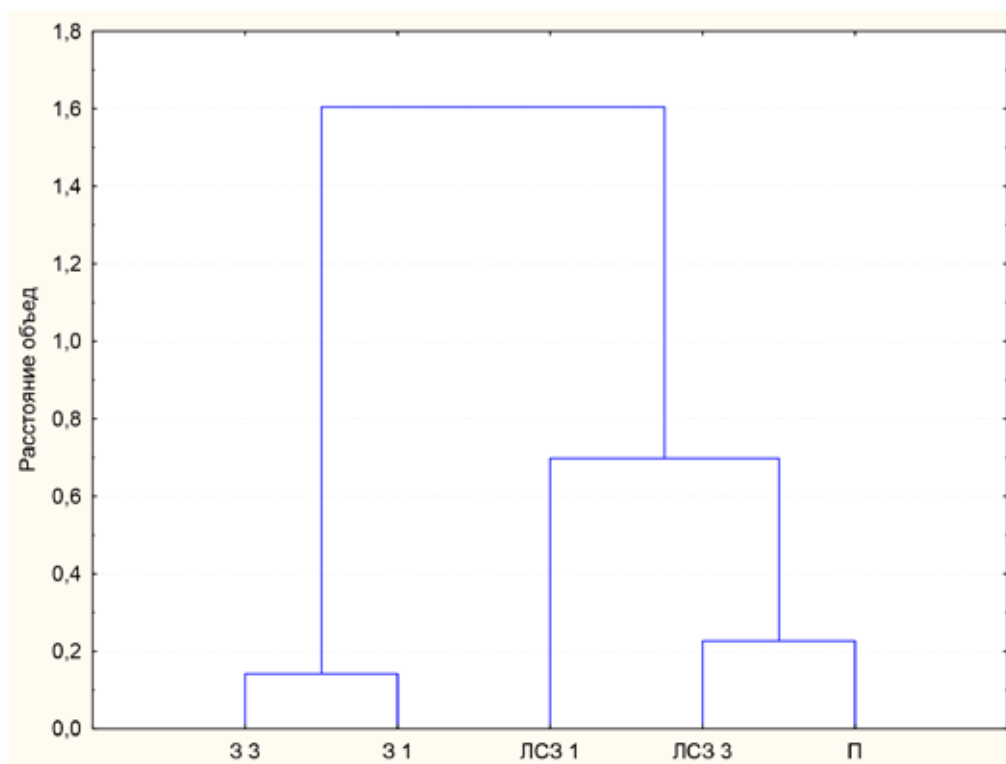


Рис. 3. Дендрограмма распределения исследуемых участков по результатам геоэкологической оценки

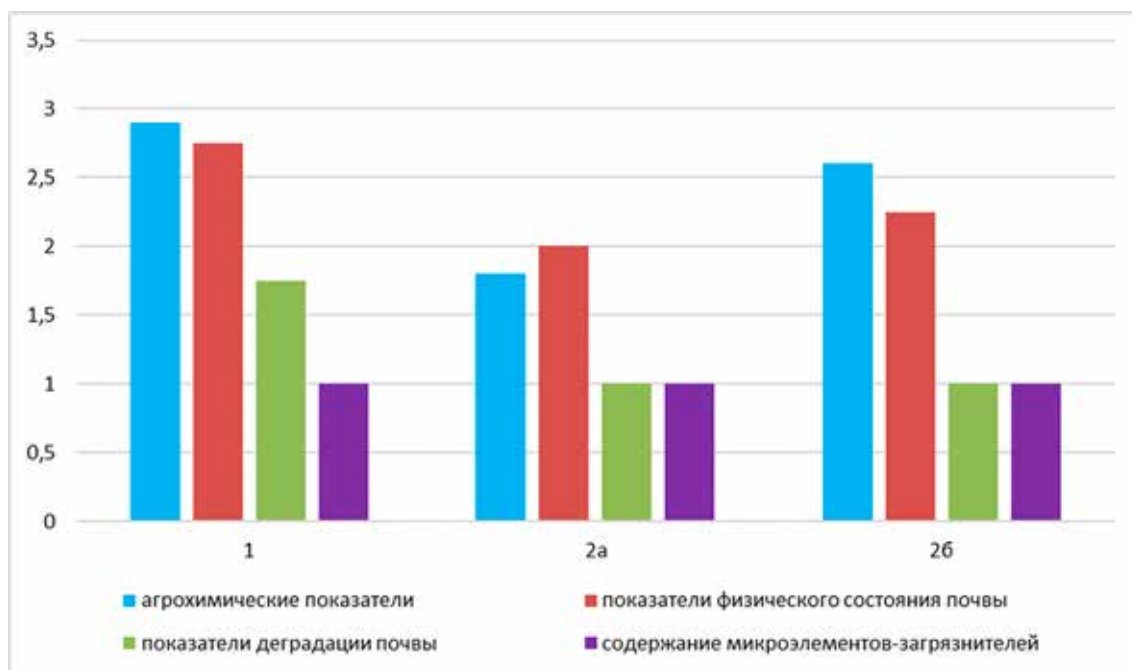


Рис. 4. Средние значения показателей для каждого кластера

На рис. 3 представлены результаты кластерного анализа. Вся совокупность данных по результатам проведенной геоэкологической оценки на два кластера, один из которых имеет сложный состав. Установлено попарное объединение в кластеры почв зональной системы земледелия на склонах 1–3° и 3–5° (1 кластер), а также почв плакора и ландшафтной системы земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории на склоне 3–5° (26 кластер). Участок с ландшафтной системой земледелия на склоне 1–3° выделился в отдельный кластер (2a).

Средние значения каждой группы показателей для выделенных кластеров представлены на рис. 4. Для кластера 1 характерны наиболее высокие баллы по всем используемым параметрам, кроме значений содержания микроэлементов-загрязнителей. Отличительной чертой кластера 2a от 26 являются более низкие баллы агрохимических критериев и данных физического состояния почв. Следует отметить, что суммарный показатель загрязнения на всех исследуемых участках изменялся в пределах от 4,5 до 7,4, что соответствует допустимому уровню ($Z_c < 16$). В связи с этим данный индикатор не оказывал существенного влияния на суммарный балл.

Таким образом показатель деградации на опытном участке изменялся в преде-

лах от 1,67 балла (ландшафтная система земледелия на склоне 1–3°) до 2,50 баллов (зональная система земледелия), что соответствует слабо- и среднедеградированным почвам. В пределах одной системы земледелия наблюдается увеличение показателя деградации на склонах 3–5°, что связано с возрастанием эрозионных процессов.

Заключение

Разработанная балльная геоэкологическая оценка учитывает комплекс критериев (агрохимических, физического состояния почвы, снижение содержания гумуса, уровень загрязнения), позволяющих объективно оценивать степень деградации пахотных почв. Ее использование направлено на повышение качества почв сельскохозяйственных земель. Проведенная геоэкологическая оценка почвенного покрова исследуемого участка показала, что в пределах ландшафтной системы земледелия с контурно-мелиоративной организацией территории баллы деградации почв ниже, чем на зональной системе. Также влияние на качество почв оказывает крутизна склона.

Список литературы

1. Mahajan N.C., Kancheti Mrunalini K.S., Krishna Prasad R.K., Lingutla Sirisha. Soil Quality Indicators, Building Soil Organic Matter and Microbial Derived Inputs to Soil Organic Matter under Conservation Agriculture Ecosystem: A Review //

International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences. 2019. Vol. 8 (02). P. 1859–1879.

2. Ragimov A.O., Mazirov M.A., Shenterova E.M., Savoskina O.A., Polin V.D. The Influence of the Relief and Granulometric Composition of the Arable and Illuvial Horizons of Sod-Podzolic Soil on the Formation of Physical and Chemical Properties and Productivity of Culture. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. T. 670. № 1. С. 012037.

3. Новых Л.Л., Волошенко И.В., Смирнова Л.Г., Новых Е.А. Состояние почвенной структуры при длительном применении ландшафтной системы земледелия // Инновационно-технологические основы развития адаптивно-ландшафтного земледелия: сборник докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию со дня основания ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии (Курск, 9–11 сентября 2020 г.). 2020. С. 288–291.

4. Barsukova G.N., Bershtskiy Y.I., Vlasenko V.P., Bagmut A.A., Rysmyatov A.Z. Soil and Eco-Economic Substantiation of the Need for Switching to the Adaptive-Landscape Systems of Agriculture in the Krasnodar Krai // Journal of Ecological Engineering. 2020. T. 21. № 4. P. 94–102.

5. Вислобокова Л.Н., Скорочкин Ю.П., Воронцов В.А. Противоречия интенсификации земледелия // Агроэкологический вестник. 2017. С. 125–132.

6. Татаринцев Л.М., Татаринцев В.Л., Будрицкая И.А., Лебедева Л.В. Методологическая основа агроэкологической

оценки (почв) земель // Аграрная наука – сельскому хозяйству. 2016. С. 442–443.

7. Зеленская Е.Я., Маринина О.А. Геоэкологическая оценка почв в основных районах виноградарства Крымского полуострова // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45. № 2. С. 258–268.

8. Прокашев А.М., Матушкин А.С. Руководство по полевой диагностике и геоэкологической оценке почв Кировской области: учебное пособие. Киров: ВятГУ, 2018. 118 с.

9. Ясовеев М.Г., Андрухович А.И. Оценка основных подходов и методов геоэкологического исследования природно-техногенных систем // Экологический вестник. 2013. № 3. С. 25–35.

10. Novykh L.L., Eliseeva N.V., Tesheva S.A., Voloshenko I.V., & Slyusarenko E.E. et al. Degradation of the structure of meadow-chernozem soils in different eco-industrial conditions. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2022. T. 949. № 1. С. 012099.

11. Ермолаев О.П., Иванов М.А. Геоэкологическая оценка бассейновых геосистем на основе ландшафтного подхода // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы VI Международной научной конференции (Белгород, 12–16 октября 2015 г.). Белгород: ПОЛИТЕРРА, 2015. С. 35–40.

12. Теории и методы физики почв: коллективная монография / Под ред. Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.

АНАЛИЗ ИСТОЧНИКОВ ПОСТУПЛЕНИЯ МИКРОПЛАСТИКА В АЗОВСКОЕ МОРЕ

¹Глушко А.Е., ^{1,2}Беспалова Л.А., ¹Беспалова Е.В.

¹ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону,
e-mail: arinaglushko01@gmail.com;

²ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования
и охраны водных ресурсов», Ростов-на-Дону, e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru

Цель настоящего исследования заключалась в определении источников поступления микропластика (МП) в Азовское море путем оценки его наличия в аэрозолях городов, расположенных по периметру Азовского моря, и в водах рек, впадающих в него. В ходе исследования было отобрано 10 проб атмосферных выпадений и 13 проб воды в устьевых областях рек. Частицы МП присутствовали во всех отобранных пробах. Среднее количество частиц МП в атмосферных выпадениях – 388 шт./м²/сут, максимум в г. Таганроге – 561 шт./м²/сут. Среднее количество частиц МП в устьевых областях рек – 8 шт./л, наибольшее количество в р. Дон – 14 шт./л. Обработка проб проводилась по модифицированному методу NOAA. Оценка МП осуществлялась с помощью бинокулярной микроскопии с использованием стереомикроскопа Микромед MC-1 var. 2C Digital, растровой электронной микроскопии на микроскопе VEGA II LMU, а также инфракрасной спектроскопии с Фурье-преобразованием, на спектрометре JASCO FT/IR-6800. В ходе исследования были обнаружены частицы МП различных цветов, преимущественно полупрозрачные фрагменты, пленки и волокна. Размер большинства частиц МП не превышал 1,5 мм. МП, обнаруженный в ходе исследования, в основном состоял из полипропилена, акрила, полиамида (нейлона), термопластичных полимеров, полиэтилена, полиэстера и полистирола.

Ключевые слова: Азовское море, микропластик, антропогенное воздействие, загрязнение воздуха, аэрозоли, реки

ANALYSIS OF THE SOURCES OF MICROPLASTICS IN THE AZOV SEA

¹Glushko A.E., ^{1,2}Bespalova L.A., ¹Bespalova E.V.

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, e-mail: arinaglushko01@gmail.com;

²Russian Research Institute for Integrated Water Management and Protection, Rostov-on-Don,
e-mail: bespalowaliudmila@yandex.ru

The aim of this study was to determine the sources of microplastics (MP) in the Sea of Azov by assessing its presence in aerosols from towns along the perimeter of the Sea of Azov and in the waters of rivers flowing into it. During the study, 10 samples of aerosols and 13 water samples in the river mouth areas were taken. MF particles were present in all samples taken. Average number of MP particles in aerosols is 387,6 pcs./m²/day, maximum in Taganrog city is 561 pcs./m²/day. Average number of MP particles in river mouths - 8 pcs./l., maximum in Don river - 14 pcs./l. Samples were processed using modified NOAA method. MP was assessed by binocular microscopy using a stereomicroscope Micromed MC-1 Var. 2C Digital, scanning electron microscopy on a VEGA II LMU microscope, and Fourier transform infrared spectroscopy, on a JASCO FT/IR-6800 spectrometer. MP particles of different colours, predominantly translucent fragments, films and fibres were detected during the study. Most of the MP particles did not exceed 1.5 mm. The MP particles detected during the survey mainly consisted of polypropylene, acrylic, polyamide (nylon), thermoplastic polymers, polyethylene, polyester and polystyrene.

Keywords: Azov Sea, microplastics, anthropogenic impact, air pollution, aerosols, rivers

Микропластик (МП) является сравнительно новым антропогенным загрязнителем окружающей среды, уровень его концентраций повышается во всем мире. С 2010-х гг. исследования в области МП начали активно развиваться, в основном с целью определения наличия МП в водных средах, а реже – в воздушной среде [1, 2]. В некоторых исследованиях описывается МП, обнаруженный в воздухе, как в закрытых помещениях [3, 4], так и на открытой местности [5–7]. Согласно исследованию Д.К. Прата [8], синтетические ткани, шины из синтетической резины, эрозия и пыль с городских и домашних территорий являются наиболее распространенными источниками МП в воздухе. Кроме того, основ-

ными источниками МП в воде и воздухе являются строительные площадки, места сжигания отходов, частицы дорожного полотна, свалки и промышленные стоки [1, 8]. Более 90% МП в морской среде происходят из наземных источников загрязнения, а речной сток играет важную роль в переносе МП из суши в морскую среду [9]. Ранее нами уже были проведены исследования по изучению микропластика в пляжах [10] и донных отложениях Азовского моря [11], которые показали сравнительно высокие концентрации МП в данном водном объекте. Настоящее исследование посвящено изучению основных источников поступления МП в Азовское море, а именно количественной оценке МП, поступающего

с речным стоком и в результате атмосферных выпадений в акваторию моря.

Материалы и методы исследования

Азовское море имеет площадь, равную 556 тыс. км², и является местом впадения крупных рек, в том числе Дона и Кубани, а также некоторых более мелких рек, расположенных на Керченском полуострове, Восточном и Северном Приазовье и в Таганрогском заливе. Реки, которые протекают через эти территории и впадают в Азовское море, проходят через урбанизированные и сельскохозяйственные зоны, а также рекреационные зоны, что в результате приводит к высокому уровню загрязнения данной акватории различными загрязнителями. Однако загрязненность рек частицами МП до настоящего времени не исследовалась. В этой связи в данной работе впервые предпринята попытка количественной оценки поступления МП в Азовское море. С этой целью в устьевых областях рек Дон, Кубань, Протока, Бейсуг, Челбас, Ея, Мокрая Чумбурка, Миус, Мелек-Чесме, Мокрый Еланчик (рис. 1) были отобраны пробы воды для определения этого компонента.

Образцы аэрозолей в атмосфере были собраны в населенных пунктах с различной степенью антропогенной нагрузки, расположенных по периметру Азовского моря: г. Ростов-на-Дону, г. Таганрог, г. Приморско-Ахтарск, г. Керчь, г. Ейск, ст. Тамань, к. Сазальникская (рис. 1).

Настоящее исследование проводилось в сентябре-октябре 2020–2022 гг. Образцы поверхностной воды рек были отобраны объемом 1 л каждый, перенесены в стерильные стеклянные бутылки и доставлены в лабораторию для дальнейшего проведения анализа. Всего было отобрано 13 проб воды.

Для отбора атмосферных выпадений (аэрозолей) в указанных районах исследования были размещены стеклянные кюветы с дистиллированной водой. Время экспонирования составило 24 ч. С целью минимизации загрязнения проб все образцы были перевезены в стеклянной посуде. Общее количество отобранных проб аэрозолей составляет 10.

Для выделения микропластика (МП) из основного образца пробы был использован модифицированный метод NOAA, состоящий из нескольких этапов: фильтрации, удаления органических материалов, сушки и идентификации МП с помощью микроскопа с увеличением 20–40х [12, 13].

С целью предотвращения искусственного загрязнения исследуемых образцов

во время проведения анализа использовались лабораторные халаты из натурального хлопка, контейнеры и лабораторная посуда из стекла, фарфора и нержавеющей стали. Во время проведения исследования окна лаборатории оставались закрытыми.

С целью изучения процесса деградации обнаруженных МП частиц была отобрана определенная часть образцов, подвергшихся электронно-зондовому анализу на растровом электронном микроскопе VEGA II LMU (фирмы Tescan).

С помощью инфракрасного Фурье-спектрометра JASCO FT/IR-6800 был проведен анализ типов полимеров, обнаруженных в репрезентативных образцах каждой группы микропластика. Полученные спектры были сравнены со спектральными библиотеками прибора.

Результаты исследования и их обсуждение

Все образцы воды устьевых областей Азовского моря содержали частицы микропластика в общем количестве 85 частиц (таблица). Содержание МП в воде рек изменялось в диапазоне от 7 до 14 частиц на 1 л (среднее значение 8 шт./л), в аэрозолях – в диапазоне от 255 до 561 шт. на единицу площади в сутки (среднее значение 388 шт./м²/сут).

Содержание микропластика
в устьевых областях рек
(по данным съемки 2020 г.)

Река	Количество МП, шт./л	Объем стока км ³ /год (2020 г.)
Ея	7	1,37
Мелек-Чесме	8	0,001
Кубань	11	13
Бейсуг	8	0,2
Мокрая Чумбурка	7	0,04
Дон	14	9,73
Миус	8	0,13
Протока	8	0,1
Мокрый Еланчик	7	–
Челбас	7	0,16

Самыми загрязненными микропластиком оказались устьевые области р. Дон (14 шт./л) и Кубань (11 шт./л), что обусловлено влиянием крупных промышленных центров: Ростова-на-Дону, Таганрога, Краснодара.

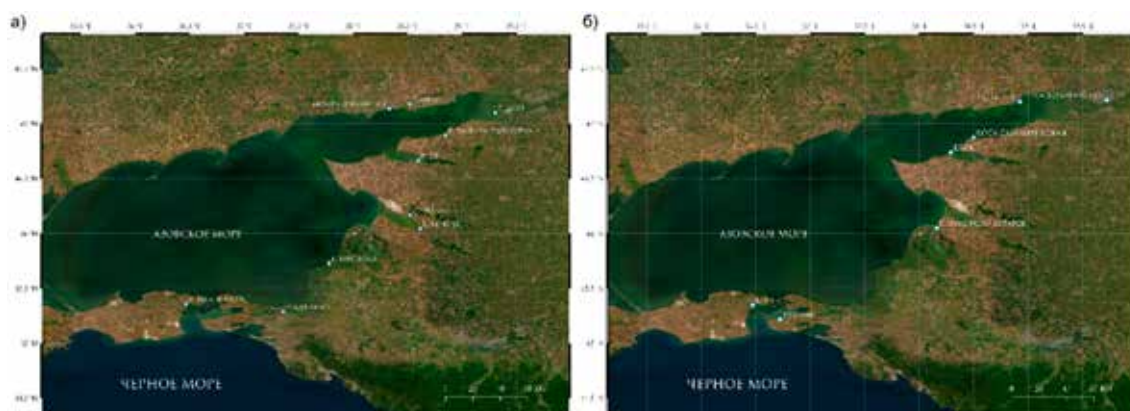


Рис. 1. Карта расположения станций отбора проб в устьевых областях рек (а), населенных пунктах (б) Азовского моря

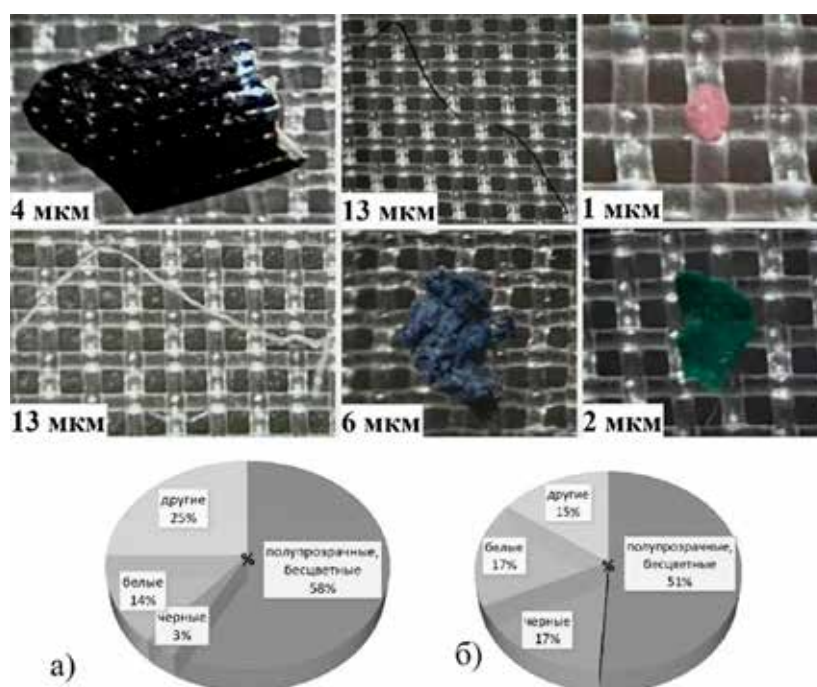


Рис. 2. Морфология и цвет обнаруженных частиц – в устьевых областях рек Азовского моря (а), в аэрозолях прибрежных городов (б) % (фото со стереомикроскопа Микромед МС-1 var. 2C Digital)

Высокий уровень концентрации микропластика зафиксирован в аэрозолях Ростова-на-Дону (540 шт./м²/сут), Таганрога (561 шт./м²/сут), наименьший – в районе к. Сазальникская – 153 шт./м²/сут (удалена от промышленных центров).

Обнаруженные частицы микропластика характеризуются определенными морфологическими особенностями. Среди идентифицированных частиц наиболее распространенной формой микропластика являются нитевидные волокна, которые со-

ставляют более 50% от общего количества обнаруженных частиц, а также пленки и ломанные фрагменты пластика различной толщины (рис. 2). Первичный пластик в виде гранул обнаружен не был. Исследуемые частицы МП обладают разнообразной цветовой гаммой. Обнаруженный в водах рек Дон, Кубань и Протока МП наиболее разнообразен по цвету и морфологическим особенностям, что можно объяснить высоким уровнем его концентрации в данных водных объектах.

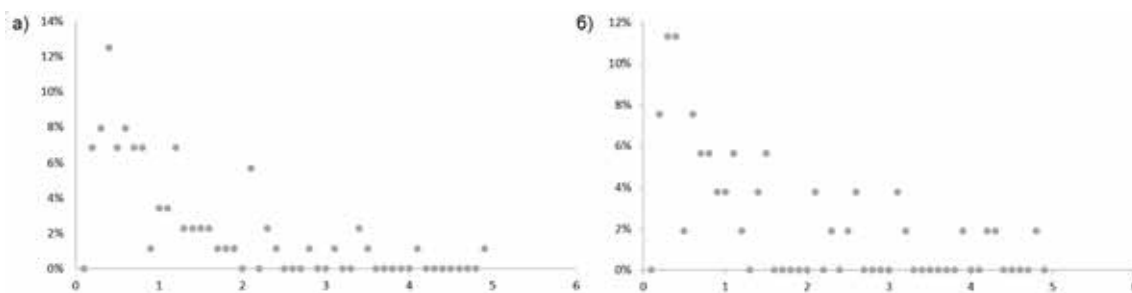


Рис. 3. Распределение частиц микропластика по крупности в устьевых областях рек Азовского моря (а), в аэрозолях прибрежных городов (б) %

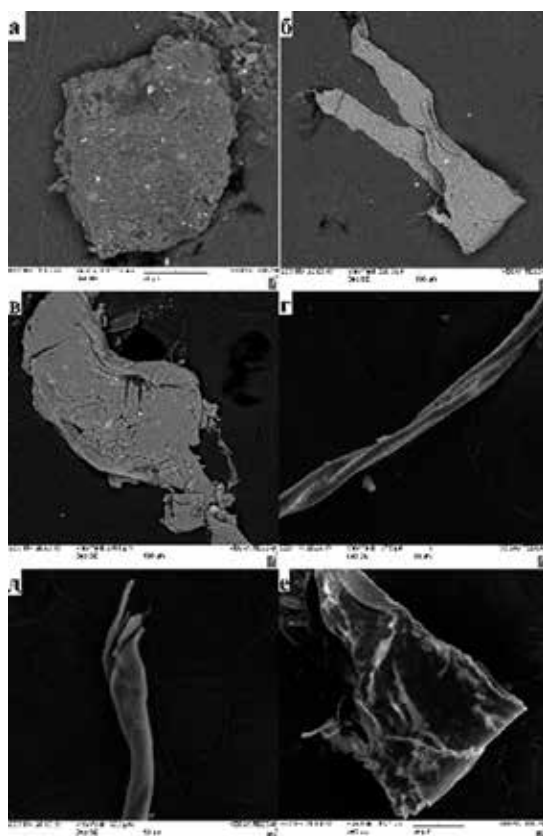


Рис. 4. Виды деградации частиц микропластика (фото с растрового электронного микроскопа VEGA II LMU производства фирмы Tescan): расслаивание (а), расщепление (б, в), растрескивание (г, д), расслаивание, набухание (е)

В рамках данного исследования был произведен расчет размера (длины) частиц МП при помощи статистических методов анализа данных. Расчет выполнен для всех образцов и получены основные статистические показатели: среднее арифметическое ($\bar{x}$), мода (Mo), медиана (Me) и стандартное отклонение (σ). Средний размер ($\bar{x}$) частиц МП в воде рек, составляет 1,1 мм, при стандартном отклонении (σ) 0,7 мм. В аэрозо-

лях средний размер ($\bar{x}$) микропластиковых частиц равен 1,2 мм, а стандартное отклонение (σ) составляет 0,9 мм (данные представлены на рис. 3). Наиболее крупные частицы, размером 1,2–3,4 мм, были обнаружены в реках Дон и Протока, а микропластик размером 1,8–4,9 мм был обнаружен в аэрозолях г. Ростова-на-Дону и ст. Тамань.

Виды деградации пластмасс были изучены с использованием растрового электронного микроскопа (VEGA II LMU). Анализ типичных образцов обнаруженного микропластика позволил выделить несколько видов деградации частиц, таких как расслаивание, растрескивание, расщепление и другие (рис. 4).

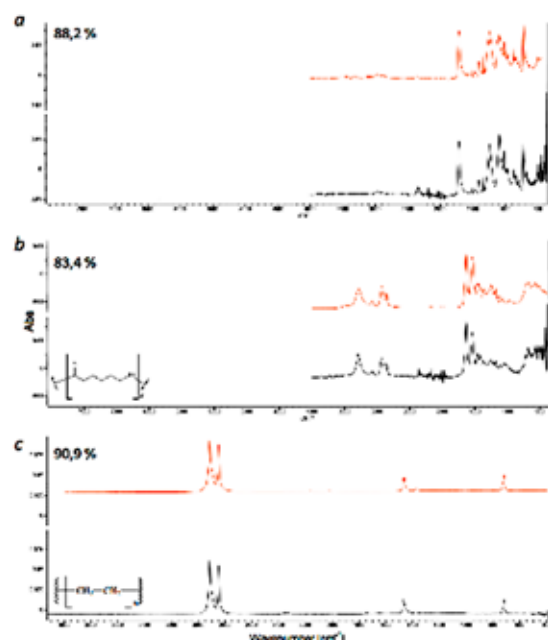


Рис. 5. Определение типа полимера с помощью м-FTIR. Состав идентифицированных частиц: полиэтилен (а), полиэстер (б), полиамид (нейлон) (в). Значения в процентах указывают на совпадение спектров с библиотекой прибора

Для определения типа полимера обнаруженных частиц МП, в данном исследовании был применен метод Фурье-преобразования инфракрасной спектроскопии (FTIR), который является широко применяемым аналитическим подходом для идентификации образцов МП во всем мире.

В связи с тем, что более 50% обнаруженных частиц представляют собой прозрачные волокна и пленки, первоочередной задачей являлось определение их состава, считая их аналогичными. Затем были изучены редкие экземпляры. Среди обнаруженных типов полимеров наиболее распространенными являются полиэтилен, полиэстер, акрил и полистирол (рис. 5). Такой химический состав микропластика позволяет сделать вывод о возможных источниках его происхождения, таких как одежда из акрила и полиэстера, упаковка, одноразовая посуда, бутылки, пакеты, рыболовные канаты и сети, строительные материалы.

Заключение

Проведенные исследования таких источников поступления МП в Азовское море, как реки и аэрозольные выпадения, показали, что частицы МП присутствуют в 100% исследуемых проб. Средняя концентрация МП в воде рек составила 8 шт./л. Самыми загрязненными микропластиком являются устьевые области р. Дон и Кубань. В аэрозолях среднее значение обнаруженного МП в пробах составило 388 шт./м³/сут. Наиболее загрязненными МП оказались аэрозоли Ростова-на-Дону, Таганрога. Морфологические и морфометрические характеристики обнаруженных МП частиц характеризуются высоким содержанием волокон (87%) и небольшим количеством пленок (13%) различного размера. Повсеместно преобладают частицы полупрозрачного цвета. Путем анализа типичных образцов обнаруженного МП определены следующие виды деградации: расслоение, набухание, растрескивание, расщепление. С помощью FT-IR идентифицированы шесть видов полимеров, обнаруженных в воде устьевых областей рек и аэрозолей Азовского моря, а именно: акрил, термопластичные полиме-

ры, полиамид (нейлон), полиэтилен, полистирол и полиэстер.

Список литературы

1. Dris R., Gasperi J., Saad M., Mirande C., Tassin B. Synthetic fibers in atmospheric fallout: A source of microplastics in the environment? *Mar Pollut Bull.* 2016 Mar 15. No.104 (1–2). P. 290–3. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.01.006.
2. Pandey D., Banerjee T., Badola N., Chauhan J.S. Evidences of microplastics in aerosols and street dust: a case study of Varanasi City, India. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2022. No. 29 (54). P. 82006–82013. DOI: 10.1007/s11356-022-21514-1.
3. Abbasi S., Keshavarzi B., Moore F., Turner A., Kelly F.J., Dominguez A.O., Jaafarzadeh N. Distribution and potential health impacts of microplastics and microrubbers in air and street dusts from Asaluyeh County, Iran. *Environ Pollut.* 2019. No. 244. P. 153–164. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.10.039.
4. Akhbarizadeh R., Dobaradaran S., Amouei Torkmahalleh M., Saeedi R., Aibaghi R., Faraji Ghasemi F. Suspended fine particulate matter (PM_{2.5}), microplastics (MPs), and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in air: Their possible relationships and health implications. *Environ Res.* 2021. No. 192. P. 110339. DOI: 10.1016/j.envres.2020.110339.
5. Cai L., Wang J., Peng J., Tan Z., Zhan Z., Tan X., Chen Q. Characteristic of microplastics in the atmospheric fallout from Dongguan city, China: preliminary research and first evidence. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2017. No. 24 (32). P. 24928–24935. DOI: 10.1007/s11356-017-0116-x.
6. Enyoh C.E., Verla A.W., Verla E.N., Ibe F.C., Amaobi C.E. Airborne microplastics: a review study on method for analysis, occurrence, movement and risks. *Environ Monit Assess.* 2019. No. 191(11). P. 668. DOI: 10.1007/s10661-019-7842-0.
7. Liu K., Wang X., Fang T., Xu P., Zhu L., Li D. Source and potential risk assessment of suspended atmospheric microplastics in Shanghai. *Sci Total Environ.* 2019. No. 675. P. 462–471. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.110.
8. Prata J.C. Airborne microplastics: Consequences to human health? *Environ Pollut.* 2018. No. 234. P. 115–126. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.11.043.
9. Jambeck J.R., Geyer R., Wilcox C., Siegler T.R., Perryman M., Andrady A., Narayan R., Law K.L. Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science* 2015. No. 347. P. 768–771.
10. Глушко А.Е., Беспалова Л.А. Микропластик в пляжевых отложениях Азовского моря: морфологические и морфометрические особенности // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 1. С. 99–110. DOI: 10.22449/2413-5577-2021-1-99-110.
11. Глушко А.Е., Беспалова Л.А., Беспалова Е.В., Картамышева Т.Б. Загрязнение микропластиком донных отложений Азовского моря // Наука Юга России. 2021 Т. 17. № 2. С. 57–65. DOI: 10.7868/S25000640210206.
12. Masura J., Baker J., Foster G., Arthur C. Laboratory Methods for the Analysis of Microplastics in the Marine Environment: Recommendations for Quantifying Synthetic Particles in Waters and Sediments. NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48. Silver Spring, NOAA Marine Debris Division. 2015. P. 31.
13. Зобков М.Б., Есюкова Е.Е. Микропластик в морской среде: обзор методов отбора, подготовки и анализа проб воды, донных отложений и береговых наносов // Океанология. 2018. № 58 (1). С. 149–157. DOI: 10.7868/S0030157418010148.

УДК 911.2:551.4

ОПАСНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В АГРОЛАНДШАФТАХ ЮГО-ВОСТОКА ПОДТАЙГИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

Евсеева Н.С., Квасникова З.Н., Каширо М.А.

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет», Томск,
e-mail: zoi kwas@rambler.ru

В работе приводятся итоги многолетних исследований за эрозионными процессами на территории юго-востока Западно-Сибирской равнины, в агроландшафтах Томской области. Установлено, что ежегодно на пашнях в пределах исследуемой территории развивается водная эрозия почв (при снеготаянии и ливневая) и ветровая. В зависимости от микрорельефа, экспозиции склонов, агрофона пашни смыв почв неравномерен и изменяется от 0,5 м³/га до 80 м³/га. Таким образом развивается плоскостной смыв почв от умеренно опасного (2–5 м³/га) до весьма опасного (10–15 м³/га). Установлено, что в течение зим 1989–2022 гг. во время устойчивого залегания снежного покрова, в среднем длящегося 180 дней, в толще и на поверхности снежной толщи на пашне накапливалась значительная масса эолового осадка. Эоловая миграция вещества из очагов дефляции на пашне изменялась от слабой (менее 0,5 т/га) до очень сильной (5–10 т/га). Развитие эрозии почв ведет к снижению их плодородия, на склонах в 3 и более градусов происходит уменьшение мощности гумусового горизонта (местами до 15–20 см), происходят изменения естественного процесса самовосстановления почвенных ресурсов, снижается экологическая устойчивость природных экосистем и др. В роли фактора, уменьшающего интенсивность проявления опасных экзогенных процессов, выступает растительный покров, представленный различными сельскохозяйственными культурами. Наибольший эффект при этом достигается в случае, когда агрофон с осени представлен стерней злаковых либо всходами клевера с рядками, расположенными поперек склона.

Ключевые слова: Западная Сибирь, Томская область, экзогенные процессы, эрозия

DANGEROUS MANIFESTATIONS OF EXOGENOUS PROCESSES IN THE AGRICULTURAL LANDSCAPES OF THE SOUTH-EAST OF THE SUBTAIGA OF THE WEST SIBERIAN PLAIN

Evseeva N.S., Kvasnikova Z.N., Kashiro M.A.

National Research Tomsk State University, Tomsk, e-mail: zoi kwas@rambler.ru

The paper presents the results of long-term studies of erosion processes in the south-east of the West Siberian Plain, in the agricultural landscapes of the Tomsk oblast'. It has been established that water erosion (related to snowmelt and heavy rainfall) and wind erosion of soils develops annually on arable land within the study area. Soil flushing is uneven and varies from 0.5 m³/ha to 80 m³/ha, depending on the microrelief, exposure of slopes, arable land agrophone. As a result, a planar soil washout develops on the slopes from a moderately dangerous level (2-5 m³/ha) to a very dangerous (10-15 m³/ha). It was found that during the winters of 1989-2022, with a stable occurrence of snow cover, which lasts 180 days on average, a significant mass of aeolian sediment accumulated in the thickness and on the surface of the snow on arable land. The aeolian migration of matter from points of deflation on arable land varied from low (less than 0.5 t/ha) to very strong (5-10 t/ha). The development of soil erosion leads to a decrease the fertility, on slopes with a steepness of 3 or more degrees there is a decrease in the thickness of the humus horizon (in places up to 15-20 cm), there are changes in the natural process of self-healing of soil resources, the ecological stability of natural ecosystems decreases, etc. Vegetation cover, represented by various agricultural crops, acts as a factor reducing the intensity of dangerous exogenous processes. The greatest effect is achieved in the case when the autumn agrophone is represented by lines located across the slope, consisting of stubble of cereal plants or clover seedlings.

Keywords: Western Siberia, Tomsk region, exogenous processes, erosion

Работами многих исследователей установлено, что антропогенное влияние на природные геосистемы приводит к изменению условий их функционирования и зависит от видов и интенсивности воздействия: влияние мелиорации, вырубок леса, распашки земель, создание прудов, водохранилищ и др. Одним из древнейших видов преобразования геосистем является агрогенный морфолитогенез: на сельскохозяйственных землях – агроландшафтах проявляется комплекс природно-антропогенных процессов – эрозия почв (водная и ветровая), переотложение рыхлых наносов, овражно-балочная

эрозия, суффозия, оплывины, засоление. Анализ данных государственного мониторинга земель и других систем наблюдений последних лет за состоянием окружающей среды Российской Федерации показывает, что водной эрозии подвержено 17,8%, ветровой – 8,4% сельхозугодий, переувлажненные и заболоченные земли занимают 12,3%, засоленные и солонцеватые – 20,1% [1].

Названные негативные процессы развиты и в агроландшафтах подтайги Западно-Сибирской равнины, в том числе и на территории Томской области, где площадь пашни составляет 646,3 тыс. га [2]. В агропроизвод-

ство вовлечены в основном серые лесные оподзоленные почвы и их подтипы (около 74% площади пашни). Результаты обследований почв в конце XX века показали, что общее содержание гумуса в пахотном слое почв пашни Томской области уменьшилось на 4–12%, а ежегодные потери гумуса составляют 0,15–1,5 т/га [3]. Это в немалой степени обусловлено проявлением водно-эрозионных процессов, которым подвержено около 350 тыс. га пахотных земель. Долговременных наблюдений за водной и ветровой эрозией почв на исследуемой территории до 90-х годов XX века не проводилось. С 1989 г. изучением названных процессов в агроландшафтах юго-востока Томской области начали заниматься сотрудники Томского государственного университета.

Цель исследования – оценка интенсивности развития водной и ветровой эрозии почв в агроландшафтах Томской области по данным многолетних полевых наблюдений.

Материалы и методы исследования

Основой для данной работы послужили маршрутные обследования и полушта-

ционные наблюдения в агроландшафтах южных районов Томской области в течение 1988–2022 годов (рис. 1). В результате полевых наблюдений установлено, что в пределах исследуемой территории в агроландшафтах развивается водная эрозия почв (при снеготаянии и ливневая) и ветровая. К настоящему времени дана характеристика факторов развития процессов эрозии: изучены процессы залегания снежного покрова, определены запасы воды в снеге и интенсивность снеготаяния; проведены полевые и расчетные методы величины смыва почв со склонов пашни; рассмотрены характеристики ветрового режима исследуемой территории и оценена податливость почв к ветровым нагрузкам, определены масса эолового материала, отлагающегося в толще снега и в пылеуловителях, а также химический и гранулометрический составы отложений и др. [4–6]. Об интенсивности развития эрозии почв при снеготаянии имеются сведения в работах ряда авторов [7; 8]. Интенсивность ветровой и водной (ливневой) эрозии почв в Томской области изучена недостаточно, и литературных данных нет.

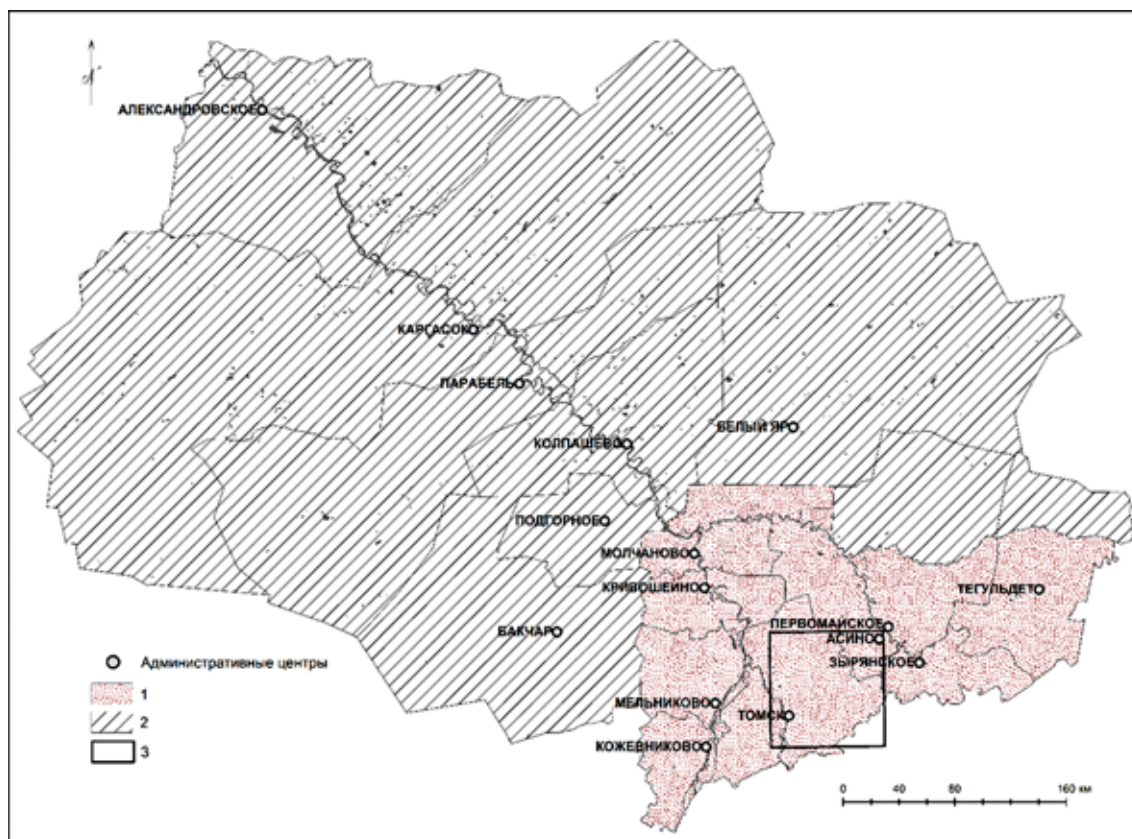


Рис. 1. Карта-схема проявления почвенно-эрозионных процессов на территории Томской области (по [9]): 1 – III подзона среднего смыва и среднего размыва, слабой дефляции; 2 – V подзона слабого смыва и слабого размыва; 3 – исследуемый район

Результаты исследования и их обсуждение

Подведены итоги наших 35-летних исследований по определению скорости развития водной и ветровой эрозии почв в агроландшафтах и выявлены годы с опасными темпами проявления названных процессов. Рассмотрим основные результаты наших исследований.

1. Водная эрозия почв при снеготаянии. В пределах исследуемой территории она развивается ежегодно (рис. 2), но с разной степенью интенсивности, что обусловлено рядом причин: запасом воды в снеге, глубиной оттаивания почв, длиной и крутизной, экспозицией склонов, а также состоянием агрофона.

Наиболее интенсивно смыв почв проявляется по боронованной зяби, но в зависимости от микрорельефа склонов пашни он неравномерен даже в пределах одного склона и изменяется от 0,5–5 до 50–80 м³/га, т.е. в такие годы, согласно [10], развивается плоскостной смыв почв от умеренно опасного (2–5 м³/га) до весьма опасного (10–15 м³/га). Полевые наблюдения показали, что смыв почв по микробассейнам склонов пашни по ряду лет значительно превышал названные величины, например он составил 20–30 м³/га в 1991, 2000, 2003, 2004, 2006, 2007, 2009, 2016 годах, а временами (1992, 2010–2012, 2021 гг.) достигал на участках склонов пашни в 3–7° до 45–80 м³/га. В годы с интенсивным развитием процесса у подножия склонов пашни образовывались обширные конусы выноса, толщина делювия в них достигала 10–15 см (рис. 2). По стерне, всходам озимых, многолетних трав, скошенному и неубранному льну смыв почв, как правило, не превышал 0,5–5 м³/га.



Рис. 2. Промоина и делювий конуса выноса после снеготаяния на пашне юго-востока Томской области (фото М.А. Каширо, 01.05.2021 г.)

Необходимо отметить, что смыв почв зависит от состояния агрофона, что убедительно показывает пример двух соседних полей на склонах южной экспозиции, но с разным агрофоном в один и тот же год (табл. 1).

В зависимости от интенсивности развития плоскостного смыва во время снеготаяния содержание гумуса в отложениях делювия конусов выноса у подножия склонов изменялось от 0,3–1,1% до 3,3–5,8%, местами достигало 6,1–8,3%. В гранулометрическом составе делювия преобладали пыль (31,0–60,6%) и мелкий песок (15,4–60,0%).

2. Ливневая эрозия почв. Эрозионные последствия ливней, сток ливневых вод, наносящих большой ущерб почвам, изучаются как в нашей стране, так и за рубежом.

Таблица 1

Интенсивность развития эрозии почв при снеготаянии на склонах южной экспозиции

Год наблюдений	Состояние агрофона поля № 1	Смыв почв, м ³ /га	Состояние агрофона поля № 2	Смыв почв, м ³ /га
1992	Зябь боронованная	25–30	Зябь боронованная	24–25 до 55
1995	Стерня	1–2	Зябь боронованная	17–18
2000	Стерня	0,5	Стерня	0,5
2002	Зябь	18–19	Сочетание зяби и стерни	9–10
2010	Выходы клевера	13–14	Вспашка после уборки льна	14–15
2018	Стерня	0,5–1,0	Чередование полос зяби и стерни	4–5
2022	Грубая зябь по фацелии	0,5–1,0	Всходы озимых	1–2

Единого определения ливня в настоящее время нет, согласно приказу Росгидрометцентра РФ 52.88.699-2008, за сильный ливень принимаются дожди с количеством осадков 30 мм за период не более часа, а за очень сильный – дожди с количеством осадков не менее 50 мм за период времени не более 12 часов. В данной работе нами за ливень принимались осадки слоем 10 мм и более за сутки. Кроме того, выделены крупные (20–30 мм/сут.) и выдающиеся (более 30 мм/сут.) ливни. Крупные ливни на исследуемой территории случаются ежегодно, например, по данным ГМС «Томск» за 1960–2017 гг., количество ливней со слоем осадков 20–30 мм и более 50 мм в сутки составило 47 случаев, а со слоем 50 мм и более – 5 [5].

Наиболее сильный смыв и размыв почвы со склонов пашни вызывают ливни со слоем осадков 50 мм и более, даже если агрофон представлен растительностью. Например, 30 июня 1987 г. за 5,5 часов выпало 53,7 мм осадков, а первого июля – 20,6 мм. В результате со склона пашни длиной 300–500 м и крутизной 3–8°, занятого посадками картофеля, было смыто до 40–100 м³/га почвы; на склоне длиной 50–100 м под парами – до 24–26 м³/га. Большой урон пашне нанесли ливни начала июля 2020 г.: 3 июля за два часа выпало 51 мм осадков, а 7 июля – 21 мм. Обследование нами пашни 8 июля 2020 г. показало, что на южном склоне пашни с густыми посевами льна высотой до 60–70 см образовалась серия размывов, наиболее крупный из них достигал в длину 171 м при ширине до 2,7 м и глубине – до 40 см (рис. 3). Размывы у подножия склонов образовали делювиальный шлейф (рис. 4). Толщина делювия достигала 10–15 см. Смыв с поля изменялся от 1–5 до 9–10 м³/га. На соседнем поле, занятом посевами злаковых культур в стадии кущения (рядки располагались поперек склона), смыв составил 2–3 м³/га, толщина делювия в конусах выноса достигала 4–7 см. Отбор проб делювия из разных конусов выноса показал, что содержание гумуса в них изменялось от 2,9 до 5,6%, азота валового – от 0,35 до 0,52%, фосфора валового – от 0,24 до 0,33%. В гранулометрическом составе делювия преобладала пыль (32,1–67,9%) и песок (12,3–42,1%).

Весьма опасны в отношении эрозии почв короткие, но интенсивные ливни. Показателен в этом плане ливень 3 июня 2015 г., когда за одну минуту выпало 3,7 мм осадков, в результате с пашни с разным агрофоном было смыто от 0,75 до 2 м³/га почвы.



Рис. 3. Крупный размыв на пашне после ливня (фото З.Н. Квасниковой, 08.07.2020)



Рис. 4. Делювиальный шлейф у подножия склона пашни после ливня (фото З.Н. Квасниковой, 08.07.2020)

Исследования тенденций климатических характеристик температурно-влажностного режима исследуемого региона показывают, что годовое количество атмосферных осадков за последние 50 лет имеет тенденцию повсеместного роста на величину от 2 мм / 10 лет до 20 мм / 10 лет в разных районах Западной Сибири. Учитывая тот факт, что увеличилась в основном доля ливневых осадков, появляется вероятность затопления территорий, образование новых оврагов, оползней, провалов грунта. Увеличение доли ливневых осадков, вероятно, вызовет и усиление процессов ливневой

эрозии в агроландшафтах. Об этом предупреждают и другие исследователи [11].

3. Ветровая эрозия. Анализ ветрового режима ветра за 2006–2021 гг., по данным Авиационной метеорологической станции гражданской (АМСГ) «Томск», расположенной среди сельскохозяйственных угодий, показал, что практически в каждый месяц года наблюдаются ветры со скоростью 20–27 м/с. Ветровая эрозия почв развивается в агроландшафтах также круглый год, но наиболее интенсивно она приводит к миграции вещества на пашне в холодный период года (октябрь – февраль) и весной. Интенсивность развития ветровой эрозии почв определялась нами по массе аккумуляции золовых частиц в толще снега за время устойчивого залегания снежного покрова (СП), а весной во время снеготаяния – по массе накопления золовых осадков на поверхности СП за разные отрезки времени между снегопадами. В теплый период года использовался метод пылеуловителей по Reheis M.S. (2003) [12].

Установлено, что в течение зим 1989–2022 гг. во время устойчивого залегания снежного покрова, в среднем длящегося 180 дней, в толще снега на пашне накапливалась значительная масса золового осадка. Согласно классификации Е.М. Любцовой (1997) [13], золовая миграция вещества из очагов дефляции на пашне изменялась от слабой (менее 0,5 т/га) до очень сильной (5–10 т/га). Сильная миграция вещества (2–5 т/га) наблюдалась нами в ходе ландшафтно-геоморфологических снегосъемок зимой 2000–2001, 2003–2004, 2004–2005, 2008–2009, 2014–2015 гг.; очень сильная (5–10 т/га) – зимой 2002–2003 и 2011–2012 гг. Интенсивное развитие зимней дефляции почв при примерно однородном режиме ветров наблюдалось в случае, когда агрофон с осени был представлен зябью. Содержание гумуса в золовых отложениях в толще снега изменялось от 1,4 до 4,2%, присутствуют и другие биогены – Ca^{2+} , Mg^{2+} , P, N. В гранулометрическом составе осадков доминирует пыль – от 47,1 до 98,2%, а также мелкий песок (0,25 до 0,05 мм) – до 25%. Ветровая эрозия активно развивается и весной во время снеготаяния (обычно вторая половина марта – апрель). В это время происходит усиление скоростей ветра – буревая деятельность (ветры со скоростью ≥ 15 м/с) [13]. Но сугробы в агроландшафтах сохраняются длительное время, в ряде лет до первой декады мая. Во время снеготаяния случаются снегопады. В результате

имеется возможность наблюдать и определять массу золового осадка, отложившегося на поверхности СП за разные промежутки времени. Установлено, что во время снеготаяния с поверхности зяби за короткие отрезки времени сносится значительная масса золового материала и отлагается на поверхности сугробов в виде золовой ряби. Например, за 7 дней весны 1989 г. – до 0,42 т/га; за 25 дней 1991 – до 3,4 т/га; за 13 дней 2015 г. – до 3,2 т/га и т.д.; т.е. развивается сильная миграция вещества (2–5 т/га). Особенностью развития ветровой эрозии является неравномерность отложения пылевых частиц на поверхности снега: отмечается чередование сильно-, средне- и слабозагрязненных волн. Содержание гумуса в золовом осадке на поверхности СП вследствие этого варьировало от 1,5 до 5,1%. В гранулометрическом составе золового наноса также доминирует пыль – до 64,9% и мелкий песок – до 22%. В минералогическом составе осадка доминирует SiO_2 – 61,97% и Al_2O_3 – 10,99%, Fe_2O_3 – 5,73%, кроме того, присутствуют CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 , S и др. Суммируя массу золового материала, накопившегося за время устойчивого залегания снежного покрова и за отрезки времени при снеготаянии, возможно приблизительно оценить интенсивность развития ветровой эрозии в годы, когда агрофон с осени представлен зябью, стерней, травами (табл. 2).

При достаточно однородном режиме ветра за 1989–2021 гг. активное развитие ветровой эрозии приходится на годы, когда агрофон с осени представлен зябью и происходит сильная и очень сильная миграция вещества – до 5–10 т/га. Наблюдения за аккумуляцией пылеаэрозолей в пылеуловителях в течение 2013–2022 гг., установленных на высоте 2 метра над поверхностью земли, показывает, что характерна неоднородность осаждения пыли в разных урочищах агроландшафта. Меньше всего золового наноса оседает в пылеуловителях на наветренном склоне пашни (0,7–4,1 г/м²), в сосновой лесополосе – от 2,1 до 179,5 г/м² (2017 г.); в березовых лесополосах – от 35,5 г/м² до 270 г/м² (2018 г.), на кромке кедрового леса – 79,35 г/м².

В целом интенсивность миграции золового материала на высоте 2 м над поверхностью земли изменяется от слабой (менее 0,5 т/га) до средней (1–2 т/га), достигая в отдельные годы 2–5 т/га (сильная). Содержание гумуса в отложениях пылеуловителей значительно – от 4,6 до 5,2%, а в отдельных точках достигает 10,5%.

Таблица 2

Примеры интенсивности развития ветровой эрозии почв в годы с разным агрофоном, т/га

Год наблюдения	Состояние агрофона	Интенсивность ветровой эрозии, т/га	Год наблюдения	Состояние агрофона	Интенсивность ветровой эрозии, т/га
1989-1990	Зябь боронованная	5,0-6,0	2009-2010	Всходы многолетних трав	0,5
1992-1993	Всходы многолетних трав	0,2	2014-2015	Зябь боронованная	6-7
2000-2001	Зябь боронованная	до 4-4,5	2017-2018	Стерня злаковых	до 0,5
2002-2003	Зябь боронованная	до 10-11	2020-2021	Травы	0,5-0,7
2004-2005	Зябь боронованная	до 3-3,5	2021-2022	Всходы злаковых	до 2,5

Это объясняется тем, что эоловые отложения холодного периода года имеют тесную генетическую связь с почвами исследуемого бассейна. Они содержат гумус – от 1,7 до 4,3%, сумма $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ в них изменяется от 13,6 до 26,0 мг/экв. на 100 г, N – от 0,08 до 0,62%, P – от 0,18 до 0,56%. Сравнительный анализ содержания питательных для растений веществ показал, что они соответствуют таковым в эоловом наносе и составляют соответственно 2,8–3,8%; 23,2–27,7%; 0,18–0,27%; 0,36%. Почвы плакоров содержат значительное количество гумуса – 5–6% и более [6].

Заключение

В пределах исследуемого региона в агроландшафтах ежегодно развиваются негативные экзогенные процессы – водная и ветровая эрозия почв. В роли фактора, уменьшающего интенсивность проявления названных процессов, выступает растительный покров, представленный различными сельскохозяйственными культурами. Наибольший эффект при этом достигается в случае, когда агрофон с осени представлен стерней злаковых либо всходами клевера с рядками, расположенными поперек склона. Развитие эрозии почв ведет к снижению их плодородия, на склонах в 3 и более градусов происходит уменьшение мощности гумусового горизонта (местами до 15–20 см), происходят изменения естественного процесса самовосстановления почвенных ресурсов, снижается экологическая устойчивость природных экосистем и др. В условиях меняющегося климата отмечается увеличение годового количества осадков, в основном ливневых, что предполагает вероятность усиления ливневой эрозии в агроландшафтах в будущем.

Список литературы

1. Антропогенная геоморфология / Отв. ред. Э.А. Лихачева, В.П. Палиенко, И.И. Спасская. М.: Медиа-ПРЕСС, 2013. 416 с.
2. Доклад «Об экологической ситуации в Томской области в 2021 году». Томск, 2022. 124 с.
3. Хмелев В.А., Каличкин В.К., Азаренко В.Г., Шипилин Н.Н. Агроэкологические основы землепользования в Томской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 255 с.
4. Евсеева Н.С., Пашнева Г.Е., Квасникова З.Н. Делювиальный процесс в агроландшафтах юга Томской области и его эколого-геоморфологические аспекты // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. № 4 (24). С. 7-19.
5. Евсеева Н.С., Квасникова З.Н., Кужевская И.В. Ливни как природный риск и их экологические аспекты (на примере южной части Томской области) // Геосферные исследования. 2020. № 4. С. 73-84. DOI: 10.17223/25421379/21/6.
6. Евсеева Н.С., Язиков Е.Г., Квасникова З.Н., Батманова А.С., Бучельников В.С. Современный эоловый морфогенез: изученность, региональные проявления // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 11. С. 96-107. DOI: 10.18799/24131830/2020/11/2889.
7. Носырева О.В., Соян Д.А. Снежный покров как фактор развития эрозии почв на юге Томской области // Современные проблемы географии и геологии: к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2-х томах. (г. Томск, 16-19 октября 2017 г.), Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2017. Т. 1. С. 311-315.
8. Савельева Д. А., Каличкин В. К. Внутрисезонный мониторинг водной эрозии почв пашни в подтайге Западной Сибири // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 5. С. 15-21. DOI: 10.24411/0235-2451-2021-10502.
9. Мусохранов В.Е. Использование эродированных земель в Западной Сибири. М.: Россельхозиздат, 1983. 191 с.
10. Физика опасных природных воздействий. Актуализированная редакция СЕИП 22-01-95. М.: Стандартинформ, 2018. 30 с.
11. Горбатенко В.П. Тенденции климатических характеристик, определяющих развитие транспортной системы Западной Сибири // Динамика и взаимодействие геосфер Земли. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле. В 3-х томах. (г. Томск, 8-12 ноября 2021 г.), Томск: Изд-во Томского ЦНТИ, 2021. Т. 2. С. 113-116.
12. Reheis M.S. Dust deposition in Nevada, California, and Utah, 1984–2002. U.S. Geological Survey, Open-File Report 03–138, 2003. 11 p.
13. Любцова Е.М. Эоловые процессы // Пространственно-временной анализ динамики эрозионных процессов на юге Восточной Сибири. Новосибирск, 1997. С. 132-177.

УДК 550.46:502/504

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА СНЕГА НА СОСТАВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛОЙ РЕКИ НА ПРИМЕРЕ РЕКИ ЛАПА В ДЕЛЬТЕ СЕВЕРНОЙ ДВИНЫ

Котова Е.И., Мискевич И.В.

ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва,
e-mail: ecopp@yandex.ru

Для оценки роли снежного покрова в функционировании экосистем малых рек Арктики проведены исследования связи содержания тяжелых металлов в снежном покрове и в донных отложениях малой реки на примере р. Лапа, впадающей в дельту р. Северной Двины (бассейн Белого моря). Пробы отбирались в двух точках: в устье реки и в 0,5 км от нее выше по течению. Выявлено, что максимальное содержание среди исследуемых металлов в пробах донных отложений и снега отмечается для марганца, минимальное содержание – для свинца. Содержание кадмия в пробах донных отложений и снега практически повсеместно было ниже предела обнаружения. Вторую позицию по наибольшему загрязнению донных отложений и снега занимает цинк. При этом его содержание ненамного ниже содержания марганца. Наибольшее содержание поллютантов в донных отложениях и снеге отмечалось на границе соприкосновения вод р. Лапы с водами дельты р. Северной Двины. Скорее всего, в период прилива более загрязненные воды Северной Двины поступают в устьевую часть р. Лапа и способствуют обогащению металлами донных отложений. Взвешенное вещество снега более обогащено цинком и свинцом, которые в первую очередь поступают от атмосферных выбросов, в том числе автотранспорта. Донные отложения отличаются более высоким содержанием меди и никеля.

Ключевые слова: малая река, Белое море, загрязнение, снег, донные отложения, тяжелые металлы, марганец

INFLUENCE OF SNOW COMPOSITION ON THE COMPOSITION OF BOTTOM SEDIMENTS IN A SMALL RIVER (USING THE LAPA RIVER IN THE DELTA OF THE NORTHERN DVINA RIVER AS AN EXAMPLE)

Kotova E.I., Miskevich I.V.

Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow,
e-mail: ecopp@yandex.ru

To assess the role of snow cover in the functioning of ecosystems of small rivers in the Arctic, studies were conducted on the relationship between the content of heavy metals in the snow cover and in the bottom sediments of a small river using the example of the Lapa River (the delta of the Northern Dvina River (White Sea basin)). Samples were taken at 2 points: at the mouth of the river and 0.5 km from it upstream. The maximum content among the studied metals in samples of bottom sediments and snow is noted for manganese, the minimum content – lead. The content of cadmium in samples of bottom sediments and snow was almost everywhere below the detection limit. The second position in terms of the greatest pollution of bottom sediments and snow is occupied by zinc. At the same time, its content is not much lower than the content of manganese. The highest content of pollutants in bottom sediments and snow was noted at the border of contact between the waters of the river. Paws with the waters of the delta of the river. Northern Dvina. The more polluted waters of the Northern Dvina enter the wellhead part and contribute to the enrichment of bottom sediments with metals during the tide period. The suspended matter of snow is more enriched with zinc and lead, which primarily come from atmospheric emissions, including vehicles. Bottom sediments contain a higher content of copper and nickel.

Keywords: small river, White Sea, pollution, snow, bottom sediments, heavy metals, manganese

Интерпретация результатов и частичный анализ проб выполнены за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-77-10074, <https://rscf.ru/project/22-77-10074>.

Состав снежного покрова является одним из факторов, воздействующих на гидрохимический режим территории, и может оказать существенное влияние на состояние не только наземных, но и водных экосистем. Регионы с устойчивым снежным покровом особенно восприимчивы к изменению климата, поскольку небольшие изменения температуры или осадков могут привести к значительным изменениям характеристик залегания снежного покрова и, как следствие, состояния водных экосистем. Все вышесказанное приводит к выводу, что анализ изменений состава снежного покрова

и оценка влияния снежного покрова на подстилающую поверхность имеет особенную актуальность, особенно для арктических экосистем, так как позволяет оценить возможные последствия изменения нагрузки на экосистему.

Вклад снежного покрова в формирование геохимических ситуаций в реках и морях западного сектора российской Арктики может быть весьма существенен [1]. Снег накапливает значительное количество взвешенных частиц и растворенных веществ из атмосферы, которое может быстро высвободиться во время весеннего таяния

в форме ионного импульса [2]. Для водосборов Белого и Баренцева морей этот процесс особенно значим из-за особенностей атмосферной циркуляции в рассматриваемом регионе. Проходящие здесь циклоны несут осадки, которые формировались над Кольским полуостровом и западной Европой с наличием большого количества крупных промышленных объектов и, как следствие, обогащены загрязняющими веществами. Это, в частности, характерно для ряда тяжелых металлов [2–4]. И если общие черты влияния снега на загрязнение водных экосистем исследованы сравнительно хорошо [1, 5], то в локальном масштабе, особенно применительно к малым рекам и их устьям, это влияние изучено очень слабо.

Для оценки роли снежного покрова в функционировании экосистем малых рек Арктики и возможных последствий изменений характеристик снегозалегаания в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой в 2022 г. Северо-Западное отделение Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН провело исследования связи содержания тяжелых металлов в снежном покрове и в донных отложениях р. Лапа.

Целью выполненных исследований было оценить влияние состава снега на накопление тяжелых металлов в донных отложениях малого водотока. Установление соотношений концентраций тяжелых металлов в снежном покрове и в донных отложениях в нижнем течении р. Лапа позволит определить наличие между ними какой-либо связи.

Материалы и методы исследования

Река Лапа является боковым правобережным притоком протоки Маймакса в дельте р. Северной Двины (водосбор Двинского залива Белого моря) (рис. 1). Она относится к так называемым малым рекам, имеет длину около 12 км и располагается в подзоне северной тайги. В зимний период р. Лапа практически полностью замерзает.

Первая точка отбора проб (1л) располагалась в месте впадения р. Лапа в протоку Маймакса р. Северная Двина, вторая точка отбора проб (2л) – на 0,5 км выше по течению. Работы проводились зимой и осенью 2022 г. Пробы донных отложений были отобраны в марте и в октябре. Отбор проб снежного покрова проводился в период максимального снегонакопления – март.

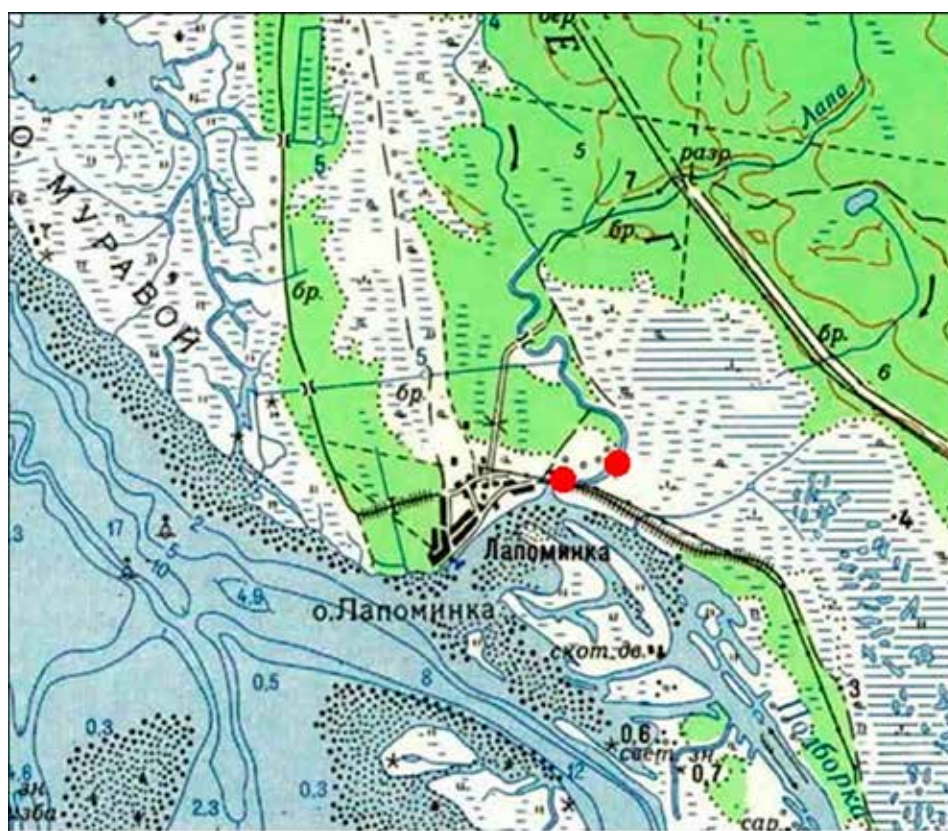


Рис. 1. Карта-схема участка работ на водосборе р. Лапа в дельте р. Северной Двины (красные кружки – точки отбора проб)

Пробы снежного покрова отбирались в пластиковую тару с помощью пластикового пробоотборника на всю глубину залегания (исключая самый нижний слой). В лаборатории пробы снега растапливали при комнатной температуре и фильтровали через предварительно взвешенные мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. В снеге определяли как растворимые формы металлов (в фильтрате), так и нерастворимые (в составе взвеси).

Пробы донных отложений отбирались со льда дночерпателем. В камеральных условиях перед анализом их предварительно высушивали до воздушно-сухого состояния, измельчали и просеивали через сито с диаметром отверстий 2 мм.

Пробы анализировались на содержание меди, кадмия, марганца, никеля, свинца, цинка атомно-абсорбционным методом.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты химического анализа рассматриваемых проб на содержание тяжелых металлов представлены в табл. 1.

Анализ полученных данных показал, что среди анализируемых металлов, как в пробах снега, так и в пробах донных отложений, преобладает марганец, как один из распространенных металлов в земной коре. Исключением в данном отношении является содержание нерастворимой формы цинка в пробе снега, отобранной в точке 1л. Эту концентрацию можно условно считать «выбросной» величиной малой повторяе-

мости. В остальных пробах цинк занимает вторую позицию по уровню содержания. При этом его содержание незначительно ниже содержания марганца.

Содержание кадмия в пробах донных отложений и снега практически повсеместно было ниже предела обнаружения. Присутствие кадмия в донных отложениях на уровне 4,8 мкг/кг определено лишь в точке 2л в весенний период. Следует отметить усиление токсичности тяжелых металлов при их совместном воздействии на живые организмы. Совместное воздействие цинка и кадмия или меди и кадмия оказывает в несколько раз более сильное ингибирующее действие на организмы, чем при такой же концентрации каждый элемент в отдельности.

Содержание свинца, который традиционно считается трассером техногенного влияния, в донных отложениях было ниже других выявленных поллютантов. При этом следует отметить, что наибольшее содержание свинца, как и других поллютантов, в донных отложениях отмечалось в точке 1л, на границе соприкосновения вод р. Лапы с водами дельты р. Северной Двины, испытывающими воздействие хозяйственной деятельности города и порта Архангельска. Скорее всего, в период прилива более загрязненные воды Северной Двины поступают в устьевую часть и способствуют обогащению металлами донных отложений. В снежном покрове свинец был определен только в нерастворимой форме в устьевой области реки.

Таблица 1

Характеристика содержания тяжелых металлов в снежном покрове и в донных отложениях р. Лапа

Номер точки	Cd	Cu	Mn	Ni	Pb	Zn
Донные отложения, мг/кг (март 2022 г.)						
1л	н/о	11,8	130	23	6,7	56
2л	4,8	5,6	60	13	3,6	32
Донные отложения, мг/кг (октябрь 2022 г.)						
1л	н/о	9,2	65	17	7	64
2л	н/о	5,3	63	9,9	3,8	32
Снег/взвесь, мг/кг (март 2022 г.)						
1л	н/о	32	342	н/о	45	2011
2л	н/о	19	510	41	н/о	410
Снег/вода, мкг/л (март 2022 г.)						
1л	н/о	0,14	5,9	н/о	н/о	3,8
2л	н/о	0,14	3,7	н/о	н/о	1,2

В сезонной динамике содержания металлов в донных отложениях отмечено снижение концентраций марганца в два раза в донных отложениях в устьевой части в осенний период практически до уровня точки 2л. Одной из причин может являться тот факт, что в весенне-летний период влияние приливов и поступления загрязненных вод Северной Двины снижается и происходит самоочищение реки.

В характеристиках снежного покрова также прослеживается большее загрязнение снега в устьевой области р. Лапа. Это в первую очередь связано с влиянием хоть и небольшого, но жилого поселка Лапоминка. Общая минерализация талого снега в точке 1л составила 12,8 мг/л, в точке 2л – 9,3 мг/л. Общее содержание взвешенного вещества в снеге в обеих точках было примерно одинаково, 1,7–1,8 мг/л, но состав ее был разным. В точке 2л отмечено повышенное содержание марганца, поступающего, скорее всего, в составе природной пыли. А в точке 2л взвешенное вещество обогащено цинком, свинцом и медью.

Как показало исследование, взвешенное вещество снежного покрова более обогащено рассматриваемыми тяжелыми металлами, нежели донные отложения. Учитывая, что рН талого снега составлял 4,5–4,6 ед. рН, при таянии снега взвешенные формы могли переходить в растворимые, тем самым увеличивая концентрации растворимых форм. При этом содержание во взвеси меди, свинца и цинка также выше в устьевой части

реки. По данным нашего исследования в период снеготаяния в реки с тальми водами со льда попадет от 19 до 79 мг/м² взвешенного вещества. Таким образом, помимо вод Северной Двины источником поступления загрязнения в устьевую часть р. Лапа будут атмосферные выпадения, что еще больше усугубит ситуацию.

Тяжелые металлы наиболее опасны для окружающей среды в растворимой форме. Растворимые формы кадмия, никеля и свинца в снежном покрове не обнаружены. Сравнение полученных концентраций растворимых форм меди, марганца, цинка с предельно допустимыми концентрациями для водоемов рыбохозяйственного значения (Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. № 552) показало отсутствие превышения допустимых норм.

На рис. 2 представлены концентрации тяжелых металлов в пробах снега и донных отложений на станции 2л, удаленной от контакта с дельтовыми водами. Обращает на себя внимание близость соотношений концентраций цинка и меди к концентрации марганца, как в пробе донных отложений, так и во взвеси и воде талого снега.

Преобладание марганца в рассматриваемых объектах дает основание для целесообразности рассмотрения безразмерных соотношений содержания исследуемых металлов к содержанию марганца, как наиболее характерного металла для данных проб. Результаты соответствующих расчетов представлены в табл. 2.

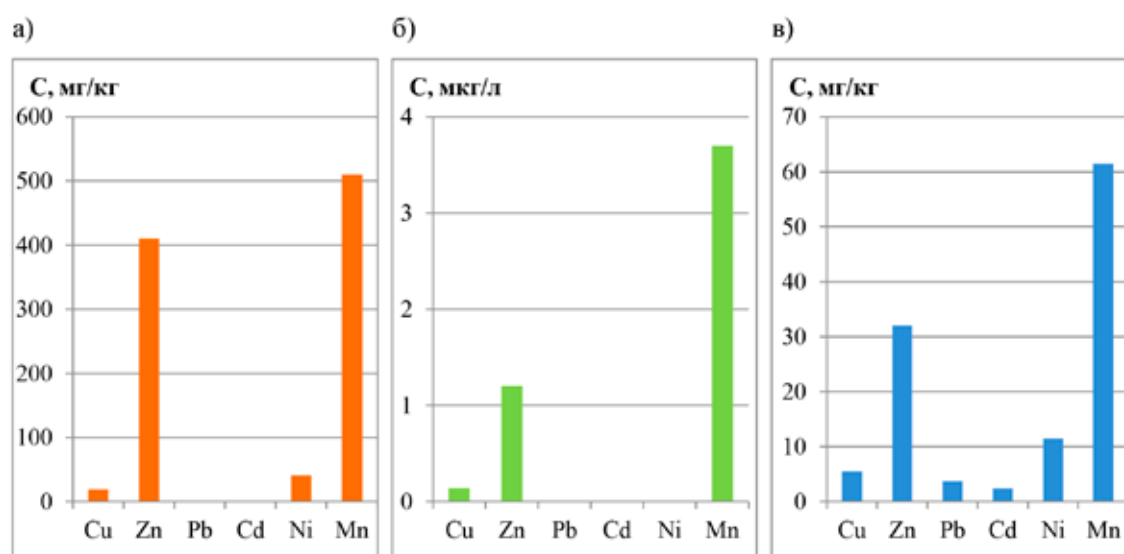


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове во взвешенном состоянии (а), в растворенном состоянии (б) и в донных отложениях (в) в р. Лапа в точке 2л в 2022 г.

Таблица 2

Отношения содержания тяжелых металлов к концентрации марганца в снежном покрове и в донных отложениях устья р. Лапа

Номер точки	Cd/Mn	Cu/Mn	Mn/Mn	Ni/Mn	Pb/Mn	Zn/Mn
Донные отложения (март 2022 г.)						
1л	0	0,091	1	0,177	0,052	0,431
2л	0,080	0,093	1	0,217	0,060	0,533
Донные отложения (октябрь 2022 г.)						
1л	0	0,142	1	0,262	0,108	0,985
2л	0	0,084	1	0,157	0,060	0,508
Снег/взвесь (март 2022 г.)						
1л	0	0,094	1	0	0,132	5,880
2л	0	0,037	1	0,08	0	0,804
Снег/вода (март 2022 г.)						
1л	0	0,024	1	0	0	0,644
2л	0	0,038	1	0	0	0,324

Содержание металлов относительно марганца в нерастворимом веществе снега, отобранном в устьевой точке, выше, чем отношения в донных отложениях здесь же в весенний период (за исключением никеля). В осенний период в донных отложениях в устьевой части р. Лапа отмечается рост содержания металлов относительно содержания марганца, в том числе из-за поступления данных загрязнителей с талыми водами.

Также можно сказать, что взвешенное вещество снега более обогащено цинком и свинцом, которые в первую очередь поступают от атмосферных выбросов, в том числе автотранспорта. Донные отложения содержат в себе более высокое содержание меди и никеля, поступающие в том числе в период приливов с загрязненными водами Северной Двины.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования дают возможность предположить, что содержание свинца и цинка в донных отложениях малых рек в рассматриваемом районе зависит от содержания этих металлов в снежном покрове. Помимо загрязненных вод р. Северной Двины, поступающих в устьевую область во время прилива, источником поступления загрязнения в устьевую часть р. Лапа будут являться атмосферные выпадения, что еще больше усугубит ситуацию. В свою очередь, накопление поллютантов в донных отложениях может не-

гативно сказаться на сообществах речного и устьевого зообентоса.

Влияние талых сильно загрязненных вод, образующихся при весеннем таянии снега, которое может оказать заметное негативное воздействие на водные биоценозы, обычно прослеживается только в течение сравнительно короткого периода (не более месяца). Негативное воздействие, которое формируют накопленные в донных отложениях тяжелые металлы, может наблюдаться несколько лет. Это, в частности, связано со слабым развитием весенних паводков на малых реках, которые не состоянием кардинально поменять характер донных отложений в течение сравнительно длительного времени. Также необходимо учитывать, что в устьях малых рек из-за узости водотока седиментация взвесей наблюдается практически по всей ширине водотока, тогда как в дельте р. Северной Двины накопление иловых частиц идет в виде узких полос на приливной осушке [6].

Разумеется, выдвинутые выше предположения носят предварительный характер. Для решения рассматриваемой проблемы планируется продолжить исследования наличия связей между загрязнением снежного покрова и донными отложениями водных объектов различного типа.

Список литературы

1. Krickov I.V., Lim A.G., Vorobev S.N., Shevchenko V.P., Pokrovsky O.S. Colloidal associations of major and trace elements in the snow pack across a 2800-km south-north gradient of western Siberia // Chemical Geology. 2022. Vol. 610. No. 5. 121090. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2022.121090.

-
2. Vinogradova A.A., Kotova E.I. Metals in precipitation and lake waters in the North-West of Russia // *Russian Journal of General Chemistry*. 2016. T. 86. No. 13. P. 2965–2973.
3. Стародымова Д.П., Шевченко В.П., Белоруков С.К., Булохов А.В., Коробов В.Б., Яковлев А.Е. Геохимия рассеянного осадочного вещества снега в Приморском районе Архангельской области // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 2. С. 140–145.
4. Ilin I., Rozovskaya O., Travnikov O., Varygina M., Aas W. Heavy Metals: Transboundary Pollution of the Environment. EMEP Status Report 2/2014. MSC-E&CCC, 2014. URL: http://www.msceast.org/reports/2_2014.pdf (дата обращения: 13.02.2023).
5. Williams M.W., Seibold C., Chowanski K. Storage and release of Solutes from a subalpine seasonal snowpack: soil and stream water response Niwot Ridge, Colorado. *Biogeochemistry*. 2009. No. 95 (1). P. 77–94.
6. Котова Е.И., Мискевич И.В., Нецветова О.П. Особенности вертикальной структуры маргинального фильтра в устьях рек с устойчивым галоклином в зимний период на примере дельты Северной Двины // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 11. С. 61–65.

УДК 504.06:631.416.9

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ГОРОДА ЧЕЛЯБИНСКА Pb, Zn И Cd

^{1,2}Смагин А.И., ¹Маркова Л.М.

¹ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет», Челябинск, e-mail: odou@csu.ru;

²ФГБУН «Южно-Уральский институт биофизики», Озерск, e-mail: subi@subi.su

Город Челябинск является крупнейшим промышленным центром нашей страны. На территории города находится несколько действующих гигантов черной и цветной металлургии. Выбросы предприятий приводят к загрязнению тяжелыми металлами территорий в зонах воздействия, включая как промышленные, так и жилые территории. В последние 30 лет на территории города комплексных исследований загрязнения почв тяжелыми металлами не проводилось. Целью исследования являлось определение современных уровней техногенного загрязнения почв Челябинска свинцом, цинком и кадмием. Для определения воздействия выбросов крупных предприятий (стационарных источников) отбор образцов проводили на жилой территории города. Образцы отбирали на условно нетронутых участках, вдали от магистральных дорог – внутри жилых микрорайонов и в зеленых зонах из верхнего пятисантиметрового слоя почвы. Точки отбора распределяли по сетке 500 • 1000 м. Химическое разложение проб проводили с использованием стандартных методов. Концентрации тяжелых металлов Pb, Zn, Cd определяли на атомно-абсорбционном анализаторе Квант-2М. Определение уровня техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами проводили, сравнивая абсолютные значения измеренных концентраций с величиной общегородского геохимического фона, который определяли как среднее геометрическое (C_g). Было установлено, что концентрации всех исследованных загрязнителей имеют большой вариационный размах. На 50% территории жилой застройки наблюдается превышение естественного фона у всех исследованных элементов. Гетерогенные выбросы предприятий города представляют опасность для населения. Наиболее опасным из исследованных загрязнителей является Cd, относящийся к элементам первого класса токсикологической опасности.

Ключевые слова: почвы, тяжелые металлы, концентрации, уровень регионального фона, г. Челябинск

SOIL POLLUTION OF THE CITY OF CHELYABINSK Pb, Zn AND Cd

^{1,2}Smagin A.I., ¹Markova L.M.

¹Chelyabinsk State University, Chelyabinsk, e-mail: odou@csu.ru;

²South Ural Institute of Biophysics, Ozersk, e-mail: subi@subi.su

The city of Chelyabinsk is the largest industrial center of our country. On the territory of the city there are several operating giants of the domestic ferrous and non-ferrous metallurgy. Emissions from enterprises lead to heavy metal contamination of the territory in the impact zones, including both industrial territories and residential territories. In the last 30 years, no comprehensive studies of soil contamination with heavy metals have been conducted in the city. The aim of the study was to determine the current levels of technogenic soil pollution in Chelyabinsk Pb, Zn, Cd. To determine the impact of emissions from large enterprises (stationary sources), sampling was carried out on the residential territory of the city. Samples were taken in areas untouched by humans, away from main roads – inside residential neighborhoods and in green areas from the upper five-centimeter soil layer. The sampling points were distributed over a grid of 500 • 1000 m. Chemical decomposition of the samples was carried out according to the Guidelines using standard methods. Concentrations of heavy metals Pb, Zn, Cd, were determined by the Quantum-2M atomic absorption analyzer. The level of technogenic soil contamination with heavy metals was determined by comparing the absolute values of the measured concentrations with the value of the citywide geochemical background, which was determined as the geometric mean (C_g). It was found that all the pollutants studied have a large variation range. In 50% of the residential development area, there is an excess of the natural background in all the studied elements. Heterogeneous emissions from the city's enterprises pose a danger to the population. The most dangerous of the pollutants studied is Cd, which belongs to the elements of the first class of toxicological hazard.

Keywords: soils, heavy metals, concentrations, the level of the regional fund, the city of Chelyabinsk

В условиях техногенеза нарастает воздействие человека на окружающую среду, увеличиваются выбросы загрязняющих веществ промышленных предприятий в атмосферу. Почва является долговременно депонирующей средой и накапливает загрязнители, являясь маркером многолетнего загрязнения [1]. В то же время почвы выполняют значимую роль в процессах устойчивого функционирования биосферы [1, 2]. По данным ООН тяжелые металлы являются наиболее опасными загрязнителями городских почв [3]. Загрязнение почвенного покрова приводит к изменениям в структуре

самих почв, угнетению роста растений, вызывает токсические испарения и др. [4, 5]. Выращивание на загрязненных почвах сельскохозяйственной продукции ведет к поступлению загрязнителей в организм человека и может вызвать различные заболевания. Выявлена корреляция между химическим загрязнением почвы и заболеваемостью населения [6, 7]. В связи с этим изучение особенностей накопления и распределения тяжелых металлов в почве является приоритетным направлением современных исследований состояния почвенного покрова урбоэкосистем [8].

На территории России можно выделить ряд промышленных центров с неблагоприятной экологической обстановкой, к которым относится и Челябинск [5]. В последние 30 лет на территории Челябинской городской агломерации комплексных почвенно-геохимических исследований не проводилось.

Цель исследования – определение современных уровней концентрации техногенных Pb, Zn, Cd в почвах города Челябинска.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования являлись почвы на территории г. Челябинска, а предметом – оценка загрязнения почв города техногенными Pb, Zn, Cd.

Площадь, занимаемая г. Челябинском, составляет более 500 км² и отличается высоким разнообразием подстилающих материнских пород, являющихся источником формирования естественного фоновый уровня концентрации тяжелых металлов в почвах.

Исследуемые поллютанты широко распространены в земной коре.

Свинец. Относится к элементам IV группы и имеет халькофильные свойства, слабую растворимость гидроксидов и оксидов в воде и склонность к образованию связей с кислородом. В земной коре распространен в форме галенита PbS, в котором присутствует в виде Pb²⁺, встречается кислая форма Pb⁺⁴. Свинец может образовывать и другие минералы, плохо растворимые в воде. По геохимическим свойствам Pb²⁺ близок к группе двухвалентных щелочно-земельных элементов, поэтому он способен замещать Ba, Sr и даже Ca как в минералах, так и в сорбционных позициях. Накапливается в кислых сериях магматических пород, где концентрация элемента колеблется от 10 до 40 мг/кг. Максимальные концентрации Pb в глинах достигают 20–40 мг/кг, в кислых гранитах и гнейсах 15–24 мг/кг, а в ультраосновных породах и известковых осадках 0,1–10 мг/кг. Естественные содержания Pb в почвах зависят от содержания элемента в материнских породах [9].

Цинк. Относится к элементам II группы и входит в состав пород в виде простого сульфида ZnS, а также замещает Mg²⁺ в силикатах. В магматических породах концентрация Zn колеблется от 40 до 120 мг/кг, а в глинистых осадках и сланцах от 80–120 мг/кг, в песчаниках и карбонатных породах 10–30 мг/кг. Основной и наиболее подвижной формой Zn в почвах является Zn²⁺, хотя в почвах могут присутствовать другие ионные формы элемента. Ионы Zn легко ад-

сорбируются как минералами, так и органическими компонентами, что способствует его аккумуляции в поверхностных горизонтах большинства типов почв. В кислых средах скорость образования иона цинка возрастает. Концентрация Zn в поверхностных слоях почв промышленно развитых стран колеблется в пределах 17–125 мг/кг, а диапазон колебаний составляет от 54 до 570 мг/кг. Баланс Zn в поверхностных слоях почв в различных экосистемах показывает, что атмосферное поступление этого металла превышает его вынос за счет выщелачивания и образования биомассы [9].

Кадмий. Относится к элементам II группы. Геохимия кадмия тесно связана с геохимией Zn. Отличием является более высокая подвижность Cd в кислых средах. По поведению в окружающей среде Cd больше сходен с S. Кадмий образует изотипичные соединения, соответствующие соединениям таких катионов, как Zn²⁺, Co²⁺, Ni²⁺, Fe²⁺, Mg²⁺ и в некоторых случаях Ca²⁺.

В процессе выветривания пород Cd легко растворяется в воде и присутствует в растворе в виде Cd²⁺. Элемент образует комплексные ионы (CdCl⁺, CdOH⁺, CdHCO₃⁺, CdCl₃⁻, CdCl₄²⁻, Cd(OH)³⁻ и Cd(OH)₄²⁻), а также органические хелаты. Валентное состояние кадмия в природных средах +2. Подвижность Cd во многом определяется pH среды и окислительно-восстановительным потенциалом. В кислых средах Cd способен образовывать собственные минералы (CdO, CdCO₃), а также накапливаться в фосфатах и биогенных осадках (биолитах). В магматических и осадочных породах концентрация элемента не превышает 0,3 мг/кг, а в глинистых почвах, на сланцах и лессах может возрастать до 0,6–0,7 мг/кг [9].

Главный фактор, определяющий содержание Cd в почвах, – химический состав материнских пород. Средние концентрации Cd в почвах стран мира варьируют в диапазоне 0,07 и 1,1 мг/кг. При этом фоновые уровни Cd в почвах, как правило, не превышают 0,5 мг/кг, а все более высокие значения свидетельствуют об антропогенном вкладе в содержание Cd в верхнем слое почв.

Исследования концентраций Pb, Zn, Cd проводили в 2018–2021 гг. общепринятыми методами согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017, ГОСТ Р 58595-2019. Образцы почвы отбирали по регулярной сетке с шагом 500×1000 м почвенным буром БП-1 (ГОСТ 17.4.4.02-2017). Поскольку в результате аэрационного загрязнения земной поверхности тяжелые металлы накапливаются в верхнем

слое почвы, откуда слабо мигрируют в нижние горизонты, образцы почвы отбирали с глубины 0–5 см [10]. Для оценки влияния выбросов предприятий пробные площадки закладывали внутри жилых микрорайонов и зеленых зон. Отбор производился в местах, не подвергавшихся землеванию и перекопке за последние годы. В недавно застроенных районах пробы отбирали на сохранившихся между жилыми кварта-

лами лесных участках. Всего было отобрано около 200 образцов (рис. 1). Для химического анализа почвенные пробы доставляли в лабораторию экологического мониторинга факультета экологии ЧелГУ. Химическое разложение проб производили согласно РД 52.18.685-2006. Концентрации тяжелых металлов определяли атомно-абсорбционным методом на приборе Квант-2М в соответствии со стандартной методикой.



Рис. 1. Карта-схема отбора почвенных проб на территории г. Челябинска:
ЧМК – Челябинский металлургический комбинат; ЧЦЗ – Челябинский цинковый завод;
ЧЭМК – Челябинский электрометаллургический комбинат; ЧТПЗ – Челябинский
трубопрокатный завод; ТЭЦ 1–3 – Теплоэлектроцентрали

Оценку уровня техногенного загрязнения почв тяжелыми металлами проводили методом сравнения абсолютных значений измеренных концентраций с величиной общегородского геохимического фона, который определяли как среднее геометрическое (C_r). Для построения графиков абсолютные значения концентрации загрязнителей в почвах Челябинска ранжировали по величине.

Статистическую обработку результатов проводили стандартными методами [11] с использованием программ Microsoft Excel и Statistika 5.5. Построение картосхем выполнено в программе MapInfo Professional.

Результаты исследования и их обсуждение

Основные общие статистические характеристики измеренных концентраций Pb, Zn, Cd в почвах г. Челябинска приводятся в таблице. Согласно полученным данным, концентрации исследованной группы металлов в почвах варьируют в широком диапазоне: например, у Pb интервал (min-max) значений составляет около трех порядков величины, у Zn и Cd около двух с половиной

порядков. Значительные интервалы в концентрациях элементов в почвах г. Челябинска могут быть вызваны как сложным геологическим строением территории города, так и разницей в интенсивности выпадений, обусловленных выбросами предприятий.

Из-за глобальных процессов загрязнения окружающей среды в районах проживания человека большинство верхних горизонтов почв может быть обогащено техногенным Pb. [10]. Для анализа уровня техногенного загрязнения почв г. Челябинска полученные значения концентраций Pb сравнивали со значениями общего городского геохимического фона – C_r (рис. 2).

Из представленной на рисунке информации следует, что концентрация свинца имеет значение меньше уровня общегородского фона в 107 обследованных точках, что составляет ~50% обследованной территории, следовательно, около 50% обследованной территории г. Челябинска имеет повышенные уровни загрязнения свинцом техногенного происхождения. Часть территории, ~15%, загрязнена техногенным Pb в 2 и более раза выше фонового уровня.

Статистические характеристики концентраций загрязнителей
в почве г. Челябинска (мг/кг)

Загрязнитель	Min,	Max,	Ср. арифмет.	Медиана	Ср. геом. (C_r)
Pb	14,6	1858,6	91,7	50,1	54,8
Zn	61,2	4279,9	446,0	290,8	316,6
Cd	0,14	82,56	2,30	1,01	1,13

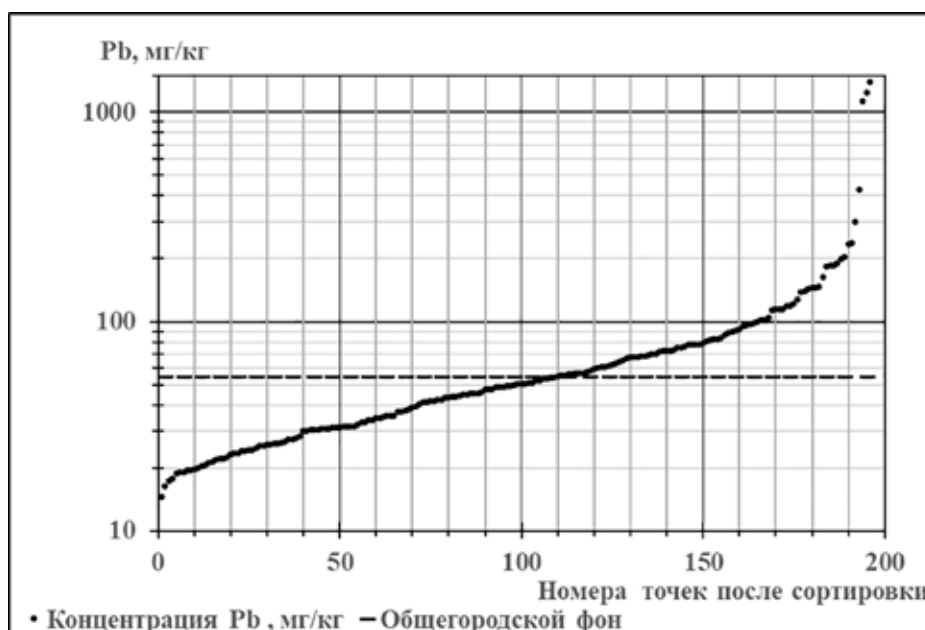


Рис. 2. Распределение концентрации Pb и общегородской фон

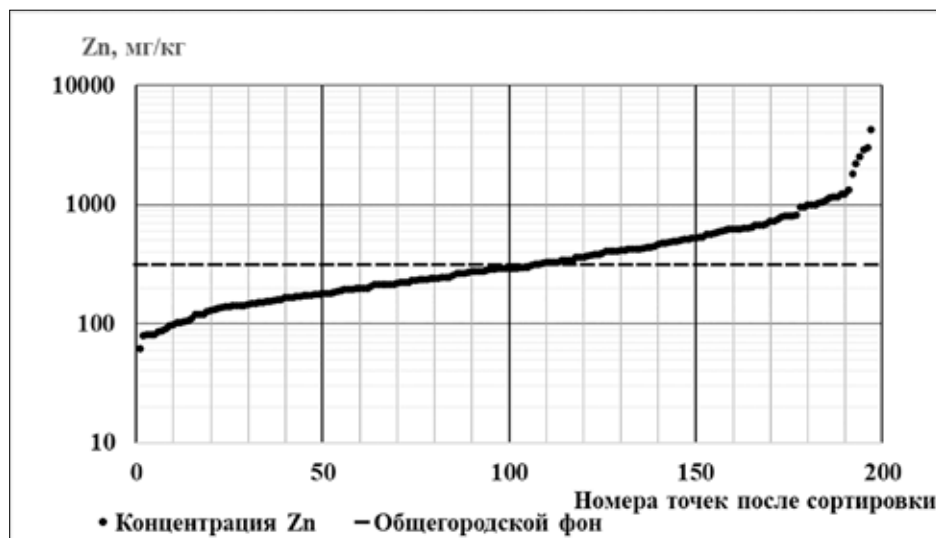


Рис. 3. Распределение концентрации Zn и уровень общегородского фона

Наибольшие концентрации Pb в почвах г. Челябинска были обнаружены на селитебных территориях в районах жилой застройки в шаговой доступности от металлургических предприятий, а фоновые — в почвах новостроек, значительно удаленных от предприятий.

В России производство этилированного бензина было запрещено в конце 2002 г. (Постановление ГД ФС РФ от 15.11.2002). Несмотря на это, свинец, поступавший в окружающую среду в составе тетраэтилсвинца с выбросами автотранспорта, до настоящего времени присутствует в почве на придорожных участках вблизи крупных магистралей и на дворовых территориях кварталов, построенных 70–80 лет назад [8]. Естественные концентрации Pb в верхних горизонтах различных почв стран мира колеблются в пределах 3–189 мг/кг при средних значениях для различных типов почв 10–67 мг/кг, при общем среднем 32 мг/кг. Это дает основание заключить, что 85% территории г. Челябинска загрязнено Pb выше средних мировых показателей.

На рис. 3 представлено распределение концентраций Zn в почвах города.

Концентрация Zn в почве превышает общегородской фон в 94 обследованных точках, что составляет около 47% от обследованной территории. Концентрации цинка в пробах варьируют в широком диапазоне и различаются на отдельных участках внутри городской черты более чем в 100 раз. Часть обследованной территории, ~15%, загрязнена техногенным цинком выше общегородского фона более чем на порядок величины.

Источником поступления цинка в атмосферу г. Челябинска может служить не только ОАО «ЧЦЗ», но и предприятие «Оксид», где производится ZnO. Кроме того, источником цинка может служить оцинкованный металлолом, используемый при производстве сталей в конвертерах и электродуговых печах на ПАО «ЧМК». Средние значения концентраций Zn в поверхностных слоях почв ряда стран, включая США, колеблются в пределах 17–125 мг/кг. Эти показатели могут рассматриваться как региональные фоновые концентрации. Приведенные значения намного ниже, чем оцененные нами уровни городского фона в г. Челябинске (316,6 мг/кг). Полученные нами уровни колебаний концентраций Zn в почвах г. Челябинска (таблица) также превышают значения этого показателя в Южном Китае (54–570 мг/кг) [9].

Из всех проанализированных поллютантов наибольшую опасность представляет Cd, являющийся элементом 1 класса. Допустимая концентрация элемента для нейтральных суглинистых и глинистых почв 2 мг/кг. На рис. 4 представлены результаты исследования уровня загрязнения почв г. Челябинска техногенным Cd.

Представленные на рисунке данные свидетельствуют о том, что на обследованной территории концентрация Cd в почвах, как и у Pb и Zn, превышает общегородской фон на 50% площади. Концентрации кадмия в образцах почвы варьируют в широком диапазоне, отдельные образцы различаются по этому показателю почти в 100 раз. На части территории (~5%) концентрация техногенного Cd выше фоновых значений в 10 и более раз.

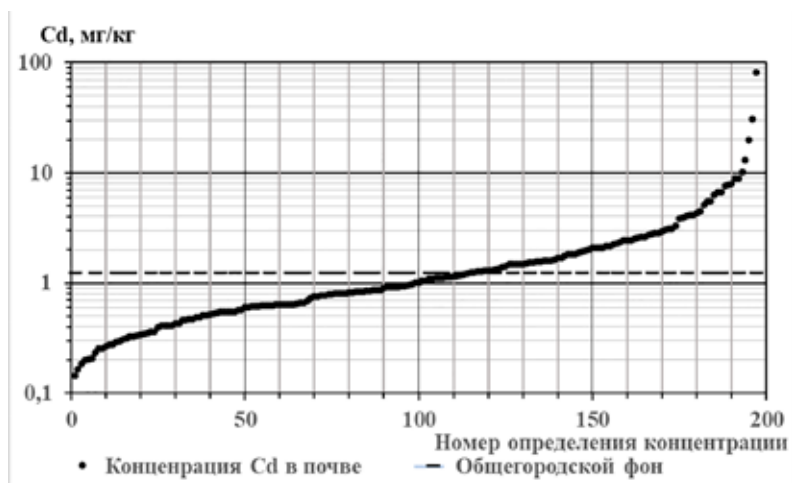


Рис. 4. Распределение концентрации Cd и общегородской фон

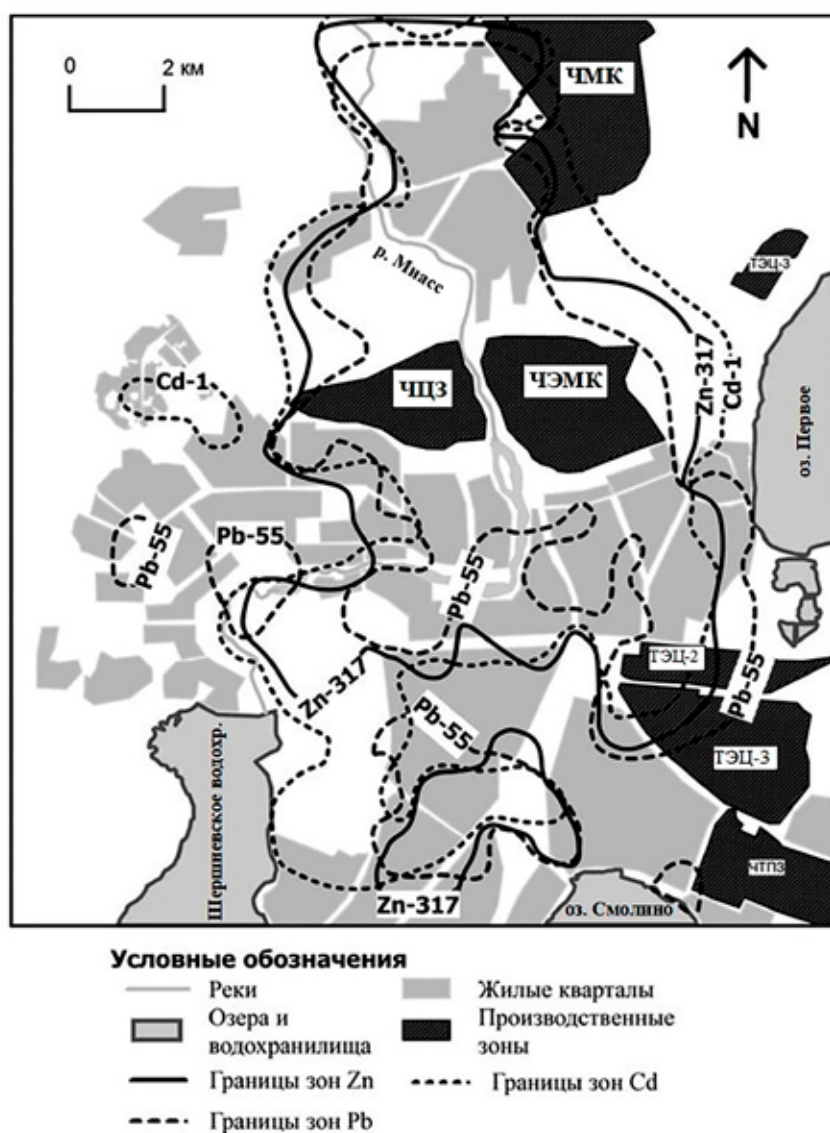


Рис. 5. Карта-схема территорий, загрязненных техногенными металлами в результате выбросов предприятий

Источником выбросов кадмия является ОАО Челябинский цинковый завод, товарным продуктом которого, наряду с цинком, является и металлический индий и кадмий. Наибольшим уровнем загрязнения Cd характеризуется территория северо-восточной части города, примыкающая к промышленным зонам ЧЦЗ и ЧЭМК. В целом большая часть этой аномалии (по концентрации выше 3 мг/кг) находится вне жилых кварталов и приходится на производственную и коммунально-складскую зону и гаражные кооперативы. Также в зоне воздействия находятся зеленые зоны специального пользования (Успенское кладбище) и территории, не включенные в реестр зеленых насаждений города Челябинска – Першинский лес. Высокие уровни загрязнения Cd имеют территории одноэтажной застройки, примыкающие к металлургическому комбинату.

Анализ результатов исследования загрязнения почвы г. Челябинска Pb, Zn, Cd позволил выявить зоны города, в которых наблюдается превышение естественного фона (рис. 5).

Самый крупный ареал техногенного загрязнения, где были обнаружены повышенные концентрации всех трех поллютантов, располагается на запад от ЧМК, а также южнее и севернее предприятий ЧЦЗ, ЧЭМК. Наибольшему загрязнению подвергается практически вся территория Металлургического района, восточные части Курчатовского, Калининского и Центрального районов, частично западная часть Ленинского района. Отдельные пятна загрязнения были выявлены на западе г. Челябинска в Курчатовском районе. Еще одно пятно загрязнения было обнаружено в Советском районе.

Закключение

В результате выполненных исследований было установлено, что концентрации металлов в почвах г. Челябинска варьируют в широком диапазоне. Интервал (min-max) значений концентрации Pb составляет около трех порядков величины, а у Zn и Cd около двух с половиной порядков. Значительные различия в концентрации тяжелых металлов в почвах могут быть обусловлены не только выбросами предприятий, но и поступлением химических элементов в процессе выветривания из подстилающих пород. Определенный нами уровень геохимического фона на территории г. Челябинска составляет для Pb – 54,8 мг/кг, Zn – 316,6 мг/кг и Cd – 1,13 мг/кг. Сравнивая концентрации Pb, Zn и Cd в почвах города с уровнем геохимического фона, было уста-

новлено, что на 50% территории наблюдается превышение показателя C_p , вызванное техногенным загрязнением.

Наибольшую опасность из исследованной группы тяжелых металлов представляет Cd, вариационный размах концентраций которого велик, а около четвертой части почв городской территории имеют уровень загрязнения выше допустимой концентрации. Основным источником выбросов Cd является ОАО «ЧЦЗ».

В настоящее время на предприятиях г. Челябинска активно внедряются новые технологии газоочистки, позволяющие снизить уровень выбросов.

Нами получены данные об уровнях загрязнения почв города тяжелыми металлами, характеризующие интенсивность и пространственное распределение аэротехногенных потоков. Выделены относительно незагрязненные участки и наиболее проблемные зоны, на которых необходимо провести тщательные обследования уровней загрязнения почвы и постоянно осуществлять мониторинг воздушной среды. Полученные результаты могут быть использованы для разработки мероприятий по защите здоровья населения.

Список литературы

1. Добровольский Г.В., Чернов И.Ю., Бобров А.А., Гонгальский Г.В. Добровольская Т.Г., Лысак Л.В., Онипченко В.Г., Гонгальский К.Б., Зайцев А.С., Терехова В.А., Соколова Т.А., Терехин В.Г., Шмарикина Е.В., Чернова О.В. Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия: кол. монография / Отв. ред. Г.В. Добровольский, И.Ю. Чернов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 273 с.
2. Орлова К.С., Савин И.Ю. Обзор экологических функций почв для оценки экологического состояния почвенного покрова в городской среде // Здоровье почвы – гарант устойчивого развития: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Курск, 18–19 апреля 2022 г.). Курск: Издательство Курский государственный университет, 2022. С. 25–26.
3. Водяницкий Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах // Почвоведение. 2012. № 3. С. 368–375.
4. Селюкова С.В. Тяжелые металлы в агроценозах // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 8. С. 85–93.
5. Семенов А.И., Кокшаров А.В., Погодин Ю.И. Содержание тяжелых металлов в почве г. Челябинска // Медицина труда и экология человека. 2015. № 3. С. 184–191.
6. Титов А.Ф., Казнина Н.М., Таланова В.В. Тяжелые металлы и растения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. 194 с.
7. Узаков З.З. Тяжелые металлы и их влияние на растения // Символ науки. 2018. № 1–2. С. 52–53.
8. Ясоев М.Г., Стреха Н.Л., Пацкайлик Д.А. Экология урбанизированных территорий. Минск: ИНФРА-М, 2015. 292 с.
9. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
10. Водяницкий Ю.Н. Обобщенная характеристика распределения тяжелых металлов в почвенном профиле // Агрохимия. 2014. № 6. С. 77–83.
11. Шелутко В.А. Методы обработки и анализа геоэкологической информации. СПб.: РГТУ, 2020. 296 с.

УДК 502:57.042:54.03

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕСОВЫХ И РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЫЛИ В РАЙОНАХ УГЛЕДОБЫЧИ

Сумина А.В., Павлова Е.В., Бортников С.В., Ворожцов Е.П.

ФГБОУ ВО «Хакасский государственный университет им. Н.Ф. Катанова», Абакан,
e-mail: alenasumina@list.ru

Проведен анализ весовых и размерных характеристик частиц взвешенных веществ в образцах снега с различных участков вблизи угледобывающих предприятий, расположенных в Алтайском районе Республики Хакасия. Точки отбора проб снежного покрова располагались в окрестностях населенных пунктов с. Аршаново, с. Белый Яр и районе автодороги, по которой транспортируется уголь, в соответствии с розой ветров. Анализ размера частиц проводили с помощью прибора «Ласка-ТД». Было установлено, что масса загрязняющих веществ, аккумулирующихся на снежном покрове, для территории в окрестностях с. Аршаново имела более высокие значения в сравнении с с. Белый Яр. При этом для с. Аршаново разница между минимальным и максимальным значениями массы пылевых частиц – 240 раз, коэффициент вариации – 1,62. Для Белого Яра разница между крайними значениями составила 9 раз, коэффициент вариации – 0,51. Определено, что в исследуемых образцах основная доля взвешенных частиц, независимо от точки исследования, имела размеры от 5 до 20 мкм. Полученные результаты исследования позволяют сделать заключение о наличии в снежном покрове большого количества мелкоразмерной пыли, способной накапливаться в окружающей среде и негативно влиять на ее биологическую составляющую, в том числе и человека.

Ключевые слова: размер частиц, угледобыча, снежный покров, Хакасия, роза ветров, транспортировка угля

STUDY OF WEIGHT AND DIMENSIONAL CHARACTERISTICS DUST IN COAL MINING AREAS

Sumina A.V., Pavlova E.V., Bortnikov S.V., Vorozhtsov E.P.

Khakass State University named after N.F. Katanov, Abakan, e-mail: alenasumina@list.ru

The analysis of the weight and size characteristics of suspended matter particles in snow samples from various sites near coal mining enterprises located in the Altai region of Khakassia was carried out. The sampling points of the snow cover were located in the vicinity of the settlements of the village of Arshanovo, the village of Bely Yar and the area of the highway along which coal is transported in accordance with the wind rose. Particle size analysis was performed using the Laska-TD device. It was found that the mass of pollutants accumulating on the snow cover, for the territory in the vicinity of c. Arshanovo had higher values in comparison with the village of Bely Yar. At the same time, for the village of Arshanovo, the difference between the minimum and maximum values of the mass of dust particles is 240 times, the coefficient of variation is 1.62. For Bely Yar, the difference between the extreme values was 9 times, the coefficient of variation was 0.51. It was determined that in the studied samples, the main proportion of suspended particles, regardless of the point of study, had sizes from 5 to 20 microns. The obtained results of the study allow us to conclude that there is a large amount of fine dust in the snow cover that can accumulate in the environment and negatively affect its biological component, including humans.

Keywords: particle size, coal mining, snow cover, Khakassia, wind rose, coal transportation

Исследование выполнено за счет гранта Министерства образования и науки Республики Хакасия (Соглашение № 93 от 13.12.2022).

Республика Хакасия занимает четырнадцатое место среди всех субъектов Российской Федерации и третье место в Сибири по добыче каменного угля. В настоящее время Республика добывает 5% от общего объема извлечения данного природного ресурса в России, а к 2035 г. запланировано осуществить добычу каменного угля в объеме 68,5 млн т [1]. Учитывая интенсивное развитие данной отрасли в Республике Хакасия, важно уделять внимание и изучению экологических аспектов угледобычи, в частности вопросам, связанным с мониторингом загрязнения атмосферы пылевыми частицами.

Как известно, технологические процессы, связанные с открытой добычей, перемещением, хранением и переработкой угля, сопровождаются образованием угольной

пыли [2–4]. Ее повышенная концентрация может приводить к различным негативным последствиям: от возникновения угрозы для здоровья людей до снижения атмосферной видимости и усугубления смога вокруг близлежащих населенных пунктов [5–7].

Важным параметром в экологической оценке угольной пыли является размер частиц (гранулометрический состав), так как он напрямую влияет на скорость прохождения реакции, седиментацию, растворимость и в конечном итоге на здоровье человека. В настоящее время существует множество методов измерения размера частиц угольной пыли: седиментация, механическая сортировка частиц, фильтрация, оптические методы, динамическое светорассеяние и др. [6]. Многие исследования документально под-

твердили, что воздействие на человека высоких концентраций аэрозольных частиц может привести к серьезным заболеваниям, таким как ишемическая болезнь сердца, инсульт, рак и острые респираторные заболевания легких [5, 7]. В этой связи особую опасность представляют респираторные и трахеобронхиальные пылинки, способные проникать в альвеолы и периферии легкого [8].

Одними из распространенных и доступных методов борьбы с пылью на угледобывающих предприятиях являются: смачивание водой при горных работах, орошение основных источников пылеобразования, снижение пылеобразования пеной. В настоящее время в мире активно ведутся исследования и разработки, связанные с химическими пылеподавителями. При этом важным направлением исследований технологии обеспыливания и пылеподавления является разработка комбинированного пылеподавателя с широким спектром дешевого сырья, простым и легким процессом изготовления, экологически чистыми продуктами и хорошим эффектом подавления пыли [5]. К основным критериям отбора можно отнести следующие факторы: смачи-

ваемость, покрытие площади поверхности, скорость поглощения мелких частиц, силы сцепления между частицами, проникновение и долговечность пылеподавателя [3].

Несмотря на актуальность исследований, касающихся размерных и весовых характеристик пыли в районах угледобычи, данных по вышеуказанным параметрам в научной литературе приводится относительно немного.

Цель работы заключалась в анализе размерных и весовых характеристик пылевых частиц в районах угледобычи, на примере Алтайского района Республики Хакасия, с использованием депонирующей способности снежного покрова.

Материалы и методы исследования

В качестве территории исследования был выбран Алтайский район Республики Хакасия, а именно близлежащие к угольным разрезам («Белоярский», «Изыхский» и «Аршановский») сельские населенные пункты – с. Белый Яр и с. Аршаново. Краткое описание точек отбора проб для изучения размерных и весовых характеристик пылевых частиц представлено в табл. 1.

Таблица 1

Расположение и характеристика точек отбора снежного покрова

№ точки	Датум: WGS 84 (формат координат hddd°mm'ss.s")		Высота над уровнем моря, м
	северная широта	восточная долгота	
с. Белый Яр (Алтайский район, Республика Хакасия)			
1	53°37'17.68"	91° 24'39.84"	219
2	53°37'17.0"	91° 24'41.6"	223
3	53°35'55.1"	91° 22'03.3"	237
4	53°35'54.3"	91° 21'58.2"	240
5	53°35'13.12"	91°20'31.88"	265
6	53°33'55.2"	91° 21'06.9"	294
7	53°34'08.9"	91° 22'14.3"	288
8	53°35'21.0"	91° 24'50.0"	262
9	53°36'30.1"	91° 25'04.6"	260
с. Аршаново (Алтайский район, Республика Хакасия)			
1	53°25'48.0"	91° 4'43.8"	256
2	53°25'48.4"	91° 4'43.9"	264
3	53°25'48.47"	91° 4'43.91"	262
4	53°25'48.37"	91° 4'44.34"	262
5	53°24'58.10"	91° 5'2.50"	282
6	53°25'6.10"	91° 3'41.58"	286
7	53°24'48.70"	91° 3'3.40"	284
8	53°23'43.70"	91° 2'53.80"	292

Отбор снеговых проб проводили в феврале – марте вблизи с. Аршаново и с. Белый Яр Алтайского района, Республики Хакасия на 17 участках. Атмосферные осадки в течение указанного периода распределялись неравномерно и находились в пределах среднеголетних значений. Высота снежного покрова на исследуемых точках отражена на рис. 1. Можно видеть, что для точек, расположенных в окрестностях с. Аршаново, высота снежного покрова имела значения от 4,5 (точки № 5, 6) до 16 см (точка № 4), средние по точкам значения высоты снега для данной территории – 7,7 см, коэффициент вариации – 48,6%. Для точек в границах с. Белый Яр диапазон варьирования данного показателя находился в интервале от 5,5 (точка № 9) до 12,5 см (точка № 1). Средние по точкам значения высоты снежного покрова – 9,4 см, коэффициент вариации – 23,8%, что может являться косвенным критерием однородности условий для данной территории.

Анализ состава снеговых проб проводился в лаборатории института естественных наук и математики Хакасского государственного университета им. Н.Ф. Катанова. После топления проб и фильтрования массу взвешенных частиц определяли весовым методом, точность составила 0,0001 г. Анализ размерности частиц проводили методом дифракции лазерного излучения на лазерном анализаторе микрочастиц «Ласка ТД». Повторность всех измерений трех-четырёхкратная [9].

Результаты исследования и их обсуждение

На первом этапе были изучены весовые характеристики пылевого загрязнения снежного покрова вышеописанных точек, при этом было установлено, что полученные данные разнятся в зависимости от территории и точек исследования (рис. 2, 3).

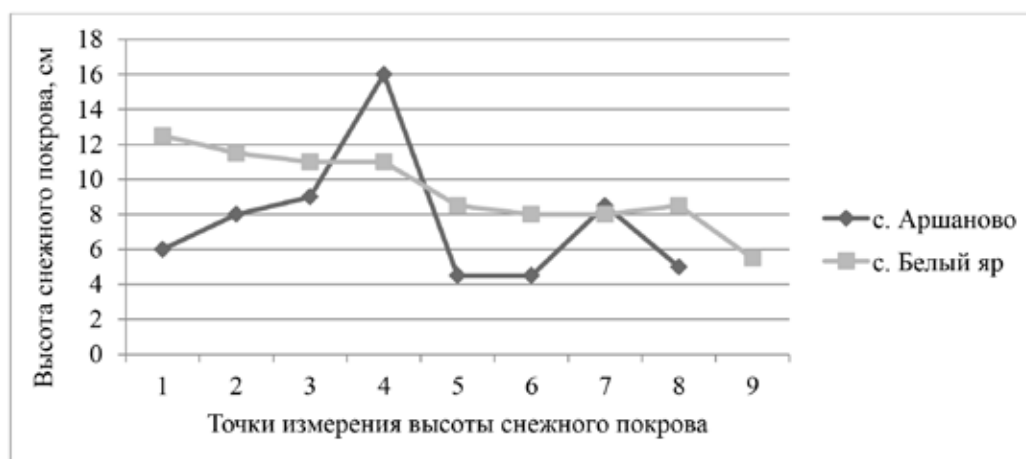


Рис. 1. Высота снежного покрова в районе с. Белый Яр и с. Аршаново (Алтайский район Республики Хакасия)

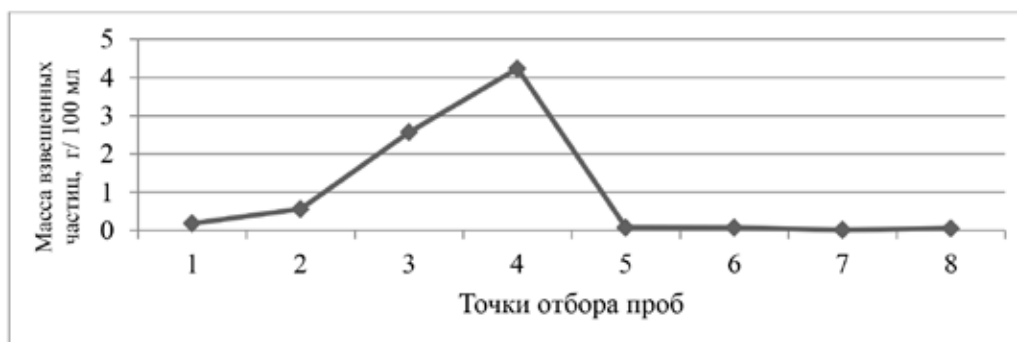


Рис. 2. Массовые характеристики пылевых частиц в районе с. Аршаново (Алтайский район Республики Хакасия)

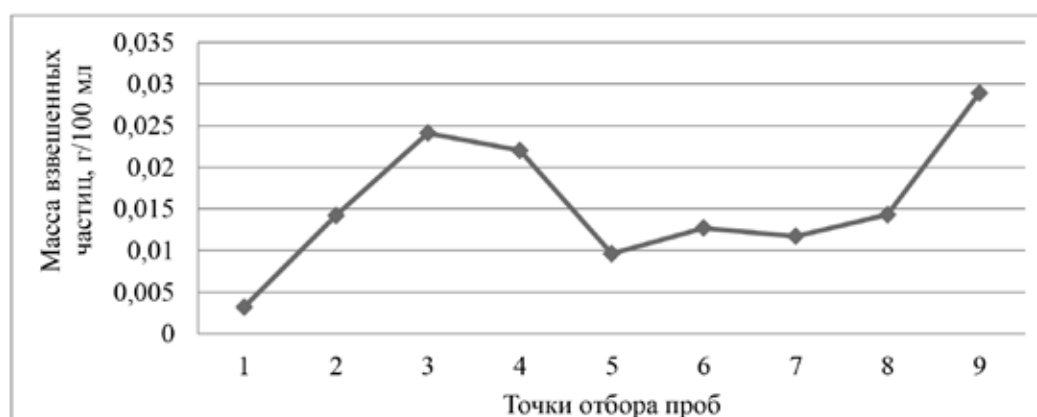


Рис. 3. Массовые характеристики пылевых частиц в районе с. Белый Яр (Алтайский район Республики Хакасия)

Рисунок 2 отражает весовые характеристики пылевых частиц в районе с. Аршаново. Можно видеть, что наибольшие значения данного показателя зарегистрированы в точках № 4 (4,24 г/100 мл) и № 3 (2,57 г/100 мл), которые расположены на второй надпойменной террасе (8–10 м над урезом воды) после древесно-кустарниковой растительности в 5 м от дороги к северу от с. Аршаново на расстоянии 505 и 507 м соответственно.

Наименьшие показатели в части массы пыли, депонирующей на снежном покрове, были получены для точек № 7 (0,0176 г/100 мл) и № 8 (0,0572 г/100 мл). Точка № 7 расположена в западном направлении от с. Аршаново на расстоянии 492 м, с западной стороны дамбы, ориентированной на юг (171°).

Точка № 8 расположена на старичном русле р. Абакан в южном направлении от с. Аршаново (на расстоянии 485 м). В восточном направлении от точки (на расстоянии 313 м) расположена автомобильная дорога, по которой транспортируют уголь из разреза «Аршановский» участок Аршановский – 1, расположенного в 2723 м на восток от точки. В 765 м на юго-запад от точки расположен разрез «Аршановский» участок Аршановский – 2. При этом разница между минимальным и максимальным значениями массы пылевых частиц для вышеуказанных точек – 240 раз, коэффициент вариации – 1,62.

Для территории в окрестностях с. Белый Яр минимальные весовые значения были получены для точек № 1 (0,0096 г/100мл) и № 5 (0,0032 г/100 мл). Первая точка расположена на склоне (уклон 33°) выровненной террасоподобной площадки отвала

вскрышных пород Изыхского угольного карьера на расстоянии 465 м в северном направлении от с. Белый Яр. Река Абакан находится на расстоянии 188 м в северо-западном направлении (300°) от точки. Автомобильная дорога расположена в юго-восточном направлении (132°), на расстоянии 342 м. Точка № 5 расположена на юго-западе с. Белый Яр в 337 м, вблизи намывного берега старичного русла р. Абакан. Максимальные значения зарегистрированы на участках № 9 (0,0289 г/100 мл) и № 3 (0,0241 г/100 мл). Точка № 9 расположена в восточном направлении (90°) на расстоянии 500 м от с. Белый Яр, на расстоянии 490 м (P412) и 250 м (P411) находятся автомобильные дороги. В восточном направлении (90°) от точки отбора проб на расстоянии 430 м размещаются внешние отвалы рекультивированного участка № 3 Изыхского угольного разреза. Точка № 3 расположена в западном направлении от с. Белый Яр на расстоянии 425 м, в пойме русла (3–5 м над урезом воды) в 38 м от р. Абакан. Разница между крайними значениями составила 9 раз, коэффициент вариации – 0,51.

На следующем этапе были проведены исследования в части размерности частиц и сравнительный анализ по данному показателю двух исследуемых территорий. Полученные данные представлены в табл. 2.

При проведении сравнительного анализа размера частиц снежно-грязевого шлама (табл. 2), образующегося путем смешивания снега и поверхностных осадений с транспортными средствами, транспортирующих уголь, было установлено, что независимо от пункта исследования основная доля частиц имеет размеры в диапазоне от 5 до 20 мкм.

Таблица 2

Средние размерные характеристики частиц, содержащихся в образцах талой снеговой воды, в зависимости от пункта исследования

Пункт исследования	Доля частиц по размерам (мкм), %					Средний размер частиц, мкм
	1–2	2–5	5–20	20–50	50–100	
С. Аршаново	0,4	12,9	78,1	8,5	0,1	10,9
С. Белый Яр	–	1,2	68,3	29,1	1,4	17,3

Для участков в окрестностях с. Аршаново данный показатель составляет 78,1 %, а для Белого Яра – 68,3 %. Для проб с территории с. Аршаново доля частиц с размерностью от 2 до 5 мкм практически в 10 раз превышала таковое для участков, близлежащих к с. Белый Яр. Напротив, для проб, отобранных в окрестностях с. Белый Яр, было обнаружено более высокое содержание крупных частиц в диапазоне 20–50 и 50–100 мкм.

Как известно, обязательным элементом добычи угля открытым способом является борьба с пылью на разных этапах технологического процесса, которая включает предупреждение пылеобразования, пылеподавление и пылеулавливание. Все источники пылевыведения на открытых горных работах можно разделить на две группы: локальные (точечные), к которым относятся объекты бурения, работа горного оборудования, пункты перегрузки и пересыпки горной массы, и площадные, включающие внешние и внутренние отвалы, техногенные массивы, взрывные работы, технологические дороги. Последние источники характеризуются более высокими объемами загрязненного воздуха, снижение концентрации угольной пыли может достигаться различными способами: предотвращением образования пыли, осаждением пыли посредством коагуляции, фильтрованием воздуха, разжижением и удалением пылевого облака из атмосферы [4].

На сегодняшний день выделяют несколько направлений борьбы с угольной пылью на разрезах. Первое – организационное, которое заключается в оптимизации производственных процессов. Второе основано на модернизации средств труда и применении обновленных машин и называется технологическое. Техническое направление состоит в использовании различных средств, способствующих снижению образования пыли. Еще одно направление – биологическое, которое заключается в применении материалов

на органической основе (биогенные способы) или с помощью объектов живой природы (биоценотические способы) [10]. При этом, в зависимости от экономических, энергетических, санитарно-гигиенических или экологических условий, возможно использовать как один, так и несколько способов [3, 4].

Анализ научных исследований и технических решений, направленных на снижение пылевыведения в условиях открытых горных работ, показал, что основным способом борьбы с пылью на точечных и площадных источниках пылеподавления является улавливание и осаждение твердых частиц пыли каплями жидкости [2–5]. Снижение пылевого загрязнения с помощью распыления воды или растворов на ее основе является одним из часто используемых и эффективных (снижение пыли до 95 %) способов борьбы с пылью на горных предприятиях. Ограничивающим природным фактором при использовании пылеподавляющих средств на основе воды в условиях Республики Хакасия являются отрицательные температуры воздуха в течение половины календарного года, в результате низких температур вода замерзает и затрудняет, а иногда и делает невозможным выход жидкости. В этой связи важным вопросом является разработка такого раствора, который не терял бы свои пылеподавляющие свойства даже при низких температурах.

В заключение хочется отметить, что представленные в работе данные позволяют сделать вывод о наличии в снежном покрове большого количества мелкозернистой пыли, способной накапливаться в окружающей среде и негативно влиять на ее биологическую составляющую, в том числе человека, и иллюстрируют необходимость проведения исследований в части разработки состава для пылеподавления на разрезах и мониторинга загрязнения атмосферного воздуха угольной пылью в границах влияния угольных предприятий.

Список литературы

1. Гоппе А.В. Анализ состояния и динамики развития угольной отрасли Республики Хакасия // Экономика сегодня: современное состояние и перспективы развития: сборник материалов Всероссийской научной конференции молодых исследователей с международным участием. М., 2022. Т. 1. С. 240–243.
2. Калаева С.З.К., Муратова К.М., Чистяков Я.В. К вопросу защиты окружающей среды от мелкодисперсной пыли горных предприятий // Известия Тульского государственного университета. Науки о земле. 2019. № 1. С. 92–109.
3. Писарев В.С., Басаргин А.А. Методы борьбы с пылью на карьерных дорогах // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2020. Т. 1. № 1. С. 15–21.
4. Шаров Н.А., Дудаев Р.Р., Кришук Д.И., Лискова М.Ю. Методы пылеподавления на угольных разрезах Крайнего Севера // Недропользование. 2019. Т. 19. № 2. С. 184–200.
5. Cheng J., Wang Y., Lei Y., Zheng X., Luo W. Study on coal dust crusting for coal pile based on a compound binder // Powder Technology. 2020. Т. 376. С. 149–166.
6. Liu T., Liu S. The impacts of coal dust on miners' health: A review // Environmental Research. 2020. Т. 190. С. 109849.
7. Wang P. et al. Influence of particle diameter on the wettability of coal dust and the dust suppression efficiency via spraying // Process Safety and Environmental Protection. 2019. Т. 132. С. 189–199.
8. Коршунов Г.И., Ковшов С.В., Сафина А.М. Методы борьбы с пылью на открытых горных работах. Современное состояние физико-химических исследований // European research. 2017. № 1 (24). С. 9–11.
9. Сумина А.В., Павлова Е.В., Кырова С.А., Ворожцов Е.П. Изучение размера пылевых частиц в районах угледобычи с использованием депонирующей способности снежного покрова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 2. С. 153–163.
10. Шувалов Ю.В., Веселов А.П., Бульбашев А.П., Смирнов Ю.Д., Каменский А.А. Борьба с пылью на горных предприятиях с использованием долго- и короткоживущих пен повышенной кратности // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2007. Т. 7. Аэрология. С. 171–179.

УДК 910.3

**ТУРИСТСКИЙ СТАТУС СУБЪЕКТОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ:
ДИНАМИКА И ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ****Фаронова Ю.В.***ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий», Уфа, e-mail: faronova2012@mail.ru*

Актуальность туризма для социально-экономического развития страны определяется вкладом отрасли в валовой внутренний продукт, экспортом услуг в мировом экспорте услуг, динамикой роста отрасли за год, в том числе в сравнении с ростом ВВП, количеством занятых в отрасли. Научно-практический интерес к туристскому пространству Российской Федерации (РФ) обусловлен различиями в уровне развития туристско-рекреационных систем субъектов страны. К предмету исследования отнесен вопрос стабильности позиций субъектов-лидеров и субъектов-аутсайдеров РФ по туристскому статусу по данным расчетов за 2013, 2019, 2020 гг. Рассчитан интегральный показатель, отражающий позиции субъектов РФ в сфере туризма («туристский статус субъекта»). Для расчета показателя были использованы относительные статистические показатели: количество российских граждан, размещенных в коллективных средствах размещения, в расчете на 1000 чел.; количество иностранных граждан, размещенных в коллективных средствах размещения, в расчете на 1000 чел.; количество турпакетов, реализованных населению, в расчете на 1000 чел.; количество туристских фирм в расчете на 1000 чел. Данные показатели рассчитаны автором. Проведена аналитика изменения туристского пространства страны на основании ранжирования субъектов страны по туристскому статусу за 2013, 2019, 2020 гг. Определены субъекты-лидеры, субъекты-аутсайдеры по рейтинговым позициям в сфере туризма. Для этого показатель туристского статуса субъекта сравнивался с показателем туристского статуса, рассчитанного для Российской Федерации. Отражены тенденции в развитии туризма на уровне субъектов страны по данным расчетов за 2013, 2019, 2020 гг.

Ключевые слова: туризм, субъекты страны, туристский статус, ранжирование, тенденции

**THE TOURIST STATUS OF CONSTITUENT ENTITIES
OF THE RUSSIAN FEDERATION: DYNAMICS AND SPATIAL FEATURES****Faronova Yu.V.***Ufa University of Science and Technology, Ufa, e-mail: faronova2012@mail.ru*

The relevance of tourism for the socio-economic development of the country is determined by the contribution of the industry in the gross domestic product, the export of services in the world export of services, the dynamics of industry growth per year, including in comparison with the growth of GDP, the number of employed in the industry. The scientific and practical interest in the tourism space of the Russian Federation (RF) is due to differences in the level of development of tourist and recreational systems of the country's subjects. The subject of the study is attributed to the stability of the positions of subjects of leaders and subjects of the outsiders of the Russian Federation on tourist status according to calculations for 2013, 2019, 2020. An integral indicator is calculated, reflecting the positions of the constituent entities of the Russian Federation in the field of tourism ("tourist status of the subject"). Relative statistical indicators were used to calculate the indicator: the number of Russian citizens located in collective accommodation agents per 1000 people.; the number of foreign citizens accommodated in collective accommodation agents per 1000 people.; the number of travel packets implemented by the population per 1000 people.; The number of travel companies per 1000 people. These indicators are designed by the author. Analysis of a change in the country's tourist space was carried out on the basis of the ranking of subjects of the country on tourist status for 2013, 2019, 2020. The subjects of the leaders, the subjects of the Outsiders on the rating positions in the field of tourism are determined. For this, the indicator of the tourist status of the subject was compared with the indicator of the tourist status calculated for the Russian Federation. Reflecting trends in the development of tourism at the level of the country's subjects according to calculations for 2013, 2019, 2020.

Keywords: tourism, subjects of the country, tourist status, ranking, trends

Актуальность туризма для социально-экономического развития страны определяется вкладом отрасли в валовой внутренний продукт, экспортом услуг в мировом экспорте услуг, динамикой роста отрасли за год, в том числе в сравнении с ростом ВВП, количеством занятых в отрасли. По данным Агентства стратегических инициатив РФ, в 2019 г. вклад туризма в мировой ВВП составил 10%, удельный вес туризма в экспорте услуг на мировом уровне – более 28%, рост отрасли был выше роста мирового ВВП (более 3,5%); в РФ

роль туризма в ВВП страны оценивалась в 5,5 трлн руб. (5% ВВП), Россия занимала 39 место из 140 стран по индексу конкурентоспособности в сфере туризма, 5 место по природно-культурному потенциалу [1]. Практическая значимость определения туристского статуса субъектов страны определяется необходимостью формирования политики структуризации регионов по туристской специализации, формированием конкурентоспособного туристского продукта с учетом дифференциации туристского пространства, разработкой мастер-планов

туристских территорий и вовлечением периферийных регионов в туристское развитие страны [2, с. 85]. Развитие туризма в РФ предполагает «мониторинг туристско-рекреационных ресурсов в пространственном аспекте, использование типового туристско-рекреационного паспорта, определение перспективных туристских направлений, выделение приоритетных туристских территорий, формирование методологии пространственного развития» [3, с. 60], что определяет практическую актуальность проведения аналитики туристского пространства страны.

Цель исследования заключается в определении тенденций динамики и пространственных особенностей туристского статуса субъектов Российской Федерации за 2013, 2019, 2020 гг. Анализ пространственных различий РФ по туристскому статусу (ТС) на уровне субъектов страны за 2013, 2019, 2020 гг. позволяет определить ведущие, средние, отстающие субъекты и субъекты-аутсайдеры страны в сфере туризма.

Материалы и методы исследования

Методика работы включает следующие этапы:

1) формирование базы данных для работы (статистические показатели по данным Росстата и упраздненного Ростуризма: численность населения субъектов РФ; количество российских граждан, размещенных в коллективных средствах размещения; количество иностранных граждан, размещенных в коллективных средствах размещения; количество турпакетов, реализованных населению; количество туристских фирм) [4, 5];

2) расчет относительных показателей: количество российских граждан, размещенных в коллективных средствах размещения, в расчете на 1000 чел. (показатель А); количество иностранных граждан, размещенных в коллективных средствах размещения, в расчете на 1000 чел. (показатель Б); количество турпакетов, реализованных населению, в расчете на 1000 чел. (показатель В); количество туристских фирм в расчете на 1000 чел. (показатель Г). Показатели рассчитаны за 2013, 2019, 2020 гг. в разрезе субъектов РФ;

3) расчет интегрального показателя туристского статуса (ТС) субъекта РФ по формуле $ТС = \sqrt[4]{A \times B \times V \times \Gamma}$. Чем выше значение рассчитанного показателя, тем более высокий туристский статус занимает субъект РФ;

4) определение субъектов страны по типам и уровню туристского статуса. Основные градации для оценки: а) при превышении показателя ТС субъекта над показателем ТС РФ (соотношение 1,0 и более) данные субъекты относятся к типу ведущих по ТС субъектов страны (субъекты-лидеры); б) при соотношении в диапазоне 0,7–0,99 формируется тип приоритетных субъектов по ТС; в) при соотношении в диапазоне 0,4–0,69 формируется тип отстающих субъектов страны по ТС (отстающие субъекты); г) при соотношении менее 0,4 формируется тип субъектов-аутсайдеров по ТС.

Цель аналитики заключается в определении пространственной динамики туристского статуса субъекта страны с 2013 г. к 2019 и 2020 гг.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты расчетов и ранжирование субъектов РФ по туристскому статусу отражены в табл. 1.

Динамика количества субъектов страны по типам и уровню туристского статуса представлена на рис. 1.

В туристском пространстве России динамика типов субъектов по туристскому статусу определялась нарастанием негативных тенденций. Это определяется переходом от доминирования группы отстающих и приоритетных субъектов в 2013 г. к доминированию группы отстающих субъектов и субъектов-аутсайдеров в 2019 г. Ситуация негативного доминирования в туристском пространстве страны укрепились и ухудшилась в 2020 г. вследствие преобладания в структуре субъектов страны по типам туристского статуса субъектов-аутсайдеров и отстающих субъектов. Расширение туристского пространства субъектов-аутсайдеров было обусловлено ухудшением уровня туристского статуса субъектов, которые в 2013 г. были представлены в типе «отстающих субъектов»: это Ненецкий АО, Якутия, Ханты-Мансийский АО (ХМАО), Томская, Ивановская, Орловская области, Еврейская АО, Башкортостан, Липецкая, Волгоградская, Кемеровская, Кировская области, Калмыкия, Ямало-Ненецкий АО (ЯНАО), Брянская область, Удмуртия, Чувашия. Группа субъектов-аутсайдеров с неизменным статусом аутсайдеров включает Тыву, Хакасию, Мордовию, Марий Эл, Карачаево-Черкессию, Адыгею, Северную Осетию, Курскую, Тамбовскую, Саратовскую, Курганскую, Оренбургскую области.

Таблица 1

Ранжирование субъектов РФ по показателю туристского статуса
за 2013, 2019, 2020 гг.

Субъект РФ	Показатель туристского статуса субъекта страны			Ранг субъекта страны по показателю туристского статуса		
	2013 г.	2019 г.	2020 г.	2013 г.	2019 г.	2020 г.
Российская Федерация	67,5	100,8	53,6	–	–	–
Город Москва	125,0	191,3	132,5	2	2	1
Город Санкт-Петербург	170,9	252,0	105,7	1	1	2
Республика Карелия	105,9	171,3	84,6	5	3	3
Республика Крым	0,0	119,1	76,8	–	7	4
Краснодарский край	63,0	114,2	66,6	16	8	5
Мурманская область	56,4	87,8	65,8	23	20	6
Республика Алтай	107,0	94,2	61,2	4	14	7
Калининградская область	84,7	123,9	60,7	8	5	8
Севастополь	0,0	106,0	59,1	–	12	9
Калужская область	83,0	97,1	56,0	9	13	10
Республика Татарстан	66,3	93,7	51,7	12	15	11
Тверская область	47,2	70,1	47,7	34	26	12
Камчатский край	69,2	119,2	46,1	11	6	13
Ярославская область	48,2	106,9	45,5	32	11	14
Хабаровский край	64,1	108,1	45,2	15	10	15
Псковская область	62,6	88,5	44,8	17	19	16
Новосибирская область	60,7	78,2	43,6	19	22	17
Московская область	55,7	77,4	43,4	24	24	18
Сахалинская область	79,6	89,0	42,8	10	18	19
Иркутская область	62,1	83,8	42,1	18	21	20
Тюменская область без АО	58,4	75,6	42,1	21	25	21
Приморский край	114,4	158,4	39,6	3	4	22
Свердловская область	64,9	78,1	38,3	13	23	23
Самарская область	50,2	56,0	37,2	29	35	24
Астраханская область	59,1	61,7	36,0	20	32	25
Амурская область	85,4	111,5	35,7	7	9	26
Новгородская область	94,2	92,4	34,6	6	17	27
Магаданская область	57,6	61,8	34,0	22	31	28
Нижегородская область	53,1	68,0	34,0	26	28	29
Пермский край	47,3	54,7	33,2	33	39	30
Ленинградская область	28,5	68,4	32,6	64	27	31
Тульская область	36,1	51,2	29,4	46	41	32
Ростовская область	35,9	55,7	29,1	48	37	33
Омская область	53,5	53,2	28,8	25	40	34
Вологодская область	47,0	55,9	28,8	35	36	35
Архангельская область без АО	48,4	67,7	27,9	31	29	36
Костромская область	45,4	56,5	27,9	38	34	37
Рязанская область	30,9	47,2	27,7	56	45	38
Челябинская область	44,5	47,3	27,4	40	44	39
Ставропольский край	46,3	55,6	26,3	37	38	40
Республика Коми	51,8	48,4	26,3	28	43	41

Окончание табл. 1

Субъект РФ	Показатель туристского статуса субъекта страны			Ранг субъекта страны по показателю туристского статуса		
Владимирская область	64,3	92,9	26,1	14	16	42
Красноярский край	43,9	57,2	26,1	42	33	43
Ульяновская область	30,0	41,9	26,0	59	51	44
Забайкальский край	44,8	48,7	24,7	39	42	45
Алтайский край	33,8	44,8	23,6	50	46	46
Белгородская область	21,8	40,2	23,3	70	56	47
Смоленская область	42,0	43,8	23,1	43	48	48
Республика Бурятия	46,9	66,6	23,1	36	30	49
Пензенская область	21,1	35,6	21,4	72	64	50
Воронежская область	17,8	40,0	21,3	75	58	51
Кировская область	30,8	40,1	21,1	57	57	52
Ненецкий автономный округ	52,9	39,4	21,1	27	59	53
Республика Башкортостан	32,9	42,5	21,1	52	49	54
Томская область	41,1	40,8	20,5	44	53	55
Удмуртская Республика	30,0	40,4	19,9	58	55	56
Ивановская область	36,8	40,7	19,9	45	54	57
Орловская область	34,9	34,1	19,8	49	69	58
Ханты-Мансийский АО – Югра	44,0	42,0	19,5	41	50	59
Курская область	23,1	35,0	19,4	68	65	60
Волгоградская область	32,0	38,4	19,3	53	60	61
Липецкая область	33,2	41,3	19,2	51	52	62
Республика Хакасия	20,7	37,9	17,9	73	61	63
Чувашская Республика	27,1	32,7	17,9	65	72	64
Брянская область	29,5	34,7	17,6	61	67	65
Ямало-Ненецкий АО	29,9	33,9	17,4	60	70	66
Кемеровская область – Кузбасс	31,7	34,4	17,1	54	68	67
Оренбургская область	28,7	36,8	16,4	62	62	68
Республика Марий Эл	23,7	33,3	15,9	67	71	69
Саратовская область	22,8	25,1	15,7	69	74	70
Курганская область	21,6	34,8	15,4	71	66	71
Еврейская автономная область	36,0	35,9	14,4	47	63	72
Республика Саха (Якутия)	49,8	43,9	14,2	30	47	73
Республика Калмыкия	31,1	24,9	13,7	55	76	74
Республика Северная Осетия – Алания	10,2	17,7	12,6	80	79	75
Республика Адыгея	24,1	24,2	12,3	66	77	76
Тамбовская область	15,1	26,3	12,1	77	73	77
Республика Мордовия	20,7	24,9	12,0	74	75	78
Карачаево-Черкесская Республика	13,1	20,2	9,1	78	78	79
Республика Тыва	17,5	14,5	8,1	76	81	80
Чукотский автономный округ	28,6	13,0	7,9	63	82	81
Кабардино-Балкарская Республика	10,8	15,3	6,6	79	80	82
Чеченская Республика	3,6	10,0	2,7	81	83	83
Республика Дагестан	2,0	7,3	1,8	82	84	84
Республика Ингушетия	0,0	3,0	0,7	–	85	85

Рассчитано автором.



Рис. 1. Динамика количества субъектов РФ по типам и уровню туристского статуса в 2013, 2019, 2020 гг.

Таблица 2

Количество размещенных иностранных граждан в КСР в расчете на 1000 чел. за 2013, 2019, 2020 гг. (субъекты с превышением показателя относительно РФ)

	2013 г.		2019 г.		2020 г.
Санкт-Петербург	206,09	Санкт-Петербург	420,92	Москва	86,66
Москва	151,35	Москва	408,12	Санкт-Петербург	56,32
Приморский край	60,89	Приморский край	211,75	Мурманская область	41,78
Калужская область	59,13	Иркутская область	114,75	Иркутская область	22,80
Новгородская область	59,00	Калининградская область	98,45	Амурская область	16,63
Республика Карелия	54,26	Владимирская область	89,52	Приморский край	14,75
Калининградская область	53,26	Новгородская область	80,78	РФ	14,74
Сахалинская область	46,18	Республика Карелия	77,18		
Псковская область	38,87	Мурманская область	74,91		
Амурская область	34,48	РФ	73,97		
РФ	30,96				

К особенностям динамики туристского пространства страны можно отнести формирование ядра – группы субъектов-лидеров по ТС и его относительную стабильность без нарастания позитивных тенденций. Москва, Санкт-Петербург, Калужская область, Карелия, Калининградская область, Крым и Севастополь, Краснодарский край, Республика Алтай – это субъекты-лидеры по ТС с относительно стабильным лидерским статусом. С течением времени данный тип не расширился за счет новых субъектов. Негативным процессом развития туристского пространства страны можно считать потерю рядом субъектов-лидеров своего статуса и переход в группу приоритетных (это

Новгородская область, Амурская область, Приморский край, Сахалинская область, Камчатский край).

Лидерские позиции субъектов объясняются разными причинами: наличием туристских ресурсов российского и мирового значения (Санкт-Петербург, Москва), яркими природными туристскими ресурсами и выгодным размещением относительно субъектов-лидеров и потребительского спроса (Карелия), транзитно-географическим положением в сочетании с историческими городами и объектами экологического туризма (Калининградская область), специализацией на санаторно-курортном отдыхе и летним высоким сезоном отдыха

вследствие физико-географических предпосылок для туризма (Крым, Краснодарский край), а также социально-демографическим благополучием [6, с. 80], комплексом современных видов туризма и формированием инфраструктурного комплекса отдыха, развлечений, гостеприимства [7, с. 175]. Приморский край, Амурская область не сформиро-

вали известные туристские дестинации, отличаются высоким рангом в рейтинге размещения иностранных граждан по причине их приграничного положения с Китаем. Экзотичная природа Камчатского края в сочетании с высокой стоимостью организации отдыха сделала его привлекательным для иностранных туристов.

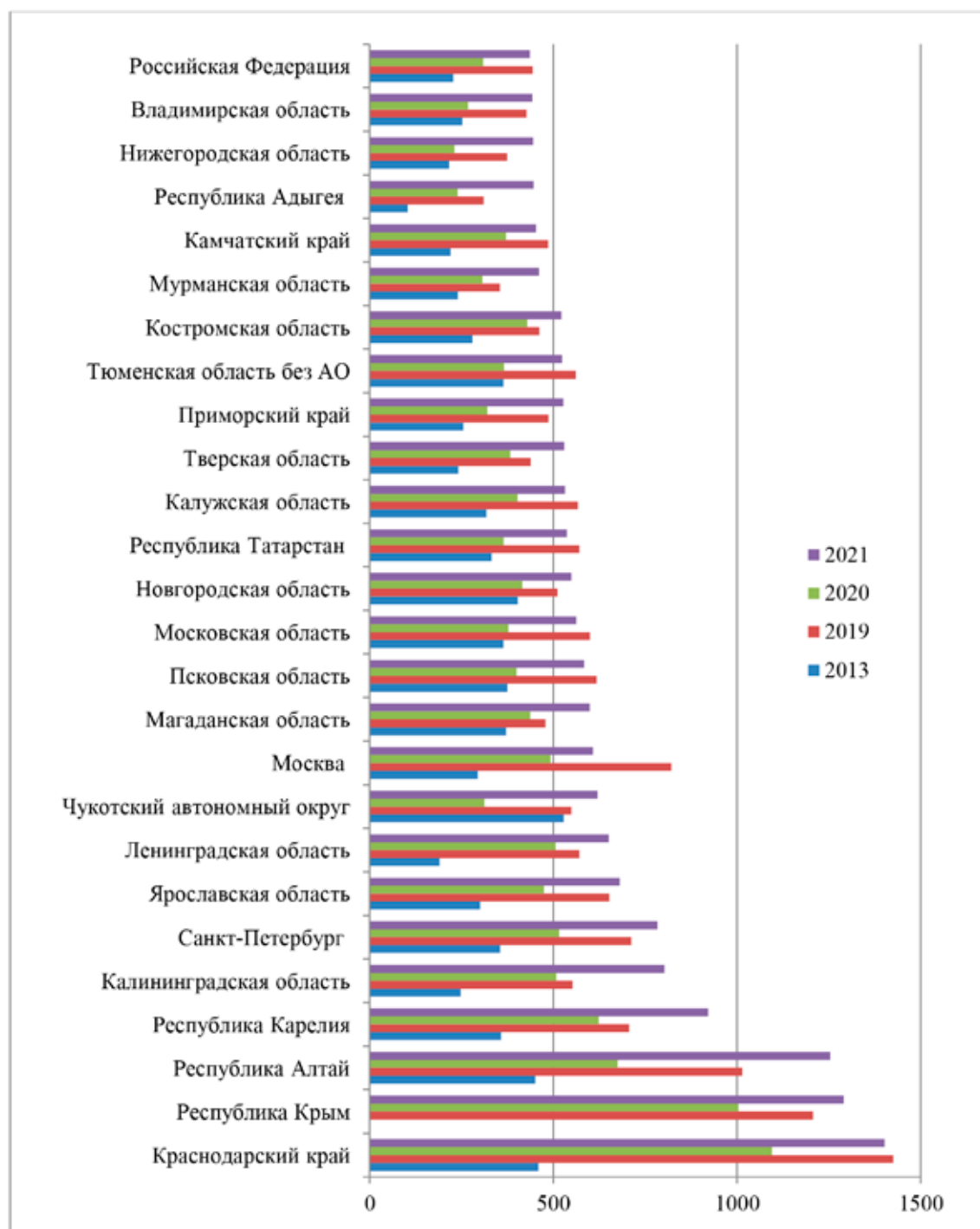


Рис. 2. Количество российских граждан, размещенных в КСР, в расчете на 1000 чел.

Сократился такой показатель, как количество размещенных иностранных граждан в коллективных средствах размещения (КСР), в расчете на 1000 чел. (табл. 2) за рассматриваемые годы. Ситуация 2020 г. по данному показателю стала хуже ситуации 2013 г. как в РФ в целом, так и в субъектах-лидерах страны (табл. 2).

В субъектах РФ увеличился удельный показатель количества российских граждан, размещенных в коллективных средствах размещения (рис. 2), что свидетельствует о тенденции роста внутреннего туризма в РФ.

Существенная поляризация туристского пространства возникает в окружении Москвы и Санкт-Петербурга. Москва окружена субъектами, входящими в состав приоритетных (Ярославская, Московская области), отстающих (Тульская, Рязанская, Владимирская, Смоленская области). Санкт-Петербург расположен в окружении лидирующего субъекта (Карелия), приоритетных (Ленинградская, Псковская, Новгородская, Вологодская области). Уровень туристского пространства вокруг Санкт-Петербурга выше по сравнению с Москвой.

В Северо-Кавказском федеральном округе (ФО) 6 из 7 субъектов отнесены к группе аутсайдеров на фоне реализации проектов горнолыжного сектора в Ингушетии, Карачаево-Черкесии, Чечне, Кабардино-Балкарии, также инвестиций в социально-экономическое развитие и инфраструктурный комплекс региона [8, с. 2]. В Приволжском ФО 8 субъектов отнесены к аутсайдерам со снижением позиции в динамике (Оренбургская область, Башкортостан, Удмуртия, Марий Эл, Мордовия, Чувашия, Кировская, Саратовская области), 5 – к отстающим (Нижегородская область, Пермский край, Самарская, Пензенская, Ульяновская области), Татарстан – к приоритетному типу. Отмечается, что «виды туристско-рекреационных продуктов Приволжского ФО требуют значительных инвестиций в туристскую инфраструктуру, актуально формирование высокого качества обслуживания, переход к эффективному брендингу туристских территорий [9, с. 137], в регионе реализуются программы промышленного туризма [10, с. 145]. В Уральском, Сибирском, Дальневосточном ФО только Алтайский край представляет субъекты-лидеры. Свердловская, Иркутская, Новосибирская области, Камчатский, Приморский, Хабаровский края и Сахалинская область вошли в тип приоритетных субъектов. Курганская область, ХМАО, ЯНАО, Тыва, Хакасия, Кемеровская, Томская области, Якутия,

Еврейская АО вошли в тип субъектов-аутсайдеров. Барьеры и особенности развития туристского пространства данного региона – это «первичный сектор экономики, преобладание природных туристских ресурсов, неустойчивые доходы населения, экологические конфликты, некачественная инфраструктура или ее отсутствие» [11, с. 11].

Заключение

Дифференциация туристского пространства РФ подтверждается рассчитанным показателем туристского статуса субъектов страны, определяется совокупностью признаков: уровнем развития средств размещения, транспортной инфраструктурой, сезонностью отдыха, качеством организации отдыха, ролью туризма как точки роста и развития на региональном уровне, уровнем системной поддержки туризма, стоимостью отдыха и уровнем жизни населения, проектированием развития специальных видов туризма.

Список литературы

1. Агентство стратегических инициатив (АСИ). [Электронный ресурс]. URL: <https://asi.ru/leaders/initiatives/tourism/> (дата обращения: 30.03.2023).
2. Лавров В.В. Формирование социально-экономической пространственной системы развития туризма на основе мониторинга туристско-рекреационных ресурсов территории // Петербургский экономический журнал. 2021. № 4. С. 82–92. DOI: 10.24412/2307-5368-2021-4-82-92.
3. Варивода В.С. Туризм как приоритетное направление пространственного развития регионов Российской Федерации // Сервис в России и за рубежом. 2022. Т. 16. № 5 (102). С. 56–65. DOI: 10.5281/zenodo.7394993.
4. Постуризм. Статистика. [Электронный ресурс]. URL: <https://tourism.gov.ru/other/statistika/> (дата обращения: 30.01.2023).
5. Регионы России. Социально-экономические показатели – 2021 г. [Электронный ресурс]. URL: https://gks.ru/bgd/regl/b21_14p/Main.htm (дата обращения: 30.01.2023).
6. Фаронова Ю.В. Типология субъектов и геостратегических территорий России по динамике численности населения за межпереписные периоды // Успехи современного естествознания. 2022. № 8. С. 71–80. DOI: 10.17513/use.37871.
7. Тхао М.Т.Ф., Змияк С.С., Решетникова Н.Н. Тенденции развития туризма в условиях кризиса: обзор мирового и российского сектора // Научный вестник: финансы, банки, инвестиции. 2022. № 1 (58). С. 169–178.
8. Литвинова Т.Н. Северный Кавказ в проектировании стратегии пространственного развития России: проблемы и возможности // Теория и практика общественного развития. 2018. № 5 (123). С. 12–15. DOI: 10.24158/tpor.2018.5.1.
9. Лежнин В.В., Полухина А.Н. Развитие локальных систем в сфере туризма и рекреации (на примере Приволжского федерального округа): анализ и перспективы // Сервис в России и за рубежом. 2021. Т. 15. № 4 (96). С. 134–150. DOI: 10.24412/1995-042X-2021-4-134-150.
10. Фаронова Ю.В. Промышленный туризм: российская география, возможности Республики Башкортостан // Доклады Башкирского университета. 2022. Т. 7. № 3. С. 143–150. DOI: 10.33184/dokbsu-2022.3.2.
11. Глазырина И.П. Туризм на Востоке и Западе России: опыт сравнительного анализа // География и природные ресурсы. 2019. № 4 (158). С. 5–12. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2019-4(5-12).

СТАТЬИ

УДК 553.48:549.3

**МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
МЕТАСОМАТИЧЕСКИ ИЗМЕНЕННЫХ ПОРОД
ЮГО-ВОСТОЧНОГО ФЛАНГА ИНТРУЗИВА КУВАЛОРОГ (КАМЧАТКА)****Кунгурова В.Е.***Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения
Российской академии наук, Петропавловск-Камчатский, e-mail: kunwe@yandex.ru*

В пределах юго-восточного фланга интрузивного массива Кувалорог выполнены исследования зон измененных пород, которые простираются в северо-восточном направлении и охватывают верховья р. Правых-Кичинская и р. Перевозная. В статье дана минералого-петрографическая характеристика метаморфогенно-метасоматических образований из этих тектонически ослабленных зон и рассмотрены возможности их рудоносности. Изучение измененных пород, в том числе в зонах тектонических нарушений, весьма актуально, поскольку одной из важнейших задач при формировании медно-никелевого оруденения является выявление пост(мета)магматических преобразований пород, руд и особенностей перераспределения рудного вещества на заключительной стадии рудно-магматического процесса. Метасоматически измененные породы наряду с такими новообразованными минералами, как биотит, пироксен, кварц, гранат, графит, содержат мелкую рассеянную вкрапленность сульфидов. Ранее накопленный материал по сульфидным медно-никелевым объектам Камчатской никеленосной провинции, анализ выявленных в ходе проведенных исследований особенностей строения метасоматических зональных комплексов, распределение и взаимоотношение рудных минералов в породах, установленные парагенетические минеральные ассоциации позволяют сделать вывод о том, что процесс рудообразования имел сложный многоэтапный характер. На раннем собственно магматическом этапе происходило развитие сингенетичной вкрапленности магнетита и пирротина. В пост-магматический этап мог происходить перенос значительной массы рудного вещества в составе высокотемпературных флюидов, действующих в зонах повышенной проницаемости, приуроченных к долгоживущим разломам и связывающих магматические камеры с гипабиссальными горизонтами земной коры. Происходящие в этих камерах процессы дифференциации приводили к развитию комплекса магм, последовательное внедрение которых вызывало образование контактово-метасоматических образований.

Ключевые слова: интрузив Кувалорог, зональные комплексы, тальк-хлоритовые породы, полевошпат-кварцевые метасоматиты, контактово-метасоматические образования

**PETROGRAPHICAL AND MINERALOGICAL CHARACTERISTICS
OF METASOMATICALLY ALTERED ROCKS OF KUVALOROG
INTRUSION SOUTHEASTERN FLANK (KAMCHATKA)****Kungurova V.E.***Research Geotechnological Center of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences,
Petropavlovsk-Kamchatskiy, e-mail: kunwe@yandex.ru*

The Kuvalorog intrusion altered rock zones, which extend northeastward and cover the headwaters of the Pravokikhchinskaya and Perevoznaya rivers, are investigated. The article gives mineralogical and petrographical characteristics of metamorphic and metasomatic formations of these tectonically weakened zones and considers their ore-bearing capacity. The study of altered rocks, including those in fault zones, is highly relevant, since one of the most important tasks in the course of the formation of copper-nickel mineralisation is the revealing of post-(meta) magmatic transformations of rocks, ores and features of redistribution of ore matter at the ore formation magmatic process final stage. Metasomatically altered rocks along with such newly formed minerals as biotite, pyroxene, quartz, garnet, and graphite contain small scattered phenocrysts of sulphides. The previously obtained data on copper-nickel sulphide deposits of the Kamchatka nickel-bearing province, the analysis of metasomatic zonal complexes structural features, as well as distribution and relationship of ore minerals in rocks, and established paragenetic mineral associations allow us to conclude that ore formation has been a complicated process. In the magmatic cycle early stage, the development of magnetite and pyrrhotite syngenetic phenocrysts took place. In the post-magmatic stage, a significant amount of ore material may have been transported as part of high-temperature fluids in high permeability zones confined to preexistent faults and linking magma chambers with hypabyssal bedding rocks of the Earth's crust. Differentiation processes taking place in these chambers led to the development of a complex of magmas, the successive introduction of which caused the generation of contact-metasomatic formations.

Keywords: Kuvalorog intrusion, zonal complexes, talc-chlorite rocks, quartz-feldspar metasomatites, contact-metasomatic formations

В конце 1960-х гг. в южной части Срединного хребта Центральной Камчатки были выявлены интрузивные массивы дукукского габбро-норит-кортландитового комплекса пород (Кувалорог, Дукук, Пеницкий, Немтицкий, Кагнисинский и др.), несущие медно-никелевую минерализацию.

Одним из наиболее перспективных на выявление промышленных медно-никелевых объектов является интрузивный массив Кувалорог, расположенный на периклинальном замыкании антиклинальной структуры Срединного хребта. В статье приведено краткое описание его

геологического строения; более подробно оно изложено в ряде публикаций [1, 2]. Массив залегает в сложнодислоцированной толще хейванской свиты мелового возраста, представленной метапесчаниками, углистыми и карбонатными филлитами. Породы хейванской свиты прорваны интрузивными образованиями позднемелового плагиогранит-гранодиоритового кольского комплекса (раннеэоценового по [3]), позднемелового кортландит-ортопироксенит-габброноритового дукусского комплекса (позднепалеоцен-раннеэоценового по [4]), неогенового гранодиоритового лавкинского (рис. 1). Контакты дукусской интрузии с вмещающими породами сопровождаются кварцевыми прожилками, ороговикованием вмещающих пород.

Самый большой по размерам из всех в пределах Камчатской никеленой провинции интрузив Кувалорог приурочен к зоне влияния Квинум-Степановского разлома [2, 5]. Основную массу пород массива составляют роговообманковое габбро (~50%), в разной степени окварцованное, биотитизированное; лейкократовые нориты (~30%), нередко амфиболизированные до образования горнблендитов, биотитизированные; в меньшем количестве встречены кортландиты и меланократовые нориты, оливковые нориты. Для пород дукусского комплекса в целом характерна повсеместная, хотя и разной интенсивности, амфиболизация, затушевывающая их первичный состав. Гидротермальные изменения, связанные с интрузиями дукусского комплекса, проявлены зонами окварцевания, кварцевыми, кварц-карбонатными, кварц-полевошпатовыми прожилками, часто с сульфидной медно-никелевой минерализацией. В эндоконтактной зоне (мощностью ~100–300 м) породы явно контаминированы, внешне осветлены, гранатизированы, содержат ксенолиты мигматизированных сланцев хейванской свиты, количество которых возрастает по мере приближения к непосредственному контакту интрузии с филлитовидными сланцами. В левом борту р. Правокихчинский, вблизи района исследований, контаминированные породы проявлены преимущественно в области экзоконтакта, в контактово-измененных (ороговикованных до гнейсов и мигматитов) сланцах хейванской свиты. Они в виде прожилков, жил пронизывают вмещающие породы на расстоянии > 1 км. Эта зона контактовых преобразований ранее включалась в состав интрузии, поскольку

количество инъекционного магматического материала сопоставимо с объемом вмещающих пород.

Интрузив разбит на отдельные блоки, границами которых являются зоны дробления разломов различных направлений. Амплитуда смещения блоков относительно друг друга колеблется от сантиметров до десятков метров. Породы на этих участках интенсивно изменены, что выражается в окварцевании, биотитизации, актинолитизации, графитизации.

В НИГТЦ ДВО РАН были проведены полевые исследования на юго-восточном фланге интрузивного массива Кувалорог. В результате комплекса геофизических работ, проведенных сотрудниками ОАО «Камчатгеология» в 1979–1982 гг., здесь была закартирована комплексная аномалия импеданса (пониженных сопротивлений) и переходных процессов суммарной шириной 500–700 м и протяженностью 6,5 км, прослеживающаяся в северо-восточном направлении. Она компенсируется с аномалией силы тяжести и положительным магнитным полем и, по мнению исследователей (Б.М. Дзюба, И.В. Евтихов, В.Н. Лукьянов), имеет рудную природу; причем на юго-западном окончании (проявление Рассоха) контролирует залежь массивных руд, а на северо-восточном – зону вкрапленного оруденения (проявление Кувалорог) (рис. 1). Руды проявления Рассоха содержат: Ni – 1,2–3,97%, Co – 0,056–0,19%, Cu – 0,36–1,2%, Au – 0,032–0,14 г/т, Pt – до 0,3 г/т, Pd – до 0,5 г/т, Rh до 0,2, Ru – до 0,15; в окисленных рудах проявления Кувалорог: Ni – до 0,15%, Co – 0,008%, Cu – 0,32%, Au – до 2 г/т, Σ Pt-дов – до 4,7 г/т [6]. На юго-восточном фланге в бассейне р. Правокихчинская с целью обнаружения сульфидных руд были пробурены вертикальные скважины глубиной 44 и 83 м соответственно (рис. 1). Были вскрыты графитизированные габбродиориты с вкрапленностью сульфидов до 20%, что предопределило на карте появление рудопроявления Правокихчинское, хотя максимальные содержания металлов в метасоматически измененных породах составили: никель – 0,015%, кобальт – 0,007%, медь – 0,04%.

Перечисленные выше, а также другие выявленные проявления и пункты сульфидной медно-никелевой минерализации интрузива Кувалорог локализуются, как правило, в участках повышенной проницаемости в пределах тектонических зон, сформировавшихся при активизации глубинных

разломов северо-западного и северо-восточного простираний. На них накладываются разломы субширотного простирания. В узлах пересечения субширотных разломов с разломами других направлений и локализуются рудопоявления южного сектора массива Кувалорог (проявления Рассоха, Кувалорог). На местности они выделяются локальными понижениями с ложбинами разных направлений. Нахождение инъекционного материала глубинного происхождения (в том числе рудного) на таких участках разуплотнения пород рамы вполне закономерно.

Цель исследования – изучение возможностей рудоносности метасоматически преобразованных пород. Наряду с такими новообразованными минералами, как биотит, пироксен, кварц, гранат, графит, метасоматиты содержат мелкую рассеянную вкрапленность сульфидов. Содержание в них цветных металлов по единичным результатам опробования предшественников составляло сотые доли %. Возможно, что минерализованные породы не всегда выведены на поверхность. В статье дана их минералого-петрографическая характеристика. Исследуемые линейно-вытянутые в северо-восточном направлении от проявлений Рассоха – Правокихчинское зоны метасоматически измененных пород прослеживаются до проявления Кувалорог и рассматриваются как структуры потенциально перспективные для локализации в них эпигенетических сульфидных руд инъекционного типа, о чем свидетельствует парагенетическая связь наиболее богатых сульфидных руд Кувалорогского интрузива с габброидами, претерпевшими в постмагматический этап автometасоматические преобразования.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований являлись зоны измененных пород на юго-восточном фланге массива Кувалорог, простирающиеся в северо-восточном направлении, охватывающие бассейн руч. Рассоха, верховья р. Правокихчинская и Перевозная и прослеживающиеся по простиранию на расстояние 3,5 км. На юго-западе эта зона пересечена системой субширотных разрывов, и здесь расположено сульфидное медно-никелевое рудопоявление Рассоха, а на северо-востоке – рудопоявление Кувалорог (рис. 1).

Многочисленные тектонические нарушения зоны мощностью от первых метров до 25–30 м сопровождаются дробленными

и метасоматически измененными породами. Нами был исследован ряд линейных тектонических зон со следующими видимыми метасоматическими новообразованиями: окварцевание, гранатизация, биотитизация, пироксенитизация, амфиболитизация. Породы часто лимонитизированы, графитизированы, с сульфидной вкрапленностью, рассеяны кварцевыми жилами и прожилками.

Проведены маршрутные геолого-поисковые наблюдения. Осуществлялось подробное описание и опробование измененных пород, петрологические и геохимические исследования, с акцентом на возможное установление их рудонесущей роли. Исследования осуществлялись с учетом данных, полученных предшественниками.

Основой минералого-петрографических исследований послужили просмотр минералов под биноклем и микроскопические наблюдения в шлифах в проходящем свете, при которых определялся минеральный состав пород, выяснялись их структурно-текстурные особенности. Образцы пород проанализированы в лабораториях ПГО «Камчатгеология», ИВиС ДВО РАН, ФГУП ИМГРЭ, определен химический состав, проведен спектральный полуколичественный анализ, атомно-эмиссионная спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой.

Результаты исследования и их обсуждение

В левом борту в верховьях р. Правокихчинская (т.н. 282, рис. 2) зафиксирована одна из зон измененных пород, имеющая мощность около 60 м, простирание 30°, которая уходит на правый берег (т.н. 219). Падение зоны на северо-запад под углом 65–70°.

Вмещающими породами являются массивные светло-серые биотит-роговообманковые габбродиориты (обр. Р-282, рис. 3, а). В выветрелом состоянии они приобретают скорлуповатую отдельность. Текстура породы неравномерная, структура среднезернистая. Наблюдается слабое изменение, заключающееся в частичном замещении амфибола биотитом и хризотилом, андезитом – альбитом.

Постепенно при продвижении к центральной части зоны габбродиориты теряют свой первоначальный облик за счет окварцевания и замещения темноцветных минералов вторичными. Они сменяются (вкряст простирания) хлоритизированными биотит-амфиболовыми габбродиоритами (обр. 282А, рис. 3, б).

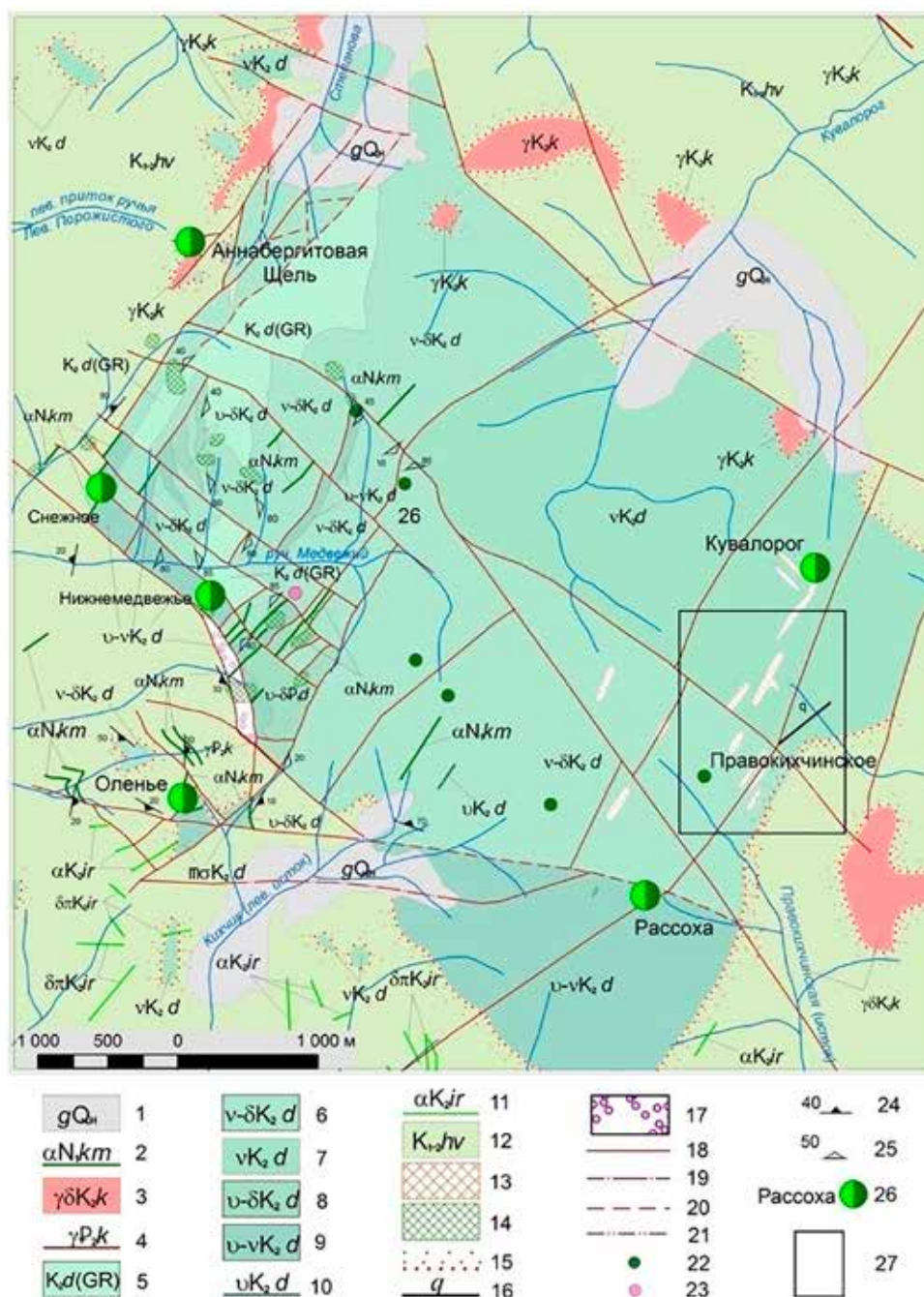


Рис. 1. Схематическая геологическая карта массива Кувалорог [1]:

1 – ледниковые отложения (голоцен), 2 – дайки андезитов кимитинского комплекса. Интрузии (3) и дайки (4) кольского комплекса: гранодиоритов, диоритов (δ), плагиогранитов и гранитов (γ). Фациальные разности интрузий дукусского комплекса сложного состава (5–10): 5 – гранатовые диориты, 6 – нориты и диориты, 7 – габбро и габбронориты, 8 – горнблендиты и диориты, 9 – ортопироксениты и габбро, метапироксениты, 10 – субпластовые тела пироксенитов, не выражающиеся в масштабе карты, 11 – ирунейские субвулканические образования – субпластовые тела андезитов (α) и диоритовых порфиринов (δπ), 12 – сланцы хейванской свиты, 13 – метасоматиты, 14 – вкрапленная сульфидная минерализация, 15 – контактово-измененные породы, 16 – жилы кварца, 17 – зоны полимиктового меланжа. Разрывные нарушения (18–21): 18 – достоверные, 19 – достоверные, скрытые под вышележащими образованиями, 20 – предполагаемые, 21 – предполагаемые, скрытые под вышележащими образованиями. 22 – медно-никелевые рудопоявления и их названия, 23 – медно-никелевые пункты минерализации, 24 – безникелевая пирротиновая минерализация в ксенолите сланца, 25, 26 – элементы наклонного залегания: сланцеватости (25), расслоенности интрузии (26); участок исследований (27)

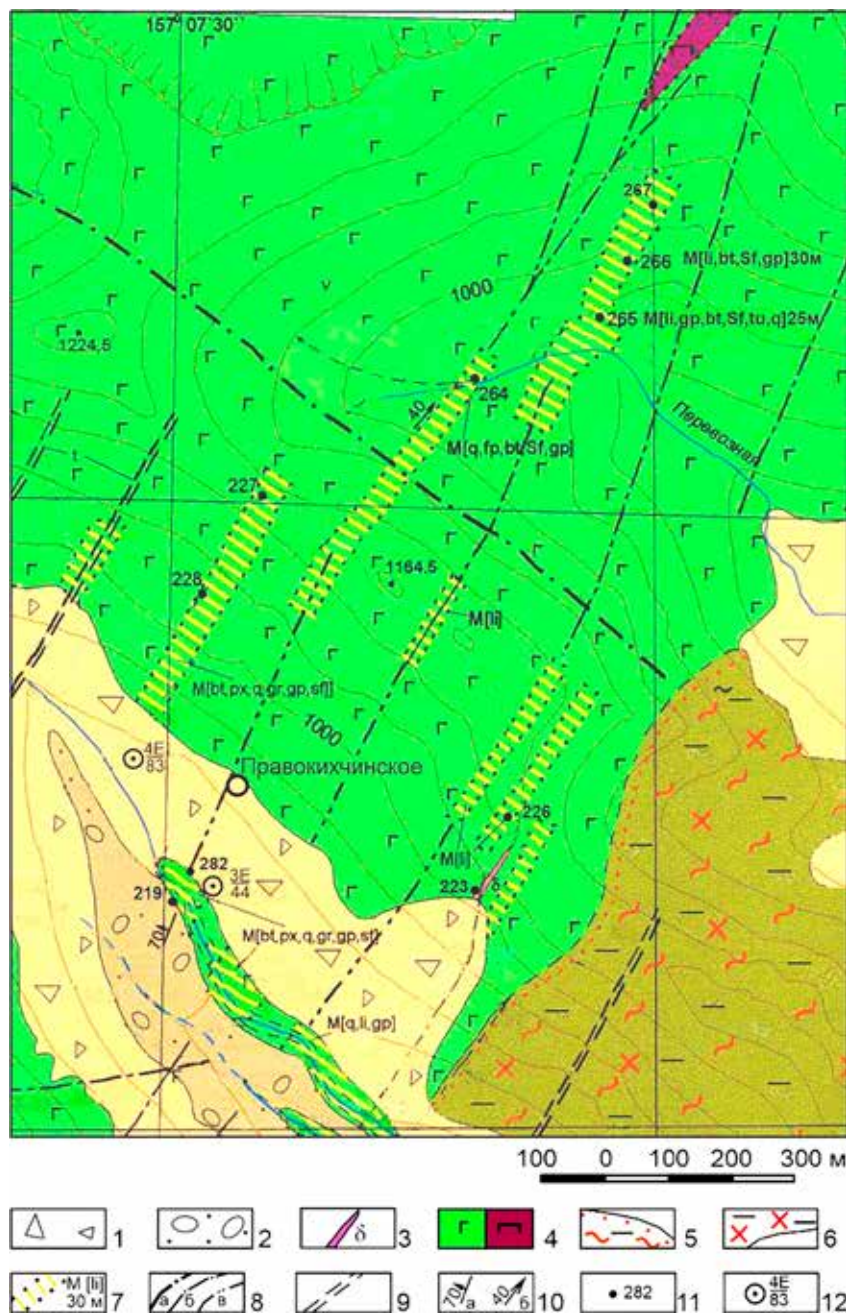


Рис. 2. Схематическая геологическая карта юго-восточной части интрузива Кувалорог (составлена на геологической основе Г.В. Кувакина, с дополнениями и изменениями автора):

1 – элювиально-делювиальные, коллювиальные отложения (Q_{IV}), 2 – ледниковые валуны, пески, супеси, суглинки (Q_{III}), 3 – дайки миоценовых диоритов и диоритовых порфиритов (δ), 4 – амфиболитизированные перидотиты ($\delta\sigma$), габбро, габбродиориты, габбронориты неразделенные (v) дукусского комплекса, 5–6 – породы контактового метаморфизма: приконтактные роговики, мигматизированные гнейсы и биотит-гранатовые кристаллические сланцы (5), участки распространения (до 50% и более) тел, жил и прожилков контаминированных диоритов и гранодиоритов, гранатизированных, биотитизированных (6), 7 – приразломные метасоматиты: зоны метасоматически измененных пород (M) с указанием мощности (30 м) и преобладающих в них минералов (px – пироксены, bt – биотит, gr – гранат, q – кварц, ti – турмалин, gf – графит, li – лимонит, sf – сульфиды, sp – полевые шпаты, ts – гидрослюда, a – амфиболы, ca – карбонаты), 8 – разрывные нарушения: установленные геолого-геофизическими методами главные (a), второстепенные (b), выраженные в современном рельефе в виде ложбин и рвов (v), 9 – тектонические зоны (t) предполагаемые, 10 – угол падения контактов (a), азимут простирания (b), 10 – пункты геологических наблюдений, 11 – скважины, их номера (в числителе), глубина (в знаменателе)

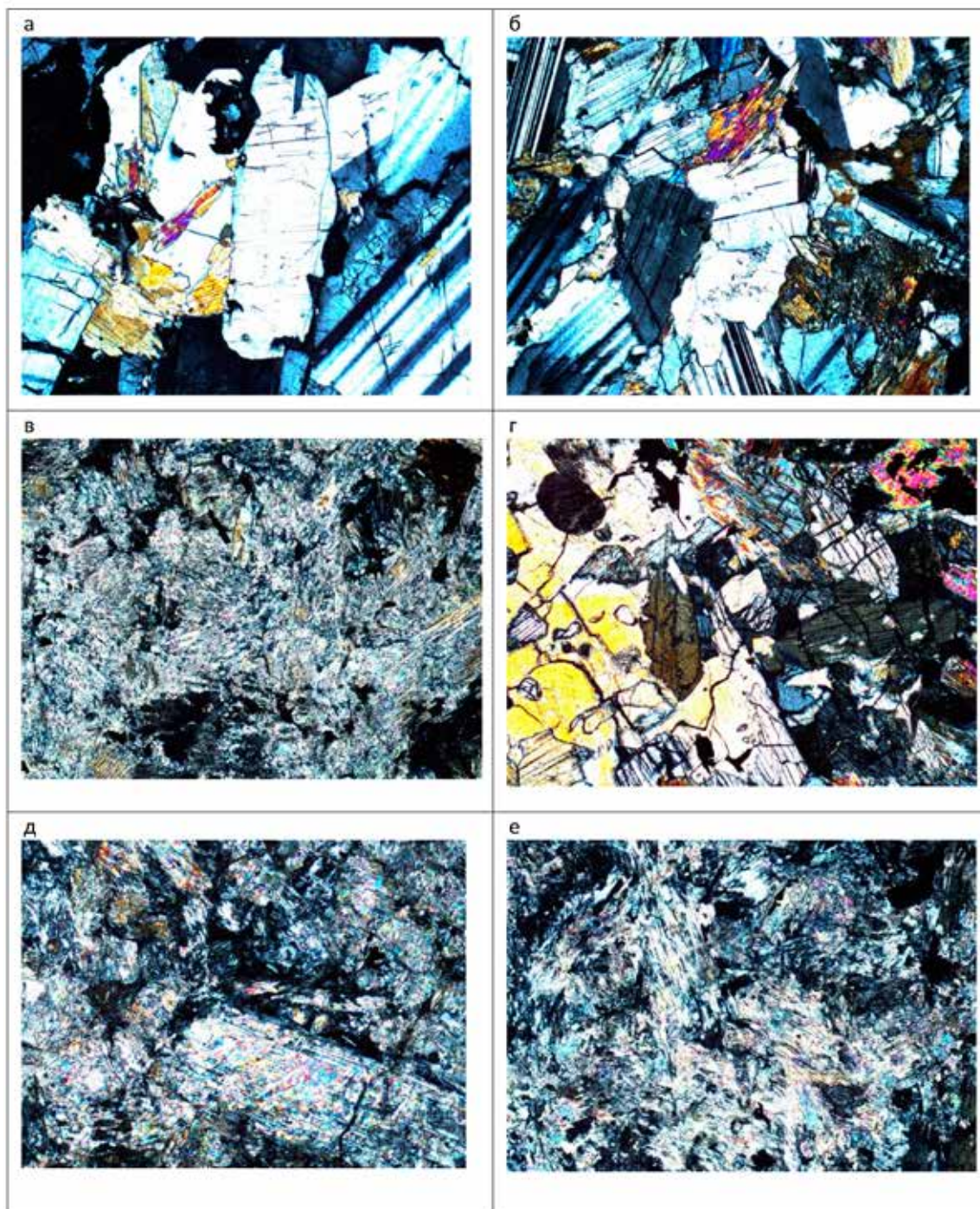


Рис. 3. Шлифы из зоны измененных пород (юго-восточный фланг интрузива Кувалорог), в скрещенных николях: а – роговообманковый габбродиорит (обр. 282), б – хлоритизированный биотит-амфиболовый габбродиорит (обр. 282А), в – хлорит-тальковая порода (обр. 282Б), г – пироксен-амфиболовая измененная порода (обр. 282В), д – хлорит-тальковая порода (обр. 282Д), е – тальк-хлоритовая порода (обр. 282Е)

Мощность этой зоны ~ 15 м. Текстура породы пятнистая, структура крупнозернистая. Пятнистость обусловлена скоплением зерен роговой обманки (35–40% от объема породы), представленной удлиненными

призматическими формами со слабо выраженным плеохроизмом. Отмечается развитие псевдоморфоз хлорита по амфиболу. Короткостолбчатые кристаллы лабрадора (№ 57–58) достигают размера до 2 мм, со-

держание его в породе составляет 50–55%; в пустотах и трещинах зерен встречены гидрослюда, серицит, кварц, соссюрит, эпидот, хлорит. Биотит (5%) представлен двумя генерациями: вторичным по амфиболу, развитым совместно с хлоритом и эпидотом, и первичными идиоморфными чешуями. Кварц (1–3%) заполняет интерстиции между зернами плагиоклаза. Рудные минералы составляют < 1. Это ксеноморфные зерна пирротина, реже халькопирита. Наблюдается приуроченность выделений рудных к участкам замещения амфибола биотитом, хлоритом. Текстура рудной массы неравномерно вкрапленная, структура эмульсионно-сидеронитовая. В этой зоне в результате слабопроявленного метасоматического преобразования возник комплекс новообразованных минералов, свойственный пропилитам: хлорит, эпидот, кварц [7]. Вероятно, что с этим процессом связано отложение части сульфидов.

Далее следует зона зеленовато-серых пород мощностью до 10–12 м, сложенная породой пепловидного облика. Это хлорит-тальковая порода, развитая по магматической амфибол-пироксенсодержащей магматической породе. По трещинам развиты лимонитизация и омарганцевание.

В этой зоне встречены участки мощностью до 3–4 м интенсивного разложения до состояния дресвы породы терракотово-светло-коричневого цвета с многочисленными зонками (до 1–2 см) графита. Порода состоит из талька (40%), представляющего собой ксеноморфные чешуйчато-пластинчатые различно ориентированные агрегаты; хлорита (30%) в виде новообразованных кустистых агрегатов, развитых самостоятельно или в ассоциации с тальком; и полуразрушенных выделений амфибола (20%), интенсивно замещенных тальком, хлоритом и частично – пятнами глинистых минералов (обр. Р 282 Б, рис. 3, в). Присутствуют единичные полуразрушенные крупные кристаллы энстатита с пятнами тальк-хлоритового или талькового агрегата; изредка в качестве вторичных установлен эпидот. Структура породы – лепидобластовая.

Вероятно, исходным минералом для новообразованного талька являлся энстатит, а для хлорита – амфибол и энстатит. Замещение пироксенов тальком происходит под влиянием кислых гидротермальных растворов, очевидно связанных с внедряющимися интрузиями гранитоидов. При этом на раннем этапе происходило образование амфибол-пироксеновых пород. Рудные (1–2%)

представлены ксеноморфными зернами пирротина и халькопирита в форме гнезд и отдельных прожилков, единичными выделениями пентландита. Среди вкрапленников рудных преобладает пирротин (85%). Зерна рудных не превышают 0,05 мм. В породе наблюдаются прожилки и колломорфные массы гетита.

Далее расположена зона развития пироксен-амфиболовых пород (центральная зона) с порфиробластовой структурой (обр. Р 282 В, рис. 3, г). Это самая большая по мощности зона – до 20 м. В породе преобладают амфиболы, представленные роговой обманкой (15%) в виде ксеноморфных выделений с совершенной спайностью, а также округленных зерен гастингсита (30%). Ромбические пироксены (энстатит – 15% и гиперстен – 10%) содержат округленные включения амфиболов. Полевые шпаты (олигоклаз № 30–31 (10%), ортоклаз (10%) и микроклин (1%)) содержат включения темноцветных минералов и практически не изменены. Биотит (1–2%) представлен ксеноморфными выделениями; в нем наблюдаются округлые зерна амфибола и рудных минералов. Присутствует графит в виде вкрапленников. Содержание рудных в зоне достигает 5% и представлено равномерной вкрапленностью зерен пирротина неправильной формы размером 0,0 n – 0,5 мм. Иногда они изометричны, но большинство ксеноморфны. Некоторые из этих выделений находятся в сростании с ксеноморфными образованиями халькопирита. Единично в зернах пирротина наблюдаются пластинки пентландита. Иногда вокруг пирротина наблюдаются оторочки и прожилки гетита. Данная порода может являться контактово-метасоматическим образованием, и большая часть сульфидных выделений может быть генетически связана с этим процессом.

Описанные выше породы сменяются зоной хлорит-тальковых пород (обр. 282Д, рис. 3, е). Текстура пятнистая, структура лепидобластовая, порфиробластовая. На 50% породы состоят из волокнистых и чешуйчатых агрегатов талька (50%), развитых по амфиболу и пироксену. Волокнисто-кустистые агрегаты хлорита (35%) также развиты по первично-измененным амфибол-пироксеновым образованиям. В ассоциации с тальком и хлоритом наблюдаются удлиненные выделения карбоната; энстатит (5–10%) представлен полуразрушенными крупнотаблитчатыми кристаллами; амфибол (5–10%) (роговая обманка) – рудимен-

тами волокнистого строения. Выделения рудных минералов приурочены к кристаллам разрушаемых темноцветных минералов, локализуясь в оторочке вокруг этих кристаллов и в трещинках внутри них. Присутствует графит. Содержание рудных составляет 3–4%, представлены равномерной вкрапленностью ксеноморфных и изометричных зерен пирротина с редкими выделениями халькопирита. Местами наблюдаются гнезда более крупных (до 0,3 мм) ксеноморфных, скелетных и параллельно-пластинчатых выделений пирротина. Встречены редкие прожилки гетита, пересекающие отдельные зерна пирротина. В центре зоны среди хлорит-талковых пород наблюдался участок (до 2 м) интенсивной графитизации. Отмечены горизонтально и вертикально ориентированные зонки-прожилки мощностью 3–7 см и гнезда 2х5 см, состоящие из графита. В целом материал зоны представлен рыжевато-охристыми интенсивно измененными лимонитизированными породами, превращенными в дресву.

Хлорит-талковая порода сменяется тальк-хлоритовой (Р-282Е, рис. 3, е), состоящей на 50% из новообразованного хлорита. Содержание талька достигает 35%. В породе наблюдаются единичные рудименты чешуек биотита, практически нацело замещенных хлоритом. Выделения рудных минералов составляют ~5%. Они пространственно связаны с остатками амфиболов, часто заполняя выщелоченное пространство. На фоне равномерной вкрапленности мелких (0,0 п мм) изометричных и неправильных зерен пирротина наблюдаются более крупные (до 2 мм) ксеноморфные и скелетные выделения пирротина с интенсивной вкрапленностью халькопирита (в отдельных выделениях пирротина до 40% халькопирита). В целом содержание халькопирита составляет 10–15% от количества пирротина. В отдельных зернах пирротина наблюдаются редкие пламенивидные выделения пентландита.

В табл. 1, 2 приведены данные элементного состава проб по результатам количественного спектрального анализа, атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, а также результаты макрокомпонентного состава проб.

По химическому составу, содержанию элементов среди измененных пород выделяются тальк-хлоритовые, хлорит-талковые (обр. 282Б, 282Д, 282Е), пироксен-амфиболовые породы (обр. 282В, а также описанные ниже обр. 265-1, 266А). В отличие

от мало затронутых вторичными изменениями биотит-амфиболовых габбродиоритов (обр. 282, 282А), в них отмечены повышенные концентрации MgO (19,78–26,37%), $\text{FeO}_{\text{общ.}}$, Cr, V, Mn, Zn (табл. 1, 2), пониженные Al_2O_3 , CaO, Na_2O , K_2O . Количество рудных элементов (Ni, Cu, Co) в измененных разновидностях в 3–6 раз превышает таковые в исходных габбродиоритах. В пироксен-амфиболовых породах отмечены содержания палладия до 0,484 г/т.

Далее зона перекрыта крупноглыбовыми элювиально-делювиальными образованиями, представленными в основном хлоритизированными биотит-амфиболовыми габбродиоритами.

Таким образом, в результате исследований измененных пород в зоне тектонического нарушения (т.н. 282) выявлено, что в центральной ее части (обр. 282В) образовались амфибол-пироксеновые породы. Этот процесс сопровождался развитием вкрапленности рудных минералов по темноцветам. В дальнейшем (обр. 282Д, 282Е, рис. 3), в результате автометаморфических преобразований происходило развитие биотита, а при действии поздних гидротермальных растворов осуществлялось оталькование. Образование хлорита, эпидота, кварца и карбоната происходило в стадию преобразования как исходных биотит-роговообманковых габбродиоритов, так и амфибол-пироксеновых пород. Ремобилизованное в ходе этого процесса рудное вещество могло участвовать в гидротермальном процессе с последующим отложением сульфидов.

Зона измененных пород прослеживается далее по простиранию на юго-запад, на правобережье р. Правокихчинская (т.н. 219, рис. 2), где обнажаются (5х10 м) биотитовые диориты. Этот выход имеет простирание 30°. Порода пронизана системой кварцевых жил мощностью 2–15 см, имеющих простирание 160°. Биотитовый диорит имеет следующий состав: андезин № 37–38 (50%), биотит (25–30%), ромбический пироксен (5–10%), ортоклаз (5%), роговая обманка (2–3%), альбит (2%), гранат (1–2%). Содержание рудных менее 1%.

Вокруг кварцевых жил установлены маломощные зоны плагиогранитов, сложенные в основном олигоклазом № 30–32 (50%), представленным округленно-таблитчатыми выделениями, которые интенсивно сосюритизированы и серицитизированы. Присутствует кварц (20%) в виде ксеноморфных зерен свежего облика, насыщенных газовой-жидкими включениями.

Таблица 1

Макрокомпонентный и микроэлементный состав пород (мас. %)

Виды анализов, аналитические центры	Химические элементы, окислы	Номер пробы							
		282	282А	282Б	282В	219	219Б	219В	219Г
Содержания элементов (ppm) (АЭС-ИСП, ДВФУ)	Cu	25,8	33,1	147,0	108,8	14,4	5,41	28,05	10,6
	Ni	42,2	45,5	161,0	59,06	14,7	23,8	25,6	10,3
	Co	18,8	26,2	58,6	334,0	29,3	8,37	10,1	22,4
	Ag	0,184	< 0,03	0,182	0,052	0,064	< 0,03	< 0,03	0,071
	Au	0,068	0,057	< 0,01	0,074	0,385	0,141	0,153	< 0,01
	Pt	0,062	0,081	0,048	0,02	0,049	0,127	0,134	0,061
	Pd	0,034	0,058	< 0,01	0,484	< 0,01	0,055	0,064	< 0,01
	Pb	9,72	9,25	9,85	31,4	15,4	22,14	31,4	12,8
	Zn	48,3	44,6	103,0	212,0	242,0	46,5	82,7	142,0
	Cr	239,0	154,0	886,0	229,0	102,0	813,0	849,0	115,0
	V	76,9	105,0	241,0	1953	677,0	65,01	108,0	404,0
	Mn	534,0	670,0	1465	3928	619,0	395,0	499,0	1155
	Mo	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
	Y	7,85	5,82	8,78	7,89	9,91	15,4	23,5	37,5
	Yb	0,71	0,775	1,35	2,37	2,05	1,29	1,88	4,41
	Sc	12,3	15,9	29,8	259,0	35,1	10,06	13,9	60,7
	Zr	22,2	24,3	30,4	58,4	131,0	246,0	235,0	415,0
	Sr	410,0	495,0	50,1	102,0	1008	324,0	505,0	817,0
	Ba	259,0	2266	102,0	5,57	52,7	625,0	2280	60,2
	Be	0,57	0,55	0,776	< 0,1	< 0,1	0,415	0,645	< 0,1
	Ga	6,06	6,52	7,82	20,3	49,3	11,7	10,04	29,9
Макрокомпонентный состав (мас. %) (ИВиС ДВО РАН)	SiO ₂	52,8	49,2	53,8	45,9	56,3	74,1	36,7	73,5
	TiO ₂	0,3	0,24	0,33	0,38	1,0	0,48	0,53	0,47
	Al ₂ O ₃	21,33	21,15	6,64	6,36	20,5	12,97	16,24	13,31
	Fe ₂ O ₃	0,9	1,48	0,65	2,56	2,55	0,91	1/73	0,6
	FeO	4,53	4,7	9,02	10,62	4,81	3,03	4,06	3,73
	MnO	0,07	0,1	0,17	0,2	0,04	0,05	0,06	0,06
	MgO	5,59	8,77	19,78	26,37	3,65	1,28	2,3	1,46
	CaO	8,32	8,5	2,24	3,01	3,59	1,01	5,05	1,43
	Na ₂ O	2,83	2,16	0,58	0,72	3,2	3,19	2,98	2,98
	K ₂ O	0,69	0,52	0,22	0,33	2,12	1,34	1,14	0,97
	P ₂ O ₅	н/о	0,05	н/о	н/о	0,08	0,26	0,15	0,17
	H ₂ O	0,84	0,15	0,14	0,16	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
	п.п.п.	1,3	2,27	5,67	2,46	1,38	0,72	1,5	0,48
	сумма	99,5	99,29	99,24	99,07	99,22	99,34	72,44	99,16

Примечание. 282 – роговообманковый габбродиорит, 282А – хлоритизированный биотит-амфиболовый габбродиорит, 282Б – хлорит-гальковая порода, 282В – пироксен-амфиболовая порода, 219 – биотитовые диориты, 219Б – полевошпат-кварцевые метасоматиты, 219В – биотит-полевошпат-кварцевые метасоматиты, 219Г – биотит-гранат-кварцевый метасоматит

Таблица 2

Содержания элементов в породах
по данным полуколичественного спектрального анализа

	Элемент	Номера проб												
		282	282А	282Б	282В	282Д	282Е	219Б	219В	264	264А	264Б	265-1	266А
Содержания элементов, г/т	Ni	60	50	200	300	400	600	80	80	50	40	60	80	100
	Cu	50	50	200	100	100	150	30	50	50	30	50	100	60
	Co	30	30	100	150	150	150	10	10	30	30	40	80	100
	Ag	0	0	0	0,05	0	0	0	0,05	0	0	0	0	0,05
	Cr	200	300	200	200	2000	2000	50	80	800	300	500	2000	2000
	Ti	3000	2000	1000	1500	1000	1000	3000	4000	1000	1500	1000	1500	1000
	Mn	600	800	1500	1500	2000	1500	100	300	800	800	800	1000	2000
	V	200	150	300	500	400	500	80	200	200	200	200	500	500
	Sc	5	5	8	8	6	6	2	4	5	5	5	10	10
	Zn	80	80	150	150	150	150	60	80	80	60	60	150	100
	Pb	10	15	10	8	5	10	40	30	15	10	10	6	6
	Sn	2	3	4	0	0	3	3	3	3	3	2	3	0
	Mo	0,8	0,8	0,5	0,5	0,5	0,5	0	1	0,5	0,5	0,5	1	1,5
	B	10	8	15	10	10	8	10	5	10	10	10	10	10
	Ba	100	0	0	0	0	0	500	600	100	100	100	0	0
	Sr	300	200	0	30	0	30	100	80	150	200	150	50	40
	P	0	1000	0	0	0	0	1000	1000	0	0	0	0	0
	Ga	15	10	8	10	8	8	10	10	20	20	20	8	8
	Ge	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1
	Y	3	0	0	0	0	0	5	10	0	3	0	0	0
	Zr	80	30	30	30	30	20	100	150	40	30	40	40	50

Примечание. 282 – роговообманковый габбродиорит, 282А – хлоритизированный биотит-амфиболовый габбродиорит, 282Б – хлорит-тальковая порода, 282В – пироксен-пироксеновая порода, 282Д – хлорит-тальковая порода, 282Е – тальк-хлоритовая, 219Б – полевошпат-кварцевые метасоматиты, 219В – биотит-полевошпат-кварцевые метасоматиты, 264 – слабосерпентинизированный лейкократовый габбродиорит, 264А – биотит-полевошпатовый метасоматит, 264Б – эпидот-хлорит-гранатовая порода, 265-1 – пироксен-амфиболовая порода, 266А – амфибол-пироксеновая порода.

Калиевые полевые шпаты составляют 10%. Это преимущественно ортоклаз, кристаллы которого имеют пертитовые выделения альбита; более ограниченно развит микроклин. Биотит (15%) наблюдается в виде ксеноморфных выделений, цементирующих кристаллы полевых шпатов, и нередко замещен хлоритом и кварцем. С псевдоморфозами хлорита по биотиту связаны гнезда рудных минералов (< 1%). В породе ограниченно развиты идиоморфные чешуйки мусковита (2–3%).

Собственно кварцевые жилы (обр. 219Б) сложены округленными крупными (1–3 мм) зернами кварца (70%) с многочисленны-

ми газовой-жидкими включениями; неправильно-таблитчатыми кристаллами ортоклаза (15%) с включениями серицита и кварца; округленно-таблитчатыми кристаллами плагиоклаза (10%); чешуйками мусковита (5%). Наблюдается замещение мусковита кварцем, гидрослюдой, тальком, хлоритом и эпидотом. В периферической части жил установлены срастания биотита и граната, выделения волокнистого хлорита и спутанно-игольчатый агрегат турмалина. В экзоконтактовой части жил (обр. 219Б) развиты мелкозернистые полевошпат-кварцевые метасоматиты, сложенные кварцем (70%), биотитом (10%), олигокла-

зом № 28–30 (10%), ортоклазом (5%), гранатом (1–2%) и единичными выделениями турмалина и мусковита. Рудные минералы (3–5%) представлены магнетитом, содержащим включения анизотропного ильменита. Местами ильменит занимает до 50% объема магнетита. Чаще всего это мелкие пластинки и изометричные выделения. Единично – мельчайшие зерна пирита квадратного сечения.

Отдельные участки околосильных измененных пород состоят из биотит-полевошпат-кварцевый комплекс минералов (обр. 219В). Порода имеет пятнистую текстуру и лепидогранобластовую структуру. Кварц (50%) представлен округлыми свежими зернами. Зерна альбита № 3–6 (10–15%) частично замещены гидрослюдой, калиевые полевые шпаты (15%) серицитом. Зерна граната (20%) нередко образуют сложно построенные агрегаты; в них наблюдаются включения апатита и циркона. Биотит (15%) расположен в интерстициях между остальными минералами; вокруг него наблюдаются оторочки рудных минералов. Среди рудных преобладает магнетит, представленный ксеноморфными по отношению к биотиту выделениями. В трещинках установлены единичные мельчайшие (0,00 п мм) зерна пирита и халькопирита. Структура рудных образований сидеритовая, каемочная, пойкилитовая и эмульсионно-пойкилитовая; текстура гнездово-вкрапленная и гнездовая.

Биотит-гранат-полевошпат-кварцевая зона переходит в полосчатый биотит-гранат-кварцевую породу (Р-219Г), которая макроскопически состоит из вертикальных различно окрашенных чередующихся зон. Микроскопически полосчатость обусловлена чередованием крупнозернистых кварцевых прожилков и мелкозернистого кварцевого и полевошпатового агрегата, насыщенного серицитом. В крупнозернистом кварце установлены газово-жидкие и твердые включения, не выходящие за пределы кристаллов. Газовая фаза некоторых газово-жидких включений занимает до 80% объема вакуолей. В кварце встречаются иголки апатита. Собственно кварцевые зонки чередуются с зонками, обогащенными биотитом и мусковитом, а также иногда содержащими до 40% граната. В качестве второстепенных минералов в материале зонки встречаются зерна рудных, карбонатов, турмалина.

В породах данного зонального комплекса отмечены повышенные содержания платины, свинца, циркония, хрома (табл. 1);

больше, чем в других породах, содержится SiO_2 , щелочей ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$).

Можно предположить, что при образовании данного комплекса измененных пород вначале имел место инъекционный метаморфизм, при котором происходило формирование полосчатого мигматита. Развивались прожилковые зоны плагиогранита и послойные полевошпат-кварцевые, биотит-кварцевые и биотит-гранат-кварцевые мигматиты. Их образование может быть связано с процессом гранитизации, при котором происходил привнос циркулирующими растворами щелочей, кремнезема и вынос кальция, магния и железа. В раннюю щелочную стадию могли образовываться полевошпатовые породы. В последующую кислотную стадию гранитизации в результате привноса кремнезема развивались кварцевые прожилки, ориентированные по сланцеватости ранее образованных пород. В стадию осаждения происходило отложение биотита, граната, эпидота, магнетита и сульфидов. В ходе последующего низкотемпературного метасоматоза были серицитизированы и соссюритизированы плагиоклазы, хлоритизированы биотиты.

Северо-восточнее т.н. 282, на продолжении описанной зоны измененных пород, в истоках р. Перевозная (т.н. 264, 265, 266; рис. 2) продолжает проследиваться зональный комплекс пород. Зона сложена метасоматически измененными породами – биотитизированными, графитизированными, окварцованными. Она содержит также вкрапленники сульфидов, лимонитизирована. Вмещающая порода – лейкократовый габбродиорит (обр. 264) – слабо серпентизирована, что выразилось в замещении пироксенов и оливина волокнистым агрегатом хризотила. При этом от исходных минералов сохранились лишь отдельные фрагменты. Кроме того, здесь наблюдаются землистые неопределимые микроскопические массы, в которых наблюдаются волокна хризотила, гнезда эпидота, брусит, вкрапленники сульфидов. Возможно, процесс серпентинизации вызван воздействием гидротерм внедрившейся интрузии гранитоидов. Этим фактом обусловлено и развитие контактово-метасоматического зонального комплекса. Здесь сменяют друг друга существенно полевошпатовая и пироксен-амфиболовые зоны.

В полевошпатовой зоне (обр. 264А) преобладает плагиоклаз (до 80%) (лабрадор № 50–54) (плагиоклаз здесь более кислый, чем в исходном габбродиорите). До 10%

объема породы сложено округленными выделениями амфибола, которые почти нацело замещены биотитом. Встречены также единичные зерна кварца, микроклина и энстатита, частично замещенного эпидотом. Из рудных наблюдаются единичные мелкие кристаллы пирротина и пентландита. В сростании с пирротинном установлены гипидиоморфные выделения халькопирита. Сульфиды пространственно связаны с выделениями биотита и образуются, по-видимому, в гидротермальную стадию.

В полевошпат-амфиболовой зоне также наблюдаются субграфические прорастания пирротина в биотите. В породе рассеяны зерна магнетита. Аналогичные рудные минералы установлены и в пироксен-амфиболовой зоне. Текстура рудной массы неравномерно-вкрапленная, вкрапленно-прожилковая; структура эмульсионная, эмульсионно-сидеронитовая, каемочная.

В амфибол-полевошпатовой зоне (обр. 264Б) ранее образовавшиеся минералы практически нацело замещены дейтерогенными биотитом, мусковитом, хлоритом и эпидотом. Кроме того, здесь установлены единичные кристаллы кордиерита, гнезда волокнистого силлиманита и наблюдаются зонки, выполненные тонкозернистым гранатом и рудными минералами в ассоциации с биотитом и мусковитом.

В пироксен-амфиболовой зоне (обр. 265-1) доминирует высокотемпературный амфибол – паргасит (30%), представленный округлыми, почти изометричными бесцветными зернами с совершенной спайностью. Ксеноморфные выделения более позднего куммингтонита (15%) включают в себя зерна паргасита. Пироксены представлены изоморфными кристаллами энстатита (10%) и гиперстена (15%). Ксеноморфные выделения кварца (5%), ортоклаза (5%) и кристаллы плагиоклаза (5%) развиты ограниченно в виде скоплений.

Изменения пород и при этом возможное перераспределение рудного вещества обусловлены внедрением пострудных интрузий кольского комплекса [1, 2, 8]. Проявления позднемелового, палеоцен-эоценового гранитоидного магматизма на Камчатке связаны с тектоно-магматической активизацией, в результате которой произошли метаморфические изменения отложений Камчатского срединного массива в целом. Наблюдаемые преобразования рудовмещающих пород характерны для многих проявлений Камчатской никеленосной провинции, таких например, как Аннабергитовая

Щель, Северное, где были встречены как пироксен-амфиболовые измененные породы, так и жильные мелкозернистые мусковит-биотитовые плагиограниты, несущие повышенные количества сульфидных рудных минералов. По предположениям [8] сульфидные кобальт-медно-никелевые руды проявления Аннабергитовая Щель образовались в результате магматической дифференциации в процессе становления интрузий норит-кортландитовой формации и дальнейших эпимагматических преобразований. Контактново-метасоматический этап формирования этих руд и пород связан с внедрением пострудных гранитоидов, были оценены условия образования кварц-полевошпатовых метасоматитов. По [8, 9] это происходило при температурах 350–600 °С на глубинах ≤ 5 км в равновесии с растворами, близкими к нейтральным (pH 4,5–6,5). Ассоциация гидротермальных минералов руд и пород формировалась в условиях, близких к пропилитизации на глубинах ≤ 5 км ($\sim \leq 0,15$ ГПа) при pH 4,5–6,5 и температуре 150–350 °С [9, 10].

Исследования флюидных включений (в плагиоклазе) из гидротермально-измененных пород Кувалорогского массива было проведено в 2007 г. Э.Г. Конниковым, О.Н. Васюковой. Выявлено, что даже в породах с редкими вкрапленниками сульфидов встречаются CH_4 -содержащие включения, пространственно связанные с выделениями сульфидов. Они расположены вблизи от вкрапленников рудных, приурочены к окружающим вкрапленники трещинам и могли образоваться за счет летучих, выделяющихся из сульфидной капли. Включения в составе вторичных включений в минералах рудовмещающих пород, замещение пироксена амфиболами, биотитом, кварцем также указывают на сложный процесс рудообразования.

Ранее накопленный материал по сульфидным медно-никелевым объектам Камчатской никеленосной провинции, его обобщение, а также анализ выявленных особенностей строения исследованных метаморфогенно-метасоматических зональных комплексов, особенностей распределения и взаимоотношения рудных минералов в исходных и измененных породах, установленных парагенетических минеральных ассоциаций позволяют сделать вывод о том, что процесс сульфидного кобальт-никелевого рудообразования в рассматриваемом регионе имел сложный многоэтапный характер.

Эмульсионно-вкрапленные пирротин и магнетит являются, вероятно, сингенетичными с габброидами. На раннем собственно магматическом этапе происходило развитие сингенетичной вкрапленности магнетита и пирротина. Этот факт находится в соответствии с широко известными экспериментальными и расчетными данными о низкой растворимости серы в основных расплавах [5, 11].

В постмагматический этап мог происходить перенос значительной массы рудного вещества в составе высокотемпературных флюидов, действующих в зонах повышенной проницаемости, приуроченных к крупным долгоживущим разломам и связывающим магматические камеры с гипабиссальными горизонтами земной коры. Происходящие в этих камерах процессы дифференциации привели к развитию широкого комплекса магм, последовательное внедрение которых вызвало образование контактово-метасоматических образований. В дальнейшем в образовавшиеся пироксен-гранатовые роговики проникали маломощные инъекции гранитного и пегматитового материала.

В результате последующего пневматолито-гидротермального метасоматоза происходило замещение пироксенов амфиболами. При последующем возрастании в растворах содержания калия развивались биотит и калиевые полевые шпаты. Рудименты пироксенов были замещены волокнистыми псевдоморфозами серпентина и талька.

В ходе дальнейших аутометасоматических процессов происходила хлоритизация темноцветных минералов и серицитизация, соссюритизация, эпидотизация и альбитизация полевых шпатов.

Характер взаимоотношений минералов указывает на то, что основные рудные элементы (железо, никель, кобальт, платиноиды) могли мобилизоваться из исходных и новообразованных темноцветных минералов (оливина, ромбических пироксенов, амфибола, биотита) при их разложении и замещении. Факт привноса меди в зону отложения рудных минералов гидротермальными растворами находит свое подтверждение в ксеноморфизме халькопирита по отношению к прочим сульфидам. Представляется возможным многократное осаждение рудного материала, вызываемое резкими изменениями физико-химических условий среды при смене магматического, метасоматического и метаморфического этапов.

Заключение

Исследован комплекс метасоматических зональных комплексов на юго-восточном фланге интрузивного массива Кувалорог, локализованный в разрывных нарушениях, пересекающих интрузив, и рассмотрены возможности их рудоносности. Небольшой объем опробования, его недостаточная плотность не позволили более полно рассмотреть возможности рудоносности измененных пород из тектонически ослабленных зон. Несмотря на это, получены новые данные, представляющие поисковый интерес.

Линейно-вытянутые в северо-восточном направлении от проявления Рассоха до проявления Кувалорог, а также другие подобные зоны метасоматически измененных пород могут рассматриваться как структуры потенциально перспективные для локализации в них эпигенетических сульфидных руд инъекционного типа. На раннем собственно магматическом этапе происходило развитие сингенетичной вкрапленности рудных минералов; на постмагматическом – перенос значительной массы рудного вещества в составе высокотемпературных флюидов, действующих в зонах повышенной проницаемости и приуроченных к зонам долгоживущих разломов. Об этом свидетельствует парагенетическая связь наиболее богатых сульфидных руд Кувалорогского интрузива (проявления Аннабергитовая Щель, Квинум II) [8, 12] с интенсивно измененными основными и средними интрузивными породами, претерпевшими в постмагматический этап интенсивные аутометасоматические преобразования и практически нацело превращенными в тальк-хлоритовые породы, нередко с вкрапленностью рудных минералов.

Необходимо проведение дальнейших последовательных исследований, заключающихся в тщательном дешифрировании космо- и аэрофотоснимков, структурных исследований, крупномасштабной петроструктурной и петрологической съемки как интрузивного массива Кувалорог, так и более мелких рудоносных интрузий Камчатской никеленосной провинции, с целью выявления особенностей локализации сульфидной медно-никелевой минерализации. Это позволит оценить вклад в рудный процесс эпигенетических изменений, особенностей перераспределения рудного вещества на заключительной стадии рудномагматического процесса, что имеет важное практическое значение для более детальных и дорогостоящих исследований последующих этапов прогнозно-поисковых работ.

Список литературы

1. Новаков Р.М. Перспективы никеленосности плутонических мафит-ультрамафитовых формаций Камчатки: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Санкт-Петербург, 2018. 24 с.
2. Тарарин И.А., Бадрединов З.Г., Чубаров В.М. Петрология и рудоносность метаморфических и магматических комплексов Центральной и Восточной Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2015. 302 с.
3. Ненахов В.М., Никитин А.В. К проблеме структурного контроля Квинум-Кувалорогской рудной зоны (Камчатка) // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2015. № 3. С. 65–70.
4. Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д. Камчатская никеленосная провинция // Доклады Академии наук. 2008. Т. 418. № 6. С. 802–806.
5. Селянгин О.Б. Контаминация магмы, особенности петрогенезиса и распределение рудного вещества в породах никеленосной формации Срединно-Камчатского массива (часть третья) // Вестник Камчатской региональной ассоциации «Учебный научный центр». Науки о Земле. 2018. Вып. 4. (40). С. 5–22. DOI: 10.31431/1816-5524-2018-4-40-5-22.
6. Кунгурова В.Е., Трухин Ю.П., Кувакин Г.В. Сульфидное медно-никелевое рудопроявление Рассоха (Дукусский рудный район, Камчатка) // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) Специальный выпуск. 2016. № 31. № 11. С. 72–82.
7. Дворник Г.П. Виды метасоматических пород: температурные условия образования, особенности состава, минералогия // Известия УГГП. 2020. Вып. 1 (57). С. 63–72.
8. Новаков Р.М., Кунгурова В.Е., Москалева С.В. Условия образования благороднометалльной минерализации в сульфидных кобальт-медно-никелевых рудах Камчатки (на примере рудопроявления Аннабергитовая Щель // Записки Горного института. 2021. Т. 248. С. 1–15. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.5.
9. Бардина Н.Ю., Попов В.С. Систематика метасоматических горных пород и фаций метасоматизма малых глубин // Советская геология. 1991. № 6. С. 48–56.
10. Holwell D.A., Zeinab A., Warda L.A., Smith D.J., Graham S.D., McDonald I., Smith J.W. Low temperature alteration of magmatic Ni-Cu-PGE sulfides as a source for hydrothermal Ni and PGE ores: A quantitative approach using automated mineralogy // Ore Geology Reviews. 2017. Vol. 91. P. 718–740.
11. Naldrett A.J. Magmatic sulfide deposits – Geology, Geochemistry, and Exploration. Berlin: Springer-Verlag, 2004. 727 p.
12. Еременко Д.В., Еременко А.В., Золотарева Г.С. Вторичные изменения никеленосных пород дукусского комплекса Камчатки // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2019. № 1. С. 39–46.

УДК 552.143:551.83(571.63)

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ U-Pb-ДАТИРОВАНИЯ ДЕТРИТОВЫХ ЦИРКОНОВ ИЗ ПАЛЕОЗОЙСКО-РАННЕМЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЛАОЕЛИН-ГРОДЕКОВСКОГО ТЕРРЕЙНА (ЗАПАДНОЕ ПРИМОРЬЕ)

¹Малиновский А.И., ¹Чашин А.А., ²Хубанов В.Б.

¹ФГБУ «Дальневосточный геологический институт ДВО РАН», Владивосток, e-mail: malinovsky@fegi.ru;

²ФГБУ «Геологический институт СО РАН», Улан-Удэ, e-mail: khubanov@mail.ru

В статье представлены первые результаты U-Pb-геохронологических исследований детритовых цирконов из палеозойско-раннемезозойских отложений Лаоелин-Гродековского террейна (Западное Приморье). Терреин представляет собой складчатую структуру, образованную нижнесилурийскими, пермскими и верхнетриасовыми отложениями, интенсивно дислоцированными и пронизанными многочисленными интрузиями гранитов. Из всех отложений были отобраны образцы для исследований. Целью проведенных исследований было U-Pb-изотопное датирование детритовых цирконов из разновозрастных песчаников, что позволило детализировать имеющиеся данные о составе, возрасте и возможном положении источников питания, поставивших обломочный материал в седиментационные бассейны террейна. Установлено, что конкордантные U-Pb-изотопные возрасты цирконов террейна варьируют в диапазоне от неогархей (2553 млн лет) до позднего триаса (218–205 млн лет). Среди исследованных цирконов резко преобладают палеозойские, образующие несколько возрастных совокупностей. Меньших цирконов с докембрийскими и раннемезозойскими (триасовыми) возрастными. Возрасты самых «молодых» популяций цирконов из песчаников кордонкинской, решетниковской, мангунайской и тальминской свит хорошо согласуются с биостратиграфическими возрастными этих образований. В породах барабашской свиты обнаружены цирконы, возраст которых (247–258 млн лет) моложе, чем принятое для свиты верхнее стратиграфическое ограничение. Полученные результаты исследований показывают, что возрасты установленных совокупностей цирконов достаточно хорошо согласуются с известными этапами проявления гранитоидного магматизма в восточной части Центрально-Азиатского складчатого пояса. Источники сноса, поставившие обломочный материал в седиментационные бассейны террейна, включали в себя гранитоиды широкого возрастного спектра. Этими источниками были кристаллические комплексы Северо-Китайского кратона, раннепалеозойские коллизионные граниты Бурей-Цзямусы-Ханкайского супертеррейна, а также широко распространенных в регионе палеозойских и раннемезозойских массивов и террейнов (Артемовского, Надеждинского, Цзямусы, Сунляо).

Ключевые слова: Лаоелин-Гродековский терреин, палеозой, мезозой, цирконы, U-Pb-датирование

FIRST RESULTS OF U-Pb DATING OF DETRITAL ZIRCONS FROM PALEOZOIC-EARLY MESOZOIC DEPOSITS OF THE LAOELING-GRODEKOV TERRANE (WESTERN PRIMORYE)

¹Malinovskiy A.I., ¹Chashchin A.A., ²Khubanov V.B.

¹Far Eastern Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, e-mail: malinovskiy@fegi.ru;

²Geological Institute SB RAS, Ulan-Ude, e-mail: khubanov@mail.ru

The article presents the first results of U-Pb geochronological studies of detrital zircons from the Paleozoic-Early Mesozoic deposits of the Laoeling-Grodekovo terrane (Western Primorye). Terrane is a folded structure formed by Lower Silurian, Permian and Upper Triassic deposits, intensively dislocated and penetrated by numerous granite intrusions. Samples were taken from all deposits for investigation. The purpose of the study was U-Pb isotopic dating of detrital zircons from different ages of sandstones, which made it possible to detail the available data on the composition, age and possible position of sources that supplied clastic material to the sedimentation basins of the terrane. Concordant U-Pb isotope ages of terrane zircons have been found to range from Neoproterozoic (2553 Ma) to late Triassic (218–205 Ma). Among the studied zircons, Paleozoic strongly predominate, forming several age aggregates. Smaller zircons with Precambrian and Early Mesozoic (Triassic) ages. The ages of the youngest populations of sandstone zircons of the Cordons, Reshetnikovka, Mangunai and Talmi formations are well consistent with the biostratigraphic ages of these formations. Zircons with an age (247–258 Ma) younger than the upper stratigraphic limit adopted for the formation were found in the rocks of the Barabash formation. The obtained results show that the ages of the established zircon collections are quite well consistent with the known stages of the manifestation of granitoid magmatism in the eastern part of the Central Asian fold belt. Sources area supplying clastic material to terrane sedimentation basins included granitoids of a wide age spectrum. These sources were crystalline complexes of the North China Craton, early Paleozoic collisional granites of the Bureya-Jiamusi-Khanka superterrane, as well as widespread Paleozoic and Early Mesozoic massifs and terranes (Artyomovka, Nadezhdinsk, Jiamusi, Sunliao) in the region.

Keywords: West Laoeling-Grodekovo terrane, Paleozoic, Mesozoic, zircons, U-Pb dating.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00037).

Начиная с конца прошлого столетия при геологическом изучении территории Центрально-Азиатского складчатого пояса, восточное окончание которого протягивается вплоть до юга Приморского края, большое внимание стало уделяться U-Pb-

датированию цирконов из магматических и метаморфических комплексов, что позволило достоверно обосновать их геологический возраст [1-3]. Гораздо хуже обстоит дело с изучением детритовых цирконов из широко развитых здесь терригенных отложений. Это в полной мере относится и к палеозойско-раннемезозойским отложениям Лаоелин-Гродековского террейна, расположенного в западной части Приморья, где они практически не изучались. Между тем в последние годы метод U-Pb-изотопного датирования детритовых цирконов из терригенных пород стал весьма популярным инструментом для уточнения возраста и состава пород областей питания, а также выяснения палеогеографических и палеогеодинамических обстановок, существовавших в рассматриваемых регионах в момент формирования бассейнов осадконакопления [4; 5]. Для восполнения имеющегося пробела в подобных исследованиях нами было проведено детальное изучение внутренней структуры и U-Pb-изотопное датирование детритовых цир-

конов из нижнесилурийских, пермских и верхнетриасовых терригенных отложений Лаоелин-Гродековского террейна, расположенного в западной части Приморского края. Цель исследования: на основании полученных U-Pb-датировок детритовых цирконов из отложений террейна установить состав, положение и возраст пород его питающих провинций, что в дальнейшем позволит проследить этапы эволюции всего Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Материалы и методы исследования

Для U-Pb-геохронологических исследований детритовых цирконов были отобраны пробы из песчаных пород всех изученных в Лаоелин-Гродековском террейне свит (рис. 1). Проба Л-10 взята из раннесилурийской кордонкинской свиты, обнажающейся в левом борту р. Кордонки ($44^{\circ}18'48.89''$ с.ш. и $131^{\circ}16'52.98''$ в.д.). Из ранне-среднепермской решетниковской свиты в бассейне руч. Артиллерийский отобрана проба Р-53 ($43^{\circ}12'51.92''$ с.ш. и $131^{\circ}21'44.30''$ в.д.).

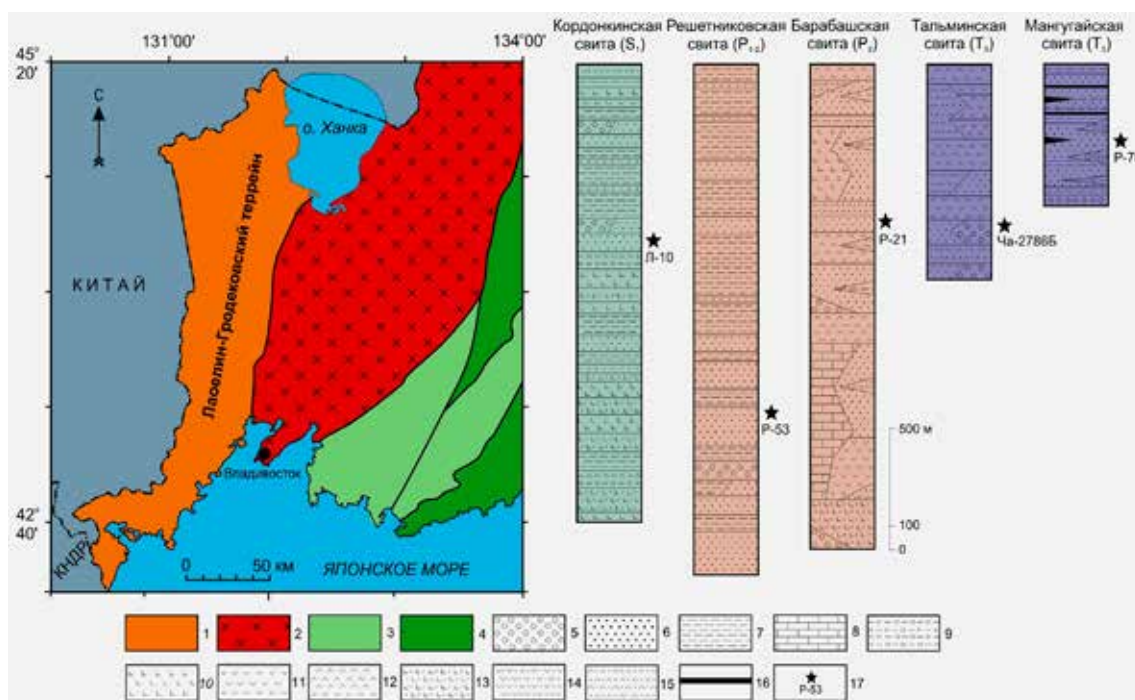


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Южного Приморья и литологические колонки палеозойско-раннемезозойских отложений Лаоелин-Гродековский террейна. 1-4 – террейны: 1 – Лаоелин-Гродековский, 2 – раннепалеозойского Бурея-Цзямусы-Ханкайского орогенного пояса, 3 – раннепалеозойской активной окраины, 4 – мезозойского Сихотэ-Алинского орогенного пояса; 5 – конгломераты и гравелиты; 6 – песчаники; 7 – алевролиты и аргиллиты; 8 – известняки; 9 – кремнистые породы; 10 – базальты; 11 – андезиты; 12 – дациты и риолиты; 13-15 – туфы и туффиты: 13 – основного, 14 – среднего, 15 – кислого состава; 16 – угли; 17 – места отбора проб на U-Pb-геохронологические исследования детритовых цирконов и их номера

Проба Р-21 взята из среднепермской барабашской свиты. Проба отобрана у южного портала Нарвинского тоннеля (43°08'07.50" с.ш. и 131°25'06.10" в.д.). В карьере у с. Рубиновка, из поздне триасовой тальминской свиты, отобрана проба Ча-2786Б (44°41'44.90" с.ш. и 131°41'33.10" в.д.). Также поздне триасовая мангугайская свита опробована вдоль дороги у с. Занаворовка (проба Р-78, 43°16'37.92" с.ш. и 131°35'19.98" в.д.). Подготовка проб и выделение цирконов проведены в ДВГИ ДВО РАН (г. Владивосток). С помощью электронного микроанализатора JXA-8100, оснащенного катодолюминесцентным детектором, были изучены морфология и внутренние строения зерен циркона. U-Pb-изотопное датирование цирконов выполнено в ЦКП «Геоспектр» Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ) методом лазерной абляции (LA SF-ICP-MS) на масс-спектрометре высокого разрешения Element XR, соединенном с приставкой лазерного проботбора UP-213. Параметры и детали методики изложены в работе [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Лаоелин-Гродековский террейн – одна из важнейших тектонических структур восточной окраины Евразии. По имеющимся представлениям, он, совместно с раннепалеозойскими террейнами Бурей-Цзямусы-Ханкайского орогенного пояса (супертеррейна), составляет фрагмент восточного окончания Центрально-Азиатского складчатого пояса, разделяющего Сибирский и Сино-Корейский кратоны [7; 8]. Террейн является складчатой структурой, образованной силурийскими, пермскими и верхнетриасовыми осадочными и вулканогенными образованиями, сильно дислоцированными и прорванными многочисленными интрузиями гранитов. Строение и состав отложений достаточно подробно описаны в предыдущих публикациях [9; 10] и представлены на рис. 1.

Проведенные исследования вещественного состава песчаников из разновозрастных отложений террейна показали их существенное различие и, следовательно, формирование за счет различных источников питания [9; 10]. Источником вещества для раннесилурийской кордонкинской свиты были основные и средние вулканы океанической островной дуги, а также магматические и осадочные образования, слагавшие ее фундамент. На накопление пермских отложений решетниковской и ба-

рабашской свит, а также верхнетриасовой мангугайской свиты влияли в основном размывавшиеся кислые породы устойчивых кратонов или поднятых блоков основания, а также обогащенные кварцем древние осадочные пород. Область питания поздне триасовой тальминской свиты могла включать как краевые части рифтов, так и корневые части энсиалической дуги. Помимо этого, на седиментацию влияли продукты размыва древних осадочных и вулканогенных образований.

С целью детализации имеющихся данных о составе, возрасте и возможном положении источников питания, поставивших материал в седиментационные бассейны Лаоелин-Гродековского террейна, было проведено U-Pb-изотопное датирование детритовых цирконов из песчаных пород изученных свит.

Катодолюминесцентные изображения некоторых зерен цирконов приведены на рис. 2. Цирконы кордонкинской свиты (обр. Л-10) преимущественно прозрачные и полупрозрачные, бесцветные либо бледно-розовые, нередко трещиноватые. Преобладают угловато-окатанные и окатанные зерна с размером 100-150 мкм. Более редки короткопризматические кристаллы размером до 200 мкм и с коэффициентом удлинения (КУ) 1,2–2,2. В катодолюминесцентном изображении хорошо видна выраженная тонкая и, реже, грубая осцилляторная магматическая зональность. Наличие в песчаниках угловато-окатанных и окатанных цирконов свидетельствует об удаленном источнике сноса разрушавшихся пород. Цирконы из решетниковской свиты (обр. Р-53) в основном прозрачные, бесцветные или бледно-розовые, иногда слабо трещиноватые. Представлены короткопризматическими и дипирамидальными кристаллами (50–200 мкм, иногда до 250 мкм, КУ 1,5–2,7), а также их многочисленными обломками. Для внутреннего строения цирконов присуща как выраженная тонкая, так и грубая осцилляторная магматическая зональность. Среди цирконов из отложений барабашской свиты (обр. Р-21) доминируют короткопризматические и дипирамидальные кристаллы размером от 70 до 230 мкм и с КУ 1,5–2,5, а также их обломки. Реже встречаются длиннопризматические кристаллы. Цирконы обычно прозрачные и полупрозрачные, бесцветные либо лилово-розовые. Характерной особенностью внутреннего строения кристаллов является хорошо выраженная тонкая и, реже, грубая магматическая

зональность, а также присутствие мелких минеральных и газовой-жидких включений. Цирконы тальминской свиты (обр. Ча-2786Б) прозрачные бледно-розовые. Кристаллы – как крупные удлиненно-призматические (до 200-400 мкм, КУ до 3,5), так и мелкие короткопризматические и дипирамидальные (до 100-200 мкм, КУ 1,5–2,0) – хорошо огранные, неокатанные либо слабо окатанные. Много обломков цирконов обеих разновидностей. В катодолюминесцентном излучении видна выраженная тонкая и, реже, грубая осцилляционная магматическая зональность. Цирконы из пород мангугайской свиты (обр. Р-78) обычно прозрачные, бесцветные либо бледно-розовые, с короткопризматическими, дипирамидальными и, реже, длиннопризматическими

очертаниями. Часты и их обломки. Зерна от 70 до 200 мкм, иногда до 250–330 мкм, а КУ изменяется от 1,1 до 3,5. Кристаллы обычно не окатаны, и лишь иногда их вершины и ребра сглажены. Для цирконов характерна хорошо выраженная тонкая и, реже, грубая и секториальная зональность, изредка наблюдаются мелкие минеральные и газовой-жидкие включения.

Результаты U-Pb-геохронологических исследований цирконов приведены на гистограммах и кривых плотности вероятности распределения изотопных возрастов (рис. 3). Для рассмотрения и дальнейшего обсуждения использовались возрастные датировки цирконов, у которых дискордантность (D) попадает в интервал значений от –10% до +10%.



Рис. 2. Катодолюминесцентные изображения детритовых цирконов из песчаных пород изученных свит Лаоелин-Гродековского террейна

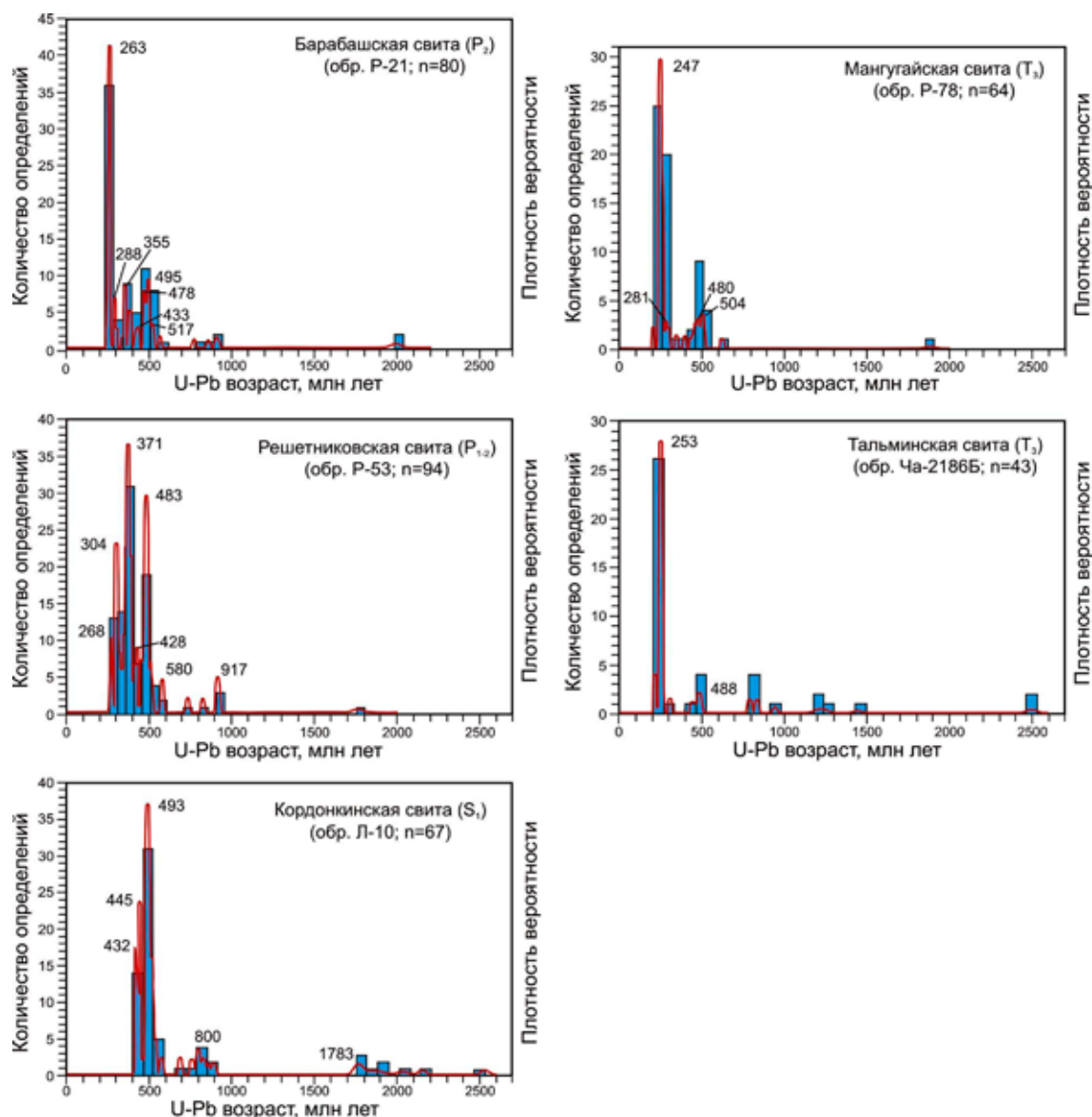


Рис. 3. Гистограммы и кривые плотности вероятности распределения U-Pb-изотопных возрастов детритовых цирконов из песчаных пород Лаоэлин-Гродековского террейна

Полученные результаты исследований показали, что конкордантные U-Pb-изотопные возрасты цирконов террейна варьируют в широком диапазоне: от неоярхей (2553 млн лет) до позднего триаса (218–205 млн лет). Следует отметить, что возрасты самых «молодых» популяций цирконов из песчаников кордонкинской, решетниковской, мангунгайской и тальминской свит хорошо согласуются с установленными стратиграфическими возрастными этапами этих образований. Вместе с тем в барабашской свите обнаружена популяция цирконов с датировками (247–258 млн лет), которые моложе принятого для нее стратиграфическо-

го возраста. Следовательно, можно сделать предположение о ранне-среднетриасовом времени образования свиты. Для решения этого вопроса требуются дополнительные исследования.

Среди всех исследованных нами цирконов резко преобладают палеозойские, образующие несколько возрастных популяций. В меньших количествах присутствуют цирконы с докембрийскими и раннемезозойскими (триасовыми) возрастными этапами. Во всех свитах докембрийские цирконы представлены двумя совокупностями: палео- (2,5–1,7 млрд лет) и неопротерозойского возраста (892–578 млн лет). Их источниками,

вероятно, были кристаллические комплексы Северо-Китайского кратона и Бурей-Цзямусы-Ханкайского супертеррейна [5; 7; 11]. Присутствие, помимо того, в отложениях тальминской свиты небольшой популяции цирконов с мезопротерозойскими возрастами (1,4–1,2 млрд лет) может свидетельствовать о существовании в этот отрезок времени локального источника цирконов, в дальнейшем быстро эродированного. Палеозойские-раннемезозойские цирконы образуют несколько возрастных интервалов: 536–445, 441–424, 395–341, 340–299 и 298–240 млн лет. Присутствие в песчаниках изученных свит заметного количества цирконов ордовикского и кембрийского возрастов (536–445 млн лет) свидетельствует, что их поставщиками были раннепалеозойские коллизионные граниты Бурей-Цзямусы-Ханкайского супертеррейна, а также других широко распространенных в регионе разновозрастных массивов и террейнов (Артемовского, Надеждинского, Цзямусы, Сунляо) [5; 11; 12]. Количество детритовых цирконов с силурийскими, девонскими и карбоновыми возрастами (от 441 до 299 млн лет) невелико, что связано с затуханием в этот период времени процессов гранитообразования [5]. При этом количество цирконов с силурийскими и девонско-карбоновыми датировками уменьшается вверх по разрезу, вплоть до практически полного их исчезновения в верхнетриасовых отложениях. А вот малочисленная позднекарбоновая популяция встречается практически только в решетниковской свите, в дальнейшем полностью исчезая. Очевидно, что источники цирконов этого широкого возрастного диапазона имели небольшие размеры и к позднему триасу были практически полностью размыты. Гранитоиды этих возрастов известны, например, в террейне Сунляо, а также на Корейском полуострове. Во всех свитах самую многочисленную популяцию образуют цирконы, имеющие пермско-среднетриасовые возрастные датировки (298–240 млн лет). Их источниками были широко распространенные в регионе, в том числе и в Лаоелин-Гродековском террейне, массивы пермских и триасовых гранитоидов [7]. Появление в верхнетриасовых песчаниках тальминской и мангунгайской свит самой молодой популяции (219–205 млн лет), вероятно, связано с проявлением в это время на территории Западного Приморья синседиментационного эксплозивного вулканизма.

Заключение

Таким образом, проведенные U–Pb геохронологические исследования детритовых цирконов из палеозойско-раннемезозойских терригенных отложений Лаоелин-Гродековского террейна позволили детализировать состав, возраст и возможное положение источников питания, поставлявших материал в его седиментационные бассейны. Исследованиями обнаружены цирконы широкого возрастного диапазона, среди которых был выделен ряд совокупностей с докембрийскими, палеозойскими и раннемезозойскими возрастами. Установлено, что эти совокупности достаточно хорошо согласуются с известными этапами проявления в восточной части Центрально-Азиатском складчатого пояса гранитоидного магматизма. Источниками цирконов были кристаллические комплексы Северо-Китайского кратона, раннепалеозойские коллизионные граниты Бурей-Цзямусы-Ханкайского супертеррейна, а также широко распространенных в регионе палеозойских и раннемезозойских массивов и террейнов (Артемовского, Надеждинского, Цзямусы, Сунляо).

Список литературы

1. Ханчук А.И., Аленичева А.А., Голозубов В.В., Кандауров А.Т., Юрченко Ю.Ю., Сергеев С.А. Ханкайский массив: гетерогенность фундамента и региональные корреляции // Тихоокеанская геология. 2022. Т. 41. № 4. С. 3–22. DOI: 10.30911/0207-4028-2022-41-4-3-22.
2. Tsutsumi Y., Yokoyama K., Kasatkin S.A., Golozubov V.V. Zircon U-Pb age of granitoids in the Maizuru Belt, southwest Japan and Voznesenka Belt, Far East Russia // J. Mineral. Petrol. Sci. 2014. Vol. 109. P. 97–102. DOI: 10.2465/jmps.131017.
3. Wu F.Y., Sun D.Y., Ge W.C., Zhang Y.B., Grant M.L., Wilde S.A., Jahn B.M. Geochronology of the Phanerozoic granitoids in northeastern China // J. Asian Earth Sci. 2011. Vol. 41. P. 1–30. DOI: 10.1016/j.jseas.2010.11.014.
4. Романюк Т.В., Кузнецов Н.Б., Белоусова Е.А., Горожанин В.М., Горожанина Е.Н. Палеотектонические и палеогеографические обстановки накопления нижнерифейской айской свиты Башкирского поднятия (Южный Урал) на основе изучения детритовых цирконов методом «TetrateChron®» // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9. № 1. С. 1–37. DOI: 10.5800/GT-2018-9-1-0335.
5. Соболев И.Д., Соболева А.А., Удоратина О.В., Канева Т.А., Куликова К.В., Викентьев И.В., Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Хоуриган Дж.К. Первые результаты U–Pb (LA-ICP-MS) датирования детритовых цирконов из палеозойских островодужных обломочных пород Полярного Урала // БМОИП. Отд. геол. 2017. Т. 92. Вып. 4. С. 3–26.
6. Хубанов В.Б., Буянтуев М.Д., Цыганков А.А. U–Pb изотопное датирование цирконов из PZ3-MZ магматических комплексов Забайкалья методом магнитно-секторной масс-спектрометрии с лазерным пробоотбором: процедура определения и сопоставление с SHRIMP данными // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 241–258. DOI: 10.15372/GiG20160113.
7. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России / ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. 572 с.

8. The Central Asian Orogenic Belt: Geology, Evolution, Tectonics and Models. Ed. A. Kröner. Stuttgart: Borntraeger Science Publisher, 2015. 313 p.

9. Малиновский А.И. Особенности обстановок формирования палеозойских и раннемезозойских отложений Юго-Западного Приморья: результаты изучения и интерпетации вещественного состава песчаных пород // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 132–138. DOI: 10.17513/use.37443.

10. Малиновский А.И. Геодинамические режимы формирования позднефанерозойских отложения Юга Лаоелин-Гродековского террейна (Приморье) по геохимии песчаных пород // Успехи современного естествознания. 2021. № 12. С. 160–165. DOI: 10.17513/use.37753.

11. Диденко А.Н., Ото Ш., Кудымов А.В., Песков А.Ю., Архипов М.В., Мияке Ю., Нагата М. Возраст цирконов из осадочных пород Хабаровского, Самаркинского и Жукравлевско-Амурского террейнов северной части Сихотэ-Алиньского орогенного пояса: тектонические следствия // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39. № 1. С. 3–23. DOI: 10.30911/0207-4028-2020-39-1-3-23.

12. Крук Н.Н., Голозубов В.В., Киселев В.И., Крук Е.А., Руднев С.Н., Серов П.А., Касаткин С.А., Москаленко Е.Ю. Палеозойские гранитоиды южной части Вознесенского террейна (Южное Приморье): возраст, вещественный состав, источники расплавов и обстановки формирования // Тихоокеанская геология. 2018. Т. 37. № 3. С. 32–53. DOI: 10.30911/0207-4028-2018-37-3-32-53.

СТАТЬИ

УДК 622.772

**ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
СОСТАВА ДРЕНАЖНЫХ ВОД ПРИ ХРАНЕНИИ
ОТХОДОВ ЦИАНИДНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЗОЛОТА****Белова Т.П.***Научно-исследовательский геотехнологический центр Дальневосточного отделения
Российской академии наук Петропавловск-Камчатский, e-mail: tpbel@yandex.ru*

В статье приводятся данные по составу растворов, полученных на основании экспериментального лабораторного моделирования физико-химического взаимодействия в системе: вода – материал отвала. При длительном хранении кексов цианидного выщелачивания золотосодержащих руд в хвостохранилищах золотодобывающих фабрик существует опасность загрязнения поверхностных водоемов в результате активного и пассивного взаимодействия атмосферных осадков с материалом отвала. Показано, что раствор, находящийся в равновесии с кексом выщелачивания, имеет выраженную щелочную реакцию, значения $\text{pH} > 9,0$ ед. В первое время хранения pH растворов возрастает в результате реакций гидролиза избытка реагента цианидов щелочных или щелочно-земельных металлов, к концу первого месяца экспериментального наблюдения начинает плавно снижаться. В растворе накапливаются сульфат-ионы, образующиеся за счет окисления сульфидов металлов в щелочной среде, цианид-ионы и ионы тяжелых металлов – за счет разрушения цианидных комплексов с ионами тяжелых металлов, таких как медь, цинк, кобальт и др. Присутствие в дренажных растворах мышьяка в концентрациях, превышающих ПДК, обусловлено окислением арсенопирита, содержащегося в исходной руде. Результатом физико-химических взаимодействий является превышение в дренажных водах ПДК, установленных для рыбохозяйственных водоемов, для меди, кобальта, цинка, ванадия, хрома, молибдена, вольфрама. Учитывая, что подавляющее большинство водоемов Камчатского края являются нерестовыми, рекомендуется очистка дренажных вод сорбционными методами. В качестве сорбентов может быть рекомендовано использование местного минерального алюмосиликатного сырья, например цеолитов, которые имеют повышенную сорбционную емкость в нейтральных и слабощелочных средах.

Ключевые слова: лабораторное моделирование, дренажные воды, выщелачивание, цианид-ионы, сульфат-ионы, сульфид-ионы

**LABORATORY MODELLING OF DRAINAGE WATER COMPOSITION
WHEN STORING GOLD CYANIDATION WASTES****Belova T.P.***Research Geotechnological Center of Far Eastern Branch of Russian Academy
of Sciences Petropavlovsk-Kamchatskiy, e-mail: tpbel@yandex.ru*

The article provides data on the composition of solutions obtained on the basis of experimental laboratory modelling of physical-chemical interaction in the 'water-material' waste dump system. Long-term storage of gold cyanidation cakes in the tailings of gold-processing factories can lead to the pollution of surface water bodies. This pollution is a result of active and passive interaction of atmospheric precipitation with the waste material. The solution in equilibrium with the leaching cakes has a pronounced alkaline reaction with pH value of > 9.0 . During the first storage period the pH of the solutions increases as a result of hydrolysis reactions of excess reagent cyanides of alkali or alkaline-earth metals. Then the solutions pH is observed to decrease gradually towards the end of the first month of experimental observation. Sulphate ions, formed by the oxidation of metal sulphides in an alkaline medium, cyanide ions and heavy metal ions are accumulated in the solution due to the destruction of cyanide complexes with heavy metal ions, such as copper, zinc, cobalt, etc. The presence of arsenic in the drainage solutions in concentrations exceeding the maximum allowable concentration (MAC) is caused by oxidation of arsenopyrite contained in the source ore. Physical-chemical interactions result in exceeding of MACs for copper, cobalt, zinc, vanadium, chromium, molybdenum and wolframium in the drainage water established for fishery. Taking into account that the vast majority of water bodies in Kamchatka are spawning waters, it is recommended to treat drainage water using sorption methods. Local mineral aluminosilicate raw materials such as zeolites, which have an increased sorption capacity in neutral and slightly alkaline media, can be recommended to use as sorbents.

Keywords: laboratory modelling, drainage water, leaching, cyanide ions, sulphate ions, sulphide ions

Удаление ионов загрязняющих веществ из стоков горно-обогатительных комбинатов представляет большой научный и практический интерес. Обычно сточные воды содержат значительное количество ионов тяжелых металлов и других токсичных соединений, которые могут представлять потенциальную угрозу для людей, животных и окружающего растительного мира. Коли-

чество загрязненных вод и почв с каждым годом увеличивается пропорционально расширению промышленной деятельности и из-за отсутствия дешевых технологий их очистки. Основной проблемой охраны окружающей среды является проблема проникновения загрязняющих веществ в поверхностные водоемы. Особенно это актуально для Камчатского края, так

как реки региона, как правило, являются нерестовыми.

В последнее время наметилась тенденция перехода золотодобывающих предприятий на переработку труднообогатимого сырья. По некоторым оценкам [1] доля технологически упорных руд составляет примерно 30–40% от общих мировых запасов золота в недрах Земли. В этом случае наиболее эффективной технологией является цианирование [2]. Но необходимо обратить внимание на накопление твердых отходов [3], содержащих такие соединения, как цианиды, тиоцианаты, ионы тяжелых металлов, высокотоксичные металлоиды мышьяк, селен и др. Хранение твердых отходов происходит на открытых площадках и подвергается воздействию атмосферных факторов – это просачивание через толщу штабеля дождевой воды в летний период, талой воды при таянии снега весной и окисление кислородом воздуха. При оценке воздействия на гидрохимическую обстановку при разработке сульфидсодержащих месторождений установлено [4, 5], что, как правило, образуются кислые дренажные воды с высокими содержаниями тяжелых металлов, для которых установлены предельно допустимые концентрации (ПДК). При цианидном выщелачивании золота отходы имеют щелочную реакцию среды.

Целью настоящего исследования является экспериментальное лабораторное моделирование состава сточных вод в районе локализации отходов цианирования золотоизвлекательных предприятий.

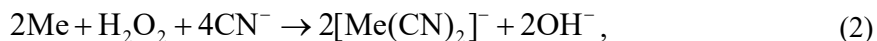
Материалы и методы исследования

Навески кека цианидного выщелачивания массой по 500 г помещали в пластиковые емкости объемом 2 л диаметром

140 мм. Образцы еженедельно приводили в соприкосновение с дистиллированной водой. После кратковременного интенсивного перемешивания (10 мин) пробы оставляли на сутки для осветления [6]. По истечении суток растворы из емкостей сливали декантацией, измеряли объемы, отфильтровывали через фильтры «синяя лента», в фильтраатах оперативно определяли pH, сульфат-ионы, сульфид-ионы, содержание цианид- и роданид-ионов, содержание макро- и микрокомпонентов. Измерение pH проводили с использованием иономера «SevenCompact» фирмы «Mettler-Toledo Instrument (Shanghai) Co. Ltd» с универсальным электродом с точностью не хуже, чем $\pm 0,03$ ед. pH. Определение сульфат- и сульфид-ионов – с использованием ВЭЖХ на приборе LC-20 Shimadzu (Япония), содержание цианид-ионов роданид-ионов титриметрически. Анализ микрокомпонентов методом ICP-MS проведен в АСИЦ ФГУП ВИМС (г. Москва) с использованием масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Elan 6100 (Perkin-Elmer, США) и атомно-эмиссионного спектрометра с индуктивно-связанной плазмой Optima 4300 DV (Perkin-Elmer, США).

Результаты исследования и их обсуждение

Известно, что одним из самых распространенных способов переработки золото-содержащих руд является цианирование [7]. Для цианирования, как правило, используют цианиды щелочных и щелочноземельных металлов [8]. Многие золотосодержащие руды содержат серебро, которое при цианировании растворяется наряду с золотом. В цианистых пульпах протекают процессы, согласно реакциям



где Me – это Au или Ag.

Обе реакции сопровождаются накоплением гидроксильных групп, что приводит к повышению pH > 9,0 ед. В действительности растворению золота полностью соответствует реакция (1), для серебра и реакция (1), и реакция (2). Окисление золота по реакции (1) возможно благодаря снижению окислительного потенциала в присутствии цианид-иона за счет образования

прочного комплексного иона $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$, имеющего константу нестойкости, равную $1,1 \cdot 10^{-41}$. Стандартный потенциал полуреакции $\text{Au} + 2\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Au}(\text{CN})_2]^- + \bar{e}$ равен –0,54 В. Константа нестойкости цианидного комплекса серебра $[\text{Ag}(\text{CN})_2]^-$ равна $1,8 \cdot 10^{-19}$, а стандартный потенциал полуреакции $\text{Ag} + 2\text{CN}^- \rightleftharpoons [\text{Ag}(\text{CN})_2]^- + \bar{e}$ равен –0,31 В.

Таблица 1

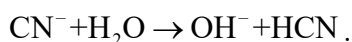
Макрокомпоненты кека выщелачивания

Компоненты	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	P ₂ O ₅
Содержание, мас. %	1,00	2,47	12,1	2,57	2,62	0,46	0,15	4,44	0,27	68,1	0,17

Необходимо отметить, что в состав золотосодержащих руд входят минералы, способные окисляться кислородом в щелочной среде в присутствии цианид-ионов, например сульфиды железа, меди, никеля и др. Помимо основных реакций при цианировании протекают нежелательные химические процессы, такие как окисление сульфидов, образование цианидных комплексов с ионами меди, никеля, цинка и т.д. Кроме этого, образующаяся при окислении сульфидов элементарная сера взаимодействует с цианид-ионами по реакции

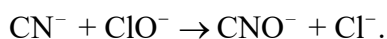


Избыток реагента подвергается гидролизу, так как цианиды щелочных и щелочноземельных металлов – это соли, образованные сильными основаниями и слабой кислотой, они гидролизуются по аниону по реакции

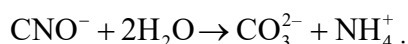


Выделение токсичной синильной кислоты приводит не только к дополнительному расходу реагента, но и к загрязнению воздушного пространства из-за летучести. Для смещения равновесия реакции гидролиза влево необходимо добавлять щелочь.

Первой стадией переработки цианистых пульп является обработка их гипохлоритом кальция. Гипохлорит кальция обеспечивает разложение цианидных комплексов цветных металлов, не затрагивая комплексные соединения благородных металлов.



Далее цианат-ионы под воздействием природных факторов, таких как атмосферные осадки, солнечный свет, кислород воздуха, гидролизуются до образования катионов аммония и карбонат-ионов:



В результате протекающих физико-химических, микробиологических и криогенных процессов в штабеле отвалов отработанного материала с атмосферным кислородом и осадками происходит загрязнение поверхностных водотоков.

Кек выщелачивания представляет собой однородную, тонкодисперсную, влажную массу. Начальный уровень влажности составил 21,4%. Усредненные данные химического состава порообразующих элементов воздушно-сухого кека выщелачивания представлены в табл. 1.

В табл. 2 представлен микрокомпонентный состав воздушно-сухого кека и равновесного с ним раствора в зависимости от времени контакта.

Степень извлечения первой порции раствора составила 58%. Это говорит о том, что кек выщелачивания имеет высокую влагоемкость, 42%, вероятно из-за набухания глинистой фракции. В течение следующего семидневного цикла извлечение раствора составило 76%, затем извлечение раствора продолжало повышаться до 89% и далее – 92% к окончанию четвертого цикла. При оценке водного баланса за время эксперимента (30 суток) был сделан вывод, что набухание глинистой фракции происходит наиболее интенсивно в первую неделю, затем этот процесс стабилизируется и к окончанию эксперимента извлечение раствора на уровне 92%, вероятно, связано с испарением влаги с поверхности открытой системы.

Раствор, находящийся в равновесии с кеком выщелачивания, имеет выраженную щелочную реакцию, обнаружены высокие содержания натрия и кальция в первой пробе фильтрата на уровне 110 и 130 мг/л соответственно. Содержание калия – 12 мг/л, магния – 0,24 мг/л. К четвертому циклу эксперимента концентрации указанных выше элементов снижаются в три раза и становятся равными, мг/л: натрия – 33,0; калия – 4,8; кальция – 43,0; магния – 0,11.

Установлено, что значения концентраций в фильтратах таких элементов, как Be, P, Ti, ниже ПДК_{рх} и ниже пределов определений, установленных для соответствующих аналитических методов. В первую неделю концентрация меди в растворе превышает ПДК_{рх} в 2,75 раза, затем снижается и к окончанию эксперимента становится менее 0,2 мкг/л. Содержание цинка превысило ПДК_{рх} в 1,6 раза на третьей неделе эксперимента.

Таблица 2

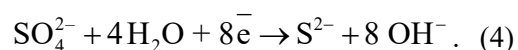
Микрокомпоненты твердой фазы и равновесного с ней раствора
в зависимости от времени

Компоненты	Твердая фаза, мг/кг	Состав раствора, мкг/л				ПДК _{рх} , мкг/л
		1 нед.	2 нед.	3 нед.	4 нед.	
Li	35,0	0,85	0,63	0,735	0,695	80
Be	0,88	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	0,03
B	15,0	9,5	8,15	9,85	13	500
Sc	17,3	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,6	–
V	158	19,5	< 0,7	< 0,7	13,5	1,0
Cr	65,0	16	200	< 1,0	< 1,0	70
Co	8,50	28	13	20,5	10,3	10
Ni	13,3	4,80	4,87	4,10	5,00	10
Cu	78,3	27,5	5,9	1,4	< 0,2	10
Zn	58,0	9,95	5,95	16,0	7,20	10
Ga	9,50	0,38	0,195	0,245	0,365	–
As	39,7	25,5	28,5	62,5	93	50
Rb	64,0	6,92	5,6	6,7	4,75	100
Sr	151	225	110	130	70	400
Y	16,6	0,015	0,0083	0,0074	0,012	–
Zr	93,5	0,098	0,125	0,280	0,250	70
Mo	27,5	890	440	690	340	1
Ag	21,0	5,3	5,8	2,95	1,51	–
Cd	2,84	1,45	0,635	0,545	0,46	5,0
Sn	1,85	0,18	0,27	< 0,1	< 0,1	112
Sb	6,70	5,1	6,05	7,90	9,35	–
Ba	294	9,60	6,00	11,5	6,70	740
La	6,15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	–
Ce	25,5	0,017	0,017	0,0117	0,024	–
W	3,10	1,20	0,98	2,15	1,65	0,8
Au	54,0	170	235	610	430	–
Pb	28,3	0,38	0,30	0,38	0,57	6
Bi	0,565	0,009	0,018	0,013	0,016	–

Содержание мышьяка увеличивалось от 25,5 мкг/л в начале эксперимента, и к третьей неделе его содержание превысило ПДК_{рх} в 1,25 раза, далее превышение составило 1,86 раза. Содержание вольфрама на всем протяжении наблюдения оставалось выше ПДК_{рх}, диапазон превышения составил 1,2–1,8 раза. Содержание молибдена снижается от 890 до 330 мкг/л (ПДК_{рх} = 1 мкг/л). Содержание кобальта также превышает ПДК_{рх}, но есть заметная тенденция к снижению. Хром и ванадий ведут себя нестабильно: в двух пробах обнаружены высокие содержания ванадия,

в одной пробе – высокое содержание хрома. Для других элементов превышение ПДК_{рх} не зафиксировано.

Наличие в фильтратах сульфат- и сульфид-ионов позволило определить окислительно-восстановительный потенциал системы. Среда имеет выраженную щелочную реакцию, значит, окисление сульфидной серы проходит согласно полуреакции (4), стандартный потенциал которой равен $E_{\text{SO}_4^{2-}/\text{S}^{2-}}^0 = -0,68$ в:



Расчет окислительно-восстановительного потенциала авторы вели по уравнению Нернста:

$$E_m = E_m^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_{Ox}}{C_{Red}},$$

где E_m – электродный потенциал, E_m^0 – стандартный электродный потенциал, R – универсальная газовая постоянная, T – температура в градусах Кельвина, F – число Фарадея, n – количество электронов, C_{Ox} и C_{Red} – концентрации окисленной и восстановленной форм химического элемента в моль/л соответственно.

Для полуреакции (4), после подстановки значений физических постоянных и перехода от натурального логарифма к десятичному, получаем выражение

$$E_{SO_4^{2-}/S^{2-}} = E_{SO_4^{2-}/S^{2-}}^0 + \frac{0.059}{8} \lg \frac{C_{SO_4^{2-}}}{C_{S^{2-}} \times C_{OH^-}^8}. \quad (5)$$

На основании экспериментальных данных по содержанию сульфат-, сульфид-ионов и pH растворов были рассчитаны значения Eh по уравнению (5). Графические зависимости указанных величин представлены на графике (рис. 1).

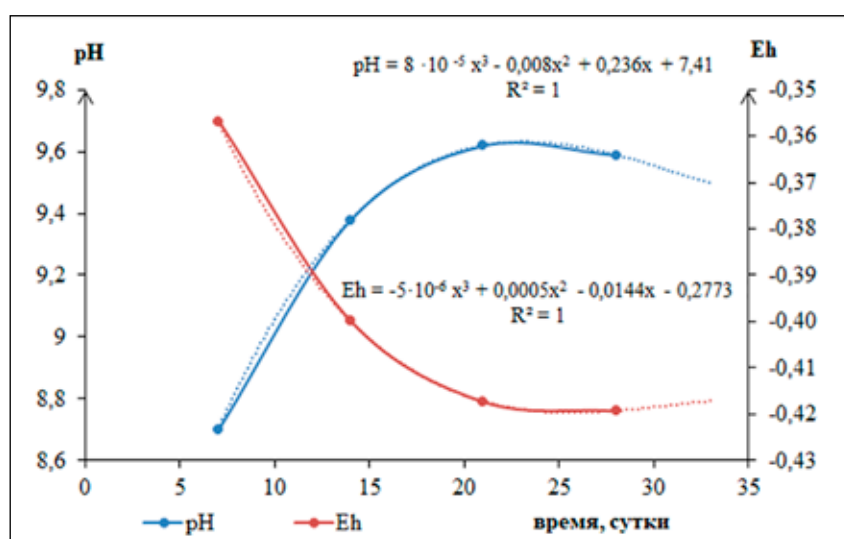


Рис. 1. Изменение pH и Eh растворов, находящихся в равновесии с твердой фазой, в зависимости от времени

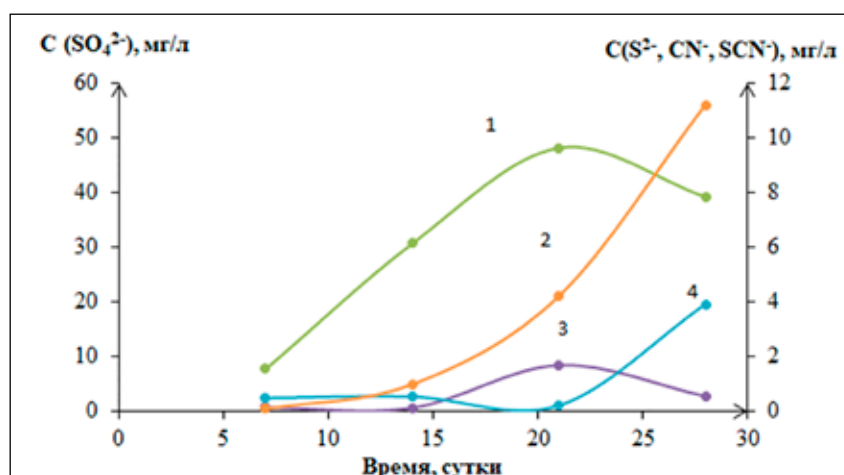


Рис. 2. Изменение концентрации сульфат-, сульфид-, цианид- и роданид-ионов в растворе, находящемся в равновесии с твердой фазой, в зависимости от времени. Концентрация сульфат-ионов (1) показана по основной оси, концентрация сульфид- (2), цианид- (3) и роданид-ионов (4) – по вспомогательной

Изменение содержания сульфат, сульфид-, цианид- и роданид-ионов представлено на графике (рис. 2).

Графоаналитическим методом установлено, что изменения рН и Eh описываются полиномом третьей степени. Это позволяет сделать краткосрочный прогноз (до 100 суток) состава раствора равновесного с материалом отвала. За время лабораторного эксперимента из твердой фазы в раствор было извлечено 39,9% серы в пересчете на элементную. Содержание сульфат-ионов с начала эксперимента повышалось и достигло к третьей неделе величины 48 мг/л. К четвертой неделе намечилось снижение сульфат-ионов в растворе до значения 39 мг/л. В то же время содержание сульфид-ионов продолжало увеличиваться и достигло 11,2 мг/л.

Графическая зависимость (рис. 2) позволяет предположить протекание химической реакции (3), при накоплении сульфид-ионов становится возможным образование роданид-ионов.

Заключение

Проведено лабораторное моделирование физико-химических процессов, происходящих при взаимодействии атмосферных факторов с кеком цианидного выщелачивания золота. Установлено, что при хранении твердых отходов цианидного выщелачивания золотосодержащих руд на открытых площадках в результате взаимодействия с атмосферными осадками происходит формирование загрязненных дренажных вод. Результатом физико-химических взаимодействий является превышение в дренажных водах ПДК, установленных для рыбохозяйственных водоемов, для меди, кобальта, цинка, ванадия, хрома, молибде-

на, вольфрама. Учитывая, что подавляющее большинство водоемов Камчатского края являются нерестовыми, рекомендуется очистка дренажных вод сорбционными методами. В качестве сорбентов может быть рекомендовано использование местного минерального алюмосиликатного сырья, например цеолитов, которые имеют повышенную сорбционную емкость в нейтральных и слабощелочных средах.

Список литературы

1. Мухамадиев В.Ф., Усманова Л.Р., Прочухан К.Ю., Прочухан Ю.А. Химическая перфорация упорных золотосодержащих руд // Вестник Башкирского университета. 2012. Т. 17. № 2. С. 898–901.
2. Рубцов Ю.И., Трубачев А.И., Воронов Е.Т., Лавров А.Ю., Лаврик А.А. Интенсификация извлечения дисперсного и тонко-вкрапленного серебра при цианидном кучном выщелачивании золота // Вестник ЗабГУ. 2020. Т. 26. № 8. С. 40–48.
3. Рыженко Б.Н., Белова Т.П., Рябенко А.Е., Черкасова Е.В. Оценка кислотного дренажа на рудных месторождениях // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2015. № 5. С. 415–424.
4. Сидорина Е.А. Извлечение золота цианированием // Актуальные научные исследования в современном мире. 2017. № 12–1 (32). С. 52–54.
5. Лиманцева О.А., Рыженко Б.Н., Черкасова Е.В. Прогноз влияния кислотного дренажа на изменение гидрохимической обстановки в районах сульфидсодержащих месторождений // Геохимия. 2015. № 10. С. 94–960.
6. Пашкевич Р.И., Белова Т.П., Таранов С.Р. Численное моделирование состава дренажных вод отвалов на месторождении «Аметистовое» // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2014. № S2. С. 270–286.
7. Черкасова Е.В., Мироненко М.В., Сидкина Е.С. Кинетико-термодинамическое моделирование кислотного дренажа объединенной технологической пробы с месторождения Павловское (Архипелаг Новая Земля, о. Южный). Предварительная оценка // Геохимия. 2021. Т. 66. № 2. С. 183–190. DOI: 10.31857/S0016752521020035.
8. Ананина Е.А., Нуршайыкова Г.Т., Амралинова Б.Б. Оценка возможности перезахоронения лежалых хвостов цианидного выщелачивания золота // Вестник Восточно-Казахстанского государственного технического университета им. Д. Серикбаева. 2019. № 2. С. 13–18.

УДК 553.982.2:550.8

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ ВОДОНАСЫЩЕННОСТИ НЕФТЯНОГО ПЛАСТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНДИКАТОРНЫХ (ТРАССЕРНЫХ) ИССЛЕДОВАНИЙ

Кузнецова К.И.*Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), Дубна, e-mail: primy@yandex.ru*

Для изучения возможности определения текущей водонасыщенности было проведено моделирование фильтрации оторочек меченой воды с помощью симулятора Eclipse. Исследования проводились на небольших моделях (одной нагнетательной и одной добывающей скважинах) для нефтяных пластов, различающихся по фильтрационным свойствам, PVT-свойствам, функциям Баклея – Леверетта и др. Была установлена эмпирическая связь между скоростью фильтрации оторочки индикатора, закачанной при разных значениях текущей водонасыщенности, со значением средней текущей водонасыщенности, определенным по данным Eclipse, на момент поступления оторочки меченой жидкости в добывающую скважину. Для учета разных значений проницаемостей нефтяного пласта значения скорости фильтрации были нормированы на значения проницаемости. Была построена эмпирическая зависимость скорости фильтрации оторочки меченой жидкости (y) от значений текущей водонасыщенности по результатам моделирования для разных функций Баклея – Леверетта (x). Зависимость имеет вид $y = a \times x^b$, где коэффициенты a и b определяются для конкретных свойств пластовых жидкостей путем моделирования. Предлагаемая методика работает в диапазоне текущей водонасыщенности 0,45–0,7 отн. ед. и заключается в следующем: 1) моделирование закачки нескольких последовательных оторочек меченой жидкости в рамках действующей гидродинамической модели; 2) определение времени прихода максимума оторочки индикатора в добывающие скважины; 3) расчет произведения времени прихода оторочки на среднюю проницаемость нефтяного пласта и построения кривой $y = a \times x^b$; 4) проведение закачки индикатора; 5) расчет текущей водонасыщенности пласта, используя полученную формулу. Методика позволяет оценивать значение текущей водонасыщенности по месторождению в целом или по отдельному участку. Периодическое проведение закачек порций меченой жидкости позволяет осуществлять мониторинг разработки месторождения нефти.

Ключевые слова: индикаторные исследования, текущая водонасыщенность, нефтяной пласт, моделирование фильтрации, меченая жидкость, гидродинамическая модель, проницаемость

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF DETERMINING THE CURRENT WATER SATURATION OF AN OIL RESERVOIR BASED ON THE RESULTS OF TRACER RESEARCH

Kuznetsova K.I.*Joint Institute for Nuclear Research (JINR), Dubna, e-mail: primy@yandex.ru*

To study the possibility of determining the current water saturation, a simulation of filtration of the edges of labeled water was carried out using the Eclipse simulator. The studies were carried out on small models (one injection and one production wells) for oil reservoirs that differ in filtration properties, PVT properties, Buckley-Leverett functions, etc. An empirical relationship was established between the filtration rate of the tracer rim, pumped at different values of the current water saturation, with the value of the average current water saturation, determined according to eclipse data, at the time of receipt of the labeled liquid rim into the producing well. To account for different values of oil reservoir permeability, the filtration rate values were normalized to the permeability values. An empirical dependence of the filtration rate of the labeled liquid rim (y) was constructed on the values of the current water saturation according to the simulation results for different Buckley-Leverett functions (x). The dependence has the form $y = a \times x^b$, where coefficients a and b are determined for specific properties of reservoir fluids by modeling. The proposed technique works in the range of the current water saturation 0.45–0.7 rel. units and is as follows: 1) simulation of injection of several consecutive edges of labeled liquid within the framework of the current hydrodynamic model; 2) determination of the time of arrival of the maximum edge of the tracer in the producing wells; 3) calculation of the product of the time of arrival of the edge on the average permeability of the oil reservoir and the construction of the curve $y = a \times x^b$; 4) pumping of the tracer; 5) calculation of the current water saturation of the reservoir using the resulting formula. The methodology allows us to estimate the value of the current water saturation for the field as a whole or for a separate site. Periodic injection of the tracer allows monitoring of oil production.

Keywords: tracer research, current water saturation, oil reservoir, filtration modeling, labeled liquid, hydrodynamic model, permeability

Начальная водонасыщенность нефтяного месторождения определяется исследованиями на керне. Она учитывает как подвижную воду, так и неподвижную. В процессе разработки месторождения значение водонасыщенности меняется. Величина текущей водонасыщенности определяется, как

правило, физическим или математическим моделированием или определяется в скважинах, то есть в «точках» [1, 2]. Оценка интегральной текущей водонасыщенности пласта в целом в процессе разработки залежи позволила бы повысить достоверность контроля разработки. Ранее было показано,

что индикаторные (трассерные) исследования позволяют оценивать объем пласта, занятый нагнетаемой водой [3]. Объем, занятый закачанной водой в определенный момент времени, не позволяет однозначно оценить текущую обводненность, так как в него не входит объем, занятый неподвижной водой. Это разные параметры. Автор предположил, что в определенных условиях между этими параметрами должна существовать эмпирическая связь. Для проверки этого предположения было проведено моделирование с помощью симулятора Эклипс на участке однородного нефтяного пласта.

Конкретной целью моделирования было установление эмпирической связи между результатами закачки разовых порций (оторочек) индикаторов и значением текущей

водонасыщенности, которая определялась по программе Eclipse. В качестве исследуемого параметра индикаторных исследований было выбрано время поступления в добывающую скважину максимальной концентрации порции индикатора, закачанной ранее в нагнетательную скважину.

Материалы и методы исследования

Характер изменения текущей водонасыщенности во времени будет зависеть от параметров пласта и пластовых жидкостей: нефти и воды. Моделирование проводилось для нескольких вариантов набора значений вязкостей нефти и воды и вида функций Баклея – Леверетта (рис. 1). Показатели, использованные при моделировании, приведены в таблице. Подробные результаты приведены для варианта 1.

Параметры модели для трех вариантов расчетов

	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3
Начальная водонасыщенность	0,2	0,2	0,2
Пористость	0,25	0,25	0,25
Плотность нефти в поверхностных условиях	912 кг/м ³	912 кг/м ³	800 кг/м ³
Плотность воды в поверхностных условиях	1160 кг/м ³	1160 кг/м ³	1000 кг/м ³
Вязкость нефти	40 сР	40 сР	10 сР
Проницаемость	500 мД	500 мД	500 мД
Доля связанной воды	0,11	0,11	0,11
Перепад давлений	300 Па	150 Па	150 Па

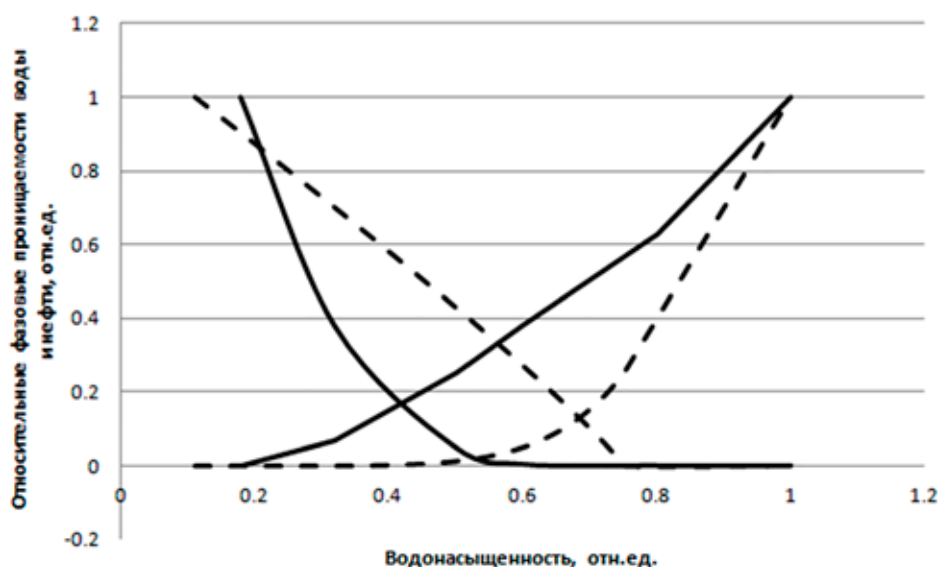


Рис. 1. Используемые функции Баклея – Леверетта.
Пунктирная линия – вариант 1 (высоковязкая нефть). Сплошная линия – вариант 2, 3

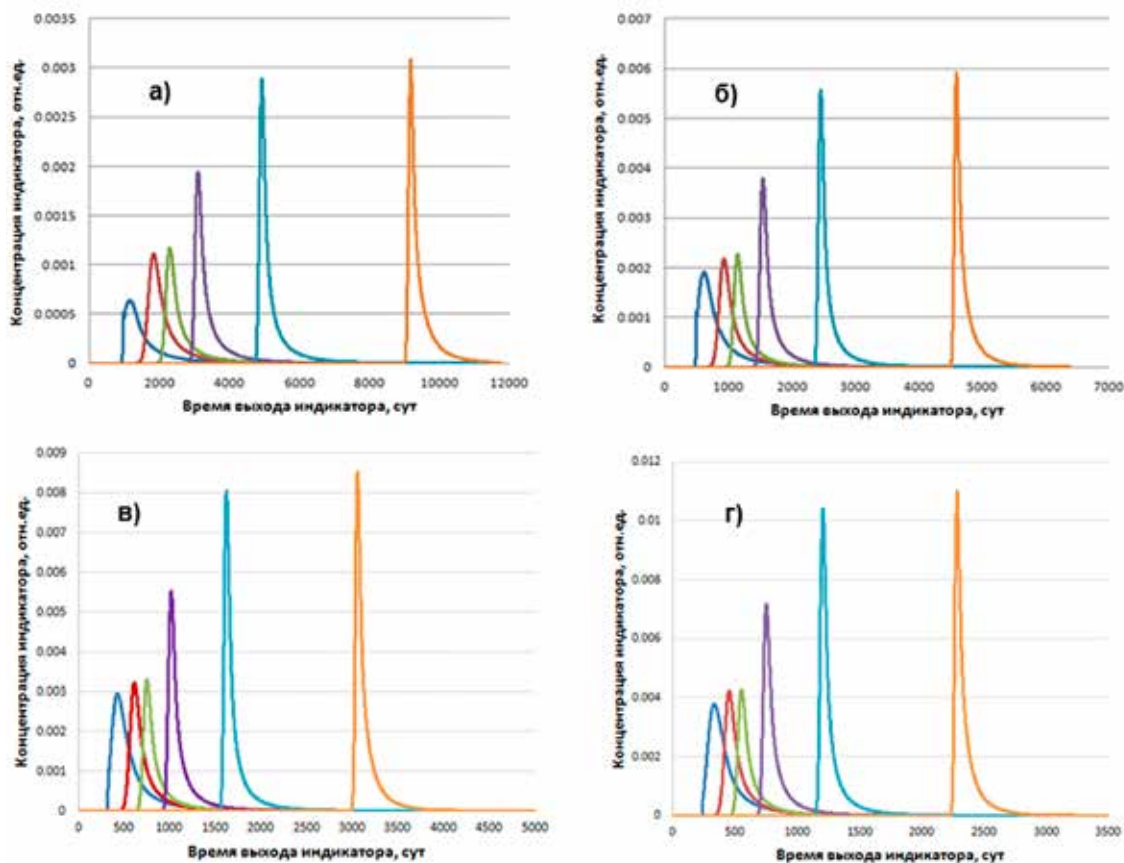


Рис. 2. Кривые зависимости выхода максимальной концентрации индикаторов, закачанных при разных значениях текущей водонасыщенности, от времени с момента закачки для пласта с проницаемостью 500 мД (а), 1000 мД (б), 1500 мД (в), 2000 мД (г)

Остальные результаты рассмотрены кратко. Моделирование в первом варианте проводилось на участке с одной нагнетательной и одной добывающей скважинами для четырех однородных пластов с проницаемостями 500 мД, 1000 мД, 1500 мД, 2000 мД, расстояние между скважинами составляло 372 м, а толщина пласта 2 м. Закачки оторочек меченой жидкости были проведены последовательно при разных значениях заранее рассчитанной в Eclipse текущей водонасыщенности: 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6 и 0,7. Фиксировалось время прихода максимальной концентрации каждой порции меченой жидкости в добывающую скважину.

Полученные результаты позволили установить вид зависимости выхода индикатора во времени и момент поступления максимальной концентрации индикаторов для каждого значения проницаемости пласта (рис. 2).

Оторочка меченой жидкости, которая в момент закачки может рассматриваться

как дельта-функция, в момент поступления в добывающую скважину будет относительно протяженной и будет иметь логнормальное распределение. Разбавление начальной концентрации индикатора по данным моделирования по отношению к максимальной зарегистрированной концентрации составило 100–1000 раз. Поэтому необходимо определить время поступления максимума концентрации индикатора и именно это время считать за момент поступления меченой жидкости. Далее были сопоставлены значения времени выхода максимума пика концентрации индикатора и значения текущей водонасыщенности пласта, при которой в добывающую скважину пришел этот максимум (рис. 3, цветные линии). Значения текущей водонасыщенности, при которой проходила закачка, и той, при которой индикатор поступил в добывающую скважину, не совпадают. Пока индикатор фильтруется по пласту с определенной скоростью, текущая обводненность меняется.

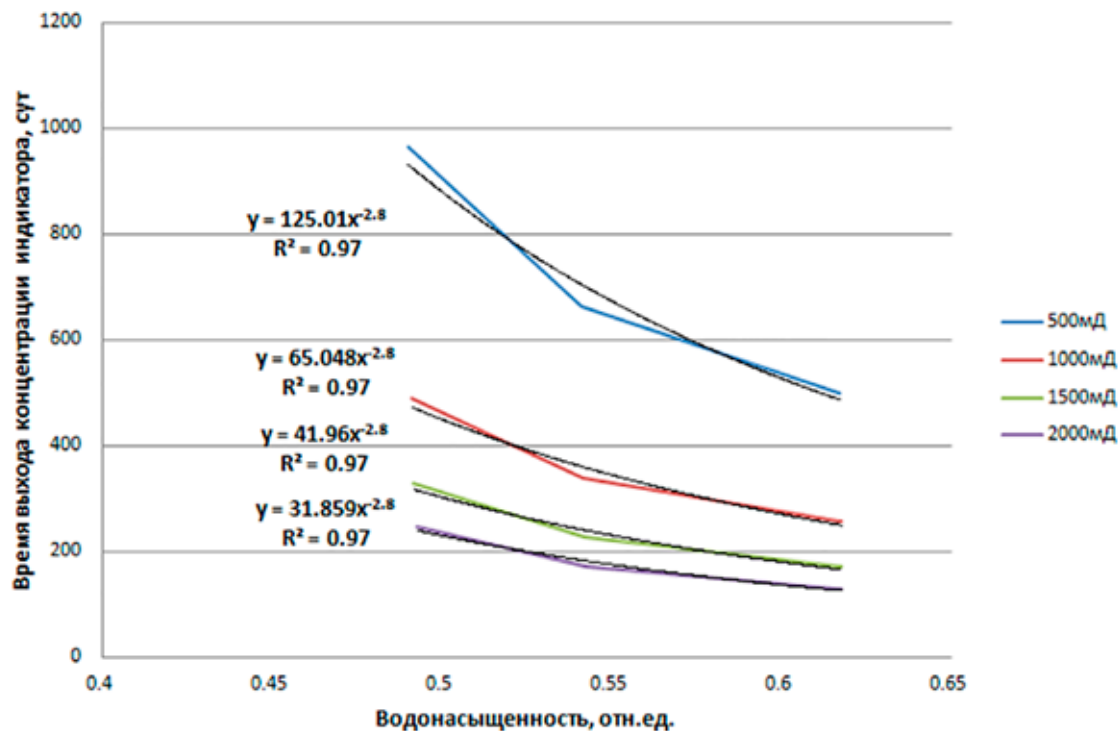


Рис. 3. Зависимость времени выхода максимальной концентрации индикатора от значения текущей водонасыщенности, при которой в добывающую скважину поступил этот максимум (для четырех однородных пластов с разной проницаемостью)

Была проведена аппроксимация полученных экспериментальных данных. Было установлено, что полученные значения для величин, полученных при закачке индикатора при значениях водонасыщенности 0,2–0,4, выпадают из общего характера зависимости. Анализ показал, что эти значения соответствуют неустоявшемуся режиму добычи нефти. Для значений текущей водонасыщенности от 0,45 до 0,7 отн. ед. получены аппроксимирующие кривые в виде степенной функции (рис. 3, тонкие черные линии.).

Экспериментальные точки кривой 1 хорошо описываются уравнением $y = 125,01 \times x^{-2,8}$ с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,98$, кривой 2 уравнением $y = 65,05 \times x^{-2,8}$ с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,98$, кривой 3 уравнением $y = 41,96 \times x^{-2,8}$ с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,98$ и кривой 4 уравнением $y = 31,86 \times x^{-2,8}$ с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,98$. По указанным уравнениям построены соответствующие аппроксимирующие кривые, которые также приведены на рис. 3. Все кривые описываются уравнениями вида $y = a \times x^{-2,8}$. Коэффициент «а» зависит от значения проницаемости пласта.

Такая связь понятна, чем выше «проницаемость» пласта, т.е. выше текущая водонасыщенность, тем больший путь должен проходить индикатор, так как индикатор фильтруется по всему заводненному объему. Анализ показывает, что время поступления максимальной концентрации индикатора зависит от проницаемости пласта, по которому происходит фильтрация, а путь S , проходимый фильтрующейся водой по пропласткам с разной проницаемостью на участке месторождения, может быть определен как

$$S = V \times T,$$

где T – время от момента закачки воды, меченной индикатором, до времени поступления максимальной концентрации индикатора из добывающей скважины. На начальных этапах заводнения пути, проходимые нагнетаемой водой, будут увеличиваться, так как в заводнение будут вовлекаться новые участки залежи. Для зрелых месторождений будет характерно «доотмывание» пласта. Поэтому можно полагать, что средний путь движения нагнетаемой воды в этом случае будет постоянным. Скорость фильтрации

воды V пропорциональна проницаемости пласта. Поэтому нами было предложено нормировать время выхода индикатора путем умножения на значение проницаемости исследуемого пласта и исключить тем самым влияние проницаемости на величину времени движения индикатора.

Таким образом, для получения унифицированной связи между временем выхода максимума пика индикатора и текущей водонасыщенностью надо умножить время движения индикатора от момента закачки воды, меченной индикатором, до времени поступления максимальной концентрации из добывающей скважины на значение проницаемости изучаемого пласта. Последнее выбирается по действующей гидродинамической модели пласта. Для упрощения дальнейшего изложения материала назовем «значение произведения времени поступления максимальной концентрации на значение проницаемости изучаемого пласта» «нормированной скоростью фильтрации индикатора».

В нашем примере значения времени поступления максимальной концентрации, полученные моделированием и приведенные на рис. 3, надо умножить на значения проницаемости: каждую экспериментальную точку умножают на значение проницаемости пласта, для которого проводилось моделирование. В результате этого все точки, которые лежали на разных кривых, ложатся на одну кривую, которая описывается функцией $y = 5,76 \times x^{-0,4}$, коэффициент корреляции $R^2 = 0,94$, где x – значения определяемой текущей водонасыщенности отн. ед., а y – нормированная скорость фильтрации оторочки меченой воды отн. ед. (рис. 4).

Полученные результаты моделирования относились к пласту с определенными физико-химическими параметрами (вариант 1 таблицы). Приведем сводные результаты моделирования для вариантов 1, 2 и 3 таблицы (рис. 5). Кривые на рис. 5 имеют подобный друг другу вид. Это показывает, что связь существует для пластов с разными свойствами пластовых жидкостей.

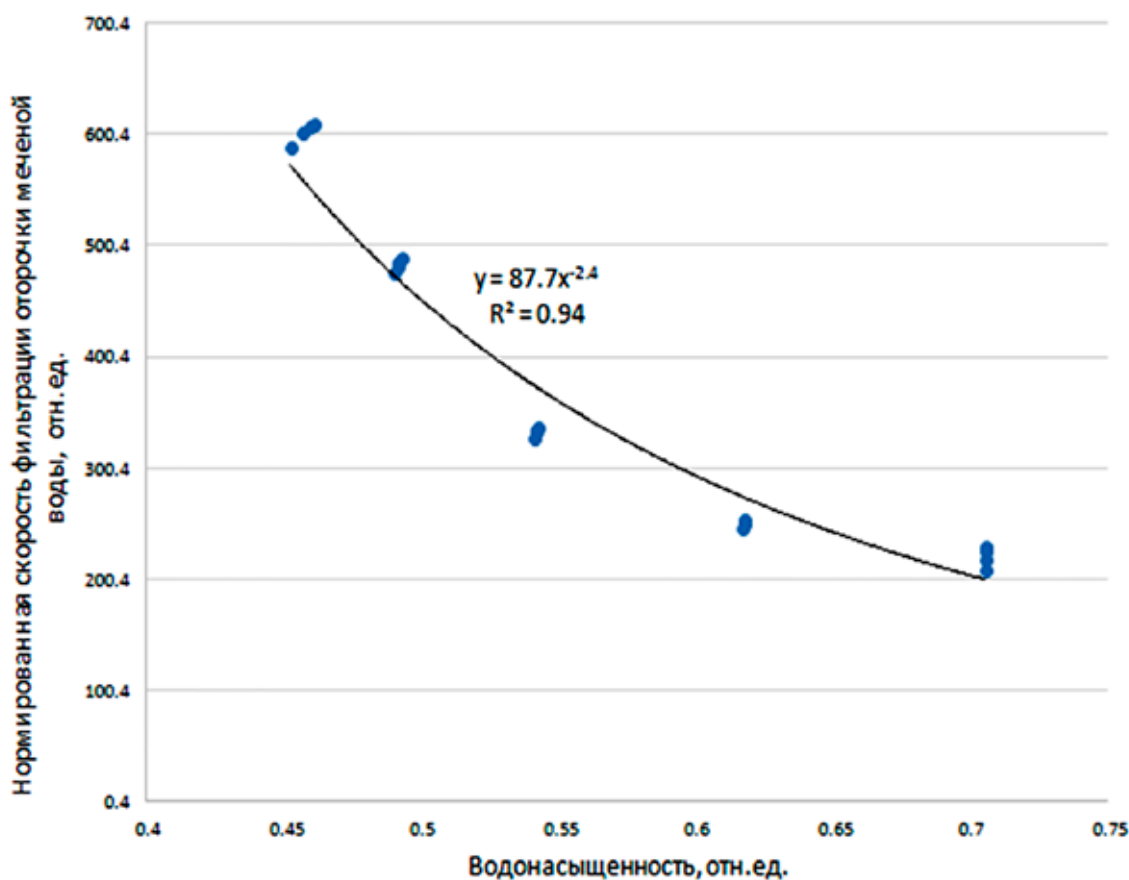


Рис. 4. Связь между значениями текущей водонасыщенности S , отн. ед., и нормированной скорости фильтрации индикатора, отн. ед.

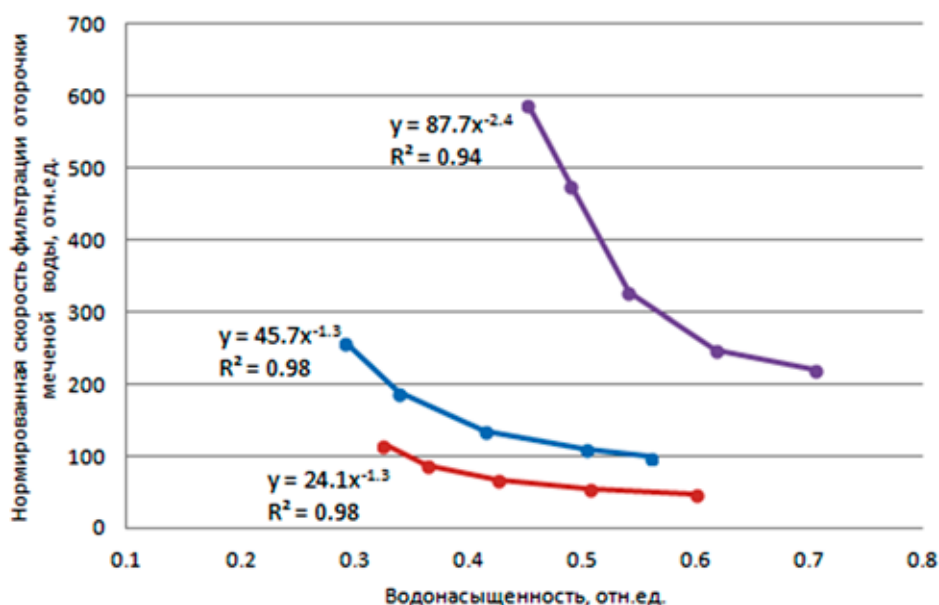


Рис. 5. Связь между нормированной скоростью фильтрации и текущей водонасыщенностью для пластов с разными свойствами: фиолетовая линия – первый вариант, синяя – второй, красная – третий

Результаты исследования и их обсуждение

Таким образом, была показана возможность оценки значения текущей водонасыщенности пласта «зрелых» месторождений нефти по результатам индикаторных исследований. Закачивая разные индикаторы в разные нагнетательные скважины, можно определять вклад в величину текущей водонасыщенности пласта от каждой нагнетательной скважины по отдельности и суммарно. Для практического применения данной методики сначала необходимо провести предварительное моделирование фильтрации меченого вещества, используя существующую цифровую фильтрационную модель пласта. В процессе этого моделирования определяют ожидаемое время приходов индикатора в добывающие скважины и коэффициенты в формуле $y = a \times x^b$. Методика работает при значениях текущей водонасыщенности от 0,45 до 0,7 отн. ед., т.е. для «зрелых» месторождений. Поэтому для проведения исследований выбирают именно этот интервал. В любой момент времени, выбираемый из этого временного интервала, можно провести закачку порции воды, меченой индикатором, в одну или несколько нагнетательных скважин. В каждую скважину надо закачивать свой индикатор. С устья добывающих сква-

жин отбирают пробы пластовой жидкости и определяют концентрации всех закачанных индикаторов и время поступления максимальной концентрации каждого из индикаторов из каждой добывающей скважины. Объем и концентрацию закачиваемого индикатора надо выбирать с учетом предполагаемого разбавления и чувствительности используемой аппаратуры. Эффективный результат можно получить при одновременной закачке индикаторов практически во все нагнетательные скважины. В этом случае получаем оценку текущей водонасыщенности по всему месторождению интегрально, что невозможно при оценке водонасыщенности по отдельным скважинам. Повторяя закачки регулярно, можно определять этот параметр систематически и контролировать эффективность добычи нефти. Для этого нужен большой набор различающихся между собой и дешевых индикаторов. Это в настоящее время реально, так как появились индикаторы на основе квантовых точек и ДНК [4, 5], которые позволяют многократно расширить количество используемых индикаторов.

Представляется, что мониторинг этого параметра будет особенно востребован при управлении добычей с использованием автоматизированных систем на основе искусственного интеллекта [6, 7]. Такие системы базируются на контроле закачки

воды, отборе пластовых флюидов и проведении геолого-технологических мероприятий (ГТМ), направленных на оптимизацию перечисленных процессов. Индикаторные исследования существенно дополняют методы контроля фильтрации жидкостей в межскважинном пространстве [8, 9]. Ранее было показано, что они позволяют контролировать эффективность ГТМ [10]. Методика, предлагаемая в статье, наряду с другими методиками индикаторных исследований может стать существенным элементом информационной системы обеспечения контроля разработки нефтяных месторождений.

Заключение

Была установлена эмпирическая связь между скоростью фильтрации оторочки меченой жидкости, закачанной при значениях текущей водонасыщенности от 0,45 до 0,7 отн. ед., со значением средней текущей водонасыщенности разрабатываемого нефтяного пласта. Производя многократные закачки порций меченой воды в разные нагнетательные скважины в разное время, можно проводить оперативный мониторинг значения текущей водонасыщенности в области воздействия данной нагнетательной скважины и по месторождению в целом. Предлагаемая методика может войти в систему контроля разработки нефтяных месторождений как не имеющая аналогов для оценки текущей водонасыщенности в межскважинном пространстве.

Список литературы

1. Луппов В.И. Оценка характера насыщенности коллекторов по данным исследований керн и кривых относительной фазовой проницаемости: сведения, относящиеся к заглавию // Вестник Пермского университета. 2017. Т. 16. № 1. С. 77–83.
2. Ашимов Ж.Е., Каналин Р.А. Современный метод ГИС для определения коэффициента водонасыщенности в карбонатном разрезе // Сборник научных трудов ТОО «КМГ Инжиниринг» за 2020 г. 2021. № 1 (19). С. 75–90.
3. Хозяинов М.С., Соколовский Э.В., Чернокожев Д.А. Индикаторные фильтрационные исследования нефтяных месторождений. Palmarium Academic Publishing, 2014. 180 с.
4. Rassenfoss, Stephen and Trent Jacobs. DNA Sequencing: A New Diagnostic Tool for Shale Wells // Journal of Petroleum Technology. 2016. No. 68. P. 30–38. DOI: 10.2118/0516-0030-JPT.
5. Гурьянов А., Каташов А., Овчинников К. Диагностика и мониторинг притоков скважин с помощью трассеров на квантовых точках // Журнал Технологии. 2017. № 2. С. 42–51.
6. Бриллиант Л.С., Дулкараев М.Р., Данько М.Ю., Елишева А.О., Набиев Д.Х., Хуторная А.И., Мальков И.Н. Управление добычей нефти на основе нейросетевой оптимизации режимов работы скважин на участке опытно-промышленных работ пласта ЮВ1 Ватьеганского месторождения ТПП «Повхнефтегаз» // Георесурсы. 2022. Т. 24. № 1. С. 3–15.
7. Подольский А.К. Применение методов искусственного интеллекта в нефтегазовой промышленности // Современная наука. 2016. № 3. С. 33–36.
8. Савичев В.И., Рамазанов Р.М., Надеждин О.В. Способ определения остаточной водонасыщенности и проницаемости пласта // Патент РФ № 2399070. Патентообладатель ООО «РН-УфаниПИнефть». 2010. Публикация: 2010.09.10.
9. Белохин В.С., Калмыков Г.А., Кашина Н.Л. Способ определения коэффициента нефтегазонасыщенности по комплексу ГИС на основании импульсных нейтронных методов каротажа // Патент РФ № 2503040. Патентообладатель ООО «Сплит». 2013. Публикация, 2013.12.27.
10. Хозяинов М.С., Чернокожев Д.А., Кузнецов М.И., Кузнецова К.И. Оценка эффективности выравнивания профиля приемистости по результатам индикаторных исследований // Нефтяное хозяйство. 2016. № 4. С. 98–102.

УДК 556:628.161.2

ИЗВЛЕЧЕНИЕ КАТИОНОВ СВИНЦА (II) ПРИРОДНЫМ И МОДИФИЦИРОВАННЫМ ДИАТОМИТОМ

Полещук И.Н., Усова Е.Л., Полещук В.В.

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень,
e-mail: poleschukin@tyuiu.ru

Сточные воды различных промышленных предприятий содержат множество токсичных веществ. Ионы тяжелых металлов, к которым относится и свинец, являются токсичными и опасными компонентами. Для удаления токсичных тяжелых металлов используются различные технологии. В последние годы для извлечения тяжелых металлов из промышленных сточных вод применяется метод ионного обмена с использованием природных (минеральные) сорбентов. Уральский регион славится множеством минералов разнородных по химическому составу и обладающих сорбционными свойствами. В настоящей работе были проведены экспериментальные исследования природного глинистого минерала – диатомита. Цель работы: оценка возможности извлечения свинца (II) из водных растворов диатомитом с возможным применением исследуемого сорбента для водоочистки. Химический состав исследуемого минерала был определен методом сканирующей электронной микроскопии. Исследование сорбционной активности диатомита проводили в положении статистики на модельных растворах с различной концентрацией. Сорбционную способность диатомита по отношению к катионам свинца исследовали на основе построения изотерм Ленгмюра. Для описания процесса сорбции использовали две модели – Ленгмюра и Фрейндлиха. Для повышения количества поверхностных адсорбционных центров осуществляли обработку изучаемого минерала растворами HCl, NaOH и NaCl. В результате были получены H-, OH- и Na-разновидности исследуемого сорбента. Полученные результаты исследования доказали, что химически модифицированные разновидности природного сорбента обладают большей извлекающей способностью. К наибольшему увеличению сорбционной способности привело щелочное модифицирование. Проведенные исследования позволяют рекомендовать природный сорбент диатомит для очистки водных растворов от ионов свинца (II). Для повышения сорбционной активности минерала необходимо проводить его химическую модификацию.

Ключевые слова: природный сорбент, диатомит, эффективность сорбции, катионы свинца, модифицированные формы сорбента

EXTRACTION OF LEAD (II) CATIONS WITH NATURAL AND MODIFIED DIATOMITE

Poleschuk I.N., Usova E.L., Poleschuk V.V.

Tyumen Industrial University, Tyumen, e-mail: poleschukin@tyuiu.ru

Wastewater from various industrial enterprises contains many toxic substances. Ions of heavy metals, which include lead, are toxic and dangerous components. Various technologies are used to remove toxic heavy metals. In recent years, the ion exchange method using natural (mineral) sorbents has been used to extract heavy metals from industrial wastewater. The Ural region is famous for a variety of minerals that are heterogeneous in chemical composition and have sorption properties. In the present work, experimental studies of a natural clay mineral – diatomite were carried out. Purpose of the work: assessment of the possibility of extracting lead (II) from aqueous solutions with diatomite with the possible use of the studied sorbent for water purification. The chemical composition of the studied mineral was determined by scanning electron microscopy. The study of the sorption activity of diatomite was carried out in the position of statistics on model solutions with different concentrations. The sorption capacity of diatomite with respect to lead cations was studied based on the construction of Langmuir isotherms. Two models, Langmuir and Freundlich, were used to describe the sorption process. To increase the number of surface adsorption centers, the studied mineral was treated with solutions of HCl, NaOH, and NaCl. As a result, H-, OH- and Na-varieties of the studied sorbent were obtained. The obtained results of the study proved that chemically modified varieties of natural sorbent have a greater extraction capacity. Alkaline modification led to the greatest increase in sorption capacity. The conducted studies allow us to recommend the natural sorbent diatomite for the purification of aqueous solutions from lead (II) ions. To increase the sorption activity of the mineral, it is necessary to carry out its chemical modification.

Keywords: natural sorbent, diatomite, sorption efficiency, lead cations, modified forms of sorbent

Ионы тяжелых металлов, содержащиеся в сточных водах, являются ядовитыми компонентами для всех живых существ [1]. Такие ионы можно обнаружить в промышленных сточных водах различных производств. Среди тяжелых металлов свинец выделяется тем, что даже малое его содержание является высокотоксичным [2]. Накопление свинца в природной среде обусловлено наличием тетраэтилсвинца в автомобильном

топливе, а также выбросами на ТЭЦ при сжигании угля. Аккумуляторные заводы являются главными потребителями свинца. Более половины добываемого свинца используется для изготовления аккумуляторных батарей [3]. Гальванический процесс благополучно протекает в основном только с металлическим свинцом, кроме того, устойчивость против коррозии увеличивает эксплуатацию аккумуляторных батарей.

Для удаления токсичных тяжелых металлов используется ряд различных технологий [4-6]. В настоящее время для извлечения тяжелых металлов из промышленных сточных вод увеличилось применение метода ионного обмена с использованием природных (минеральные) сорбентов [7-9].

Целью работы является оценка возможности извлечения свинца (II) из водных растворов диатомитом с возможным применением исследуемого сорбента для водочистки.

Материал и методы исследования

Для извлечения ионов свинца был использован природный диатомит тонкодисперсный светло-серого цвета. Месторождение исследуемого диатомита – г. Ирбит Свердловской области. Основным компонентом химического состава диатомита является SiO_2 , кроме того минерал содержит оксиды алюминия, железа, магния и другие [10]. Химический состав исследуемого минерала представлен на рисунке 1. Точность определения $\pm 2\%$. Анализ проведен с помощью сканирующей электронной микроскопии.

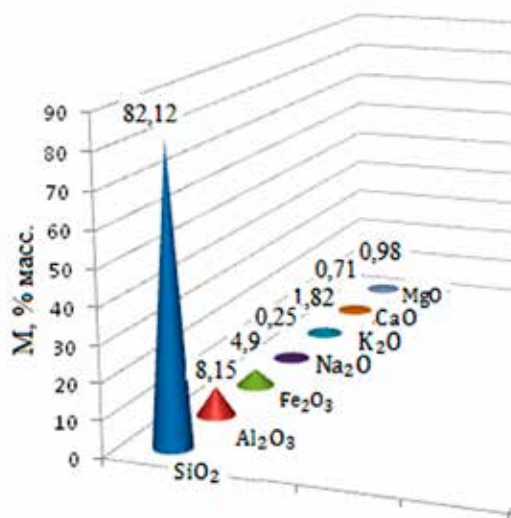


Рис. 1. Химический состав природного диатомита

Исследование сорбционной активности диатомита проводили в положении статике на модельных растворах с различной концентрацией катионов свинца. Для построения изотерм использовали модель Ленгмюра и Фрейндлиха. Исследования проводились в температурном режиме 298, 318 и 333 К. Для повышения количества поверхностных адсорбционных центров осуществляли об-

работку изучаемого минерала растворами HCl , NaOH и NaCl . В результате были получены Н-, ОН- и Na-разновидности исследуемого сорбента.

Результаты исследования и их обсуждение

Сорбционная активность диатомита вызвана взаимодействием гидроксильных групп глинистого минерала с катионами свинца. Поглощающая способность диатомита связана с реакционной активностью силановых групп и их численностью, что определяется степенью гидратации кремнезема. Описание процесса сорбции можно провести на основе построения изотерм. Вид изотермы характеризует меру сродства исследуемого сорбента к извлекаемым ионам. Кроме того на основе изотермы можно определить максимальную сорбционную способность исследуемого минерала. Количественным параметром сорбционного процесса является удельная сорбция (Γ), которую вычисляли по формуле:

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C_p) \cdot V_{\text{р-ра}}}{m_c},$$

где C_0 – начальная концентрация ионов свинца в модельном растворе, моль/л;

C_p – равновесная концентрация ионов свинца, моль/л;

$V_{\text{р-ра}}$ – объем исследуемого раствора, мл;

m_c – масса исследуемого сорбента, г.

На рисунке 2 показаны изотермы, полученные при сорбции свинца на природном диатомите в различных температурных режимах.

Рисунок 2 демонстрирует, что с увеличением равновесной концентрации ионов свинца в растворе и температуры удельная сорбция увеличивается. При температуре 298 К величина сорбции составила 0,52 моль/г, при 318 К – 0,56 моль/г, при 333 К – 0,64 моль/г. На начальных участках полученных изотерм наблюдается резкий подъем, что доказывает сорбционное сродство природной формы диатомита к ионам свинца. Рисунок 3 показывает изотермы, полученные при сорбции свинца на различных разновидностях минерала.

Объяснить сорбционный процесс можно на основе моделей Ленгмюра и Фрейндлиха [11]:

1) модель Ленгмюра

$$\Gamma = \Gamma_{\infty} \cdot \frac{K_L \cdot C}{1 + K_L \cdot C},$$

или в линейной форме:

$$\frac{C_p}{\Gamma} = \frac{C_p}{\Gamma_{\infty}} + \frac{1}{\Gamma_{\infty} \cdot K_L},$$

где Γ – величина удельной сорбции, моль/г;
 Γ_{∞} – величина предельной сорбции, моль/г;
 C_p – равновесная концентрация свинца, моль/л;
 K_L – константа равновесия сорбционно-го процесса.

2) модель Фрейндлиха

$$\Gamma = K_F \cdot C_p^{1/n},$$

или в линейной форме:

$$\lg \Gamma = \lg K_F + \frac{1}{n} \cdot \lg C_p$$

где K_F ; n – константы Фрейндлиха.

Изотермы Ленгмюра – это теоретическая модель, которая представляет сорбцию как однослойную на однородной поверхности. Для описания процесса сорбции на разнородной поверхности сорбента можно использовать модель Фрейндлиха. Относительная сорбционная способность в уравнении Фрейндлиха определяется константой K_F . Константа n характеризует интенсивность сорбционного процесса и распределение центров активности.

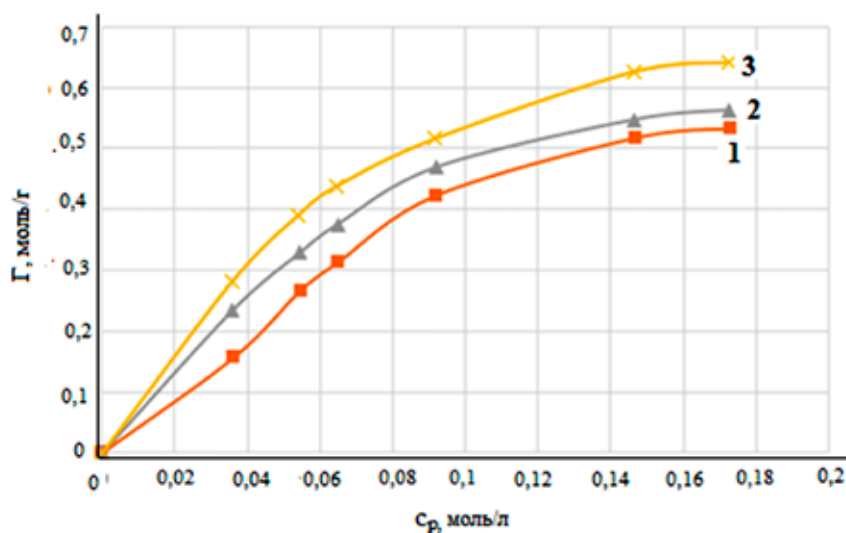


Рис. 2. Изотермы сорбции свинца на природном диатомите при температурах, К: 298(1), 313 (2), 333 (3)

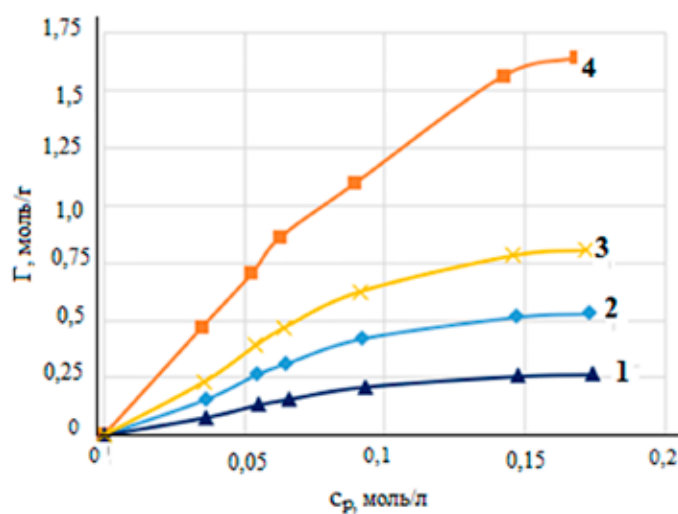


Рис. 3. Изотермы сорбции свинца на различных модификациях диатомита: Н-форма (1), природная форма (2), Na-форма (3), OH-форма (4) при температуре 298 К

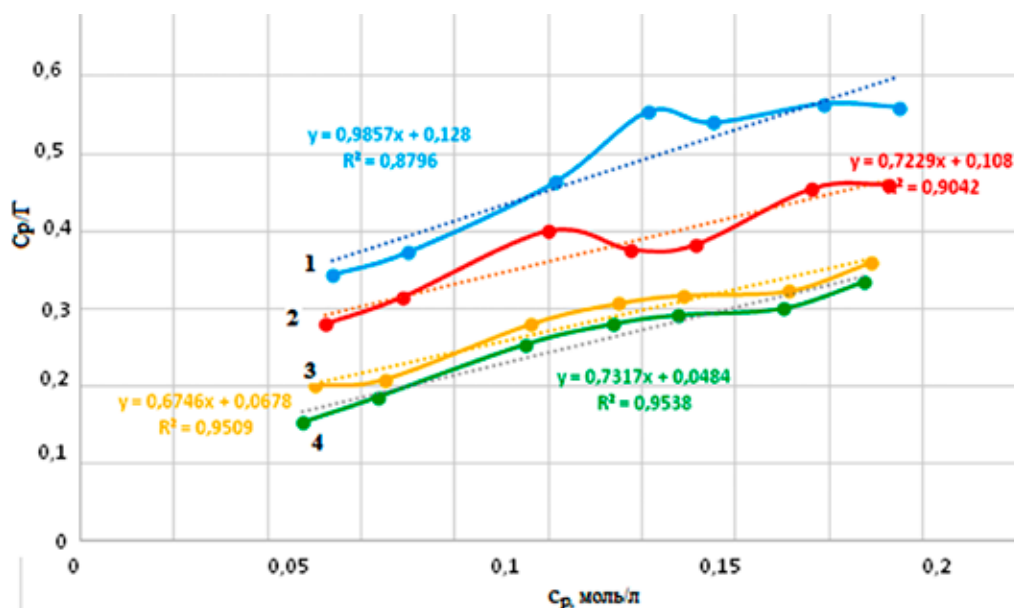


Рис. 4. Сорбционные изотермы свинца по уравнению Ленгмюра линейного вида для разных модификаций сорбента: 1-Н-форма, 2-природная форма, 3- Na-форма, 4- ОН-форма

Таблица 1

Постоянные уравнения Ленгмюра для различных форм диатомита

Т, К	Постоянные Ленгмюра					
	Нативная форма			ОН-форма		
	Γ_{∞} , моль/г	K_L	R^2	Γ_{∞} , моль/г	K_L	R^2
298	1,18	0,210	0,9042	3,15	0,297	0,9538
318	1,96	0,089	0,9282	6,1	0,086	0,9787
333	2,4	0,079	0,9512	7,84	0,072	0,9975
Т, К	Н-форма			Na-форма		
	Γ_{∞} , моль/г	K_L	R^2	Γ_{∞} , моль/г	K_L	R^2
	Γ_{∞} , моль/г	K_L	R^2	Γ_{∞} , моль/г	K_L	R^2
298	0,58	0,214	0,8796	1,75	0,22	0,9509
318	0,96	0,09	0,8845	2,97	0,088	0,9651
333	1,15	0,086	0,9264	3,77	0,074	0,9852

Если n равняется 1, это означает, что все сорбционные центры одинаковы по величине.

Когда n оказывается больше 1, энергетическая связь сорбента и сорбтива уменьшается в процессе заполнения всей поверхности сорбента. В том случае, когда величина n имеет значение меньше 1, энергия связи будет увеличиваться и тогда сначала заполняются сорбционные центры с меньшей энергией [11].

Для вычисления констант уравнения Ленгмюра строили графическую зависимость в координатах $C_p / \Gamma - C_p$, представленную на рисунке 4.

Постоянные Ленгмюра для всех форм сорбента приведены в таблице 1.

Результаты, представленные в таблице 1 показывают, что ОН-модификация диатомита является более благоприятной по отношению к катионам свинца. В этой модифицированной форме величина удельной сорбции имеет наибольшие значения.

Для определения констант уравнения Фрейндлиха были построены графики зависимости в координатах $\lg \Gamma - \lg C_p$, изображенные на рисунке 5.

Постоянные Фрейндлиха для всех форм диатомита приведены в таблице 2.

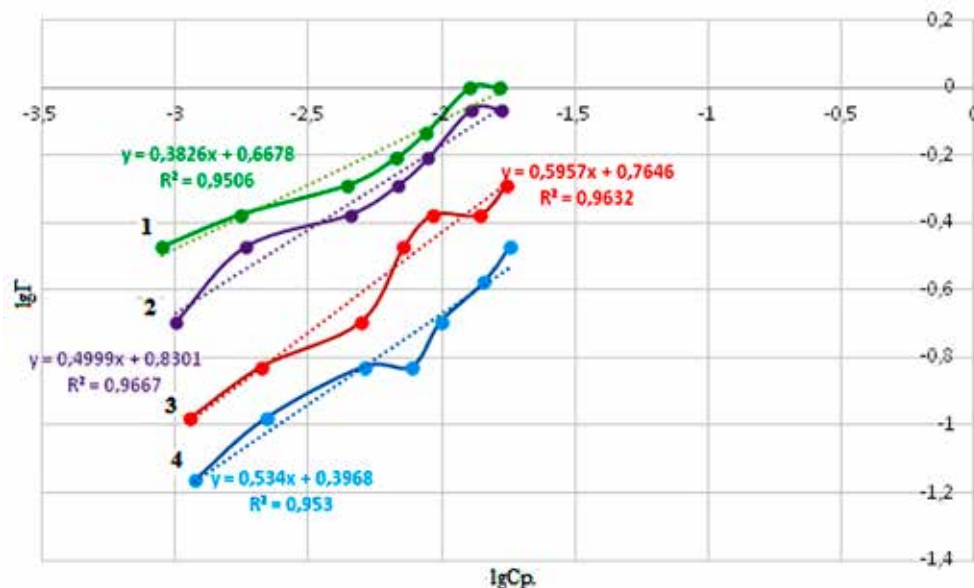


Рис.5. Изотермы сорбции свинца в координатах линейного вида уравнения Фрейндлиха в разных формах сорбента: 1-ОН-форма, 2- Na -форма, 3- природная форма, 4- H- форма

Таблица 2

Постоянные уравнения Фрейндлиха для различных форм диатомита

Т, К	Постоянные Фрейндлиха					
	Нативная форма			ОН-форма		
	n	K_F	R^2	n	K_F	R^2
298	0,66	1,06	0,9632	2,71	1,97	0,9506
318	0,74	2,1	0,9748	30,86	3,34	0,9798
333	0,92	2,2	0,9885	181,8	3,38	0,9898
Т, К	Н-форма			Na-форма		
	n	K_F	R^2	n	K_F	R^2
	n	K_F	R^2	n	K_F	R^2
298	1,25	0,46	0,953	2,7	0,49	0,9667
318	1,54	0,059	0,9722	1,33	1,37	0,9793
333	2,37	0,011	0,9931	1,4	1,43	0,9816

Результаты, представленные в таблице 2 показывают, что постоянная Фрейндлиха n имеет значение больше 1 для всех модифицированных форм диатомита, а значит все эти формы являются выгодными для извлечения ионов свинца. Более выгодным является ОН-модификация диатомита. Величина постоянной Фрейндлиха K_F свидетельствует о свободном перемещении ионов свинца из раствора в фазу сорбента и сорбционной активности ОН-формы диатомита к извлекаемым ионам свинца.

Выводы

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Исследованный природный минерал (диатомит) проявляет сорбционную способность к извлекаемым ионам свинца, поэтому его можно использовать в целях водоочистки.

2. Химическое модифицирование поверхности сорбента позволило повысить сорбционные характеристики диатомита. Наибольшее количество активных центров имеет диатомит при щелочной модификации.

Список литературы

1. Фрумин Г.Т. Экологическая токсикология (экоотоксикология). Курс лекций. СПб.: РГМУ, 2013. 179 с.
2. Добровольский В.В., Обухов А.И., Лобанова Е.А. и др. Свинец в окружающей среде. М.: Наука, 1987. 179 с.

3. Золотарёва Б.Н., Скрипниченко И.И. Содержание и распределение тяжёлых металлов (свинца, кадмия и ртути) в почвах. М.: Пущино, 1980. 90 с.
4. Халтурина Т.И. Очистка сточных вод промышленных предприятий. Красноярск: СФУ, 2014. 164 с.
5. Терехов Л.Д., Воловник Г.И., Терехова Е.Л. Методы очистки воды. Изд-во: Инфра-Инженерия, 2023. 320 с.
6. Пимнева Л.А., Лебедева А.А. Исследование сорбции ионов меди (II) природным сорбентом // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-2. С. 329-333.
7. Убаськина Ю. А., Коростелева Ю.А. Исследование возможности практического применения диатомита для очистки сточных вод // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №7. С. 92-96.
8. Гусев Г.И., Гушин А.А., Гриневич В.А., Филиппов Д.В., Москаленко Е.А., Шильке М.А. Адсорбция 2,4-дихлорфенола и фенола из водных растворов силикатным адсорбентом // Журнал физической химии. 2021. № 2. С. 279-284.
9. Белова Т.П. Адсорбция марганца и свинца натуральным цеолитом из водных растворов // Сорбционные и хроматографические процессы. 2015. № 5. С. 630-635.
10. Максатова А.М., Везенцев А.И., Михайлюкова М.О., Калашникова Л.А. Физико-химические основы получения адсорбента на основе диатомита // Вестник современных исследований. 2017. № 7-1. С. 162-169.
11. Пальтиель Л.Р., Зенин Г.С., Волюнец Н.Ф. Коллоидная химия: Учеб. пособие. СПб: СЗТУ, 2004. 68 с.

СТАТЬЯ

УДК 528:552

**ОСОБЕННОСТИ ЧАСТИЧНОЙ ТЕРМОСТАТОЧНОЙ
НАМАГНИЧЕННОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД
КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССИИ (СЕВЕРНЫЙ КАВКАЗ)**

Урусова Б.И., Болатчиева М.С.-Х., Узденов Ш.Х.

*ФГБОУ ВО «Карачаево-Черкесский государственный университет имени У.Д. Алиева»,
Карачаевск, e-mail: urusova50@mail.ru*

Впервые экспериментально исследованы особенности частичной термоостаточной намагниченности (габбро-базальт и базальт) горных пород Карачаево-Черкесии (Северный Кавказ) при комнатной температуре и небольших магнитных полях. Экспериментальные исследования показали, что частичная термоостаточная намагниченность не меняется: 1) при изменении размагничивающего переменного магнитного поля; 2) к обратным магнитным полям, которые разрушают горные породы габбро-базальт и базальт. Показано, что в процессе охлаждения частичная термоостаточная намагниченность проходит через блокирующую температуру $-T_b$. Получено, что при количественном сравнении кривых габбро-базальт и базальт частичная термоостаточная намагниченность подчиняется закону аддитивности. Показано, что, если охлаждать в магнитном поле образцы габбро-базальта и базальта: а) направление частичной термоостаточной намагниченности совпадает с направлением магнитного поля; б) превышает по величине насыщенную и индуцированную намагниченность; в) в магнитном поле до 1 Э, при температуре $\Delta T = T_1 - T_2$, не зависит от намагниченности и при комнатной температуре не изменяется в течение длительного времени. В горных породах габбро-базальт и базальт каждый домен имеет свою блокирующую температуру $-T_b$, которая находится ниже температуры Кюри и зависит от: а) константы анизотропии; б) магнитострикции; в) напряжения; г) формы и размера. Показано, что частичная температурная намагниченность не обратима по отношению к температуре в отсутствие внешнего поля до тех пор, пока $T_2 > T_i$ и изменяется необратимо при $T > T_2$, исчезает при $T = T_2$ – происходит терморазмагничивание. Полученные результаты и предложенная методика измерения магнитных свойств горных пород использованы и успешно внедрены Управлением по недропользованию Карачаево-Черкесской Республики, что зафиксировано Актом о внедрении.

Ключевые слова: горные породы габбро-базальт и базальт, частичная термоостаточная намагниченность, блокирующая температура, остаточная и индуцированная намагниченность, магнитное поле, температура Кюри

**FEATURES OF PARTIAL HEAT-SUFFICIENT MAGNETIZATION
OF ROCKS OF KARACHAY-CHEKKESSIA (NORTH CAUCASUS)**

Urusova B.I., Bolatchieva M.S.-Kh., Uzdenov Sh.Kh.

Karachay-Cherkess State University named after U.D. Aliev, Karachayevsk, e-mail: urusova50@mail.ru

For the first time, the features of partial heat-sufficient magnetization (gabbro-basalt and basalt) of rocks of Karachay-Cherkessia (North Caucasus) at room temperature and small magnetic fields were experimentally investigated. Experimental studies have shown that partial heat-sufficient magnetization does not change: 1) when the demagnetizing alternating magnetic field changes; 2) to reverse magnetic fields that destroy gabbro-basalt and basalt rocks. It is shown that during the cooling process, the partial heat-sufficient magnetization passes through the blocking temperature $-T_b$. It is found that when the gabbro-basalt and basalt curves are quantitatively compared, the partial heat-sufficient magnetization obeys the law of additivity. It is shown that if samples of gabbro-basalt and basalt are cooled in a magnetic field: а) the direction of partial heat-sufficient magnetization coincides with the direction of the magnetic field; б) exceeds the saturated and induced magnetization in magnitude; в) in a magnetic field up to 1 E, at a temperature of $\Delta T = T_1 - T_2$, does not depend on the magnetization and at room temperature, it does not change for a long time. In gabbro-basalt and basalt rocks, each domain has its own blocking temperature $-T_b$, which is below the Curie temperature, and depends on: а) anisotropy constant; б) magnetostriction; в) stress; г) shape and size. It is shown that partial temperature magnetization is not reversible with respect to temperature in the absence of an external field as long as $T_2 > T_i$ and changes irreversibly at $T > T_2$ disappears at $T = T_2$ – thermal magnetization occurs. The obtained results and the proposed method of measuring the magnetic properties of rocks were used and successfully implemented by the Department of Subsoil Use of the Karachay – Cherkess Republic, which is fixed by the Act of Implementation.

Keywords: gabbro-basalt rocks, partial heat-sufficient magnetization, blocking temperature, magnetic field, residual and induced magnetization, Curie temperature

В горных породах за намагничивание ответственно смещение доменных границ, а не вращения вектора спонтанной намагниченности $-I_s$, по-видимому, и поэтому термоостаточная намагниченность $-I_{rt}$ тоже происходит за счет смещения доменных границ.

При этом ось трудного намагничивания магнитного момента M связана с преодо-

лением потенциального барьера высотой $-E_\delta$, с учетом последнего можно вычислить время релаксации $-t_r$ по формуле

$$t_r = \omega_0^{-1} \exp \left(\frac{E_\delta}{kT} \right), \quad (1)$$

где ω_0 – характерная частота для преодоления потенциального барьера;
 k – постоянная Больцмана.

Зная, что потенциальный барьер обладает высотой, которую можно вычислить по формуле

$$E_{\delta} = \frac{1}{2} \mu_0 M H_{\delta} = \frac{1}{2} \mu_0 M N_{\delta} I_s, \quad (2)$$

где $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ Гн / м – магнитная постоянная;

N_{δ} – размагничивающий фактор;

I_s – намагниченность насыщения.

При повышении температуры высота потенциального барьера и время релаксации – t_r растут при росте температуры. Это означает, что для каждой области имеется некоторая температура T_b , при которой $t_r = t_0$.

Учитывая этот факт в формуле (1), имеем

$$\kappa T_b = E_{\delta} / 25, \quad (3)$$

где T_b – блокирующая температура, ниже которой направление магнитного момента «замораживается».

Такое «замораживание» магнитных моментов и есть процесс образования частичной термоостаточной намагниченности – I_{π} .

Цель данной работы – экспериментально исследовать частичную термоостаточную намагниченность горных пород габбро-базальта и базальта при малых внешних магнитных полях и комнатной температуре.

Материалы и методы исследования

Ранее нами в работах [1, 2] разработан методика измерения термоостаточной намагниченности горных пород. Зная термоостаточную намагниченность горной породы, можно определить частичную термоостаточную намагниченность при охлаждении от T_1 до T_2 при воздействии внешнего магнитного поля – H_{ex} , приложенном только в данном интервале температур [3]:

$$J_{T_1}^{T_2}(T), \text{ где } T_1 > T_2. \quad (4)$$

Используя предложенную в работах [1, 2] методику, авторы впервые экспериментально исследовали частичную термоостаточную намагниченность горных пород (габбро-базальта и базальта) Карачаево-Черкесии (Северный Кавказ). Образцы были взяты из Зеленчукского района, водораздел р. Маруха, Карачаево-Черкесии (Северный Кавказ), с номером буровой сква-

жины и возрастом соответственно 7/1051, 17/1942 и $\nu PR - PZ_1, PZ_1 - KR$ [4, 5].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты экспериментальных исследований частичной термоостаточной намагниченности горных пород габбро-базальта и базальта приведены на рис. 1.

Из рисунка видно, что при охлаждении в магнитном поле в интервале ниже $T_{кр}$ – критической температуры наиболее выгодно для образования частичной термоостаточной намагниченности.

Полученные кривые частичной термоостаточной намагниченности $J_{T_c, H_{ex}(T_0)}^{T_0}$ – горной породы габбро-базальт в процессе охлаждения более крутые вблизи блокирующей температуры – T_b . А кривая горной породы базальт (рис. 1) проходит выше кривой габбро-базальта и более крутая. По-видимому, это связано с наличием в горной породе базальт ферромагнитных минералов с различными температурами Кюри. Причем каждый домен имеет свою блокирующую температуру – T_b , которая ниже температуры Кюри. Блокирующая температура – T_b зависит от константы анизотропии, магнитострикции, напряжения, формы и размеров горных пород.

Величина частичной термоостаточной намагниченности $J_{T_i-1, H_{ex}(T_0)}^T$ связана с температурным интервалом, в течение которого образец остывал в магнитном поле [6], что можно найти по формуле

$$T_i = \frac{T_i + T_{i-1}}{2}. \quad (5)$$

Сравнивая количественно полученные результаты на рис. 1, имеем

$$J_{T, H_{ex}(T_0)-T}^{T_0}, \quad (6)$$

$$J_{T_i, H_{ex}(T_0)-T}^{T_{i-1}}, \quad (7)$$

что частичная термоостаточная намагниченность подчиняется аддитивному закону.

Далее, можно найти сумму этой закономерности, которая равна

$$\sum_{T_{i-1}=T_0}^{T_i=T} J_{T_i, H_{ex}(T_0)}^{T_{i-1}} = J_{T, H_{ex}(T_0)}^{T_0}, \quad (8)$$

где $T_{i-1} = T_0$, $T_i = T$.

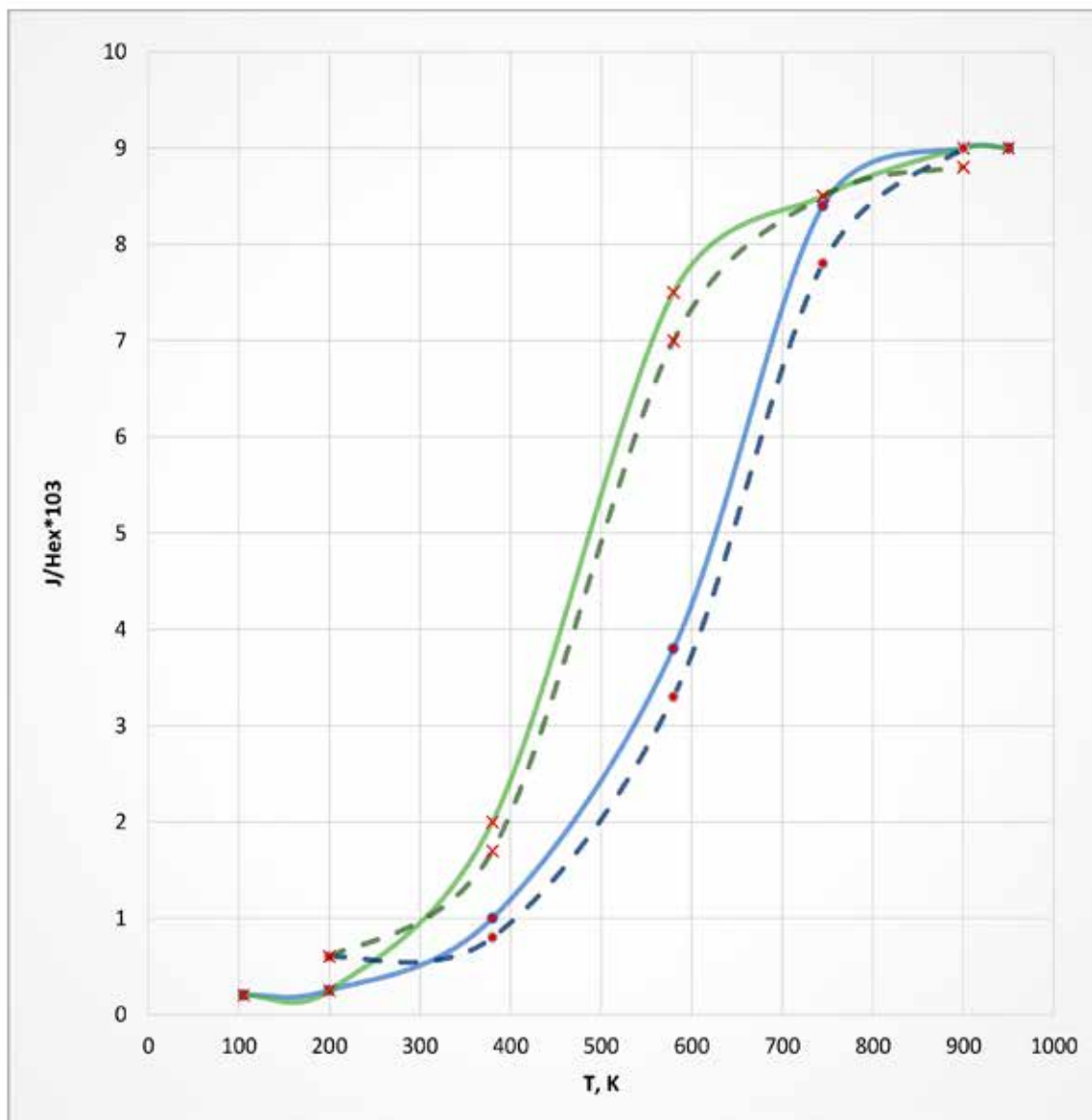


Рис. 1. Частичная термоостаточная намагниченность:
(о) – габбро-базальт; (х) – базальт

А пунктирные кривые (рис. 1) изображают следующие кривые:

$$\sum_{T_{i-1}=T_0}^{T_i=T} J_{T_{i,Hex}(T_0)}^{T_{i-1}}, \quad (9)$$

$$J_{T_{i,Hex}(T_0)}^{T_{i-1}} = J_{T_{i,Hex}(T_0)}^T - J_{T_{i-1,Hex}(T_0)}^{T_0}. \quad (10)$$

На основании формул (9) и (10) получаем

$$J_{T_{i,Hex}(T_0)}^{T_0} - J_{T_{i-1,Hex}(T_0)}^{T_0} = J_{T_{i-1,Hex}(T_0)}^{T_{i-1}}. \quad (11)$$

Если $T_1 > T_2$, то имеем

$$J_{T_{1,Hex}(T_0)}^{T_2} = Hex \int_{T_2}^{T_1} P(T) \Delta T, \quad (12)$$

где $P(T) = \frac{1}{Hex} \left(\frac{\partial J_{T,Hex(T_0)}^{T_0}}{\partial T} \right)$ – характери-

стическая функция частичной термоостаточной намагниченности.

На рис. 2 приведены результаты температурных изменений частичной термооста-

точной намагниченности горных пород габбро-базальта и базальта. Из рисунка видно, что частичная температурная намагниченность – $J_{T_{1,Hex}(T)}^{T_2}$ не обратима по отношению к температуре в отсутствие внешнего поля до тех пор, пока $T_2 > T$ и изменяется необратимо при $T > T_2$, исчезает при $T = T_2$ – происходит терморазмагничивание [7].

Учитывая закон аддитивности и термо-размагничивания для частичной термоостаточной намагниченности, имеем

$$J_{T_{c,Hex}(T_0)}^{T_0} - J_{T_{1,Hex}(T_0)}^{T_0} = J_{T_{c,Hex}(T_0)}^{T_1}, \quad (13)$$

где $T_c > T_1 > T_0$, T_c – комнатная температура.

$$1 - \frac{J_{T_{1,Hex}(T_0)}^{T_0}}{J_{T_{c,Hex}(T_0)}^{T_0}} = \frac{(J_{T_{c,Hex}(T_0)}^{T_0})_{T_1}}{J_{T_{c,Hex}(T_0)}^{T_0}}. \quad (14)$$

Получено, что

$$J_{T_{c,Hex}(T_0)}^{T_1} = (J_{T_{c,Hex}(T_0)}^{T_0})_{T_1}, \quad (15)$$

где $(J_{T_{c,Hex}(T_0)}^{T_0})_{T_1}$ является остатком $J_{T_{c,Hex}(T_0)}^{T_0}$ после размагничивания при нагревании до T_1 .

Заключение

1. Частичная термоостаточная намагниченность горных пород габбро-базальта и базальта при охлаждении от T_1 до T_2 во внешнем магнитном поле – Hex не зависит от намагниченности, полученной при остывании в поле, приложенном в других температурах.

2. Количественное сравнение кривых частичной термоостаточной намагниченности горных пород габбро-базальта, базальта приводит к закону аддитивности.

3. Частичная термоостаточная намагниченность устойчива по отношению а) к размагничивающему действию переменного магнитного поля; б) обратным магнитным полям, необходимым для ее разрушения в горных породах габбро-базальт, базальт; в) при комнатной температуре не изменяется в течение длительного времени.

4. В области остаточной намагниченности образцов габбро-базальта и базальта каждый домен имеет свою блокирующую температуру – T_b , которая находится ниже температуры Кюри.

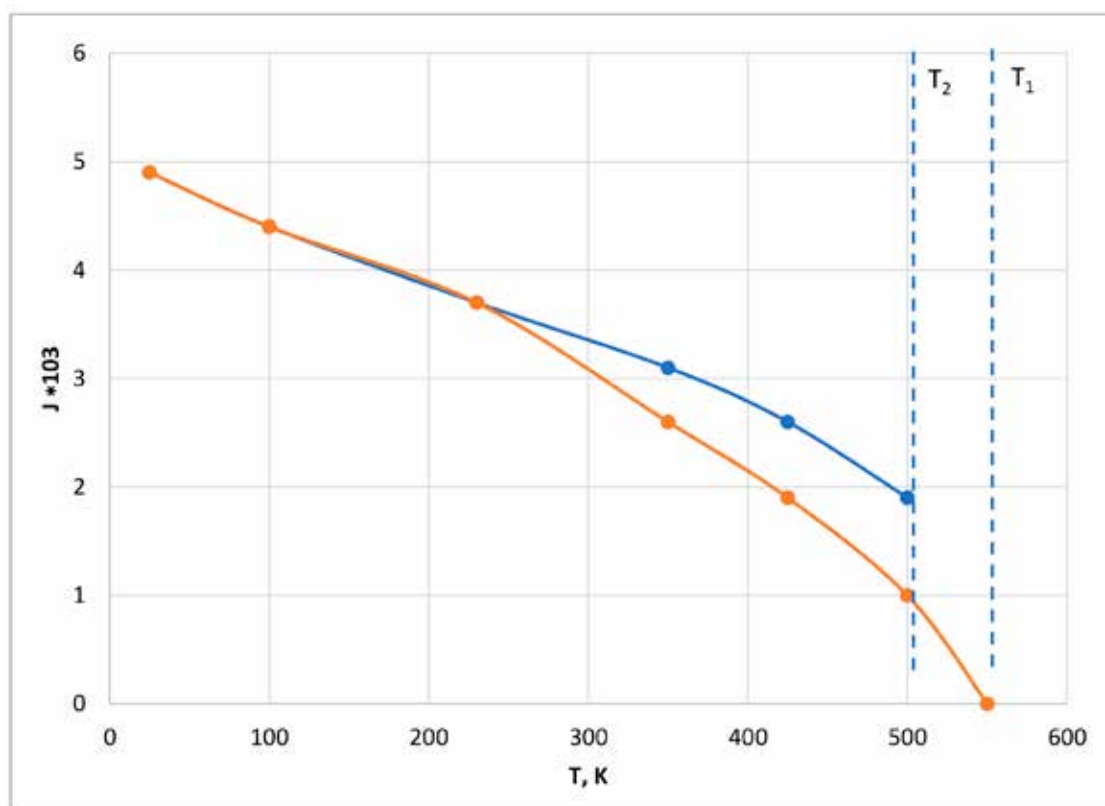


Рис. 2. Температурные изменения $J_{T_{2,Hex}(T)}^{T_1}$ при $H = 0$ горной породы базальт (изменение обратно при $T < T_2$)

5. Блокирующая температура – T_b в области частичной термоостаточной намагниченности зависит от константы анизотропии, от магнитострикции, от напряжения, от формы и размера горных пород габбро-базальта и базальта.

6. Полученные результаты и предложенная методика измерения магнитных свойств горных пород использованы и успешно внедрены Управлением по недропользованию Карачаево-Черкесской Республики, что зафиксировано Актом о внедрении.

Список литературы

1. Урусова Б.И., Болатчиева М.С.-Х. Механизм обратной намагниченности горных пород Карачаево-Черкесии (Северный Кавказ) // Успехи современного естествознания. 2022. № 2. С. 71–75.

2. Урусова Б.И., Узденова Ф.А., Лайпанов У.М. Термоостаточная намагниченность горных руд. Известия вузов: Северо-Кавказский регион // Успехи современного естествознания. 2008. № 6. С. 55–56.

3. Belokon V.I., Dyachenko O.I. Long and Short-Range Magnetic Order in Titanomagnetite. *Phys. Solid Earth*. 2020. P. 888–891.

4. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. СПб., 2014. 368 с.

5. Гончаров С.А., Пашенков П.Н., Плотников А.В. Физика горных пород: физические явления и эффекты в практике горного производства. М., 2016. 27 с.

6. Carrasco J.P., Osete M.L., Torta J.M., De Santis A. A geomagnetic field model for the Holocene based on archaeomagnetic and lava flow data. *Earth and Planetary Science Letters*. 2014. P. 98–109.

7. Веселовский Р.В., Арзамасцев А.А., Демина Л.И., Травин А.В., Боцон С.Б. Палеомагнетизм, геохронология и магнитная минералогия Кольской девонской магматической провинции // Физика Земли. 2013. № 4. С. 82–104.