



ИД «Академия Естествознания»

УСПЕХИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Научный журнал

№ 3 2025



ADVANCES IN CURRENT NATURAL SCIENCES

Scientific journal

No. 3 2025



PH Academy of Natural History

Успехи современного естествознания

Научный журнал

Журнал издается с 2001 года.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство – ПИ № ФС 77-63398.

«Успехи современного естествознания» – рецензируемый научный журнал, в котором публикуются статьи обладающие научной новизной, представляющие собой результаты завершённых исследований, проблемного или научно-практического характера, научные обзоры.

Журнал включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий (ВАК РФ). К2.

Журнал ориентируется на профессиональных работников сельского хозяйства, экологов, научных сотрудников, специалистов в смежных областях знаний, занимающихся изучением наук о земле.

Основные научные направления: 1.6. Науки о Земле и окружающей среде, 2.8. Недропользование и горные науки, 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

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

Технический редактор

Доронкина Е.Н.

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

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

Корректор

Галенкина Е.С.,

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Бизенкова Мария Николаевна, к.м.н.

Дудкина Н.А.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д.с.-х.н., доцент *Абдулвалеев Р.Р.* (Уфа); д.г.-м.н., проф., *Абилхасимов Х.Б.* (Астана); 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. *Ивашикевич 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. *Косыкова 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.* (Миценск); 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. *Сакеев 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. *Ширатов Д.Ш.* (Улан-Удэ); д.т.н., проф. *Шишелова Т.И.* (Иркутск); д.ф.-м.н., проф. *Шузунов 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)

ISSN 1681-7494

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

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

Двухлетний импакт-фактор РИНЦ = 0,775

Пятилетний импакт-фактор РИНЦ = 0,368

Периодичность

12 номеров в год

Учредитель, издатель и редакция

ООО ИД «Академия Естествознания»

Почтовый адрес

105037, г. Москва, а/я 47

Адрес редакции и издателя

440026, г. Пенза, ул. Лермонтова, 3

Типография

ООО «НИЦ Академия Естествознания»

410035, г. Саратов, ул. Мамонтовой, 5

E-mail

edition@rae.ru

Телефон

+7 (499) 705-72-30

Подписано в печать

31.03.2025

Дата выхода номера

30.04.2025

Формат

60x90 1/8

Усл. печ. л.

6,75

Тираж

1000 экз.

Заказ

УСЕ 2025/3

Распространяется по свободной цене

Подписной индекс в электронном каталоге «Почта России»: П7816

© ООО ИД «Академия Естествознания»

Advances in current natural sciences

Scientific journal

The journal has been published since 2001.

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Communications. Certificate – PI No. FS 77-63398.

«Advances in current natural sciences» is a peer-reviewed scientific journal that publishes articles of scientific novelty, which are the results of completed research, of a problematic or scientific-practical nature, scientific reviews.

The journal is included in the current List of peer-reviewed scientific publications (HCC RF). K2.

The journal is aimed at professional agricultural workers, environmentalists, researchers, specialists in related fields of study geosciences.

Main scientific directions: 1.6. Earth and environmental sciences, 2.8. Subsoil use and mining sciences, 4.1. Agronomy, forestry and water management.

CHIEF EDITOR

Ledvanov Mikhail Yurievich, Dr. Sci. (Medical), Prof.

Technical editor

Doronkina E.N.

DEPUTY CHIEF EDITOR

Kurzanov Anatoly Nikolaevich, Dr. Sci. (Medical), Prof.

Corrector

Galenkina E.S.,

Dudkina N.A.

EXECUTIVE SECRETARY

Bizenkova Maria Nikolaevna, Cand. Sci. (Medical)

EDITORIAL BOARD

D.Sc., Docent *Abdulvaleev R.R.* (Ufa); D.Sc., Prof. *Abilkhasimov Kh.B.* (Astana); D.Sc., Prof. *Aidosov A.* (Almaty); D.Sc., Prof. *Alekseev S.V.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Aloev V.Z.* (Nalchik); D.Sc., Prof. *Andreev S.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent, *Andreeva E.S.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Anishchenko L.N.* (Bryansk); D.Sc., Prof. *Bayrambekov Sh.B.* (Kamyzyak); D.Sc., Prof. *Beisembaev K.M.* (Karaganda); D.Sc., Prof. *Belozеров V.V.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Docent *Belous O.G.* (Sochi); D.Sc., Prof. *Berson G.Z.* (Velikiy Novgorod); D.Sc., Prof. *Bondarev V.I.* (Ekaterinburg); D.Sc., Prof. *Galkin A.F.* (Ukhta); D.Sc., Prof. *Gavrishin A.I.* (Novocheboksarsk); D.Sc. *Gorbacheva A.G.* (Pyatigorsk); D.Sc. *Goryanin O.I.* (Samara); D.Sc., Prof. *Gusev A.I.* (Biysk); D.Sc., Prof. *Danilin I.M.* (Krasnoyarsk); D.Sc., Docent *Dolgov A.V.* (Murmansk); D.Sc., Prof. *Dolyatovsky V.A.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. *Dresvyannikov A.F.* (Kazan); D.Sc., Prof. *Egorina A.V.* (Ust-Kamenogorsk); D.Sc., Prof. *Erofeev V.I.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Zalesov S.V.* (Ekaterinburg); D.Sc., Docent *Zakharchenko A.V.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Zvolinsky V.P.* (Volgograd); D.Sc., Prof. *Ivashkevich A.N.* (Moscow); D.Sc., Docent *Kavtsevich N.N.* (Murmansk); D.Sc., Prof. *Kalyakin S.A.* (Donetsk); D.Sc., Prof. *Karaev M.K.* (Makhachkala); D.Sc., Prof. *Kashaev A.A.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Kobrunov A.I.* (Ukhta); D.Sc., Docent *Kopylov I.S.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostitsyn V.I.* (Perm); D.Sc., Prof. *Kostylev P.I.* (Zernograd); D.Sc., Prof. *Kosyakova I.V.* (Samara); D.Sc., *Kotsareva N.V.* (Belgorod); D.Sc., Docent *Kuzyakov O.N.* (Tyumen); D.Sc., Prof. *Kucherenko I.V.* (Tomsk); D.Sc., Prof. *Larionov M.V.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Lebedev V.I.* (Kyzyl); D.Sc., Prof. *Lerer A.M.* (Rostov-on-Don); D.Sc., Prof. *Lugovskoy A.M.* (Moscow); D.Sc., Prof. *Melnikov A.I.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Musaev V.K.* (Moscow); D.Sc., Docent *Nehorosheva A.V.* (Khanty-Mansiysk); D.Sc. *Nikitin S.N.* (Ulyanovsk); D.Sc. *Okazova Z.P.* (Vladikavkaz); D.Sc., Prof. *Partoev K.* (Dushanbe); D.Sc., Prof. *Petelko A.I.* (Mtsensk); D.Sc., Prof. *Petrov M.N.* (Krasnoyarsk); D.Sc., Prof. *Pirumyan G.P.* (Yerevan); D.Sc., Prof. *Proezdov P.N.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Sakiev K.S.* (Bishkek); D.Sc. *Sibikeev S.N.* (Saratov); D.Sc., Docent *Sokolskaya O.B.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Stepanov V.V.* (Saint Petersburg); D.Sc., Prof. *Tarasenko A.A.* (Tyumen); D.Sc. *Teplukhin V.K.* (Oktyabr'skiy); D.Sc., Prof. *Titov V.A.* (Moscow); D.Sc., Prof. *Titov V.N.* (Saratov); D.Sc., Prof. *Tikhonovskiy A.N.* (Salekhard); D.Sc., Prof. *Trofimenko S.V.* (Neryungri); D.Sc., Prof. *Ulrich E.V.* (Kemerovo); D.Sc., Prof. *Choduraev T.M.* (Bishkek); D.Sc., Prof. *Shamshiev B.N.* (Osh); D.Sc., Prof. *Shantarin V.D.* (Tyumen); D.Sc., Prof. *Shatov A.A.* (Ufa); D.Sc., Prof. *Shirapov D.Sh.* (Ulan-Ude); D.Sc., Prof. *Shishelova T.I.* (Irkutsk); D.Sc., Prof. *Shugunov L.Zh.* (Nalchik); D.Sc., Prof. *Yurgenson G.A.* (Chita); D.Sc., Prof. *Yakovenko N.V.* (Voronezh); D.Sc., Prof. *Yamaletdinova K.Sh.* (Chelyabinsk)

ISSN 1681-7494

Electronic version: <http://www.natural-sciences.ru>

Rules for authors: <http://www.natural-sciences.ru/ru/rules/index>

Impact-factor RISQ (two-year) = 0,775

Impact-factor RISQ (five-year) = 0,368

Periodicity	12 issues per year
Founder, publisher and editors	LLC PH Academy of Natural History
Mailing address	105037, Moscow, p.o. box 47
Editorial and publisher address	440026, Penza, st. Lermontov, 3
Printing house	LLC SPC Academy of Natural History 410035, Saratov, st. Mamontova, 5
E-mail	edition@rae.ru
Signed for print	31.03.2025
Format	60x90 1/8
Circulation	1000 copies
Telephone	+7 (499) 705-72-30
Number issue date	30.04.2025
Conditionally printed sheets	6,75
Order	YCE 2025/3

Distribution at a free price

Subscription index in the Russian Post electronic catalog: P7816

© LLC PH Academy of Natural History

СОДЕРЖАНИЕ

Сельскохозяйственные науки (4.1.1 Общее земледелие и растениеводство)

СТАТЬЯ

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА
И ЖИДКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ
СОРТАХ СОИ В УСЛОВИЯХ САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ

Тобольнов Д.А., Субботин А.Г., Денисов К.Е., Авясов М.И., Степанова Н.В.6

Географические науки (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

СТАТЬИ

ПОТЕНЦИАЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА АЛТАЙСКО-ИРТЫШСКОЙ
ТРАНСГРАНИЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ (РОССИЯ – КАЗАХСТАН)

Маменов С.Д.15

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТА
В УСЛОВИЯХ РЕКРЕАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Примак Е.А., Алексеев Д.К., Косатова А.А.24

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СНЕЖНОГО ПОКРОВА
НА РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОТАХ В ГОРАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Сергеев А.С., Юрченко Н.В., Керефова З.М.30

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫДЕЛЕНИЯ
ПЫЛИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Цыганков Д.А., Григорьева М.А.36

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

СТАТЬЯ

СВОЙСТВА ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА ДЛЯ ОБРАЗЦОВ ПОЛЕВЫХ
ШПАТОВ, КАЛЬЦИТА И КВАРЦА

Песков А.В.43

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

СТАТЬЯ

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕГО
СЛОЯ НЕФТЕПРОВОДА, ПРОЛОЖЕННОГО В УСЛОВИЯХ
ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

Колосова Н.Б., Ринейская А.А., Колосов Е.С., Панфилов А.А.48

CONTENTS

Agricultural Sciences (4.1.1 General Agriculture and Plant Growing)

ARTICLE

EFFICIENCY OF APPLICATION OF GROWTH REGULATORS
AND LIQUID MINERAL FERTILIZERS ON VARIOUS SOYBEAN
VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE SARATOV VOLGA REGION

Tobolnov D.A., Subbotin A.G., Denisov K.E., Avyasov M.I., Stepanova N.V.6

Geographical sciences (1.6.8, 1.6.12, 1.6.13, 1.6.21)

ARTICLES

POTENTIAL FOR INTERACTION IN THE ALTAI-IRTYSH
CROSS-BORDER TERRITORY (RUSSIA – KAZAKHSTAN)

Mamenov S.D.15

INTEGRAL ASSESSMENT OF THE LANDSCAPE SUSTAINABILITY
UNDER RECREATION IMPACTS

Primak E.A., Alekseev D.K., Kosatova A.A.24

LONG-TERM DYNAMICS OF SNOW COVER AT VARIOUS
ALTITUDES IN THE MOUNTAINS OF THE MURMANSK REGION

Sergeev A.S., Yurchenko N.V., Kerefova Z.M.30

DEVELOPMENT OF MEASURES TO REDUCE DUST EMISSION
DURING THE RECONSTRUCTION OF A SECTION OF A HIGHWAY

Tsygankov D.A., Grigoreva M.A.36

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)

ARTICLE

GAS FILTRATION PROPERTIES OF FELDSPAR, CALCITE
AND QUARTZ SAMPLES

Peskov A.V.43

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

ARTICLE

OPTIMIZATION THERMAL INSULATION LAYER PARAMETERS
OF OIL PIPELINE LAID IN PERMAFROST CONDITIONS

Kolosova N.B., Rineyskaya A.A., Kolosov E.S., Panfilov A.A.48

СТАТЬЯ

УДК 631.81:633.34

DOI 10.17513/use.38376

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА И ЖИДКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ СОРТАХ СОИ В УСЛОВИЯХ САРАТОВСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ**Тобольнов Д.А., Субботин А.Г., Денисов К.Е., Авясов М.И., Степанова Н.В.***ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова», Саратов, e-mail: tobolnow4545@yandex.ru*

Среди зернобобовых культур соя является ведущей, что связано с универсальностью ее использования в России и за рубежом. В настоящее время из-за высокого спроса на сою отмечается тенденция увеличения посевных площадей в Нижнем Поволжье. Высокая стоимость сои на рынке заставляет изыскивать пути увеличения ее урожайности и качества. Целью исследований являлось изучение реакции сортов сои в конкретных почвенно-климатических условиях при применении регуляторов роста и жидких минеральных удобрений. В результате проведенных экспериментов установили, что наибольшая величина урожайности у сорта сои Марина сформирована при обработке семян регулятором роста Альфастим. Двукратное применение регуляторов роста и жидких минеральных удобрений (обработка семян и посевов) приводило к увеличению данного показателя, наибольшую величину получили на варианте с применением удобрения Active-бобовые. Среди различных сочетаний регуляторов роста и удобрений выявили вариант, при котором сформирована максимальная величина урожайности – при обработке семян удобрением Азафок и применении на посевах регулятора роста Мивал-Агро. На опытных делянках с сортом сои Натали максимальную урожайность выявили на вариантах с обработкой семян и двукратным применением удобрения Active-бобовые. Так же определили преимущество следующего сочетания – обработка семян удобрением Active-бобовые и регулятором роста Альфастим. При анализе качества зерна установили, что двукратное применение регуляторов роста и жидких минеральных удобрений и различное их сочетание повышает содержание протеина. Для стабилизации производства зерна сои в условиях орошения рекомендуется использовать новый сорт сои Натали с обработкой семян удобрением Active-бобовые перед посевом и посевов регулятором роста Альфастим в фазу цветения в рекомендуемой дозировке.

Ключевые слова: соя, сорт, удобрение, регулятор роста, урожайность**EFFICIENCY OF APPLICATION OF GROWTH REGULATORS AND LIQUID MINERAL FERTILIZERS ON VARIOUS SOYBEAN VARIETIES IN THE CONDITIONS OF THE SARATOV VOLGA REGION****Tobolnov D.A., Subbotin A.G., Denisov K.E., Avyasov M.I., Stepanova N.V.***Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N.I. Vavilov, Saratov, e-mail: tobolnow4545@yandex.ru*

Among grain legumes, soybeans are the leading ones, which is due to the versatility of their use in Russia and abroad. Currently, due to the high demand for soybeans, there is a tendency to increase the area under crops in the Lower Volga region. The high cost of soybeans on the market forces us to look for ways to increase their yield and quality. The purpose of the research was to study the reaction of soybean varieties in specific soil and climatic conditions when using growth regulators and liquid mineral fertilizers. As a result of the experiments, it was found that the highest yield value for the Marina soybean variety was formed when treating seeds with the growth regulator Alfastim. Double use of growth regulators and liquid mineral fertilizers (seed and crop treatment) led to an increase in this indicator, the highest value was obtained in the variant using the Active fertilizer – legumes. Among various combinations of growth regulators and fertilizers, the variant with the highest yield was identified – when treating seeds with Azafok fertilizer and using the growth regulator Mival-Agro on crops. On experimental plots with the Natalie soybean variety, the highest yield was identified in variants with seed treatment and double application of the Active-legume fertilizer. The advantage of the following combination was also identified – seed treatment with the Active-legume fertilizer and the Alfastim growth regulator. When analyzing the grain quality, it was found that double application of growth regulators and liquid mineral fertilizers and their various combinations increases the protein content. To stabilize soybean grain production under irrigated conditions, it is recommended to use the new Natalie soybean variety with seed treatment with the Active-legume fertilizer before sowing and crops with the Alfastim growth regulator during the flowering phase in the recommended dosage.

Keywords: soybean, variety, fertilizer, growth regulator, yield**Введение**

Среди зернобобовых культур соя является ведущей, что связано с универсальностью ее использования в России и за рубежом. Высокое содержание белка в семенах и наличие жира позволяет использовать ее

для изготовления различных продуктов питания – растительного масла, маргарина, соевого сыра, заменителя молока и мясных продуктов [1–3]. Увеличение производства продуктов питания напрямую связано с ростом валового сбора белково-масличной

культуры сои [4]. Особую ценность культуры имеет в животноводстве для полноценного сбалансированного питания – зерно, шрот, жмых и соевая мука поедаются практически всеми видами животных [5, 6].

В настоящее время из-за высокого спроса на сою отмечается тенденция увеличения посевных площадей в Нижнем Поволжье. Высокая стоимость сои на рынке заставляет изыскивать пути увеличения ее урожайности и качества [7, 8]. Влияние различных факторов (биотических и абиотических) в период вегетации культуры заставляет изыскивать пути снижения стресса для растений [9, 10]. Одним из направлений снижения влияния негативных факторов и стабилизации продуктивности сои в изменяющихся климатических условиях является выращивание культуры в условиях орошения, а также применения регуляторов роста и жидких минеральных удобрений [11–13].

Цель исследования – изучить реакции сортов сои в конкретных почвенно-климатических условиях при применении различных регуляторов роста и жидких минеральных удобрений.

Материалы и методы исследования

Полевой эксперимент проводили на опытном участке с фронтальной дождевальной машиной Зимматик в период с 2022 по 2024 г. в условиях УНПО «Поволжье» Энгельсского района Саратовской области. В период вегетации культуры провели 9 поливов с поливной нормой 300 м³/га. Объектом исследований в опыте являлись различные сорта сои (Фактор А), относящиеся к среднеранней группе спелости: сорт Марина селекции ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» и сорт Натали селекции ФГБОУ ВО «Вавиловский университет».

На каждом сорте применяли:

1. Контроль (без применения): обработка семян (ОС) водой.
2. Альфастим (Регистрант: ООО «ПОЛИДОН Агро», Россия), водная эмульсия (ВЭ) обработка семян (ОС) (20 мл/т).
3. Мивал-Агро (Регистрант: ООО «АГРОСИЛ», Россия), кристаллический порошок (КРП) ОС (15 г/т).
4. Азафок (Регистрант АО «Щелково Агрохим», Россия), ВЭ: ОС (3 л/т).
5. Active-бобовые (Регистрант: ООО «АГРОХИМ ТЕХНОЛОГИЯ», Россия), ВЭ ОС (1,5 л/т).

6. Контроль: ОС и обработка посевов (ОП) водой.

7. Альфастим, ВЭ ОС и ОП (20 мл/га).
8. Мивал-Агро, КРП ОС и ОП (15 г/т).
9. Азафок, ВЭ ОС и ОП (3 л/га).
10. Active-бобовые, ВЭ ОС и ОП (1,5 л/га).
11. Альфастим, ВЭ ОС + Азафок, ВЭ ОП (20 мл/га + 3 л/га).
12. Альфастим, ВЭ ОС + Active-бобовые, ВЭ ОП (20 мл/т + 1,5 л/га).
13. Мивал-Агро, КРП ОС + Азафок, ВЭ ОП (15 г/т + 3 л/га).
14. Мивал-Агро, КРП ОС + Active-бобовые, ВЭ ОП (15 г/т + 1,5 л/га).
15. Азафок, ВЭ ОС + Альфастим, ВЭ ОП (3 л/т + 20 мл/га).
16. Азафок, ВЭ ОС + Мивал-Агро, КРП ОП (3 л/т + 15 г/га).
17. Active-бобовые, ВЭ ОС + Альфастим, ВЭ ОП (1,5 л/т + 20 мл/га).
18. Active-бобовые, ВЭ ОС + Мивал-Агро, КРП ОП (1,5 л/т + 15 г/га).

В полевом эксперименте проводился двухфакторный опыт: Фактор А – сорта сои, относящиеся к среднеранней группе спелости, Фактор В – применение агрохимикатов, дозы агрохимикатов). Площадь учетной делянки: 52 м², размещение вариантов – рандомизированное, повторность в опыте четырехкратная. Эксперименты проводили на темно-каштановой среднесуглинистой почве. Содержание гумуса (по Тюрину) – 2,7%, содержание нитратного азота (по Кракову) составило 5,1 мг/кг, подвижного фосфора и обменного калия (по Мачигину) – 41,6 и 411 мг/кг почвы. Р_h почвенного раствора – 6,9.

В опыте сою выращивали в соответствии с рекомендациями для условий орошения по общепринятой для региона технологии. Семена сои обрабатывали перед посевом, растения сои обрабатывали агрохимикатами в начале фазы цветения в рекомендуемых производителями дозировках. Перед посевом сои опытный участок обработали гербицидом Фабиан нормой 0,1 кг/га. Посев опытных делянок осуществляли при достижении оптимальной температуры почвы агрегатом МТЗ 320 + ССНП-16. Предшественник – кукуруза. Лабораторную оценку на содержание протеина и жира в семенах сои проводили на приборе Инфраскан 1020.

Результаты исследования и их обсуждение

Период исследований охватывал годы с различным температурным режимом и обеспеченностью осадками. Так, сумма

осадков с мая по сентябрь в условиях 2022 г. составила 184,4 мм, в 2023 г. – 179,8 мм, а в 2024 г. – 52,6 мм. Сумма температур за этот период составила: в 2022 г. – 3068°C, гидротермический коэффициент (ГТК) – 0,6; в 2023 г.: 3528 °С, ГТК – 0,5; в 2024 г.: 3351°C, ГТК – 0,16.

Детальный анализ погодных данных за изучаемый период выявил вариацию ГТК по месяцам. Так, в мае 2022 г. ГТК достигал 0,96, в июне – 0,50, в июле – 1,11, в августе из-за дефицита осадков ГТК – 0, в августе возрос до 1,01. В условиях 2023 г. в период вегетации культуры ГТК в мае и июне достигал величины 0,52, в июле – 1,14, а в сентябре снижался до 0,40. В условиях 2024 г. отмечали заморозки до – 8 °С – 4 мая, снижение температуры +12 °С и осадки в этот период составили 15,3 мм. Соответственно ГТК достигал величины 0,42, в период с июня по сентябрь отмечали снижение ГТК с 0,33 до 0 (табл. 1).

Оценка биологической урожайности изучаемых сортов сои выявила влияние погодных условий, сортовых особенностей и агрохимикатов. Так, урожайность зерна на варианте с сортом сои Марина в условиях 2022 г. на контроле составила 1,85 т/га. Применение регуляторов роста и удобрений при обработке семян способствовало увеличению урожайности (табл. 2). Наибольшая урожайность выявлена на варианте с применением регулятора роста Альфа-

стим – 2,10 т/га. Обработка семян и посевов сои сорта Натали показала увеличение урожайности от 2,10 до 2,26 т/га. Но максимальная урожайность получена при применении жидкого удобрения Active-бобовые. Комплексное применение агрохимикатов при обработке семян и посевов приводило к повышению урожайности на изучаемых сортах. При этом выявлено, что наибольшая величина урожайности у сорта сои Марина получена при применении регулятора роста Азафок и Мивал-Агро – 2,28 т/га. На опытных делянках с сортом сои Натали максимальная величина урожайности отмечена на варианте с применением удобрения Active-бобовые при условии обработки семян и Альфастим при обработке посевов – 2,59 т/га, прибавка составила 19,4%.

В условиях 2023 г. урожайность сорта сои Марина на контроле (обработка семян водой) достигала величины в 2,19 т/га. При обработке семян агрохимикатами наибольшая величина урожайности выявлена на варианте с регулятором роста Мивал-Агро (2,60 т/га) и удобрением Active-бобовые (2,69 т/га). Двукратное применение изучаемых агрохимикатов способствовало увеличению продуктивности культуры. Но максимальная урожайность отмечена при применении удобрения Азафок – 2,80 т/га. Различное сочетание агрохимикатов выявила вариант с наибольшей урожайностью на данном сорте Азафок + Мивал-Агро 2,91 т/га.

Таблица 1

Агрометеорологические условия в период вегетации сои

Год	Месяцы				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Температура					
2022	11,7	22,4	22,5	25,2	13,6
2023	15,8	18,2	21,8	23,8	14,0
2024	12,0	23,0	24,8	21,5	16,5
среднепогодное	16,3	21,4	24,5	21,6	15,4
Осадки					
2022	33,9	34,2	75,0	0,0	41,3
2023	25,0	28,5	75,2	29,0	22,1
2024	15,3	26,6	6,8	3,9	0,0
среднепогодное	19,7	25,1	15,8	13,9	19,0
ГТК					
2022	0,96	0,50	1,11	0,00	1,01
2023	0,52	0,52	1,14	0,40	0,52
2024	0,42	0,33	0,09	0,06	0,00
среднепогодное	0,30	0,39	0,20	0,20	0,41

Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Урожайность изучаемых сортов сои при применении различных агрохимикатов

Агрохимикаты	2022			2023			2024			Средняя			Прибавка к контролю		
	Марина	Натали	Средняя по В	Марина	Натали	Средняя по В	Марина	Натали	Средняя по В	Марина	Натали	Средняя по В	Марина т/га	Натали т/га	Средняя по В
1. Контроль: ОС водой	1,85	1,98	1,92	2,19	2,37	2,28	1,96	2,29	2,13	2,00	2,21	2,11	–	–	–
2. Альфастим, ВЭ ОС	2,10	2,15	2,13	2,56	2,81	2,69	2,23	2,48	2,36	2,30	2,48	2,39	0,29	0,27	12,2
3. Мивал-Агро, КРП ОС	2,03	2,10	2,07	2,60	2,62	2,61	2,16	2,40	2,28	2,26	2,37	2,32	0,26	0,16	7,2
4. Азафок ВЭ ОС	2,05	2,21	2,13	2,45	2,64	2,55	2,09	2,56	2,33	2,20	2,47	2,33	0,19	0,26	11,7
5. Active-бобовые ВЭ ОС	2,01	2,26	2,14	2,69	2,73	2,71	2,15	2,54	2,35	2,28	2,51	2,40	0,28	0,30	13,5
6. Контроль: ОС и ОП водой	1,92	2,09	2,01	2,32	2,46	2,39	2,18	2,38	2,28	2,14	2,31	2,23	0,14	0,10	4,5
7. Альфастим, ВЭ ОС и ОП	2,17	2,39	2,28	2,79	2,72	2,76	2,41	2,52	2,47	2,46	2,54	2,50	0,31	0,23	9,9
8. Мивал-Агро, КРП ОС и ОП	2,09	2,29	2,19	2,64	2,64	2,64	2,38	2,48	2,43	2,37	2,47	2,42	0,23	0,16	6,9
9. Азафок ВЭ ОС и ОП	2,19	2,36	2,28	2,80	2,67	2,74	2,44	2,70	2,57	2,48	2,58	2,53	0,33	0,26	11,2
10. Active-бобовые, ВЭ ОС и ОП	2,24	2,42	2,33	2,75	2,81	2,78	2,52	2,68	2,60	2,50	2,64	2,57	0,36	0,32	13,8
11. Альфастим, ВЭ ОС + Азафок, ВЭ ОП	2,22	2,40	2,31	2,86	2,75	2,81	2,49	2,67	2,58	2,52	2,61	2,57	0,38	0,29	12,5
12. Альфастим, ВЭ ОС + Active-бобовые, ВЭ ОП	2,13	2,45	2,29	2,81	2,84	2,83	2,71	2,77	2,74	2,55	2,69	2,62	0,41	0,37	16,0
13. Мивал-Агро, КРП ОС + Азафок, ВЭ – ОП	2,19	2,19	2,19	2,75	2,69	2,72	2,55	2,58	2,57	2,50	2,49	2,49	0,35	0,17	7,3
14. Мивал-Агро, КРП ОС + Active-бобовые, ВЭ-ОП	2,20	2,44	2,32	2,87	2,79	2,83	2,66	2,64	2,65	2,58	2,62	2,60	0,43	0,31	13,4
15. Азафок, ВЭ ОС + Альфастим, ВЭ ОП	2,06	2,42	2,24	2,67	2,75	2,71	2,58	2,84	2,71	2,44	2,67	2,55	0,29	0,36	15,5
16. Азафок, ВЭ ОС + Мивал-Агро, КРП ОП	2,28	2,32	2,30	2,91	2,73	2,82	2,70	2,71	2,71	2,63	2,59	2,61	0,49	0,27	11,6
17. Active-бобовые, ВЭ ОС + Альфастим, ВЭ ОП	2,21	2,59	2,40	2,58	3,07	2,83	2,51	2,94	2,73	2,43	2,87	2,65	0,29	0,55	23,8
18. Active-бобовые, ВЭ ОС + Мивал-Агро, КРП ОП	2,08	2,41	2,25	2,62	2,91	2,77	2,75	2,81	2,78	2,48	2,71	2,60	0,34	0,4	17,3
Средняя по фактору А	2,11	2,30	–	2,66	2,72	–	2,42	2,61	–	2,40	2,55	–	–	–	–
НСР ₀₅ по фактору А	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	–	–	–
НСР ₀₅ по фактору В	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,09	0,09	0,11	0,11	0,11	–	–	–
НСР ₀₅ по АВ	0,14	0,14	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	–	–	–

Источник: составлено авторами.

На опытных делянках с сортом сои Натали на первом контроле посевы сформировали урожайность величиной 2,37 т/га. При применении регуляторов роста и удобрений сохранялась аналогичная тенденция, как и на предыдущем сорте. Но наибольшая величина урожайности получена при обработке семян регулятором роста Альфастим и удобрением Active-бобовые – 2,81 и 2,73 т/га. На вариантах с обработкой семян и посевов по урожайности выделились варианты: Active-бобовые (2,81 т/га) и комплекс Active-бобовые + Альфастим (3,07 т/га).

В условиях 2024 г., когда отмечали кратковременное понижение температуры в начале мая и существенный дефицит осадков в июле – сентябре, у сорта Марина сформирована следующая величина урожайности на контрольном варианте – 1,96 т/га.

Использование регуляторов роста и удобрений при обработке семян так же положительно влияло на величину урожайности. Но наибольшая величина урожайности сформирована при применении регулятора роста Альфастим – 2,23 т/га. Двукратное применение агрохимикатов выявило эффективность применения удобрения Active-бобовые – 2,52 т/га. Различное сочетание изучаемых агрохимикатов позволило выявить наилучший вариант, при котором сорт Марина сформировал максимальную урожайность: Active-бобовые + Мивал-Агро (2,75 т/га).

На опытных делянках с сортом сои Натали в тех же условиях урожайность на контрольном варианте достигала величины 2,29 т/га. При обработке семян регуляторами роста выявлена эффективность применения препарата Альфастим – 2,48 т/га, а среди удобрений выявлено преимущество препарата Азафок – 2,56 т/га. Применение агрохимикатов при обработке семян и посевов сои способствовало увеличению продуктивности, но наибольшие параметры урожайности отмечены на варианте с применением препарата Азафок – 2,70 т/га.

Среди различных сочетаний применения агрохимикатов на данном сорте выделился вариант с обработкой семян удобрением Active-бобовые и применением регулятора роста в период вегетации Альфастим – 2,94 т/га.

Оценка данных по урожайности в среднем за 2022–2024 гг. позволила выявить эффективность применения агрохимикатов, его влияние на величину урожайности сои в условиях орошения. На контрольном варианте с сортом сои Марина получена урожайность зерна 2,00 т/га. Применение агрохимикатов при обработ-

ке семян способствовало повышению урожайности на 0,19–0,29 т/га (9,5–14,5%). Среди изучаемых образцов наибольшую величину урожайности отмечали на вариантах с использованием регулятора роста Альфастим – 2,29 т/га и удобрения Active-бобовые – 2,28 т/га. Двукратная обработка водой (второй контроль) показала увеличение урожайности на 7,0% (2,14 т/га). Выявлено положительное влияние на данный показатель обработки семян в сочетании с обработкой посевов. Максимальная урожайность отмечена при использовании Active-бобовые – 2,50 т/га, что на 16,8% выше второго контроля. Различное сочетание применения агрохимикатов позволяет выявить наиболее эффективное сочетание обработки семян препаратом Азафок и опрыскивания посевов регулятором роста Мивал-Агро – 2,63 т/га. Прибавка на данном варианте составила 22,8%. На опытных делянках с сортом сои Натали без применения агрохимикатов урожайность зерна на 0,21 т/га была выше, чем на предыдущем сорте.

При обработке семян наибольшая величина урожайности отмечена на вариантах с обработкой семян и двукратным применением удобрения Active-бобовые: 2,51–2,63 т/га. Среди различных сочетаний выявлено преимущество комплекса обработки семян удобрением Active-бобовые и регулятором роста Альфастим – 2,86 т/га.

В современных условиях стоимость сои зависит от таких показателей качества, как протеин и жир. Лабораторный анализ показал, что в условиях 2022 г. достоверное превышение по содержанию протеина выявлено на варианте с применением комплекса Мивал-Агро + Азафок 41,4% у сорта Марина. У сорта Натали выявлено наибольшее влияние на данный показатель применения при обработке семян удобрением Active-бобовые (40,7%), двукратном применении регулятора роста Альфастим (41,5%), а также при применении комплекса в условиях 2024 г. наилучший результат выявлен при применении Active-бобовые + Альфастим – 40,7% у сорта Марина. На варианте с сортом Натали отмечено достоверное превышение при двукратном применении большинства агрохимикатов. Но наибольшее значение выявлено при обработке семян и посевов комплексом Active-бобовые и Альфастим – 42,1%. В условиях 2023 г. наибольшее содержание протеина в семенах изучаемых сортов сои Марина и Натали выявлено при применении сочетания Active-бобовые и Альфастим 42,3–42,9% соответственно.

Таблица 3

Содержание протеина в семенах сои

Агрохимикаты	Содержание протеина, %											
	2022			2023			2024			Средняя		
	Марина	Натали	Средняя по В	Марина	Натали	Средняя по В	Марина	Натали	Средняя по В	Марина	Натали	Средняя по В
1. Контроль: ОС водой	36,8	38,5	37,7	38,4	39,0	38,7	39,1	40,1	39,6	38,1	39,2	38,7
2. Альфастим, ВЭ ОС	36,7	39,6	38,2	39,0	40,8	39,9	40,9	41,7	41,3	38,9	40,7	39,8
3. Мивал-Агро, КРП ОС	38,3	39,0	38,7	38,5	39,5	39,0	39,4	40,6	40,0	38,7	39,7	39,2
4. Азафок ВЭ ОС	38,0	39,4	38,7	38,7	40,6	39,6	40,5	41,2	40,8	39,1	40,4	39,7
5. Active-бобовые ВЭ ОС	38,5	40,7	39,6	39,4	41,5	40,4	40,1	41,9	41,0	39,3	41,4	40,4
6. Контроль: ОС и ОП водой	36,7	38,9	37,8	38,0	39,8	38,9	39,4	40,5	39,9	38,0	39,7	38,9
7. Альфастим, ВЭ ОС и ОП	37,4	41,5	39,5	40,2	41,9	41,0	41,2	42,0	41,6	39,6	41,8	40,7
8. Мивал-Агро, КРП ОС и ОП	37,3	39,6	38,5	39,6	40,6	40,1	40,5	41,3	40,9	39,1	40,5	39,8
9. Азафок ВЭ ОС и ОП	37,2	41,0	39,1	40,1	41,5	40,8	41,5	41,9	41,7	39,6	41,5	40,5
10. Active-бобовые, ВЭ ОС и ОП	37,3	41,6	39,5	40,9	41,9	41,4	42,2	42,5	42,3	40,1	42,0	41,1
11. Альфастим, ВЭ ОС + Азафок, ВЭ ОП	37,5	40,7	39,1	39,8	41,7	40,7	41,7	43,0	42,3	39,7	41,8	40,7
12. Альфастим, ВЭ ОС + Active-бобовые, ВЭ ОП	37,6	41,2	39,4	41,5	42,0	41,7	42,9	43,5	43,2	40,7	42,2	41,5
13. Мивал-Агро, КРП ОС + Азафок, ВЭ ОП	41,4	39,7	40,6	39,5	41,1	40,3	40,6	42,6	41,6	40,5	41,1	40,8
14. Мивал-Агро, КРП ОС + Active-бобовые, ВЭ ОП	37,5	40,9	39,2	40,1	41,6	40,8	41,5	42,3	41,9	39,7	41,6	40,7
15. Азафок, ВЭ ОС + Альфастим, ВЭ ОП	37,7	41,4	39,6	40,9	42,2	41,5	41,9	42,7	42,3	40,2	42,1	41,1
16. Азафок, ВЭ ОС + Мивал-Агро, КРП ОП	37,5	40,1	38,8	39,9	41,7	40,8	41,7	41,9	41,8	39,7	41,2	40,5
17. Active-бобовые, ВЭ ОС + Альфастим, ВЭ ОП	37,8	42,1	40,0	42,3	42,9	42,6	42,9	43,8	43,3	41,0	42,9	42,0
18. Active-бобовые, ВЭ ОС + Мивал-Агро, КРП ОП	37,5	41,0	39,3	40,8	41,5	41,1	41,9	42,7	42,3	40,1	41,7	40,9
Средняя по фактору А	37,7	40,4	—	39,9	41,2	—	41,1	42,0	—	—	—	—
НСР ₀₅ по фактору А	0,26			0,12			0,14			0,31		
НСР ₀₅ по фактору В	0,80			0,38			0,42			0,94		
НСР ₀₅ по АВ	1,13			0,54			0,59					

Источник: составлено авторами.

Таблица 4
Содержание жира в семенах сои

Агрохимикаты	Содержание жира, %											
	2022			2023			2024			Средняя		
	Марина	Натали	Средняя по В	Марина	Натали	Средняя по В	Марина	Натали	Средняя по В	Марина	Натали	Средняя по В
1. Контроль: ОС водой	23,2	20,1	21,7	22,6	22,3	22,5	20,9	20,6	20,8	22,2	21,0	21,6
2. Альфастим, ВЭ ОС	23,5	20,7	22,1	22,3	21,5	21,9	19,6	19,3	19,5	21,8	20,5	21,2
3. Мивал-Агро, КРП ОС	21,8	21,4	21,6	22,5	20,9	21,7	20,6	19,5	20,1	21,6	20,6	21,1
4. Азафок ВЭ ОС	19,9	20,5	20,2	22,3	21,6	22,0	20,5	19,6	20,1	20,9	20,6	20,7
5. Active-бобовые ВЭ ОС	21,5	20,0	20,8	22,6	21,3	22,0	20,9	19,1	20,0	21,7	20,1	20,9
6. Контроль: ОС и ОП водой	23,3	21,3	22,3	22,0	21,9	22,0	20,2	19,9	20,1	21,8	21,0	21,4
7. Альфастим, ВЭ ОС и ОП	22,6	20,4	21,5	21,2	19,4	20,3	19,4	18,2	18,8	21,1	19,3	20,2
8. Мивал-Агро, КРП ОС и ОП	22,7	20,9	21,8	21,4	19,8	20,6	19,5	18,9	19,2	21,2	19,9	20,5
9. Азафок ВЭ ОС и ОП	22,8	20,5	21,7	21,4	19,3	20,4	19,5	18,6	19,1	21,2	19,5	20,4
10. Active-бобовые, ВЭ ОС и ОП	22,7	20,2	21,5	21,2	19,6	20,4	19,4	18,5	19,0	21,1	19,4	20,3
11. Альфастим, ВЭ ОС + Азафок, ВЭ ОП	22,5	20,8	21,7	21,2	19,1	20,2	19,3	18,1	18,7	21,0	19,3	20,2
12. Альфастим, ВЭ ОС + Active-бобовые, ВЭ ОП	22,4	20,4	21,4	21,0	19,5	20,3	19,1	18,3	18,7	20,8	19,4	20,1
13. Мивал-Агро, КРП ОС + Азафок, ВЭ ОП	18,6	20,1	19,4	21,4	19,9	20,7	19,4	18,4	18,9	19,8	19,5	19,6
14. Мивал-Агро, КРП ОС + Active-бобовые, ВЭ ОП	22,5	20,6	21,6	21,2	19,1	20,2	19,2	18,9	19,1	21,0	19,5	20,3
15. Азафок, ВЭ ОС + Альфастим, ВЭ ОП	22,3	20,1	21,2	20,8	19,0	19,9	19,1	18,2	18,7	20,7	19,1	19,9
16. Азафок, ВЭ ОС + Мивал-Агро, КРП ОП	22,5	20,5	21,5	21,1	19,4	20,3	19,3	18,5	18,9	21,0	19,5	20,2
17. Active-бобовые, ВЭ ОС + Альфастим, ВЭ ОП	22,2	19,7	21,0	19,7	18,9	19,3	19,0	18,7	18,9	20,3	19,1	19,7
18. Active-бобовые, ВЭ ОС + Мивал-Агро, КРП ОП	23,2	20,3	21,8	22,6	22,3	22,5	20,9	20,4	20,7	22,2	21,0	21,6
Средняя по фактору А	22,2	20,5	—	21,6	20,3	—	19,8	19,0	—	—	—	—
НСР ₀₅ по фактору А	—	0,06	—	—	0,05	—	—	0,07	—	—	—	0,29
НСР ₀₅ по фактору В	—	0,20	—	—	0,16	—	—	0,22	—	—	—	0,89
НСР ₀₅ по АВ	—	0,29	—	—	0,23	—	—	0,32	—	—	—	—

Источник: составлено авторами.

На фоне пониженных температур в начале вегетации культуры и дефицита осадков в условиях 2024 г. у изучаемых сортов сои содержание зависело от способа применения и сочетаний изучаемых агрохимикатов (табл. 2).

Так, на варианте с сортом Марина достоверное превышение по данному показателю выявлено при обработке семян и посевов удобрениями Азафок и Active-бобовые: 41,5–42,2%.

Среди изучаемых сочетаний применения агрохимикатов наибольшим содержанием протеина отличался вариант с применением Active-бобовые и Альфастим – 42,9%. У сорта сои Натали на содержание протеина оказало двукратное применение регуляторов роста, удобрений и их сочетаний. Наибольшее значение выявлено при применении Active-бобовые и Альфастим – 43,8% (табл. 3).

В среднем за 3 года наибольшее содержание протеина выявлено у сортов сои Марина и Натали при применении комплекса Active-бобовые и Альфастим: 41,0–42,9%.

Оценка образцов на содержание жира позволила выявить эффективность применения агрохимикатов. Так, на контрольном варианте с сортом сои Марина содержание жира в условиях 2022 г. достигало величины 23,2%. Достоверное превышение по отношению к контрольному варианту было отмечено при обработке семян и посевов Active-бобовые и Мивал-Агро – 23,2%. На варианте с сортом сои Натали наибольший показатель содержания жира по отношению к контрольному варианту был отмечен при обработке семян и посевов препаратом Мивал-Агро и составил – 20,9%.

В условиях 2023 г. наибольшее содержание жира на варианте с сортом сои Марина получено при обработке семян и посевов препаратами: Мивал-Агро ОС, Active-бобовые удобрение ОС, и комплексом: Active-бобовые ОС + Мивал-Агро ОП, где среднее содержание жира составило 22,6%. На варианте с сортом сои Натали в условиях 2023 г. наибольшее содержание жира отмечено при обработке семян и посевов комплексом препаратов: Active-бобовые ОС + Мивал-Агро ОП и составило 22,3% (табл. 4).

В неблагоприятных условиях 2024 г. наибольшее содержание жира на варианте с сортом сои Марина было отмечено при применении препарата Active-бобовые удобрение ОС и комплекса: Active-бобовые ОС + Мивал-Агро ОП, что составило 20,9%.

В вариантах с сортом сои Натали наибольший показатель был выявлен при использовании комплекса препаратов Active-бобовые ОС + Мивал-Агро ОП: 22,2%.

В среднем за годы исследований наибольшее содержание жира у изучаемых сортов было на варианте с применением комплекса удобрения Active-бобовые и регулятора роста Мивал-Агро, что показывает эффективность применения агрохимикатов на культуре.

Выводы

1. В результате проведенных исследований наибольшая величина урожайности выявлена на опытных делянках с сортом сои Марина при применении комплекса Азафок ОС + Мивал-Агро ОП – 2,63 т/га, а у сорта Натали на варианте с применением Active-бобовые ОС + Альфастим ОП – 2,87 т/га.

2. Выявлено положительное влияние на содержание протеина у изучаемых сортов при применении комплекса Active-бобовые и Альфастим – 41,0–42,9%. Максимальное содержание жира отмечено при применении жидкого удобрения Active-бобовые и регулятора роста Мивал-Агро – 20,9–22,2%.

Для стабилизации производства высококачественного зерна сои в условиях орошения использовать новый сорт сои Натали с обработкой семян удобрением Active-бобовые перед посевом нормой (1,5 л/т) и в период вегетации (в фазу цветения) регулятором роста Альфастим в рекомендуемой дозировке (20 мл/га). В целях повышения содержания растительного жира в семенах сорта сои Марина использовать комплекс Active-бобовые ОС и Мивал-Агро ОП в рекомендуемых дозировках.

Список литературы

1. Денисов К.Е., Кравчук А.В., Полетаев И.С., Малышева А.А. Особенности применения фосфогипса в посевах сои при орошении // Аграрный научный журнал. 2022. № 11. С. 15–18. DOI: 10.28983/asj.y2022i11pp15-18.
2. Зима Д.Е. Влияние элементов технологии возделывания сои на содержание белка в а семенах и его взаимосвязь с урожайностью // Масличные культуры. 2021. № 2 (186). С. 60–67. DOI: 10.25230/2412-608X-2021-2-186-60-67.
3. Мерзликина Д.С., Мерзликин М.А. Сравнительные испытания новых высокопродуктивных сортов сои отечественной селекции с орошением и без в условиях Западно-Сибирского и Центрально-Черноземного регионов // Орошаемое земледелие. 2022. № 2 (37). С. 29–32. DOI: 10.35809/2618-8279-2022-2-7.
4. Толоконников В.В., Канцер Г.П., Набойченко К.В. Результаты многолетней (1983–2022 гг.) селекции сои в условиях орошения // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 2 (70). С. 100–110. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-02-11.

5. Тедеева В.В., Тедеева А.А. Урожайность посевов сои в зависимости от применения биопрепаратов // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2024. № 110. С. 183–189. DOI: 10.21515/1999-1703-110-183-189.
6. Чамурлиев О.Г., Чамурлиев Г.О., Феофилова Л.А. Эффективность возделывания сои на орошении в условиях Волгоградской области // Аграрный научный журнал. 2024. № 7. С. 61–64. DOI: 10.28983/asj.y2024i7pp61-64.
7. Толоконников В.В., Вронская Л.В., Кошкарлова Т.С. Влияние норм посева на продуктивность сои с различными сроками созревания в условиях орошения // Орошаемое земледелие. 2022. № 3 (38). С. 21–24. DOI: 10.35809/2618-8279-2022-3-3.
8. Бурунов А.Н., Васин В.Г., Васин А.В., Саниев Р.Н. Показатели фотосинтетической деятельности растений и урожайность сои при применении стимуляторов роста // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. 2022. Т. 1, № 1 (1). С. 3–12. DOI: 10.37313/2782-6562-2022-1-1-3-12.
9. Балакай Г.Т., Селицкий С.А. Оценка агробиологических свойств сортов сои для орошаемых земель Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2021. Т. 11, № 1. С. 47–66. DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-1-47-66.
10. Тимохин А.Ю. Влияние удобрений на урожайность сои в условиях орошения // Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки сельскохозяйственных культур: сборник материалов 11-й Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов (Краснодар, 25–26 февраля 2021 г.). Краснодар: Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», 2021. С. 241–246. DOI: 10.25230/conf11-2021-241-246.
11. Толоконников В.В., Мухаметханова С.С., Канцер Г.П., Вронская Л.В. Влияние орошения, удобрения и фактора сорта на урожайность сои в условиях Нижнего Поволжья // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 3 (63). С. 95–104. DOI: 10.32786/2071-9485-2021-03-09.
12. Сырмолот О.В., Байделюк Е.С., Кочева Н.С. Применение биопрепаратов и стимуляторов роста при возделывании сои в Приморском крае // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 8. С. 70–74. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10812.
13. Васин В.Г., Шишина А.С., Ракитина В.В., Васин А.В. Формирование агрофитоценозов и продуктивности сои при применении удобрений и стимулирующих препаратов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 1. С. 27–34. DOI: 10.55170/1997-3225-2024-9-1-27-34.

СТАТЬИ

УДК 914/919(470+574)
DOI 10.17513/use.38377

ПОТЕНЦИАЛ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НА АЛТАЙСКО-ИРТЫШСКОЙ ТРАНСГРАНИЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ (РОССИЯ – КАЗАХСТАН)

Маменов С.Д.

*ФГБОУ ВО «Алтайский государственный университет», Барнаул,
e-mail: s.d.mamenov@mail.ru*

В статье рассматривается потенциал взаимодействия Алтайско-Иртышской трансграничной территории, охватывающей регионы России и Казахстана. Проводится анализ особенностей социально-экономического развития данных территорий, выявляются ключевые факторы, влияющие на трансграничное сотрудничество, и оцениваются перспективы углубления интеграционных процессов. Исследование основано на комплексном подходе, включающем анализ статистических данных, сравнительный метод, а также изучение нормативно-правовой базы, регулирующей приграничное взаимодействие. В работе рассматриваются экономические, инфраструктурные, культурные и экологические аспекты сотрудничества, особое внимание уделяется вопросам торговли, транспортной логистики и развития сельского хозяйства. Результаты исследования показывают, что существующий уровень интеграции обладает значительным потенциалом для дальнейшего роста. Однако выявлены ключевые проблемы, такие как недостаточная транспортная связанность, нехватка пунктов пропуска и разница в нормативно-правовых подходах. Для преодоления этих барьеров предлагаются меры по расширению инфраструктуры, усилению координации между государственными структурами двух стран и развитию совместных инвестиционных проектов. Выводы работы могут быть использованы при разработке стратегий трансграничного сотрудничества, а также в качестве основы для дальнейших научных исследований в области приграничного взаимодействия. Практическая значимость работы заключается в выработке рекомендаций по повышению эффективности взаимодействия между регионами и укреплению экономических связей в Алтайско-Иртышской трансграничной зоне.

Ключевые слова: интеграция, потенциал, трансграничная территория, российский Алтай, Восточный Казахстан

POTENTIAL FOR INTERACTION IN THE ALTAI-IRTYSH CROSS-BORDER TERRITORY (RUSSIA – KAZAKHSTAN)

Mamenov S.D.

Altai State University, Barnaul, e-mail: s.d.mamenov@mail.ru

The article examines the potential for interaction between the Altai-Irtysh transboundary territory, which covers regions of Russia and Kazakhstan. It analyzes the specific features of the socio-economic development of these territories, identifies key factors influencing transboundary cooperation, and assesses the prospects for deepening integration processes. The study is based on a comprehensive approach, including statistical data analysis, a comparative method, and a study of the regulatory framework governing cross-border interaction. In the work, of course, in the infrastructural, cultural and environmental aspects of cooperation, special attention is paid to issues of trade, transport logistics and economic development. The results of the study show that the current level of integration has significant potential for further growth. However, key problems such as insufficient transport connectivity, a shortage of border crossing points and differences in regulatory approaches were identified. To overcome these barriers, measures are proposed to expand infrastructure, strengthen coordination between government agencies of the two countries, and develop joint investment projects. The findings of the work can be used in developing cross-border cooperation strategies, as well as a basis for further scientific research in the field of cross-border interaction. The practical significance of the work lies in the development of recommendations for increasing the effectiveness of interaction between regions and strengthening economic ties in the Altai-Irtysh transboundary zone.

Keywords: integration, potential, transboundary territory, Russian Altai, Eastern Kazakhstan

Введение

Развитие межгосударственного сотрудничества и приграничных территорий является одной из приоритетных задач социально-экономического развития Российской Федерации и Республики Казахстан. Граница между странами протяженностью более 7500 км разделила некогда единое государство. Это привело к ряду сложностей и проблем, связанных с разделением ранее интегрированных рынков, транспортной и коммуникационной инфраструктуры, национальных культур и языков, а также вза-

имодействия в области природопользования и охраны окружающей среды. Решение этих проблем может быть преодолено через развитие приграничного сотрудничества и укрепление взаимодействия между соседними регионами. Однако условия развития приграничных территорий в разных частях не одинаковы, что связано с совокупным воздействием факторов и условий.

Потенциал трансграничного взаимодействия представляет собой совокупность факторов и условий, определяющих способность региона к осуществлению пригранич-

ного сотрудничества в разных сферах социально-экономического развития [1]. Такой потенциал включает природные, производственные, трудовые, финансовые, интеллектуальные и другие ресурсы [2]. Уровень развитости инфраструктуры является одной из составляющих такого потенциала и определяет особенности взаимного влияния приграничных территорий двух стран [3].

В ряде приграничных регионов существуют условия для формирования трансграничных территорий. Природным основанием для них является единая геосистема, характеризующаяся сочетанием природных ресурсов прилегающих к государственной границе регионов двух или более соседних стран [3]. Ключевыми элементами трансграничной территории являются крупные населенные пункты, коммуникационные сети, контактные зоны, системы низового уровня, которые формируют структуру его пространства. Пограничные переходы обеспечивают возможности взаимодействия.

Развитие приграничных территорий – это процесс, направленный на укрепление экономических, социальных, культурных и политических связей между приграничными регионами разных государств. Он основывается на принципах взаимовыгодного сотрудничества и уважения интересов каждой из сторон. Приграничное взаимодействие играет ключевую роль в развитии регионов, расположенных на стыке государственных границ. Для многих регионов РФ формирование трансграничных территорий будет способствовать преодолению последствий периферийности географического положения в стране [4]. В этом контексте политический и экономический центр страны оказывает значительное влияние на формирование и реализацию приграничного сотрудничества. Центральные органы власти определяют внешнеполитический курс государства, включая стратегии приграничного сотрудничества. Они устанавливают нормативно-правовую базу, регулиующую взаимодействие с соседними странами, а также координируют деятельность региональных властей в этой сфере. Приграничное сотрудничество находится на стыке внешней и внутренней политики государства и является эффективным инструментом обеспечения национальной безопасности в приграничье [5]. Кроме того, центральные власти определяют возможность и реализацию международных соглашений. Реализация решений принимаемых центральными

органами осуществляется через пограничные пункты приграничных территорий.

Наличие Алтайских гор и прилегающих предгорных пространств, составляющих природную геосистему, разделенную государственными границами, определило здесь формирование трансграничной территории. Представления об Алтайско-Иртышской территории начали формироваться в начале XX в. в условиях разработки планов по развитию «Большого Алтая» [6]. В настоящее время в российской части трансграничной территории находятся два субъекта Российской Федерации – Алтайский край и Республика Алтай. Алтайская территория в Восточном Казахстане также состоит из двух регионов – Восточно-Казахстанской и Абайской областей. Для Казахстана эта территория является важным транспортным узлом, находящимся на пересечении железнодорожных путей из южных и северных регионов Казахстана, обеспечивается также связь России и Китая. Здесь осуществляется транспортировка грузов и пассажиров по железнодорожному, водному и автомобильному путям.

Важно выявить особенности потенциала взаимодействия в трансграничной Алтайско-Иртышской территории, к которым относятся приграничные регионы России и Казахстана. Среди направлений сотрудничества наибольший потенциал характерен в таких сферах, как экономика, культура, образование, охрана природы, транспорт, туризм.

Перспективность развития взаимодействия подтверждается политическими решениями правительств двух стран: подписанием Договора о Таможенном союзе, созданием Единого экономического пространства, принятием Декларации о Евразийской экономической интеграции.

Трансграничные связи играют важную роль для приграничных регионов, где государственные границы являются своеобразными барьерами для взаимодействия. Формы взаимодействия могут быть как официальными, так и неформальными, их можно классифицировать по множеству критериев: по территориальному масштабу, субъектам, целям, видам коммуникаций и т.д.

Трансграничное взаимодействие может идти по разным сценариям, в том числе приводить к сотрудничеству и способствовать интеграции государств. При этом особый интерес представляют регионы, где существует потенциал взаимодействия по нескольким направлениям. Такие территории,

как правило, имеют общие ландшафтно-географические особенности и длительную историю сотрудничества. С учетом большой протяженности государственной границы между Россией и Казахстаном значительно различаются возможности развития взаимодействия. В связи с этим актуально выявить его потенциал для конкретных территорий.

Цель исследования – анализ структуры факторов, определяющих потенциал направлений взаимодействия в Алтайско-Иртышской трансграничной территории, сложившийся в постсоветский период.

Материалы и методы исследования

Исследования потенциала взаимодействия в трансграничной территории могут относиться к разным сферам жизнедеятельности человека. Важным условием потенциала является совокупность видов деятельности, которые могут стать основой для сотрудничества в приграничных регионах.

Сравнительно-географический подход является традиционным при изучении приграничных территорий. Он характеризуется выявлением сходств и различий сопредельных регионов и позволяет сравнивать структуру социально-экономической деятельности [7].

С помощью *статистического метода* происходит анализ количественных данных для выявления тенденций и закономерностей в приграничных регионах. Например, оценка демографических изменений, анализ торговых потоков. Для создания и анализа карт для визуализации и исследования пространственных данных используется картографический метод. *Изучение исторических документов и событий* для понимания динамики и изменений приграничных территорий проводится с использованием исторического метода.

Информационной базой служили материалы и публикации научной литературы, отчетно-статистические данные регионов России и регионов Казахстана, специализированные статистические базы данных, электронные публикации, периодические издания.

Информационная база исследования представлена информационно-статистическими данными Федеральной таможенной службы, Министерства транспорта Российской Федерации, Управления Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и Республике Алтай, Российского экспортного центра, Евразийской

экономической комиссии, бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республике Казахстан, собственными полевыми исследованиями.

Результаты исследования и их обсуждение

Пространственный подход предполагает выделение трансграничных географических структур, их разнообразие и влияние на территориальные особенности приграничного сотрудничества. Т.И. Герасименко отмечает, что такие структуры характеризуются комплексностью и сочетают природные ресурсы, инфраструктурное взаимодействие, особенности расселения и хозяйственной деятельности в пределах единой геосистемы. Этнокультурное пространство является важной частью такой полиструктурной системы [8]. А.Н. Дунец в Алтае-Саянском горном регионе определил природно-ресурсные структуры, когда геосистемы горных хребтов Алтая по осевым частям разделены государственной границей, целесообразно международное сотрудничество. Этнокультурные трансграничные географические структуры в регионе сформировались при разделении границей русских и казахов, которые проживают на сопредельных территориях в обоих государствах. Экономические территориально-хозяйственные структуры возникли при пересечении государственной границей объектов транспортной и инженерной инфраструктуры, а также предприятий, имеющих производственные связи. Трансграничные охраняемые природные территории также имеются в регионе. Например, две ООПТ исследуемых приграничных территорий входят в состав трансграничного биосферного резервата «Большой Алтай». Кроме того, на Алтайско-Иртышской территории существуют геополитические трансграничные структуры. С 2003 г. приграничные административные субъекты Казахстана, России, а также Монголии и Китая входят в Межрегиональный координационный совет «Наш общий дом – Алтай» [9, с. 113].

А.С. Макарычев предложил комплексный подход к исследованию приграничных территорий, что может быть основой для разработки стратегий и программ развития приграничных регионов в России и других странах. Совместные проекты и программы, рассматривающие сочетание отраслей хозяйственной деятельности для возможной интеграции и устойчивого соци-

ально-экономического развития, могут принести значимые результаты [10].

Алтайско-Иртышская трансграничная территория относится к горно-предгорным регионам, что осложняет взаимодействие между приграничными регионами. Природные особенности, включая ландшафты, климат западных хребтов Алтая, имеют общие особенности в казахстанской и российской частях [11].

Труднодоступность горных районов создала своего рода экономическую изоляцию земель. Что касается гор, как фактора регионализации трансграничного взаимодействия, то они могут выполнять как барьерную функцию, так и функцию связующего звена.

С 1740-х по 1918 г. территория находилась в составе одной административной единицы – Алтайского горного округа. Здесь этнические и социально-экономические особенности определились за 300-летний период заселения и освоения этой территории. Значительную часть этого периода регион находится в границах единого государства.

Алтайско-Иртышская территория занимает горные пространства западной части Алтая. Между горами и прилегающими равнинами существуют переходные зоны, которые не всегда удается однозначно выделить на местности [3; 12]. Река Иртыш берет начало в горах Монгольского Алтая, течет по территории Китая, Казахстана и только в равнинной части проходит в России, впадает в р. Обь. Горные хребты западной и южной части Алтая являются естественным барьером для взаимодействия между Россией и Казахстаном.

В конце XX в. произошли административно-территориальные и политические изменения. В связи с распадом СССР (в 1991 г.) на Алтае появилась новая государственная граница с Казахстаном. В российской части региона из Алтайского края выделилась Республика Алтай. В 1997 г. в Восточно-Казахстанскую область Казахстана была включена территория бывшей Семипалатинской области. Однако в 2023 г. была вновь выделена Абайская область.

В Алтайском крае 59 муниципальных сельских районов и 10 городов. В Республике Алтай был проведен анализ 10 муниципальных районов и 1 города. Территория Восточно-Казахстанской области насчитывает 9 муниципальных районов и 2 административных центра. Абайская область насчитывает 8 муниципальных районов и 1 административный центр. Однако в ис-

следуемой Алтайско-Иртышской территории только 3 пограничных перехода, в том числе железнодорожный.

В XX в. благодаря железной дороге «Турксиб» большая часть предприятий Алтайского края была ориентирована как на источники сырья, так и на рынки сбыта Казахстана и Средней Азии. После распада СССР он оказался в числе наиболее пострадавших от разрыва связей с Центральной Азией [13]. Например, энергетические мощности и промышленные предприятия по выплавке металла находятся в г. Усть-Каменогорске, на территории Казахстана, а горно-обогатительные предприятия (г. Горняк, Россия) в 1990-е гг. перестали существовать. Пострадали предприятия сельхозмашиностроения, продукция которых в советское время была в основном направлена для реализации в Средней Азии (существовавший тракторный завод в г. Рубцовске).

Особое влияние на потенциал взаимодействия оказывают социально-культурные и национальные связи. На территории Российского Алтая к середине 1990-х гг. усилился интерес казахов к своей национальной истории, культуре, языку. Появились первые региональные организации, направленные на сохранение казахской идентичности. В 2003 г. в г. Барнауле была открыта Алтайская краевая общественная организация «Центр казахской культуры Ата-Мура». Данный центр инициировал проведение такой символической практики, как праздник «Наурыз». В 2010-е гг. появились национально-культурные автономии (НКА) по всем региону – НКА казахов Бурлинского района, НКА казахов г. Славгорода, НКА «Асыл Мура» г. Барнаула и др., направленные на сохранение историко-культурного наследия казахов. В Республике Алтай казахская культура наиболее активно развивается в Кош-Агачском районе. Здесь находятся населенные пункты с компактным проживанием казахов, в с. Жана-Аул работает музей казахской культуры. В Восточном Казахстане традиционно преобладающая часть относится к русским. Это обусловлено историей заселения долины р. Иртыш и значительных пространств Алтайских гор. Многие населенные пункты были основаны как оборонительные сооружения, в том числе Усть-Каменогорск и Семипалатинск основаны как крепости в начале XVIII в. Вдоль р. Иртыш в тот период расселились казаки. В отдаленных горных районах Алтая были образованы старовеческие деревни.

Культурно-гуманитарное взаимодействие проявляется в реализации совместных проектов и программ по сохранению традиций и культурного наследия наций и народностей, поддержке проведения дней культуры сотрудничающих регионов на территориях стран региона, социально-культурном взаимодействии. Приграничные города также выполняют значимую социально-культурную функцию. Исторически сложившиеся этнические и семейные связи между жителями Алтайского края и Восточного Казахстана способствуют укреплению межкультурного диалога. Культурные центры организуют совместные мероприятия, фестивали и образовательные программы, направленные на сохранение традиций и развитие гуманитарных контактов.

Взаимодействие приграничных регионов осуществляется на основе заключенных межгосударственных соглашений и систематических дипломатических и деловых контактов. Это во многом опирается на подписанное 7 сентября 2010 г. в г. Усть-Каменогорске соглашение между правительствами РФ и Республики Казахстан, которое предусматривает сотрудничество в таких областях, как экономика, торговля, транспорт, энергетика, наука, образование, культура, здравоохранение, экология, туризм и др. [14].

В последние годы происходит расширение взаимовыгодного торгово-экономического взаимодействия. Существует поддержка и реализация проектов в основных направлениях сотрудничества, а также поощрение деловых инициатив. Развивается взаимодействие в промышленности и сельском хозяйстве.

Развитие инфраструктуры, включая транспортные сети. Развитие транспортных коридоров, создание условий и возможностей для международных автомобильных перевозок, совместной модернизации инфраструктуры и логистики. Осуществляется поддержка развития экономических центров вдоль транспортных коридоров. Формирование транспортной сети во многом обуславливает развитие территории, формирует опорный каркас ее хозяйства, представляющий собой пространственную структуру, состоящую из линий (сетей инфраструктуры) и узлов (населенных пунктов с наиболее развитыми промышленностью и (или) сельским хозяйством). Именно они во многом определяют плотность размещения ключевых узлов и линий каркаса на территории: чем ближе автомобильная

или железнодорожная трасса, выше ее категория, тем выше плотность элементов каркаса. Транспортные пути формируют «оси притяжения», на которые накладываются линии опорного каркаса, а его узлы группируются нитью или цепью вдоль трассы.

Анализ развития взаимодействия в Алтайско-Иртышской трансграничной территории позволил определить основную структуру потенциала взаимодействия (табл. 1).

Сравнительно-географические исследования российской и казахстанской частей (Российский Алтай и Восточный Казахстан) Алтайско-Иртышской трансграничной территории рассмотрены на основе статистических данных, характеризующих объемы продукции сельского хозяйства и промышленности (табл. 2 и 3).

В регионах Российского Алтая наблюдается значительный рост объемов сельскохозяйственной продукции с 2019 по 2022 г.: с 2397,97 млн долл. до 3822,47 (увеличение на 59,5%). Однако в 2023 г. фиксируется резкое снижение до 2684,86 млн долл.

В Восточном Казахстане также наблюдается рост производства с 1545,36 млн долл. в 2019 г. до 2243,16 млн долл. в 2022 г. (+45,2%). В 2023 г. фиксируется спад до 1953,55 млн долл., но он менее резкий, чем в российском Алтае.

В целом можно сказать, что оба региона продемонстрировали рост сельхозпроизводства до 2022 г., после чего в 2023 г. наблюдалось снижение объемов. Спад производства может быть вызван экономическими факторами, снижением спроса или внешнеполитическими изменениями. В Российском Алтае падение производства оказалось более резким, чем в Восточном Казахстане, что может свидетельствовать о большей зависимости экономики от растениеводства. Для дальнейшего роста необходимо стабилизировать производство, внедрять современные технологии сельского хозяйства и развивать экспортные направления.

Что касается промышленной продукции, Восточный Казахстан лидирует в добыче полезных ископаемых – объем производства более чем в 10 раз выше, чем в Российском Алтае. Обрабатывающие производства развиты сильнее в Российском Алтае, но в 2023 г. фиксируется спад. Производство пищевых продуктов стабильно растет в обоих регионах, но в Восточном Казахстане темпы роста выше. Легкая промышленность остается малозначимой отраслью, но в Восточном Казахстане ее рост более динамичен.

Таблица 1

Факторы, определяющие потенциал взаимодействия
в Алтайско-Иртышской трансграничной территории (АИТТ)

№	Факторы потенциала взаимодействия	Характеристика факторов в трансграничной территории
1	Экономико-географическое положение	Центральноазиатское положение обеспечивает перспективы транзитного сотрудничества. Для России важна роль региона в связи с Китаем, Киргизией, Таджикистаном. Для Казахстана, обеспечение выхода к сибирским территориям (транзитная связь с тихоокеанским регионом) и сотрудничество с Монголией, значимость с учетом традиционного этнокультурного взаимодействия
2	Культура и историческое наследие	Общая историческая память и культурные традиции; многоязычие и этнические связи. Сохранение исторического культурного наследия, имеющего общие корни
3	Экономика и торговля	Торгово-экономическое сотрудничество и взаимодополняемость экономик; общие экономические интересы и проекты
4	Инфраструктурно-технологический	Совместный интерес в развитии транспортных маршрутов и логистических центров; совместные инфраструктурные и технологические проекты
5	Социально-гуманитарный	Общие социальные проблемы (миграция, здравоохранение); высокий уровень межличностных и межкультурных контактов, взаимная помощь и поддержка в случае чрезвычайных ситуаций; совместные программы по улучшению качества жизни населения
6	Политический	Поддержка со стороны национальных и местных правительств; существование политических и административных соглашений, наличие международных организаций и соглашений для координации действий; соглашение о сотрудничестве приграничных регионов
7	Охрана природных ресурсов	Необходимость охраны общих природных ландшафтов (горы, ледники, леса, флора и фауна); сотрудничество между приграничными ООПТ, органами МЧС по ликвидации угроз природным ресурсам, проекты в области климата, водопользования
8	Безопасность	Общие вызовы безопасности (борьба с преступностью, пограничный контроль); совместные меры по поддержанию общественного порядка
9	Экологический	Общие экологические проблемы и задачи (управление водными ресурсами, охрана природы); совместные экологические проекты и программы
10	Туризм	Интерес к природным и историко-культурным туристским ресурсам, взаимные туристские маршруты
11	Образование и наука	Совместные образовательные программы и научные проекты по ключевым направлениям сотрудничества; организация выставок образовательных услуг и научно-технических проектов, взаимодействие в области исследований и инноваций

Источник: составлено автором.

Таблица 2

Продукция сельского хозяйства (млн долл.)

Продукция сельского хозяйства	Регион	2019	2020	2021	2022	2023
	Российский Алтай	2 397,97	2 426,74	3 458,73	3 822,47	2 684,86
	Восточный Казахстан	1 545,36	1 673,27	2 054,32	2 243,16	1 953,55
в том числе:						
Растениеводство	Российский Алтай	1 281,60	1 444,78	2 439,09	2 567,05	1 593,97
	Восточный Казахстан	692,53	787,08	1 065,76	1 075,12	1 029,45
Животноводство	Российский Алтай	1 116,37	981,96	1 019,64	1 255,42	1 090,89
	Восточный Казахстан	852,83	886,20	988,56	1 168,04	924,09

Источник: составлено автором по данным Алтайкрайстата и Бюро национальной статистики Республики Казахстан [15; 16].

Таблица 3

Промышленное производство (млн долл.)

	Регион	2019	2020	2021	2022	2023
Добыча полезных ископаемых	Российский Алтай	136,91	156,62	194,57	287,40	184,16
	Восточный Казахстан	1 257,22	1 453,02	1 537,04	1 809,63	2 539,79
Обрабатывающие производства	Российский Алтай	5 581,91	5 638,51	6 950,20	8 289,40	6 949,51
	Восточный Казахстан	4 076,68	4 068,86	4 615,56	5 316,22	5 638,81
Производство пищевых продуктов	Российский Алтай	2 135,71	2 375,75	2 527,36	3 270,17	2 820,73
	Восточный Казахстан	361,46	368,05	470,55	756,82	745,38
Легкая промышленность	Российский Алтай	98,18	88,33	101,52	143,59	123,87
	Восточный Казахстан	12,49	21,03	17,77	15,97	23,28

Источник: составлено автором по данным Алтайкрайстата и Бюро национальной статистики Республики Казахстан [15; 16].

Взаимодействие Российского Алтая и Восточного Казахстана обладает значительным потенциалом благодаря их экономической структуре, природным ресурсам и географической близости. Оба региона имеют развитый агропромышленный комплекс, несмотря на колебания объемов производства, сельское хозяйство остается важной частью экономики, особенно для Восточного Казахстана.

Потенциальные направления сотрудничества:

- совместное использование сельскохозяйственных ресурсов, в том числе земельных и водных;
- развитие трансграничной торговли агропродукцией;
- взаимный обмен технологиями и опытом в сфере переработки сельхозпродукции;
- создание совместных предприятий в сфере пищевой промышленности.

Основу промышленности в обоих регионах составляют добыча полезных ископаемых, обрабатывающее производство, производство пищевых продуктов и легкая промышленность.

Потенциальные направления сотрудничества:

- взаимная интеграция производственных мощностей;
- развитие совместных проектов в области машиностроения, металлообработки и пищевой индустрии;
- повышение кооперации в сфере легкой промышленности за счет обмена сырьем и готовой продукцией;
- развитие логистической инфраструктуры для облегчения промышленного сотрудничества.

Регионы Российского Алтая и Восточного Казахстана имеют взаимодополняю-

щие экономические структуры, что делает их взаимодействие перспективным. Потенциал кооперации заключается в укреплении торговых связей, создании совместных предприятий, развитии транспортной инфраструктуры и обмене технологиями в ключевых отраслях. Эффективная реализация этих возможностей позволит повысить экономическую устойчивость обоих регионов и усилить их конкурентоспособность на международном уровне.

Трансграничные территории в развитии международного туризма представляют особый интерес. Влияние границы проявляется в особенностях товаров и услуг на приграничных территориях, а также возможности посетить соседнюю страну. Для трансграничной туристской территории характерно наличие общего туристического ресурса [7]; совместная деятельность в создании туристического продукта, реализация проектов и взаимодействие между органами управления и их заинтересованность в расширении сотрудничества между туристскими организациями [4].

Основой территориальной структуры туризма Алтайско-Иртышского трансграничного региона являются наличие и разнообразие туристских ресурсов, их транспортная доступность и сформированность инфраструктуры в туристских центрах.

Транспортная труднодоступность во многом определяет локализацию основных туркомплексов и перспективность реализации проектов. В Российском Алтае основная часть туристской инфраструктуры сосредоточена в низкогорной зоне рядом с федеральной автодорогой Р-256 «Чуйский тракт». В Восточном Казахстане турпоток идет вдоль Иртыша. Важным для трансграничного сотрудничества кроме уже суще-

ствующих погранпереходов является создание автодороги из Риддера в Усть-Кан.

Ведущим направлением Алтайско-Иртышской трансграничной территории является развитие экотуризма. Для этого наибольшие перспективы имеются у российско-казахстанского трансграничного биосферного резервата «Большой Алтай», который был создан в 2017 г. Создано функциональное зонирование территории, механизм управления и координации деятельности, разработана стратегия сотрудничества. Выявлены основные направления сотрудничества, в ТБР ежегодно проводятся совместные рейды на приграничной территории, техническая учеба и повышение квалификации инспекторов. Оработана система обмена информацией и раннего реагирования на возникновение пожаров в приграничной зоне. Проведена базовая оценка биоразнообразия и выявлены основные факторы негативного воздействия. Проводится геохимический мониторинг трансграничной территории (массив г. Белуха), изучается динамика горного оледенения. Проводилась отработка методики учета копытных, мигрирующих через государственную границу. Экологическое просвещение – наиболее развитое направление совместных работ. На территории ТБР находится 41 населенный пункт. Культурные связи жителей российского и казахстанского секторов ТБР поддерживаются в настоящее время [17].

Природоохранная деятельность имеет значимую роль в трансграничном взаимодействии. Это определено тем, что государственная граница разделяет единые экосистемы и здесь созданы ООПТ. Существует необходимость формирования единой сети экологических пространств в Алтайском горном регионе.

Заключение

Таким образом, в ходе исследования обобщается выделение Алтайско-Иртышской трансграничной территории, включающей регионы России и Казахстана, обладающие общими историческими, экономическими и природными особенностями. Определена структура потенциала взаимодействия данных территорий, включающая экономический, социальный, инфраструктурный и экологический аспекты. Проанализированы статистические показатели, характеризующие динамику промышленного производства, сельского хозяйства, торговли и транспортной инфраструктуры.

Взаимовыгодное сотрудничество между регионами России и Казахстана может рассматриваться в рамках интеграции некоторых отраслей региональных экономик, развития торговли, транспорта, сельского хозяйства и туризма.

Несмотря на значительные успехи в развитии приграничного взаимодействия, существуют вызовы, связанные с модернизацией инфраструктуры, расширением транспортных коридоров, упрощением таможенных процедур и устранением административных барьеров. Существенным фактором остается повышение инвестиционной привлекательности территорий, что требует координации между государственными структурами и бизнесом.

Для дальнейшего развития сотрудничества необходимо укреплять деловые связи между муниципалитетами, расширять программы трансграничного взаимодействия, поддерживать совместные инициативы в сфере торговли, логистики, экологии и туризма. Важным направлением остается привлечение инвестиций в приграничные территории, что позволит повысить уровень социально-экономического развития региона и усилить его конкурентные позиции в международном пространстве.

Список литературы

1. Рой О.М. Экономический потенциал приграничных районов: особенности трансграничного взаимодействия на омском участке государственной границы России и Казахстана // Вестник Омского университета. Серия «Экономика». 2022. Т. 20, № 2. С. 148–162. URL: https://journal.omco.ru/ru/archive/doc/2022_02/148-162.pdf (дата обращения: 02.02.2025).
2. Арупова А.А., Абайдуллаева М.М., Арупов А.А. Теоретико-методологические подходы к оценке интеграции: международный опыт // Вестник университета «Туран». 2020. № 4. С. 202–207. URL: <https://vestnik.turan-edu.kz/jour/article/view/1387> (дата обращения: 01.02.2025). DOI: 10.46914/1562-2959-2020-1-4-202-207.
3. Бакланов П.Я., Ганзей С.С. Трансграничные территории: проблемы устойчивого природопользования. Владивосток: Дальнаука, 2008. 216 с.
4. Мизерханова Д.Г. Формирование туристического продукта в пределах трансграничных территорий (на примере Хабаровского края): дис. ... канд. геогр. наук. Калининград, 2013. 196 с.
5. Федеральный закон от 26 июля 2017 г. № 179-ФЗ «Об основах приграничного сотрудничества» [Электронный ресурс]. URL: https://economy.gov.ru/material/dokumenty/federalnyy_zakon_ot_26_ilyulya_2017_g_179_fz_ob_osnovah_prigranichnogo_sotrudnichestva.html (дата обращения: 01.02.2025).
6. Дунец А.Н., Маменов С.Д. Географическая идентичность понятия «Большой Алтай» и перспективные направления трансграничного сотрудничества в регионе // Устойчивое развитие горных территорий. 2022. Т. 14, № 4 (54). С. 546–554. DOI: 10.21177/1998-4502-2022-14-4-546-554.

7. Бакланов П.Я., Тулохонов А.К. Приграничные и трансграничные территории Азиатской России и сопредельных стран: проблемы и предпосылки устойчивого развития. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. 610 с.
8. Герасименко Т. И. Этнокультурная трансграничность: взгляд географа // Гуманитарный вектор. 2017. Т. 12, № 1. С. 152–160.
9. Дунец А.Н. Туристско-рекреационные комплексы горного региона: монография. Барнаул: Изд-во АлГТУ, 2011. 204 с.
10. Макарычев А.С. Пространственные характеристики трансграничной безопасности: концептуальные контексты // International policy fellowships. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.policy.hu/makarychev/rus8.htm> (дата обращения: 02.02.2025).
11. Егорина А.В. Барьерный фактор в развитии природной среды гор. Барнаул: АлГТУ, 2003. 344 с.
12. Селезнева Е.В., Ротанова И.Н. Геоэкологическая оценка ландшафтов рекреационной зоны российской части трансграничной природоохранно-туристской территории Западного Алтая // Астраханский вестник экологического образования. 2023. № 3 (75). С. 88–96. DOI: 10.36698/2304-5957-2023-3-88-96.
13. Барабанов О.А. Большой Алтай: проект трансграничного регионального сотрудничества на стыке Центральной Азии и Сибири // Центральная Азия и Кавказ. 2015. № 5 (23). С. 78–85. URL: <https://great-altay.ru/bank/item/bol-shoj-altaj-proekt-transgranichnogo-regional-nogo-sotrudnichestva-na-styke-tsentral-noj-azii-i-sibiri?ysclid=m83dj1kp0z284411071> (дата обращения: 02.02.2025).
14. Иванов В.Н., Жундубаев М.К. Межрегиональное и приграничное сотрудничество России и Казахстана: основные приоритеты // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2015. № 7 (292). С. 38–51.
15. Управление Федеральной службы государственной статистики по Алтайскому краю и Республике Алтай [Электронный ресурс]. URL: <https://akstat.gks.ru/> (дата обращения: 02.02.2025).
16. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан [Электронный ресурс]. URL: <https://stat.gov.kz/ru/> (дата обращения: 02.02.2025).
17. Ibsch P.L. Great Altay Transboundary Biosphere Reserve. Management Plan of the Great Altay Transboundary Biosphere Reserve, Republic of Kazakhstan and Russian Federation // Centre for Economics and Ecosystem Management, Eberswalde. 2015. 223 p.

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТА В УСЛОВИЯХ РЕКРЕАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Примак Е.А., Алексеев Д.К., Косатова А.А.

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

Цель работы заключается в оценке устойчивости ландшафтов на туристских маршрутах. В рамках рекреационного освоения территорий оценка природных ресурсов для отдыха и туризма, а также проведение оценки рекреационной нагрузки, которую может выдержать экосистема, крайне важны для сохранения и восстановления экосистемы. Одним из эмерджентных свойств системы, которое позволяет оценить неблагоприятные последствия рекреационного воздействия на ландшафт, является устойчивость. Данная характеристика является одной из ключевых, так как отражает способность экосистемы сохранять свои свойства при различных внешних и внутренних воздействиях. Интегральная оценка устойчивости ландшафта базируется на методе сводного показателя, который зарекомендовал себя как надежный инструмент для создания композитных индексов, объединяющих информацию о разнообразных сложных системах. В качестве наиболее значимых показателей, определяющих рекреационную нагрузку, были выбраны уклон земной поверхности, индекс экологического потенциала и ландшафтное разнообразие. Апробация интегральной оценки рекреационной нагрузки на природные комплексы была выполнена на примере туристских маршрутов Катунского биосферного заповедника. В результате проведенного исследования было установлено, что ландшафты троп к Мультиинским озерам обладают «максимальной» и «выше средней» устойчивостью к изменению параметров естественных режимов.

Ключевые слова: Республика Алтай, экологический туризм, устойчивость ландшафта, рекреационная дигрессия, метод сводных показателей

INTEGRAL ASSESSMENT OF THE LANDSCAPE SUSTAINABILITY UNDER RECREATION IMPACTS

Primak E.A., Alekseev D.K., Kosatova A.A.

Russian State Hydrometeorological University, Saint Petersburg, e-mail: d.alekseev@rshu.ru

The aim of this study is to assess the resilience of landscapes along tourist routes. In the context of recreational development of territories, the evaluation of natural resources for recreation and tourism, as well as the assessment of recreational impact that an ecosystem can withstand, are crucial for the conservation and restoration of the ecosystem. Resilience, an emergent property of the system that allows for the evaluation of the adverse consequences of recreational impact on the landscape, is one of the most important characteristics. This is because it describes the ecosystem's ability to maintain its properties under various external and internal influences. The integrated assessment of landscape resilience is based on the method of the composite index, which has proven to be an effective tool for constructing integrated indicators that synthesize information about various complex systems in nature and society. The most significant indicators determining recreational impact were selected: the slope of the earth's surface, the index of ecological potential, and landscape diversity. The application of the integrated assessment of recreational impact on natural complexes was carried out using the example of tourist routes in the Katunsky Biosphere Reserve. As a result of the study, it was established that the landscapes of the trails to the Multa Lakes possess «maximum» and «above-average» resilience to changes in the parameters of natural regimes.

Keywords: Altai Republic, ecological tourism, landscape sustainability, recreational digression, integral indicator

Введение

Проблема оценки устойчивости наземных экосистем в современных условиях представляет собой сравнительно новое направление исследований, требующее пристального внимания. Актуальность данной темы усиливается на фоне изменения и ухудшения состояния окружающей среды, вызванных антропогенной деятельностью, включая рекреационное воздействие. Исследования различных авторов показывают, что туризм оказывает значительное негативное воздействие на природные комплексы. Зачастую туристические группы

отдают предпочтение своим краткосрочным интересам, пренебрегая необходимостью охраны окружающей среды.

Во второй половине прошлого столетия стала формироваться новая форма туризма, связанная с изучением природы и культурных достопримечательностей с сохранением при этом целостности экосистемы, или, другими словами, экологический туризм. Существует множество различных интерпретаций этого термина [1, с. 31–33], например развитие и организация туристской деятельности на особо охраняемых природных территориях (ООПТ). Проблемам организа-

ции туризма на объектах ООПТ уделяется достаточно большое внимание различными исследователями [2–4]. В контексте разработки рекомендаций по поведению посетителей на уязвимых объектах особую значимость приобретает система управления посетителями внутри природных объектов и территориях, прилегающих к ним. Данная система должна учитывать такие характеристики, как устойчивость и чувствительность природных территорий с целью оптимизации потоков посетителей и минимизации негативных воздействий. На фоне стремительного роста внутреннего туризма проблема устойчивости ландшафтов особо охраняемых природных территорий приобретает важное практическое значение [5; 6].

Цель исследования заключается в оценке устойчивости ландшафтов на туристских маршрутах. Апробация интегральной оценки рекреационной нагрузки на природные комплексы была выполнена на примере туристских маршрутов Катунского биосферного заповедника

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в Усть-Коксинском районе Республики Алтай на территории Катунского биосферного заповедника. В июле 2020 г. на территории ООПТ вдоль экскурсионного маршрута к Мультиным озерам проводилась оценка дигрессии наземных экосистем [7]. Данный участок Катунского заповедника длиной 15 км является наиболее популярным среди туристов, он привлекает до 80% всех посетителей заповедника. Наблюдается устойчивая тенденция роста числа посетителей с каждым годом [8; 9]. Стадии дигрессии оценивались визуальными методами и наносились на карту для последующего анализа данных согласно методологии, представленной в исследовании А.А. Тордовой и Т.В. Яшиной [10]. Для количественной характеристики использовалась шкала из четырех классов, где первая стадия соответствует минимальной рекреационной нагрузке, тогда как четвертая стадия характеризует территорию с существенными нарушениями.

Другой метод оценки рекреационного воздействия базируется на теории устойчивости систем, где объект окружающей среды рассматривается как сложная многопараметрическая система, характеризующаяся определенным набором исходных характеристик. Для анализа зачастую при-

меняются достаточно простые параметры систем (численность, концентрация, объем и другие). Однако в последнее время предпочтение отдается эмерджентным свойствам (устойчивость, пластичность и пр.) [11]. Устойчивость позволяет оценить неблагоприятные последствия рекреационного воздействия на ландшафт.

Наиболее перспективным методом оценки устойчивости экосистем к внешним воздействиям представляется интегральный подход, позволяющий объединять ранее полученные многокритериальные оценки в единую систему, учитывая их вклад в итоговую оценку. Этот подход основывается на результатах многоступенчатых преобразований информации о состоянии экосистемы [12, с. 115–117]. Использование данного подхода связано с последовательной реализацией нескольких этапов: начиная с обоснования и выбора репрезентативных критериев и уровней оценки, заканчивая разработкой интегральных показателей на основе собранной базы эмпирических данных. Интегральная оценка устойчивости ландшафта базируется на методе сводного показателя, предложенного В.В. Дмитриевым, который зарекомендовал себя как надежный инструмент для создания композитных индексов, объединяющих информацию о разнообразных сложных системах [13].

Результаты исследования и их обсуждение

Одним из главных негативных факторов влияния туристской деятельности на природные объекты служит вытаптывание, последствия которого могут проявляться либо линейно (вдоль троп), либо локально (на туристических стоянках). На склонах троп усиливаются процессы эрозии, смыва почвы поверхностными водами, что вызывает нарушение почвенного покрова и делает уязвимой корневую систему деревьев. При этом сами тропы могут расширяться, местами становиться переувлажненными или полностью разрушаться, особенно после выпадения осадков. При увеличении интенсивности вытаптывания растительный покров на некоторых участках может полностью исчезнуть, что сопровождается процессом дигрессии.

В 2020 г., ввиду карантинных ограничений, введенных из-за пандемии COVID-19, посещение заповедника туристами началось с середины июня и продолжалось до сентября. Всего за туристский сезон

зафиксировано по пропускам 5394 посетителей. За этот период рекреационная нагрузка, включая студентов, научных работников и государственных инспекторов, составила на эколого-просветительские маршруты Мультинского участка заповедника: до Верхнего Мультинского озера – 2474 чел., до Поперечного озера – 2922 чел. Большая часть тропы находилась на третьей стадии дигрессии (41,19%), вторая стадия наблюдалась на 31,25%, четвертая – на 18,45%, а первая стадия была отмечена лишь на 9,11% [7].

В качестве наиболее значимых показателей, определяющих устойчивость к рекреационной нагрузке, были выбраны уклон земной поверхности, индекс экологического потенциала и ландшафтное разнообразие. Наклон поверхности определяет структуру и морфологические особенности подстилающей поверхности и представляет собой базовую характеристику ландшафта [14]. Различные шкалы уклонов получили широкое применение при классификации и характеристике форм рельефа [15]. При разработке интегрального индекса использовалась шкала, разработанная В.К. Жучковой и Э.М. Раковской для горных стран [16, с. 133–134].

Следующий параметр оказывает влияние на пространственное распределение биологических, экологических и прочих параметров и служит показателем доступности тепла и влаги – это индекс экологического потенциала ландшафта. Значительное количество параметров необходимых для

его оценки существенно ограничивает его применение, тем более что данные по некоторым факторам могут и отсутствовать. В качестве достаточно простой альтернативы природного экологического потенциала ландшафта Н.Н. Иванов предложил использовать произведение годовой суммы температур воздуха выше 10 °С на коэффициент увлажнения или индекс биологической эффективности климата [17].

Следующим ключевым параметром описания природных комплексов выступает ландшафтное разнообразие, которое объединяет в себе характеристики различных компонентов среды. Оно тесно связано с такими важными свойствами, как устойчивость, биологическое разнообразие и природоохранный потенциал. Ландшафтное разнообразие определяет возможности хозяйственного использования территорий: участки с высоким уровнем разнообразия чаще оказываются более благоприятными для рекреационного освоения по сравнению с менее разнообразными территориями [18].

В табл. 1 приведена исходная классификация для оценки устойчивости ландшафтов к изменению параметров естественных режимов. Критерии, приведенные в табл. 1, можно разделить на два типа. К первому типу характеристик относятся параметры, увеличение значений которых ведет к снижению устойчивости ландшафтов, а ко второму – критерии, увеличение значений которых свидетельствует об увеличении устойчивости природно-территориального комплекса.

Таблица 1

Исходная классификация для оценки устойчивости ландшафтов к изменению параметров естественных режимов

Признак	Класс устойчивости				
	1 (максимальная)	2 (выше средней)	3 (средняя)	4 (ниже средней)	5 (минимальная)
Уклон земной поверхности, %	< 10	10–20	20–30	30–45	> 45
	плоские и почти плоские, плоские склоны	покатые склоны	склоны средней крутизны	крутые склоны	очень крутые склоны, скалистые обрывистые склоны
Индекс биологической эффективности климата	>20	20–16	16–12	12–8	< 8
	наивысший	относительно высокий	средний	низкий	очень низкий
Ландшафтное разнообразие, %	>40	40–30	30–20	20–10	< 10
	высокое	выше среднего	среднее	ниже среднего	низкое

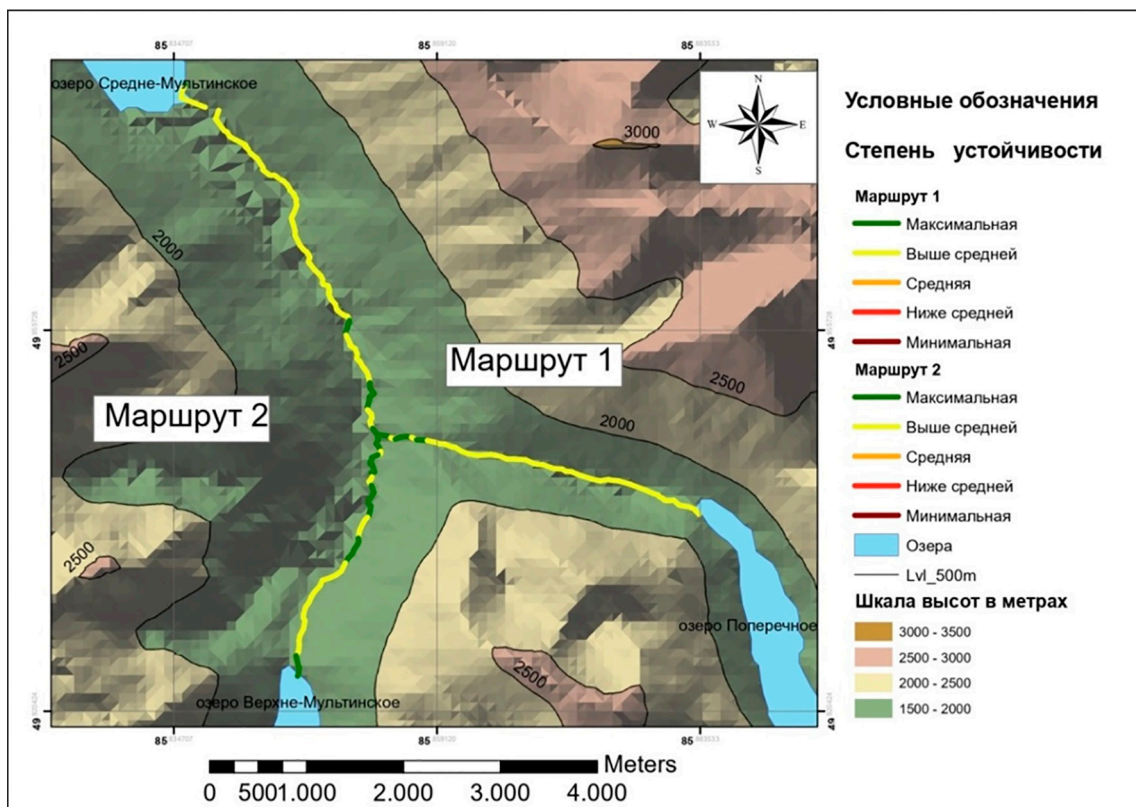
Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Нормированные значения критериев оценивания устойчивости ландшафтов к изменению параметров естественных режимов

Признак	Класс устойчивости				
	1 (максимальная)	2 (выше средней)	3 (средняя)	4 (ниже средней)	5 (минимальная)
Уклон земной поверхности, %	0–0,111	0,111–0,222	0,222–0,333	0,333–0,500	0,500–1
Индекс биологической эффективности климата	0–0,524	0,524–0,619	0,619–0,714	0,714–0,810	0,810–1
Ландшафтное разнообразие, %	0–0,222	0,222–0,444	0,444–0,667	0,667–0,889	0,889–1
<i>I</i>	0–0,286	0,286–0,429	0,429–0,571	0,571–0,733	0,733–1

Источник: составлено авторами.



Карта-схема интегрального показателя устойчивости троп к Мультинским озерам
Источник: составлено авторами

Для перевода исходных критериев в единую безразмерную шкалу, согласно алгоритму построения интегрального индекса, выполнялась процедура свертки исходных данных с использованием нормирующих функций [9]. Сущность данной процедуры заключается в приведении значений к интер-

валу от 0 до 1 таким образом, чтобы максимальной устойчивости каждого оценочного критерия соответствовало значение 0, а минимальной – значение 1. В настоящем исследовании интегральный показатель *I* рассчитывается при условии равнозначности весовых коэффициентов исходных данных.

В табл. 2 представлены результаты по нормированию исходных значений критериев оценивания устойчивости ландшафтов. Дальнейшая апробация метода проводилась на основе данных о состоянии Мультинского участка Катунского заповедника. Для этого участка разработан однодневный пеший маршрут «В край озер и водопадов», включающий две тропы. Интегральный показатель Q был рассчитан для 173 точек на тропе, ведущей к Верхнему Мультинскому озеру, и для 63 точек на тропе, ведущей к Поперечному озеру, для сравнительного анализа с показателями дигрессии, полученными ранее.

Ценным свойством интегральных показателей является возможность их представления в количественном формате с последующим временным или пространственным отображением посредством геоинформационных систем (ГИС). Предложенный подход обеспечивает отслеживание динамики состояния (устойчивости, благополучия) геосистемы как между различными классами, так и внутри одного класса, а также позволяет оценивать последствия различных управленческих мер. На основе рассчитанных значений была построена карта интегрального показателя устойчивости троп, которая представлена на рисунке. Анализируя полученные результаты, можно утверждать, что интегральный показатель изменяется в пределах от 0,2 до 0,4. В ходе сопоставления фактических данных об уровне деградации и интегрального показателя устойчивости установлена прямая корреляционная связь. Таким образом, предложенный интегральный показатель может быть использован в качестве критерия при разработке новых туристских маршрутов.

Заключение

Результаты проведенных исследований показали, что ландшафтные комплексы экскурсионных маршрутов Мультинского участка Катунского заповедника обладают высокой устойчивостью к изменениям параметров естественного режима при текущих уровнях антропогенного воздействия. Согласно интегральной оценке ландшафты характеризуются преимущественно вторым классом устойчивости («выше среднего») на большинстве участков маршрута, с наличием локальных зон первого класса устойчивости («максимальная»). Данный феномен обусловлен особенностями топографии данного участка, характеризующегося

уменьшенным градиентом рельефа и пониженной крутизной склонов.

Разработанный интегральный показатель устойчивости обеспечивает возможность количественной оценки динамики резистентности ландшафтных комплексов к изменениям естественных режимов в условиях рекреационной нагрузки. Полученные данные свидетельствуют о необходимости учета показателей ландшафтной устойчивости при планировании и эксплуатации туристических маршрутов для предотвращения процессов рекреационной дигрессии природных комплексов. Результаты исследования представляют практическую значимость для оптимизации функционирования существующей маршрутной сети и обоснования новых рекреационных маршрутов на территории особо охраняемой природной территории.

Список литературы

1. Алексеев Д.К., Курочкина А.А., Примак Е.А., Бубнова Я.В., Тенилова О.В., Рохлова Е.Л., Карманова А.Е., Панова А.Ю., Арапов С.В. Экологический туризм. СПб.: Человек, 2024. 376 с.
2. Каширина Е.С., Панкеева Т.В. Воздействие рекреации на почвенно-растительный покров особо охраняемых природных территорий Севастополя (на примере Большой Севастопольской тропы) // Географическая среда и живые системы. 2023. № 4. С. 91–107. DOI: 10.18384/2712-7621-2023-4-91-107.
3. Суржиков В.И., Шевченко В.К. Подход к развитию экологического туризма на особо охраняемых природных территориях на основе системного анализа // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета экономики и сервиса. 2019. Т. 11, № 3. С. 50–62. DOI: 10.24866/VVSU/2073-3984/2019-3/050-062.
4. Тихомирова А.В. Экологический туризм на особо охраняемых природных территориях // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Право. 2021. Т. 21, № 2. С. 109–114. DOI: 10.14529/law210216.
5. Усольцева А.Н. Зарубежный и российский опыт организации экологического туризма на особо охраняемых природных территориях // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2022. № 1. С. 80–89. DOI: 10.18522/1026-2237-2022-1-80-89.
6. Яшина Т.В. Возможности для развития бизнеса с ответственностью к природе: опыт Катунского биосферного заповедника // Мордовский заповедник. 2018. № 14. С. 22–25.
7. Косатова А., Бузанько Б., Тимофеева А. Оценка рекреационной нагрузки на ООПТ (Катунский биосферный заповедник) // Вестник Гидромета. 2020. № 3. С. 12.
8. Легачева Н.М., Прудникова Н.Г., Праздников Н.Н., Дудник А.В., Дудник М.А. Проектирование экологической тропы «В край озер и водопадов» на территории Катунского биосферного заповедника // Успехи современного естествознания. 2023. № 6. С. 53–58. DOI: 10.17513/use.38053.
9. Редникин А.Р. Рекреационный мониторинг Катунского заповедника // Природопользование и охрана природы: Охрана памятников природы, биологического и ландшафтного разнообразия Томского Приобья и других регионов России. Материалы IX Всероссийской с международным участием научно-практической конференции (Томск, 21–23 апреля 2020 г.). Томск: Издательство ТГУ, 2020. С. 60–65. DOI: 10.17223/978-5-94621-954-9-2020-14.

10. Тордокова А.А., Яшина Т.В. Рекреационный мониторинг как инструмент управления экологическим туризмом на ООПТ (на примере Катунского заповедника) // Мониторинг состояния природных комплексов и многолетние исследования на особо охраняемых природных территориях / Отв. ред. Е.А. Шикалова. М-во природных ресурсов и экологии РФ, Гос. природный биосферный заповедник «Саяно-Шушенский. Шушенское». 2016. С. 103–106.
11. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Устойчивость сложных систем в природе и обществе: методология, оценка, результаты // Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. 2017. № 48. С. 72–84.
12. Дмитриев В.В. Оценка состояния и устойчивости наземных и водных геосистем. СПб.: Медиапир, 2020. 200 с.
13. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н., Морозова А.С., Пилюгина А.А., Свердлова О.А., Сиротина П.М., Федорова М.Е., Черепанов С.В., Шакуров В.А. Интегральная оценка устойчивости ландшафтов: модели, результат, перспективы // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 9. С. 110–114. URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=11837> (дата обращения: 25.02.2025).
14. Озгелдинова Ж.О., Мукаев Ж.Т., Оспан Г.Т. Оценка потенциала устойчивости геосистем в условиях антропогенных воздействий (на примере бассейна реки Сарысу) // Гидрометеорология и экология. 2020. № 3 (98). С. 19–33.
15. Осипов С.В. Шкалы земной поверхности и способы их разработки // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. 2016. № 3. С. 45–50.
16. Жучкова В.К., Раковская Э.М. Методы комплексных физико-географических исследований. М.: Академия, 2004. 368 с.
17. Абалаков А.Д., Лопаткин Д.А. Устойчивость ландшафтов и ее картографирование // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 8. С. 2–14.
18. Соколов А.С. Ландшафтное разнообразие: теоретические основы, подходы и методы изучения // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10, № 1. С. 208–213.

УДК 551.578.46(470.21)
DOI 10.17513/use.38379

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА РАЗЛИЧНЫХ ВЫСОТАХ В ГОРАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ

¹Сергеев А.С., ²Юрченко Н.В., ²Кереева З.М.

¹ООО «ГЕОИНТЕГРА», Санкт-Петербург, e-mail: alel-ludi@mail.ru;

²ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Нальчик,
e-mail: ynatalya64@mail.ru, zknyaz-kbsu@mail.ru

Объектом исследования являются сезонные вариации высоты снежного покрова на территории Хибин. Исследование выполнено по данным двух метеостанций, расположенных на различных высотах: 400 м над ур. м. и 1091 м над ур. м. Были взяты их наиболее продолжительные непрерывные наблюдения: 53 года ГИС «Центральная» и 32 года МС «Кировск». Выявлено, что не только количество осадков увеличивается с высотой местности, но и время появления снежного покрова и его схода. Продолжительность нахождения снега на земле может расти до одного месяца по сравнению с обычным сроком его пребывания в окрестностях базовой метеостанции «Кировск». На протяжении 256 дней, с октября по май, на территории, которую изучаем, сохраняется постоянное покрытие снегом. Высота снежного покрова в этот период составляет от 56 до 176 см. Температура в этот период в 70% случаев варьируется от -7,4 до -10,2 °С. Для оценки водозапаса в зонах зарождения лавин использовались сведения о плотности снежного покрова по метеостанциям «Кировск» и «Центральная», которые составляют 0,33 и 0,375 г/см³ соответственно. Получены аналитические выражения для расчета на различных высотах: плотности снега, водозапаса и высоты снежного покрова 1 и 2% обеспеченности.

Ключевые слова: высота снежного покрова, сезонные вариации, анализ многолетних данных, водозапас, плотность снега, период устойчивого снегозалежания

LONG-TERM DYNAMICS OF SNOW COVER AT VARIOUS ALTITUDES IN THE MOUNTAINS OF THE MURMANSK REGION

¹Sergeev A.S., ²Yurchenko N.V., ²Kerefova Z.M.

¹LLC GEOINTEGRA, Saint Petersburg, e-mail: alel-ludi@mail.ru;

²High-Mountain Geophysical Institute, Nalchik,
e-mail: ynatalya64@mail.ru, zknyaz-kbsu@mail.ru

The object of the study is seasonal variations in the depth of snow cover in the Khibiny territory. The study was carried out using data from two meteorological stations located at different altitudes: 400 m above sea level and 1091 m above sea level. It was found that not only the amount of precipitation increases with the altitude of the area, but also the time of the appearance of snow cover and its melting. The duration of snow on the ground can increase up to 1 month compared to the usual period of its stay in the vicinity of the Kirovsk base meteorological station. For 256 days, from October to May, the territory under study is constantly covered with snow. The depth of snow cover during this period ranges from 56 cm to 176 cm. The temperature during this period in 70% of cases varies from minus 7.4 to minus 10.2 °C. To estimate the water reserve in avalanche origin zones, we used data on the snow cover density from the Kirovsk and Central weather stations, which are 0.33 g/cm³ and 0.375 g/cm³, respectively. Analytical expressions were obtained for calculating at different altitudes: snow density, water reserve, and snow cover depth of 1% and 2% probability.

Keywords: snow depth, seasonal variations, long-term data analysis, water content, snow density, period of stable snow cover

Введение

На территории Мурманской области наиболее лавиноопасным районом является Хибинский горный массив, где идет интенсивная добыча полезных ископаемых. Он входит в число лидеров в РФ по количеству зарегистрированных случаев чрезвычайных ситуаций, вызванных сходом снежных лавин. Данная ситуация объясняется высоким уровнем промышленного освоения Хибин и высокой степенью доступности здесь горного туризма. Проблема обеспечения лавинной безопасности стоит максимально остро как перед крупными промышленными компаниями, занимающи-

мися добычей полезных ископаемых в Хибинах, эксплуатирующих линейные объекты инфраструктуры (автомобильные и железные дороги, линии электропередачи), так и перед многочисленными турфирмами, организующими пешие и снегоходные туры, а также организациями, эксплуатирующими горнолыжные комплексы. Большая часть Хибин входит в одноименный национальный парк, в ведении руководства которого в том числе находится обеспечение лавинной безопасности его посетителей [1, 2].

Изучению лавинной опасности Хибинского горного массива посвящено много научных статей, монографий и книг [3, 4].

В Хибинах располагается исследовательская станция географического факультета МГУ им. Ломоносова, на базе которой десятилетиями изучается данная проблема [5, 6].

Несмотря на то, что высота гор не превышает 2000 м большая часть территории Хибинских и Ловозёрских тундр, Мончегундры и Чунатундры на Кольском полуострове относится к районам со значительной лавинной опасностью.

В 1930-х гг. на Кольском полуострове была начата добыча полезных ископаемых. Одним из серьезных препятствий в добыче руд стали частые сходы лавин. Они приводили к гибели людей и разрушению объектов производства. В этой связи на территории деятельности объединения «Апатит» образовалась противолавинная служба – Цех противолавинной защиты производственного объединения «Апатит». Подразделение занималось не только принудительным спуском лавин, но и исследованием динамики снегонакопления в горах.

На Кольском полуострове, где зима длится в течение 6–7 месяцев, сходы лавин и снежные обвалы происходят достаточно часто. Снежные лавины на полуострове сходят в течение всего холодного периода – с ноября по май. Сходы лавин здесь нередко связаны с гибелью людей, разрушением жилых и хозяйственных построек, горных разработок, автомобильных и железных дорог [7–9]. Ежегодно здесь под лавинами гибнут туристы и горнолыжники.

В связи с развитием деятельности АО «Апатит» по добыче и переработке апатит-нефелиновых руд на месторождении Хибин, а также растущей популярностью горнолыжных курортов и зимнего туризма границы лавиноопасных территорий в Хибинских горах постоянно изменяются, что требует изучения районов перспективного освоения и применения новых методов предотвращения воздействия лавин [10, 11].

Территория АО «Апатит» относится к районам с высокой степенью лавинной опасности. Даже при высококвалифицированных сотрудниках самой первой противолавинной службы в мире практически ежегодно снежные лавины наносят ущерб объектам инфраструктуры АО «Апатит», а порой – здоровью и жизни людей.

Ежегодно территории промплощадок АО «Апатит» наносится значительный экономический ущерб за счет простоев из-за лавинной опасности, затрат на расчистку лавинных отложений после схода лавин, восстановление линейных объектов (желез-

нодорожных путей, линий электропередач), ремонт или полная замена транспортных средств и оборудования, восстановление или ремонт зданий Общества, а также жилого фонда г. Кировска [12, 13].

Одним из важных факторов формирования снежных лавин является высота снежного покрова. В данной работе представлены результаты исследования сезонной вариации высоты снежного покрова на территории Хибин в историческом аспекте.

Цель работы – исследование сезонных вариаций высоты снежного покрова на территории Хибин и сопоставление данных, полученных на ГЛС «Центральная» и МС «Кировск».

Задачей исследования было получение аналитических выражений для расчета высоты снежного покрова 1 и 2% обеспеченности, а также для определения значений плотности снега и водозапаса на различных высотах. Данные аналитические выражения используются при проведении инженерных изысканий и выполнении проектных решений.

Материалы и методы исследования

Согласно п. 7.2.1 СП116.13330.2012 «Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов» для защиты строений повышенного и нормального уровня ответственности при снеголавинных расчетах высоты снежного покрова приняли 1% и 2% обеспеченности. Водозапас, используемый при определении дальности выброса лавин, по методике СП 428.1325800.2018 определяется по толщине слоя снега.

Для определения толщины снежного покрова на разной высоте использовался метод интерполяции, основанный на информации, собранной на горнолавинной станции «Центральная», расположенной на высоте 1091 м над ур. м., за период с 1962 по 2015 г. (протяженностью в 53 года). Кроме того, данные были взяты с метеостанции в Кировске, находящейся на высоте 400 м над ур. м., данные охватывали период с 1981 по 2013 г. (32 года).

Были взяты наиболее длинные непрерывные периоды наблюдения на метеостанциях, расположенных на территории Мурманской области. В настоящее время указанные метеостанции не работают. Непрерывные ряды наблюдения, не менее 10 лет, необходимы для оценки снеголавинных характеристик территорий с обеспеченностью 1, 2 и 5%, для их учета в проектных решениях.

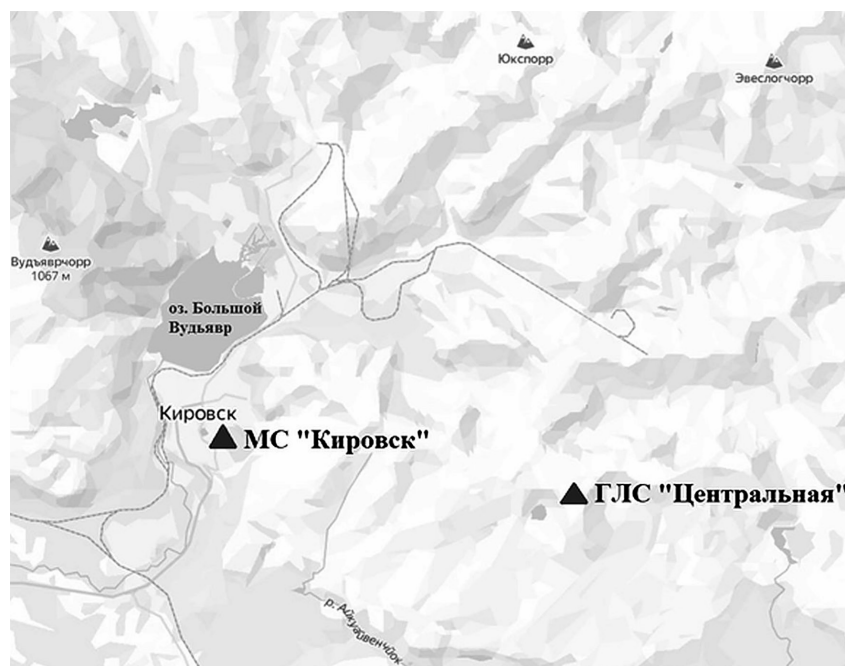


Рис. 1. Расположение используемых метеостанций на территории Хибин
Источник: составлено авторами

На рис. 1 представлено местоположение используемых метеостанций.

Результаты исследования и их обсуждение

С начала 1980-х гг. в Хибинах преобладают среднеснежные зимы. Многоснежные зимы за период с 1984 г по 2009 г. повторяются в среднем 1 раз в 8 лет, а малоснежные – в среднем 1 раз в 5 лет [14].

В работе [15] представлен анализ многолетней динамики снегонакопления по данным Хибинской станции МГУ и выполнено сравнение этих данных с данными, полученными на других метеостанциях.

Показано, что в 1991–1992 гг. на Хибинской станции и ГЛС «Центральная» наблюдалась максимальная высота снежного

покрова, которая равнялась 149 см и 256 см соответственно. Минимальное значение высоты снежного покрова на Хибинской станции было зарегистрировано в 1995–1996 гг. и составило 48 см, в то время как на станции «Центральная» в 2002–2003 гг. оно достигло 70 см.

Согласно данным Хибинской станции за 1984–2009 гг., зимы здесь в большинстве своем характеризуются средней снежностью и умеренными температурами; многоснежные теплые и малоснежные холодные зимы наблюдаются нечасто. Анализ архивных данных показал, что процесс формирования снежной толщи начинается с укладки устойчивого покрова на горных склонах, чаще всего в октябре, и завершается, когда снег сходит, обычно в июне (табл. 1) [15].

Таблица 1

Периоды формирования и таяния стабильного снежного покрова, а также количество снежных дней в зависимости от высоты над уровнем моря в районе Хибин

Станции наблюдений	Средняя характеристика			
	Устойчивый снежный покров		Число дней с устойчивым снежным покровом	Период снеготаяния
	Сроки установления	Сроки схода		
Кировск	20/X	5/VI	221	с 01/V по 05/VI
Центральная	03/X	18/VI	258	с 01/VI по 18/VI

Источник: составлено авторами на основе [15].

Таблица 2

Типизация зим по снежности

Характеристики	Тип зим		
	малоснежная	среднеснежная	многоснежная
Максимальная высота снежного покрова, см	< 80	80–105	> 105
Число зим, %	28	52	20

Источник: составлено авторами на основе [7].

Таблица 3

Типизация зим по температурным условиям

Характеристики	Тип зим		
	Холодная	Умеренная	Теплая
Средняя температура воздуха, °С	Ниже -10,2	От -7,4 до -10,2	Выше -7, 4
Число зим, %	17	70	13

Источник: составлено авторами на основе [7].

Периодами устойчивого снегозалежания на территории исследования являются I–V и X–XII месяцы. Средняя высота снега в этот период составляет от 56 до 176 см. Среднее число дней со снегом в год – 265 дней. В зимний период высота снега по месяцам меняется от 10 см (май – октябрь) до 1,5 м в марте.

По данным исследования, приведенным в работе [15], максимальная высота снежного покрова может достигать более 1 м при многоснежных зимах. Доля таких зим на исследуемой территории составляет около 20%. Типизация зим по температуре показывает, что 70% зим являются умеренными с температурами от -7,4 до -10,2 °С. Данные исследований представлены в табл. 2 и 3.

Прямых данных о плотности снежного покрова на участке исследования нет. Для оценки водозапаса в зонах зарождения лавин использовались сведения о плотности снежного покрова по метеостанциям «Кировск» и «Центральная» по данным, которые составляют 0,33 и 0,375 г/см³ соответственно. Расчеты плотности снежного покрова в зависимости от высоты приведены в табл. 4.

Изучение многолетних наблюдений за высотой снежного покрова, собранных метеостанцией «Кировск», выявило, что:

- с вероятностью 1% высота снежного покрова может достичь 206 см, при 2% вероятности – 190 см;
- количество дней, когда землю покрывал снег, составило 218.



Рис. 2. Среднемесячная высота снежного покрова по данным ГЛС «Центральная»

На рис. 2 представлена среднемесячная высота снежного покрова по данным ГЛС «Центральная».

На рис. 3 представлена кривая обеспеченности максимальной высоты снежного покрова на ГЛС «Центральная» вероятностью 1% – 305 см, вероятностью 2% – 280 см; количество дней со снежным покровом: 269.

Значение водозапаса в снежном покрове для снеголавинных расчетов предлагается определять по формуле

$$W = 10hp, \quad (1)$$

где W – водозапас в мм; h – высота снежного покрова в см, ρ плотность снежного покрова в г/см^3 .

Таблица 4

Расчетные показатели состояния снежного покрова, соответствующие уровням обеспеченности 1 и 2%, с учетом различных высотных отметок

Высота, м	Высота снежного покрова, 1%, см	Плотность, г/см^3	Водозапас 1%, мм	Высота снежного покрова, 2%, см	Плотность, г/см^3	Водозапас 2%, мм
400 (МС «Кировск»)	206	0,33	680	190	0,33	627
500	220	0,336	740	203	0,336	687
600	235	0,343	801	216	0,343	748
700	249	0,349	861	229	0,349	808
800	263	0,356	921	241	0,356	869
900	277	0,362	982	254	0,362	929
1000	292	0,368	1042	267	0,368	990
1091 (ГЛС «Центральная»)	305	0,375	1102	280	0,375	1050

Источник: составлено авторами.

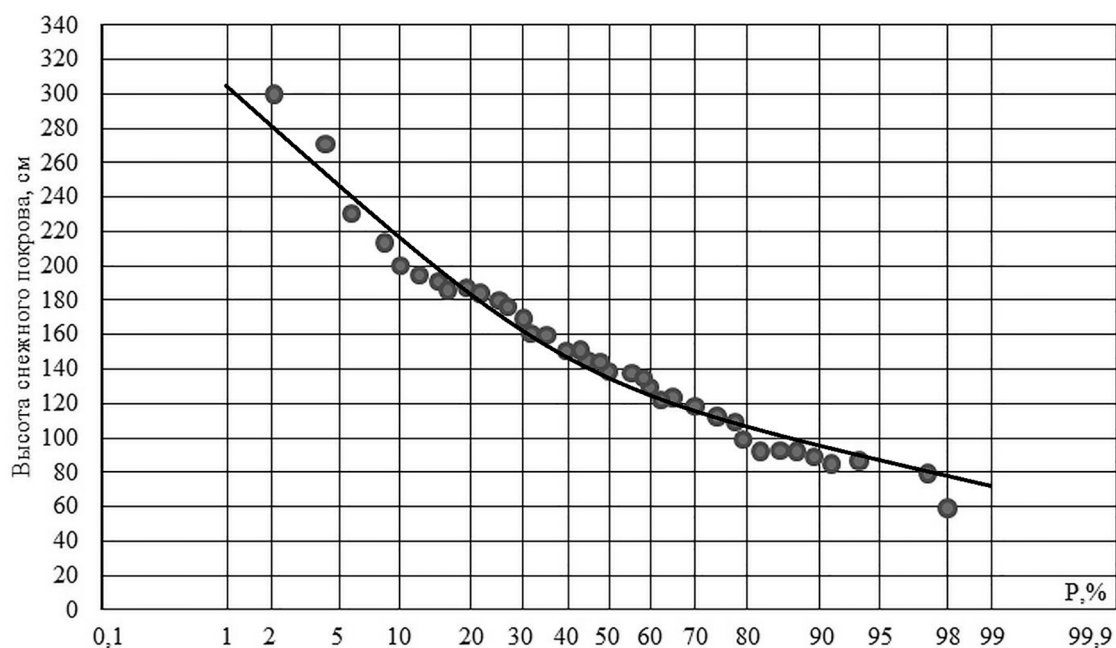


Рис. 3. Кривая обеспеченности максимальной высоты снежного покрова на ГЛС «Центральная»

Для расчета высоты снежного покрова 1% и 2% обеспеченности $h_{2\%}$ и $h_{1\%}$ на различных высотах $H_{отр}$ получены выражения

$$h_{1\%}(H_{отр}) = \frac{305 - 206}{1091 - 400}(H_{отр} - 400) + 206 = 0,143(H_{отр} - 400) + 206, \text{ см}, \quad (2)$$

$$h_{2\%}(H_{отр}) = \frac{280-190}{1091-400}(H_{отр} - 400) + 190 = 0,130(H_{отр} - 400) + 190, \text{ см.} \quad (3)$$

Аналогично получены выражения для расчетов плотности снега ρ (г/см³) и водо-запаса 1 и 2% обеспеченности $W_{1\%}$ и $W_{2\%}$ (мм) на различных высотах $H_{отр}$:

$$\rho(H_{отр}) = 0,0000652(H_{отр} - 400) + 0,33, \quad (4)$$

$$W_{1\%}(H_{отр}) = 0,6037(H_{отр} - 400) + 680, \quad (5)$$

$$W_{2\%}(H_{отр}) = 0,6051(H_{отр} - 400) + 627, \quad (6)$$

Формулы (2)–(6) предлагаются для определения высоты снежного покрова, его плотности и водозапаса в ходе инженерных изысканий и разработки проектных концепций на разных высотах.

Заключение

Анализ высотных показателей снежно-го покрова на территории Хибин был проведен на основе многолетних данных метеостанций «Центральная» (1090 м над ур. м.) и «Кировск-2» (400 м над ур. м.). Для этого использовались наблюдения, собранные с 1962 по 2015 г. (в течение 53 лет) и с 1981 по 2013 г. (в течение 32 лет), так как это наиболее продолжительные непрерывные периоды наблюдения на метеостанциях, расположенных на территории Мурманской области. Такие ряды наблюдения позволяют получить снеголавинные характеристики 1 и 2% обеспеченности для их учета при проектировании объектов повышенного и нормального уровней ответственности, расположенных в лавиноопасных участках.

Изучение многолетних измерений высоты снежного покрова, полученных метеостанцией «Кировск», выявило:

С вероятностью 1% высота снежного покрова может достигать 206 см, а с вероятностью 2% – 190 см.

Снежный покров сохранялся в течение 218 дней.

По данным прогноза, высота снежного покрова на ГЛС «Центральная» может составить 305 см с вероятностью 1%, а 280 см – с вероятностью 2%.

Количество дней, когда землю покрывал снег, составило 269.

Получены аналитические выражения для расчета высоты снежного покрова 1% и 2% обеспеченности, а также для определения значений плотности снега и водо-запаса на различных высотах при инженерных изысканиях и проектных решениях.

Список литературы

1. Черноус П.А. Опыт предупредительного спуска лавин в Хибинах. Проблемы и перспективы // Метеорология и гидрология. 2022. № 8. С. 14–25. DOI: 10.52002/0130-2906-2022-8-14-25.
2. Викулина М.А. Лавинная опасность и риск в Хибинах в условиях развития рекреации в начале XXI века // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2022. Т. 4, Вып. 3. С. 276–287. DOI: 10.34753/HS.2022.4.3.276.
3. Викулина М.А., Романенко Ф.А., Зимин М.В., Ефимова Л.Е., Покровский Б.Г. Строение и динамика снежно-ледяных образований в Хибинских горах в XXI веке // Вестник Московского университета. Серия 5: География. 2023. Т. 78, № 2. С. 89–102. DOI: 10.55959/MSU0579-9414.5.78.2.8.
4. Гусев Е.М., Насонова О.Н. Расчеты формирования снежного покрова на основе модели взаимодействия поверхности суши с атмосферой SWAP // Лед и снег. 2019. Т. 59, № 2. С. 167–181. DOI: 10.15356/2076-6734-2019-2-401.
5. Сосновский А.В., Осокин Н.И. Высота снежного покрова и ее динамика на материковой части Российской Арктики в условиях современного климата // Лед и снег. 2024. Т. 64, № 2. С. 238–251. DOI: 10.31857/S2076673424020074.
6. Китаев Л.М., Радионов В.Ф., Форланд Э., Разуваев В.Н., Мартуганов Р.А. Продолжительность залегания устойчивого снежного покрова на севере Евразии в условиях современных изменений климата // Метеорология и гидрология. 2004. № 11. С. 65–72. DOI: 10.15372/KZ20210304.
7. Черноус П.А., Волков А.В. Аналогичность в образовании метелевых лавин в Хибинах // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2019. Т. 1, № 3. С. 381–391. DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.005.
8. Жирова А.М. Вклад геофизических исследований в изучение строения Хибин // Труды Фермановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. 2019. № 16. С. 186–190. DOI: 10.31241/FNS.2019.16.038.
9. Галкин А.Ф., Плотников Н.А. Расчет коэффициента теплопроводности снежного покрова // Арктика и Антарктика. 2023. № 3. С. 16–23. DOI: 10.7256/2453-8922.2023.3.43733.
10. Сапунов В.Н., Селиверстов Ю.Г., Трошкина Е.С., Черноус П.А. Температурный режим воздуха в зимние сезоны и его влияние на лавинную активность в Хибинах Кривосферы Земли. 2006. Т. 10, № 4. С. 68–73. URL: https://earthcryosphere.ru/archive/2006_4/10.Sapunov_4_2006.pdf (дата обращения: 21.01.2025).
11. Аджиев А.Х., Кондратьева Н.В., Юрченко Н.В., Шидугов И.Ж. Многолетняя динамика снежного покрова в Прильбрусье // Наука. Инновации. Технологии. 2023. № 3. С. 47–64. DOI: 10.37493/2308-4758.2023.3.3.
12. Викулина М.А. Оценка лавинного риска в Хибинах // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2019. Т. 25, № 2. С. 66–76. DOI: 10.35595/2414-9179-2019-2-25-66-76.
13. Китаев Л.М. Оценка изменчивости температуры почвы зимнего периода в современных климатических условиях евразийской субарктики // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2021. № 1. С. 13–22. DOI: 10.33581/2521-6740-2021-1-13-22.
14. Викулина М.А., Зимин М.В., Романенко Ф.А. Оценка состояния малого оледенения в Хибинах // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2021. Т. 27, № 1. С. 409–417. DOI: 10.35595/2414-9179-2021-1-27-409-417.
15. Заика Ю.В., Викулина М.А., Черноус П.А. Многолетняя динамика нивальных процессов в Хибинах // Лед и снег. 2012. № 1 (117). С. 69–74. DOI: 10.15356/2076-6734-2012-1-69-74.

УДК 502.5:625.855.3
DOI 10.17513/use.38380

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ВЫДЕЛЕНИЯ ПЫЛИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ УЧАСТКА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Цыганков Д.А., Григорьева М.А.

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет»
Новосибирск, e-mail: tsygankov@sibstrin.ru

Строительство, реконструкция и эксплуатация автодорог связаны с оказанием воздействия на окружающую среду. При этом изменению подвергаются все составляющие ее элементы – воздух, вода и земли. Цель исследования заключалась в проведении процедуры оценки воздействия на окружающую среду, оказываемого реконструкцией и последующей эксплуатацией 12-километрового участка автодороги Кемерово – Анжеро-Судженск. Расчет интенсивности поступления и приземных концентраций загрязняющих веществ в воздушной среде выполнен посредством программного обеспечения «Эра». Контроль величин полученных расчетом концентраций загрязняющих веществ в воздушной среде осуществлялся посредством натурных измерений одноканальным аспиратором «Бриз». Эквивалентные и максимальные уровни звукового давления измерялись с помощью универсального multifunctional устройства, включавшего в себя шумомер, люксметр, термометр и гигрометр. Путем сопоставления расчетного и экспериментального уровней загрязнения воздушной среды было определено, что сократить воздействие на нее возможно путем замены дизельной электростанции на подключение потребителей к линии электропередач, а также обработки перемещаемых грунтов измельченными или чешуйчатыми по структуре хлоридами. Полученные результаты основаны на количественном и качественном анализе интенсивности поступления и концентраций загрязнителей в воздушной, водной и земельной средах, формирующихся в период выполнения строительно-монтажных работ и эксплуатации реконструированного участка автодороги. Внедрение рекомендаций по профилактике выделения пыли позволило сократить загрязнение атмосферы в период ведения строительно-монтажных работ по реконструкции участка автодороги и связанные с ним природоохранные платежи. Результаты анализа особенностей использования водной среды и земельных ресурсов при реконструкции и эксплуатации участка автодороги говорят об отсутствии их сверхнормативного загрязнения. Порядок образования, а также временного накопления отходов производственной и хозяйственно-бытовой деятельности работников, предусматривающий их передачу специализированной организации для дальнейшего обращения, гарантирует их минимальное воздействие на окружающую среду в пределах рассматриваемого участка автодороги.

Ключевые слова: оценка воздействия, окружающая среда, профилактика, загрязнение, реконструкция, эксплуатация

DEVELOPMENT OF MEASURES TO REDUCE DUST EMISSION DURING THE RECONSTRUCTION OF A SECTION OF A HIGHWAY

Tsygankov D.A., Grigoreva M.A.

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering,
Novosibirsk, e-mail: tsygankov@sibstrin.ru

Construction, reconstruction and operation of highways are associated with the impact on the environment. In this case, all its components are subject to change – air, water and land. The purpose of the study was to carry out a procedure for assessing the impact on the environment caused by the reconstruction and subsequent operation of a 12-kilometer section of the Kemerovo-Anzhero-Sudzhensk highway. Calculation of the intensity of entry and ground concentrations of pollutants in the air was performed using the Era software. Control of the values obtained by calculating the concentrations of pollutants in the air was carried out by means of in-kind measurements with a single-channel aspirator “Breeze”. Equivalent and maximum sound pressure levels were measured using a universal multifunctional device that included a noise meter, lux meter, thermometer and hygrometer. By comparing the calculated and experimental levels of air pollution, it was determined that it is possible to reduce the impact on it by replacing the diesel power plant with connecting consumers to the power line, as well as treating the moved soils with crushed or flaky chlorides. The results obtained are based on a quantitative and qualitative analysis of the intensity of receipt and concentrations of pollutants in the air, water and land environments formed during the period of construction and installation work and operation of the reconstructed section of the highway. Implementation of recommendations for the prevention of dust emission made it possible to reduce air pollution during construction and installation work on the reconstruction of the highway section and the associated environmental payments. The results of the analysis of the features of the use of the aquatic environment and land resources during the reconstruction and operation of the highway section indicate the absence of their excess pollution. The procedure for the formation and temporary accumulation of waste from industrial and household activities of workers, which provides for their transfer to a specialized organization for further handling, guarantees their minimal impact on the environment within the considered section of the highway.

Keywords: impact assessment, environment, prevention, pollution, reconstruction, operation

Введение

Реконструкция автодорог связана с оказанием временного воздействия на окружающую среду. Изменение компонентов окружающей среды при ведении строительного-монтажных работ (СМР) выражается в загрязнении атмосферного воздуха выбросами загрязняющих веществ, а также физическом воздействии на него шумом и вибрацией. Одновременно с этим воздействие на земли оказывается путем перемещения и уплотнения грунтов, а также занятия площадей под размещение строительной техники, помещений для работников, материалов, изделий, конструкций и площадки для накопления и временного удерживания отходов. При эксплуатации реконструированных участков автодорог происходит загрязнение атмосферного воздуха выбросами пыли, газов и шумом при движении автотранспорта. При этом происходит изменение направлений естественного стока воды, вызванное трансформацией рельефа, связанной с планированием поверхности участка, предназначенного для выполнения СМР. Это обуславливает необходимость проведения процедуры оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) при реконструкции автодорог и разработки мероприятий по его снижению [1, с. 12].

Цель исследования заключалась в проведении процедуры оценки воздействия на окружающую среду, оказываемого реконструкцией и эксплуатацией 12-километрового участка автодороги Кемерово – Анжеро-Судженск.

Материалы и методы исследования

Данными для проведения ОВОС послужили результаты анализа всех видов и объемов СМР, выполняемых в период реконструкции участка автодороги, а также связанных с ними загрязнений окружающей среды. При этом учитывались нормативные требования к геометрическим параметрам автодороги, предусматривающие расчетную скорость движения 80 км/ч с целью обеспечения безопасности движения автотранспорта при ее эксплуатации. Расчет интенсивности выбросов, сбросов и концентраций загрязняющих веществ в окружающей среде проводился с использованием программного обеспечения «Эра», разработанного научно-производственным предприятием «Логос-Плюс» (г. Новосибирск) с учетом рекомендаций

[2, 3]. Экспериментальная проверка концентраций загрязняющих веществ в воздухе осуществлялась с помощью аспиратора «Бриз», а измерение эквивалентных и максимальных уровней звукового давления посредством шумомера, встроенного в универсальное многофункциональное устройство РСЕ-ЕМ882 по стандартным методикам.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассматриваемый участок находится в пределах автодороги Кемерово – Анжеро-Судженск и представляет собой отдельный участок длиной 12 км (47–59 км), который проходит через населенные пункты, характеризующиеся качеством окружающей среды с нормируемыми показателями. Ближайшая застройка представлена одноэтажными жилыми домами, а наименьшее расстояние от них до границ исследуемого участка составляет 450 м (пос. Сосновка, 50 км), 120 м (пос. Арсентьевка, 52 км) и 80 м (пос. Ровенский, 59 км).

В подготовительный период выполняется восстановление и закрепление полосы отвода в соответствии с требованиями [4]. Технология ведения СМР предусматривает ликвидацию имеющихся дорожных знаков, а также сигнальных столбов и железобетонных водопропускных труб с выводом на полигон твердых бытовых отходов. Конструкции дорожного полотна имеют толщину 0,6 м, ширина проезжей части составляет 6 м, а ее уклон – 15%. Работы по укреплению обочин с уклоном 35% предусматривают применение щебеночно-песчаной смеси С-11, укладываемой слоем толщиной 0,12 м.

В период производства СМР воздействие на воздушную среду будет носить локальный и ограниченный по времени характер. Расчет количества выбрасываемых в атмосферу загрязняющих веществ произведен с применением программного обеспечения «Эра» (табл. 1).

В период эксплуатации восстановленного участка автодороги воздействие на атмосферу будет носить постоянный характер и проявляться в виде его загрязнения выбросами автотранспорта (табл. 2).

Уровень воздействия проводимых СМР на состояние поверхностных, а также подземных природных водных объектов зависит от режима потребления чистой воды и условий отведения ее стока.

Таблица 1

Воздействие на воздушную среду в период проведения реконструкции участка автодороги

№	Загрязняющее вещество	Критерий оценки	Значение критерия, мг/м ³	Загрязнение воздуха, доли ПДК	Класс опасности	Суммарный выброс, т/г
1	Железа оксид в пересчете на железо	ПДКсс	0,040	0,750	3	0,005725
2	Марганец в пересчете на марганца (IV) оксид	ПДКмр	0,010	0,784	2	0,000192
3	Азота (IV) оксид	ПДКмр	0,200	1,252	3	2,556956
4	Азота (II) оксид	ПДКмр	0,400	1,122	3	0,423987
5	Углерод (сажа)	ПДКмр	0,150	1,306	3	0,440996
6	Сера диоксид	ПДКмр	0,500	1,020	3	0,307918
7	Дигидросульфид	ПДКмр	0,008	0,758	2	0,000057
8	Углерода (II) оксид	ПДКмр	5,000	0,112	4	2,771052
9	Диметилбензол	ПДКмр	0,200	0,788	3	0,020250
10	Бенз- α -пирен	ПДКсс	0,000001	0,885	1	0,000001
11	Хлорэтэн	ПДКсс	0,040	0,756	4	0,000006
12	Формальдегид	ПДКмр	0,050	0,904	2	0,007968
13	Бензин	ПДКмр	5,000	0,686	4	0,022279
14	Керосин	ОБУВ	1,200	1,214	–	0,786245
15	Уайт-спирит	ОБУВ	1,000	0,512	–	0,020250
16	Алканы C ₁₂ –C ₁₉ в пересчете на С	ПДКмр	1,000	0,568	4	1,327409
17	Взвешенные вещества	ПДКмр	0,500	0,722	3	0,005940
18	Пыль неорганическая 70–20 % SiO ₂	ПДКмр	0,300	1,425	3	0,902817

Примечание: ПДКсс – предельные допустимые концентрации, среднесуточные; ПДКмр – предельные допустимые концентрации, максимальные разовые; ОБУВ – ориентировочные безопасные уровни воздействия.

Источник: составлено авторами по результатам расчета программным комплексом «Эра».

Таблица 2

Воздействие на воздушную среду в период эксплуатации участка автодороги

№	Загрязняющее вещество	Критерий оценки	Значение критерия, мг/м ³	Загрязнение воздуха, доли ПДК	Класс опасности	Суммарный выброс, т/г
1	Азота (IV) оксид	ПДКмр	0,200	1,312	3	4,868354
2	Азота (II) оксид	ПДКмр	0,400	1,056	3	2,584326
3	Углерод (сажа)	ПДКмр	0,150	1,228	3	0,960512
4	Углерода (IV) оксид	ПДКмр	5,000	1,412	4	5,486596
5	Бензин	ПДКмр	5,000	1,236	4	0,044656
6	Сера диоксид	ПДКмр	0,540	1,128	3	0,726314

Примечание: как в табл. 1.

Источник: составлено авторами по результатам расчета программным комплексом «Эра».

В пределах строительной площадки емкости для хранения воды устанавливаются на возвышенностях, а качество находящейся в них воды соответствует рекомендациям [5]. Вода для питья хранится в специально отведенных помещениях и подвозится с частотой один раз в трое суток. Согласно действующим правилам запас воды регулярно обновляется, необходимое количество принимается равным 25 л на человека в сутки, включая 3,5 л питьевого качества [6]. Использованная вода собирается в пластиковые баки объемом 10 м³ с последующим вывозом автотранспортом.

Техническая вода, предназначенная для использования в ходе выполнения основных видов СМР, расходуется в полном объеме.

Собираемые ливневые стоки направляются в водоприемные решетки по двухслойным полиэтиленовым трубам, предусматривается их последующее отведение на очистные сооружения. Для реконструируемого участка предусматриваются шесть накопительных резервуаров объемом 500 м³.

Категории земель в результате реконструкции участка автодороги не изменятся. Воздействие на земельную среду будет производиться посредством ведения СМР и выражаться в виде физического разрушения поверхности при ее планировании, а также загрязнения воздуха выбросами двигателей внутреннего сгорания строительной техники и пылью от ведения работ по перемещению грунта. Токсичные вещества будут проникать в почвенные слои посредством своего оседания под действием атмосферных осадков [7, с. 32].

Для периода строительства были проведены измерения уровней эквивалентного и максимального звукового давления. При использовании в качестве шумомера универсальный прибор PCE-EM882 позволяет измерять уровни звукового давления в диапазоне 35–130 дБ, будучи отнесенным ко второму (профессиональному) классу оборудования, разрешенному к применению в производственных условиях. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Уровни звукового давления в пределах территории строительства

№	Эквивалентные, дБ		Максимальные, дБ	
	Измеренный	ПДУ	Измеренный	ПДУ
1	47,8	55	53,4	70
2	45,6	55	49,8	70
3	48,3	55	56,3	70
4	49,4	55	55,7	70
5	47,3	55	52,6	70
6	46,2	55	53,0	70
7	48,4	55	54,3	70
8	47,8	55	52,6	70
9	49,3	55	54,5	70
10	46,6	55	52,8	70
11	47,5	55	53,4	70
12	45,3	55	51,8	70
13	48,2	55	55,1	70
14	46,8	55	53,5	70
15	44,7	55	49,8	70
16	48,3	55	54,2	70
17	46,8	55	53,5	70
18	48,3	55	54,7	70
19	45,7	55	52,4	70
20	47,3	55	53,8	70

Примечание: ПДУ – предельные допустимые уровни.

Источник: составлено авторами по результатам натурных измерений универсальным прибором PCE-EM882.

Поскольку характер исследуемого шума являлся проникающим, микрофон шумомера во время измерений ориентировался лицевой частью вверх перпендикулярно поверхности земли, а техник, проводивший измерения, располагался на расстоянии 0,5 м от него. Для выполнения измерений эквивалентного и максимального уровней звукового давления выбирались характерные участки реконструируемой дороги (подъемы, спуски, повороты и ровные поверхности), на каждом из которых проводились измерения в трех или четырех точках. Количество точек принималось в зависимости от длины участков, а измерения в каждой из них проводились до тех пор, пока в течение 30 с исследуемые уровни звукового давления не изменялись на величину более чем 0,5 дБ. Во всех контрольных точках эквивалентные и максимальные уровни звукового давления не превысили своих предельно допустимых значений (табл. 3).

При общестроительных работах образуются такие виды отходов, как лом бетонных изделий, а также отходы бетона в кусковой форме, нефтяного битума, древесины, цемента и металлов. Дополнительно к этому

образуется мусор от бытовых помещений, исключая крупногабаритный.

При использовании лакокрасочных материалов: эмалей, лаков и грунтовок – образуются отходы в виде загрязненной ими полиэтиленовой тары, а при монтажных работах, проводимых в ходе обустройства коммуникаций, – отходы изоляции проводов и кабелей.

При техническом обслуживании строительных машин образуется непригодный для повторного использования обтирочный материал, загрязненный нефтепродуктами, а при ведении сварочных работ – остатки электродов и сварочный шлак.

При ведении земляных работ образуется грунт, свободный от загрязнения токсичными веществами.

Затраты на охрану окружающей среды при реконструкции участка автодороги сводятся к платежам за выброс загрязняющих веществ в атмосферу и расходам по организации вывоза отходов 4 и 5 классов опасности с территории строительства. Расчет платежей за выброс загрязняющих веществ в атмосферу представлен в табл. 4 и соответствует [8].

Таблица 4

Платежи за выбросы загрязняющих веществ при реконструкции участка автодороги

№	Загрязняющее вещество	Ставка платы, руб./т	Объем выбросов, т/г	Платежи, руб./г
1	Железа оксид в пересчете на железо	116,64	0,005725	0,67
2	Марганец в пересчете на марганца (IV) оксид	82,16	0,000192	0,02
3	Азота (IV) оксид	149,91	2,556956	383,31
4	Азота (II) оксид	100,98	0,423987	42,81
5	Углерод (сажа)	39,53	0,440996	17,43
6	Сера диоксид	49,03	0,307918	15,10
7	Дигидросульфид	125,14	0,000057	0,01
8	Углерода (II) оксид	1,73	2,771052	4,79
9	Диметилбензол	1969,49	0,020250	39,88
10	Бенз- α -пирен	5910806,19	0,000001	5,91
11	Хлорэтэн	238,54	0,000006	0,01
12	Формальдегид	1969,49	0,007968	15,69
13	Бензин	3,46	0,022279	0,08
14	Керосин	7,24	0,786245	5,69
15	Уайт-спирит	108,54	0,020250	2,20
16	Алканы C ₁₂ -C ₁₉ в пересчете на C	741,09	1,327409	983,73
17	Взвешенные вещества	12,46	0,005940	0,07
18	Пыль неорганическая SiO ₂ 70-20%	7,24	0,902817	6,54

Источник: составлено авторами по рекомендациям [8].

Таблица 5

Платежи по организации обращения с отходами производства при реконструкции участка автодороги

Отходы	Ставка платы, руб./т	Объем отходов, т/г	Платежи, руб./г
4 класс	716,26	125,1	89604,13
5 класс	18,68	12,8	239,1
Всего:		137,9	89843,23

Источник: составлено авторами по рекомендациям [8].

Расчет платежей по организации обращения с отходами производства представлен в табл. 5 [8].

С целью снижения воздействия СМР на окружающую среду предлагается заменить использование передвижной дизельной электростанции (ДЭС-45) на подключение к действующей линии электропередач.

Расчетные уровни загрязнения воздушной среды при разгрузке автосамосвалов с пылящими строительными материалами, определенные с помощью программного обеспечения «Эра», составили 8 мг/м³, а при перемещении грунтов бульдозерами – 10 мг/м³, что значительно превышает максимальную разовую предельно допустимую концентрацию (ПДК_{мр}) пыли неорганической SiO₂ 70–20%, равную 0,3 мг/м³. В этой связи было принято решение применить дешевые составы, состоящие из дробленых или чешуйчатых по струк-

туре горных пород (хлоридов – галита, сильвинита или карналлита) с расходом 0,7–1 кг/м² обрабатываемой поверхности и сроком действия 25–40 сут для сокращения образования пыли при разгрузке автосамосвалов и перемещении грунтов бульдозерами. Поскольку СМР проводятся вне населенных пунктов, водоохраных зон и сельскохозяйственных угодий, то применение данных обеспыливающих составов будет разрешено.

Для контроля эффективности предлагаемых мероприятий на каждом из характерных участков ведения указанных видов СМР было выбрано по десять контрольных точек в которых, после обработки грунтов обеспыливающими составами, велись натурные замеры концентраций пыли неорганической SiO₂ 70–20% с применением аспиратора «Бриз». Результаты представлены на рис. 1 и 2.

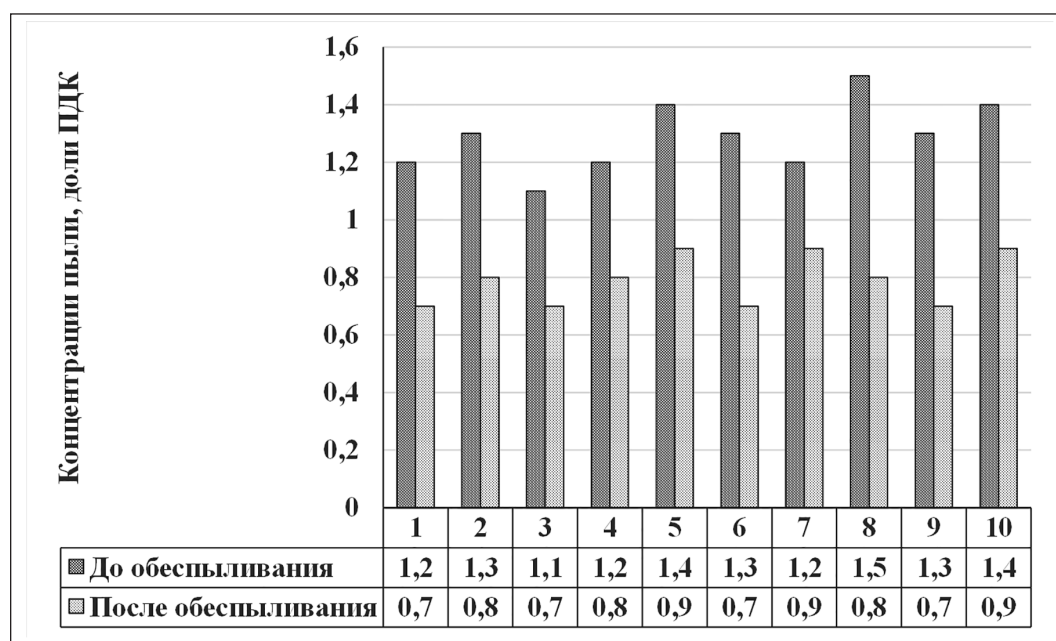


Рис. 1. Эффективность обеспыливания при разгрузке автосамосвалов

Источник: составлено авторами по результатам натурных измерений аспиратором «Бриз»

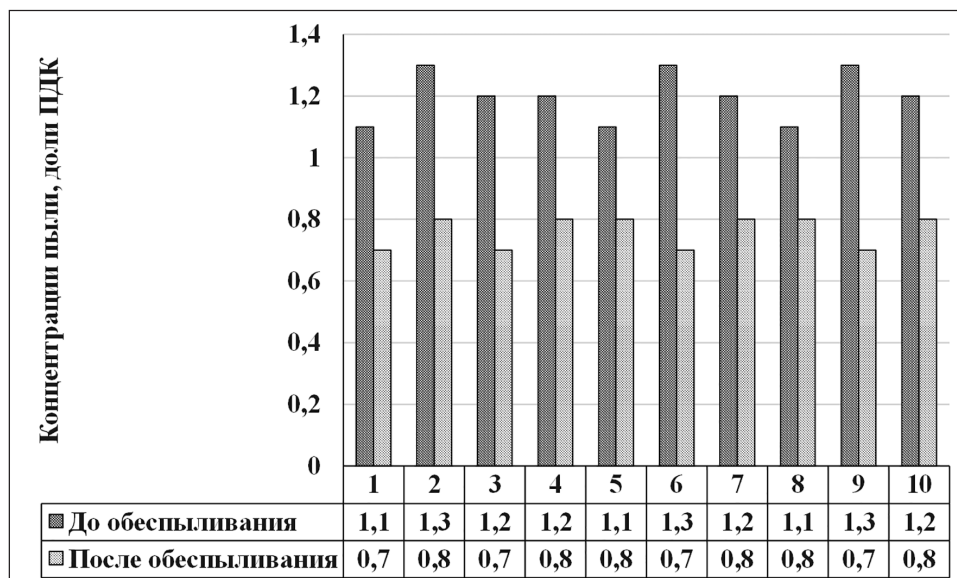


Рис. 2. Эффективность обеспыливания при перемещении грунтов бульдозерами
 Источник: составлено авторами по результатам натурных измерений аспиратором «Бриз»

Практическое значение проделанной работы заключается в разработке профилактических мероприятий по снижению выделения пыли при проведении СМР по реконструкции участка автодороги. Полученные результаты могут быть полезны дорожно-строительным и дорожно-ремонтным предприятиям, занимающимся реконструкцией и эксплуатацией автодорог.

Выводы

1. По результатам выполненных исследований воздействие на воздушную среду в период строительства можно сократить за счет замены ДЭС-45 на подключение к линии электропередач и применения обработки пылящих строительных материалов измельченными или чешуйчатыми по структуре горными породами (хлоридами) при ведении работ по погрузке-разгрузке и перевалке земли. В результате этого выбросы загрязняющих веществ в атмосферу сократятся на 41,6% (5,5 т/г), а платежи за ее загрязнение – на 878,45 руб./г.

2. В период эксплуатации восстановленного участка автодороги рекомендуется снизить скорость движения транспорта в пределах рассматриваемых населенных пунктов до 40 км/ч, что приведет к резкому сокращению выбросов токсичных веществ и снижению шумового воздействия на атмосферу.

3. В результате проведения восстановительных работ земельная и водная среды не будут затронуты, поскольку в ходе строительства не предполагается изъятие допол-

нительных земельных площадей, а водозабор и сброс стоков в природные водные объекты отсутствует.

4. Поскольку все образующиеся в ходе строительства отходы относятся к 4 и 5 классу опасности (малоопасные) и передаются специализированной организации для дальнейшего обращения в виде размещения на полигоне твердых бытовых отходов, то их временное воздействие на окружающую среду в пределах рассматриваемого участка автодороги будет значительно сокращено.

Список литературы

1. Колесников Е.Ю. Оценка воздействия на окружающую среду. Экспертиза безопасности: учебник и практикум для вузов. М.: Юрайт, 2023. 471 с.
2. МРР-2017. Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе. М.: ГАУ НИИЦ, 2017. 73 с.
3. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. М.: ЦКБ ГМП, 2003. 26 с.
4. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве. М.: Стандартинформ, 2018. 58 с.
5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. М.: Эксмо, 2021. 143 с.
6. СП 30.13330.2016. Внутренний водопровод и канализация зданий. М.: Стандартинформ, 2017. 93 с.
7. Васильева Н.В. Основы землепользования и землеустройства. М.: Юрайт, 2024. 401 с.
8. Постановление Правительства РФ от 31.05.2023 № 881 «Об утверждении правил исчисления и взимания платы за негативное воздействие на окружающую среду» [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=449752> (дата обращения: 10.02.2025).

СТАТЬЯ

УДК 55:549.08:622.276.5
DOI 10.17513/use.38381

**СВОЙСТВА ФИЛЬТРАЦИИ ГАЗА ДЛЯ ОБРАЗЦОВ
ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ, КАЛЬЦИТА И КВАРЦА**

Песков А.В.

*ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
Самара, e-mail: rednakel@ya.ru*

Цель этого исследования – провести оценку значений параметров фильтрации газа через образцы полевых шпатов, кальцита и кварца обломочного и магматического генезиса, определить параметры фильтрации для смесей обломочного кварца. Минералы измельчали, зерна помещали в искусственную кювету. Исследовали полевые шпаты, кальцит и кварц обломочного и магматического генезиса с размером зерен 40 мкм, 63 мкм, 80 мкм, 106 мкм, 125 мкм, а также фракцию менее 40 мкм. На образцах зерен рассматриваемых минералов по микрофотографиям определяли коэффициенты округлости и сферичности по диаграмме Крумбьена–Шлосса. Формы выделения минералов преимущественно полигональная, уплощенная, треугольная, ромбическая неправильно изометричная, овальная. Сферичность зерен кварца обломочного генезиса составила 0,53, а для полевых шпатов – 0,66. Окатанность зерен кварца обломочного генезиса – 0,5–0,7, а полевых шпатов и магматического кварца – 0,1–0,2. Найдено, что при фильтрации через образцы полевых шпатов, кальцита коэффициент проницаемости ниже, чем при фильтрации через частицы кварца обломочного генезиса. Коэффициент проницаемости образцов полевых шпатов и кальцита составляет от 10 до 30% от коэффициента проницаемости образцов обломочного кварца. Коэффициенты проницаемости образцов магматического кварца ниже, чем образцов обломочного кварца и полевых шпатов. Это обусловлено различной формой частиц кварца, полевых шпатов, кальцита в матрице породы. Также исследовали смеси зерен кварца обломочного генезиса. Выявлено, что для двухкомпонентных смесей при увеличении среднеквадратичного отклонения размера зерен коэффициент проницаемости смеси снижался. Проведенные исследования могут способствовать прогнозированию значений проницаемости на основе известного гранулометрического анализа пород и анализа формы зерен минералов. Проведенные исследования выполнены автором настоящей статьи.

Ключевые слова: коэффициент проницаемости, нелинейные зависимости, кварц, полевой шпат, кальцит, фракции

**GAS FILTRATION PROPERTIES OF FELDSPAR,
CALCITE AND QUARTZ SAMPLES**

Peskov A.V.

Samara State Technical University, Samara, e-mail: rednakel@ya.ru

The aim of this study is to evaluate the values of gas filtration parameters through samples of feldspars, calcite and quartz of detrital and magmatic genesis. To determine the filtration parameters for mixtures of detrital quartz. The minerals were crushed and the grains were placed in an artificial cuvette. Feldspars, calcite and quartz of detrital and magmatic genesis with grain sizes of 40 μm, 63 μm, 80 μm, 106 μm, 125 μm, and a fraction of less than 40 μm were studied. The roundness and sphericity coefficients were determined on the samples of grains of the minerals under consideration using microphotographs using the Krumbien-Schloss diagram. The forms of mineral allocation are predominantly polygonal, flattened, triangular, rhombic irregularly isometric, oval. The sphericity of quartz grains of detrital genesis was 0.53, and for feldspars 0.66. The roundness of detrital quartz grains is 0.5–0.7, while that of feldspars and igneous quartz is 0.1–0.2. It was found that the permeability coefficient is lower for filtration through feldspar and calcite samples than for filtration through detrital quartz particles. The permeability coefficient of feldspar and calcite samples is 10–30% of the permeability coefficient of detrital quartz samples. The permeability coefficients of igneous quartz samples are lower than those of detrital quartz and feldspar samples. This is due to the different shapes of quartz, feldspar, and calcite particles in the rock matrix. Mixtures of detrital quartz grains were also studied. It was found that for two-component mixtures, the permeability coefficient of the mixture decreased with an increase in the standard deviation of the grain size. The conducted studies can contribute to the prediction of permeability values based on the known granulometric analysis of rocks and the analysis of the shape of mineral grains. The conducted studies were carried out by the author of this article.

Keywords: permeability coefficient, nonlinear dependencies, grain, quartz, feldspar, calcite, fractions

Введение

Фильтрационно-емкостные и иные свойства терригенных пород коллекторов нефти и газа главным образом определяются содержанием в породе кварца, полевых шпатов и карбонатных минералов. Исследование газопроницаемости пород коллекторов остается актуальной задачей. Количество измеряемых литологических пара-

метров, оказывающих влияние на проницаемость, может измеряться десятками, и учет их – сложная задача, поэтому возможно выделить один из основных параметров – гранулометрический состав пород [1].

Согласно исследованию, была описана возможность использования гранулометрического состава на количественном уровне для моделирования петрофизических

свойств, в том числе и проницаемости [2]. Газопроницаемость образцов кварца закономерно снижается с уменьшением размера зерен по квадратичному закону [3]. Известно, что на проницаемость пород влияет форма частиц. Разные минералы могут обладать разной формой частиц.

Цели настоящего исследования: провести оценку значений параметров фильтрации газа через зерна полевых шпатов, кальцита и кварца обломочного и магматического генезиса, определить параметры фильтрации для смесей обломочного кварца.

Материалы и методы исследования

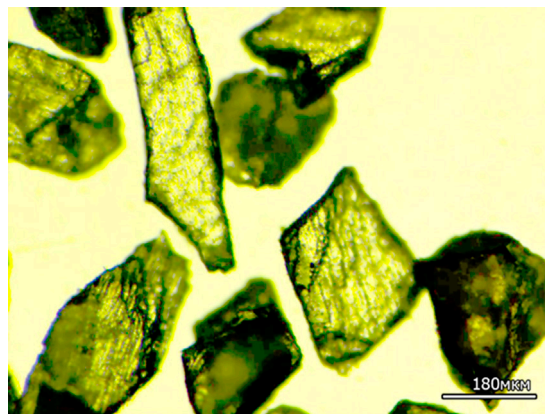
В данной работе использовались кюветы, выполненные из оргстекла, с внутренним отверстием, заполняемым изучаемыми зернами полевых шпатов, кальцита и кварца размером частиц 40–63 мкм, 45–63 мкм, 63–80 мкм, 80–106 мкм, 106–125 мкм, 125–150 мкм и менее 40 мкм. Калиевый полевой шпат был представлен образцом амазонита, а щелочной полевой шпат – образцами альбита и олигоклаза. Образцы обломочного кварца – кварцевый песок – отобраны на Чапаевском месторождении. Кварц магматического генезиса – низкотемпературный кварц – отобран в Свердловской области. Образец кальцита исландского шпата отобран на Водинском месторождении. Образцы истирали в агатовой ступке и просеивали через серию сит с размером ячеек 40, 45, 63, 80, 106, 125, 150 мкм на виброустановке. Размер, форма – окатанность и сферичность зерен – изучались по микрофото, полученному на микроскопе марки «Альтами» (рисунок). Для расчета проницаемости может применяться выражение:

$$k = d^2 / 96 \sigma \quad [4],$$

где d – диаметр зерен с идеальной сферической поверхностью;

σ – коэффициент, зависящий от открытой пористости материала и меняющийся в зависимости от укладки зерен друг относительно друга.

Проницаемость определяется величиной пористости и просветности между сферическими зернами фиктивного грунта. Однако очевидно, что реальные зерна, имеющие форму с определенной окатанностью или наличием угловатости и менее сферичные, будут обладать иной просветностью, расположением поровых каналов. В итоге проницаемость будет зависеть и от формы частиц, слагающих породу, и от их взаимного расположения.



Микрофотография зерен плагиоклаза фракции 150 мкм

Экспрессным визуальным методом определения сферичности и окатанности является диаграмма Крумбьена-Шлосса, используемая для исследования формы зерен алюмосиликатных пропантов. Зерна кварца, полевых шпатов имеют ширину, длину, высоту по осям x , y , z . Размеры по длине и ширине ограничиваются периметром ячейки сита и несколько отличаются друг от друга. В работе были измерены размеры 154 зерен полевых шпатов, кварца. Размер зерен по оси z составил от 0,8 до 2,15 от размера длины или ширины. Формы выделения преимущественно полигональная, уплощенная, треугольная, ромбическая неправильно изометричная, овальная.

Сферичность зерен кварца по диаграмме Крумбьена-Шлосса составила 0,53, а для полевых шпатов – 0,66. Окатанность зерен обломочного кварца из кварцевого песка – 0,5–0,7, для магматического кварца – 0,1–0,2, для полевых шпатов – 0,1–0,2. Эквивалентный диаметр зерен для зерен КППШ составил 1,28. Окатанность зерен – это один из показателей их формы, она изучалась в исследовании авторов [5].

В ходе исследования изучались фракции полевых шпатов, кварца и кальцита. Также изучались смеси кварца при размере зерен, равном 102–122 мкм, и среднеквадратичном отклонении размера зерен от 18 до 77 мкм.

Связи между расходом газа и перепадом давления могут быть представлены линейным законом Дарси. В случае течения газа при высоких градиентах давления закон Дарси не выполняется, и можно использовать нелинейные законы Форхгеймера [6] или Дарси-Форхгеймера [7].

В [8] приводятся данные, что коллекторские свойства снижаются в случаях возрастания контактности обломков между собой,

их упаковки. Установлена корреляция проницаемости и содержания породообразующих минералов кварца и полевых шпатов, в отличие от глинистого материала.

В настоящем исследовании получены степенные связи $Q = k\Delta p^n$, которые ранее применялись автором в работе [9], где Q – расход газа, Δp – перепад давления. Также рассчитывали коэффициенты проницаемости и расход газа при давлении 1 атм. Исследования выполнены на фильтрационной установке по определению газопроницаемости «Дарсиметр». Оценку значений показателей фильтрации проводили по газопроницаемости, расходу газа при давлении 1 атм, зависимости расхода газа от давления $Q = k\Delta p^n$.

Определяли изменения показателей фильтрации для двухкомпонентных, трехкомпонентных, четырехкомпонентных, семикомпонентных смесей зерен обломочного кварца в зависимости от среднеквадратичного отклонения размера зерен. Устанавливали, как меняется проницаемость для фракций менее 40 мкм для зерен полевых шпатов, кальцита, кварца.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим полученные результаты.

В зависимости $Q=f(\Delta p)^n$ для фракции более 106 мкм (табл. 1, строки 1–2) показатель степени для калиевого полевого шпата (КПШ) несколько выше, чем для обломочного кварца, и n составил 0,705. Расход газа для этого интервала размера частиц более 106 мкм при давлении 1 атм для обломочного кварца на 33% выше, чем у калиевого полевого шпата, а величина проницаемости для кварца на 33% выше.

Для фракций обломочного кварца и КПШ более 63 мкм показатель степени в зависимости $Q=f(\Delta p)^n$ для КПШ выше, чем для кварца (табл. 1). Расход газа для КПШ в 3,5 раза ниже, чем для обломочного кварца, а проницаемость ниже в 3,65 раза. Для фракции более 45 мкм показатель степени n в зависимости $Q=f(\Delta p)^n$ для КПШ выше, чем для обломочного кварца, на 0,1, Расход газа в 3,8 раза меньше, чем для кварца, а коэффициент фильтрации меньше в 4,1 раза.

Таблица 1

Зависимость $Q=f(\Delta p)^n$, расход газа, коэффициент проницаемости k полевых шпатов, кварца и кальцита

№	Описание образца	$Q=f(\Delta p)^n$	Расход, см ³ /с, при P=1 атм.	К, Д
1	Кварц обломочный более 106 мкм, менее 125 мкм	$10^{-8}x^{0,703}$	64	4
2	Калиевый полевой шпат (КПШ) более 106 мкм, менее 125 мкм	$10^{-8}x^{0,705}$	50	3,09
3	Кварц обломочный более 63 мкм, менее 45 мкм	$7*10^{-10}x^{0,907}$	45,2	2,79
4	КПШ более 63 мкм, менее 45 мкм	$10^{-10}x^{0,95}$	13	0,76
5	Кварц обломочный более 45 мкм, менее 63 мкм	$7^{-10}x^{0,906}$	32	2,15
6	КПШ более 45 мкм, менее 63 мкм	$3*10^{-11}x^{1,05}$	8,4	0,52
7	Кварц обломочный менее 40 мкм	$2*10^{-8}x^{0,39}$	2,5	0,15
8	КПШ менее 40 мкм	$10^{-7}x^{0,206}$	1,94	0,1
9	Плагиоклаз более 125 мкм, менее 150 мкм	$10^{-8}x^{0,705}$	63	3,44
10	Плагиоклаз более 80 мкм, менее 125 мкм	$5*10^{-10}x^{0,82}$	9,6	0,54
11	Плагиоклаз более 63 мкм, менее 60 мкм	$2*10^{-10}x^{0,85}$	4,7	0,27
12	Плагиоклаз более 45 мкм, менее 63 мкм	$10^{-7}x^{0,188}$	1,86	0,11
13	Кварц обломочный более 80 мкм, менее 63 мкм	$5*10^{-9}x^{0,77}$	53	3,27
14	Кальцит более 125 мкм, менее 150 мкм	$3*10^{-10}x^{0,92}$	20	1,22
15	Кальцит более 80 мкм, менее 125 мкм	$3*10^{-9}x^{0,77}$	17	1,04
16	Кальцит более 63 мкм, менее 80 мкм	$2*10^{-10}x^{0,85}$	4,7	0,27
17	Кальцит менее 40 мкм	$2*10^{-7}x^{0,166}$	2	0,13
18	Кальцит менее 63 мкм	$10^{-7}x^{0,23}$	2,05	0,131
19	Кварц более 63 мкм магматический	$2*10^{-12}x^{1,29}$	8,6	0,42
20	Кварц более 45 мкм магматический	$7*10^{-10}x^{0,713}$	4,3	0,23

Рассмотрим изменение показателя степени n в зависимости $Q=f(\Delta p)^n$ от размера зерен для изученных минералов. Для КПШ при уменьшении размера зерен от 106 мкм до 45 мкм показатель степени n изменяется от 0,705 до 1,05. Для плагиоклазов при уменьшении размера зерен от 125 мкм до 63 мкм показатель степени n изменяется от 0,705 до 0,85. Для обломочного кварца изменение размера зерен от 106 мкм до 45 мкм привело к возрастанию n от 0,703 до 0,906. Для кальцита изменение размера зерен от 125 мкм до 63 мкм привело к снижению показателя степени n от 0,92 до 0,85.

Фильтрация через фракции 80 мкм обломочного кварца, плагиоклаза, кальцита показала, что расход газа через обломочный кварц существенно выше, чем через другие минералы. Расход газа через плагиоклаз в 5,5 раза ниже, чем для обломочного кварца, а проницаемость ниже в 6 раз. Расход газа через кальцит в 3,1 раза меньше, чем для обломочного кварца, а проницаемость меньше в 3 раза.

Для фракции менее 40 мкм показатель степени n для обломочного кварца почти в 2 раза отличается от значения для КПШ, и n для КПШ составило 0,206. Газопроницаемость для КПШ в 1,5 раз ниже, чем для обломочного кварца, а расход ниже

в 1,3 раза. Этот параметр для КПШ, обломочного кварца и кальцита фракции менее 40 мкм резко падает до значений 0,1–0,15. Фильтрация газа через образцы магматического кварца фракций 63 и 45 мкм показала, что проницаемость этих образцов ниже, чем проницаемость образцов обломочного кварца, КПШ, она составила 0,42 Д и 0,27 Д соответственно.

Фильтрация через зерна фракции размером 63 мкм плагиоклаза или кальцита выявила, что расход для этих компонентов почти в 10 раз меньше, чем для обломочного кварца. Газопроницаемость КПШ в 10 меньше, для чем для обломочного кварца. Для фракции 80 мкм плагиоклаза расход флюида в 5 раз меньше, чем для обломочного кварца, а проницаемость в 6 раз меньше. Для фракции 80 мкм кальцита проницаемость в 3 раза меньше, чем для обломочного кварца. Для фракции 45 мкм плагиоклаза проницаемость в 5 раз ниже, чем для обломочного кварца. Для фракции менее 40 мкм показатель n снижается до 0,4–0,2.

Были рассмотрены исследования смесей фракций обломочного кварца при различном количестве фракций и разных значениях среднеквадратичного отклонения и матожидании размера зерен – M (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициент проницаемости – k , зависимость $Q=f(\Delta p)^n$,
среднеквадратичное отклонение размера зерен σ ,
матожидание – M , мкм, образцов кварца

№	Описание образца	$Q=f(\Delta p)^n$	Расход газа, см ³ /с	k , Д	σ , мкм	M , мкм
1	Смесь 80 мкм + 125 мкм (50% + 50%)	$10^{-8} x^{0,69}$	57	3,59	22,5	102
2	Смесь 63 мкм + 150 мкм (50% + 50%)	$5 \cdot 10^{-9} x^{0,77}$	47,6	2,98	43	106
3	Смесь 45 мкм + 200 мкм (50% + 50%)	$2 \cdot 10^{-9} x^{0,81}$	32	1,97	77	122
4	Смесь 80 мкм + 106 мкм + 125 мкм (33% + 33% + 33%)	$10^{-8} x^{0,82}$	81	4,7	18	103
5	Смесь 63 мкм + 106 мкм + 150 мкм (33% + 33% + 33%)	$3 \cdot 10^{-9} x^{0,80}$	52,6	3,25	35	105
6	Смесь 45 мкм – 63 мкм – 150 мкм – 200 мкм (25% + 25% + 25% + 25%)	$6 \cdot 10^{-9} x^{0,74}$	43	2,65	63	114
7	Смесь 45 мкм, 63 мкм, 80 мкм, 106 мкм, 125 мкм, 150 мкм, 200 мкм (14% + 14% + 14% + 14% + 14% + 14% + 14%)	$2 \cdot 10^{-9} x^{0,81}$	44,6	2,79	51	107
8	Смесь 150 мкм – 5% + 125 мкм – 5% + 106 мкм – 20% + 10 мкм – 70%	$2 \cdot 10^{-8} x^{0,4}$	2,64	0,17	–	–
9	Смесь 150 мкм – 5% + 125 мкм – 5% + 40 мкм – 40% + 10 мкм – 50%	$4 \cdot 10^{-9} x^{0,49}$	2	0,12	–	–

Для двухкомпонентных смесей фракций обломочного кварца при увеличении среднеквадратичного отклонения σ от 18 мкм до 77 мкм газопроницаемость снижается от 3,59 Д до 1,97 Д, а расход – от 57 до 32 см³/с (табл. 2). Для трехкомпонентной смеси при $\sigma = 35$ мкм проницаемость снижается до 3,25 Д, а для четырехкомпонентной при $\sigma = 63$ мкм проницаемость составила 2,65 Д.

Для семикомпонентной смеси при $\sigma = 51$ мкм проницаемость составила 2,79 Д.

Для многокомпонентных смесей № 8, № 9 (табл. 2), содержащих от 50 до 70% фракции кальцита менее 10 мкм, проницаемость составила 0,17 Д и 0,12 Д.

Заключение

На образцах полевых шпатов, кальците, кварце в диапазоне размера частиц от 45 до 125 мкм и меньше 40 мкм рассчитаны зависимости расхода газа от перепада давления $Q=f(\Delta p)^n$, коэффициенты проницаемости k , расходы газа для давления 1 атм. Выявлено, что во всех образцах КПШ и плагиоклазах проницаемость ниже, чем для моделей обломочного кварца, в 3,5–10 раз. Расходы газа через образцы полевых шпатов для давления 1 атм ниже, чем в образцах обломочного кварца, в 3,5–10 раз. При снижении размера частиц от 106 мкм до 45 мкм степень n в зависимости расхода газа от перепада давления для полевых шпатов возрастает с 0,7 до 1, тогда как для размера частиц меньше 40 мкм показатель степени варьирует в пределах 0,2–0,4. Фильтрация газа через образцы магматического кварца показала, что проницаемость этих образцов ниже, чем проницаемость образцов обломочного кварца и КПШ. На образцах кальциево-натриевых полевых шпатов найдено, что при снижении размера частиц от 125 до 63 мкм степень n увеличивается от 0,7 до 0,85, тогда как для размера частиц 45 мкм она становится меньше. При уменьшении размера частиц кальцита от 125 до 63 мкм обнаружено уменьшение коэффициента проницаемости k в 5 раз.

Проницаемость газа и расход газа через изученные образцы полевых шпатов и кальцита значительно ниже, чем через образцы обломочного кварца. Это объясняется разницей формы частиц кварца, полевых шпатов, кальцита. Зерна обломочного кварца окатанные. Проницаемость образцов зави-

сит от размера и формы частиц определенного минерала и их окатанности.

Исследование двухкомпонентных смесей обломочного кварца показало обратную пропорциональную зависимость среднеквадратичного отклонения размера частиц от коэффициента проницаемости.

Для размера частиц полевых шпатов и обломочного кварца менее 45–40 мкм проницаемость образцов резко уменьшается – в 20–30 раз, до значения около 0,1 Д.

Выполненные исследования могут помочь при прогнозе значений проницаемости по известному гранулометрическому анализу пород и при исследовании формы зерен минералов.

Список литературы

1. Черданцева Д.А., Кравченко Г.Г., Краснощекова Л.А. Песчаные породы Пур-Тазовской Нефтегазоносной области. Литологические особенности и их влияние на фильтрационно-емкостные параметры коллектора // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 81-88. DOI: 10.17513/use.37702.
2. Мухидинов Ш.В., Шпар А.С. Возможности моделирования петрофизических свойств терригенных пород на основе их литологической характеристики // Нефтяное хозяйство. 2024. № 3. С. 26-29. DOI: 10.24887/0028-2448-2024-3-26-29.
3. Голиков Т.А., Якушенко Т.А. Исследования влияния размера зерен на петрофизические свойства и ЯМР характеристики искусственных образцов // Сборник материалов Международной научной конференции «Интерэкспо ГЕО-Сибирь». 2021. Т. 2, № 2. С. 26–31. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-2-2-26-31.
4. Щелкачев В.Н., Лапук Б.Б. Подземная гидравлика. Ижевск: НИЦ «Регулярная хаотическая динамика», 2001. 736 с. URL: <https://bookmix.ru/book.phtml?id=349161&ysclid=m67r167tzip67654975> (дата обращения: 13.12.2024).
5. Синицына В.М. Автоматизированный анализ структуры микротекстуры шлифа песчаника // Актуальные проблемы нефти и газа. 2019. Вып. 3(26). URL: <http://oilgasjournal.ru> (дата обращения: 18.12.2024). DOI: 10.29222/ipng.2078-5712.2019-26. art10.
6. Толпаев В.А., Ахмедов К.С., Гоголева С.А. Нелинейные законы фильтрации при больших скоростях потока // Нефть и газ. 2015. № 5. С. 83-89. DOI: 10.31660/0445-0108-2015-5-3-89.
7. Колесов А.Е., Захарова М.Н. Моделирование течения газа с применением уравнения Дарси-Форхгеймера // Вестник СВФУ. № 3. (23) 2021. С. 73-80. DOI: 10.25587/SVFU.2021.23.3.004.
8. Недолишко Н.М., Ежова А.В., Перевертайло Т.Г., Полумогина Е.Д. Влияние гранулометрического и минералогического состава на формирование коллекторских свойств песчаников пласта Ю13 Западно-Моисеевского участка Двуреченского месторождения (Томская область) // Известия Томского политехнического университета. 2004. Т. 307, № 5. С. 48-54. URL: <http://izvestiya.tpu.ru/> (дата обращения: 13.12.2024).
9. Песков А.В. Нелинейные зависимости при фильтрации газа через образцы расклинивающего материала // Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 118-123. DOI: 10.17513/use.37938.

СТАТЬЯ

УДК 624.139

DOI 10.17513/use.38382

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕПЛОИЗОЛИРУЮЩЕГО СЛОЯ НЕФТЕПРОВОДА, ПРОЛОЖЕННОГО В УСЛОВИЯХ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ

¹Колосова Н.Б., ²Ринейская А.А., ¹Колосов Е.С., ¹Панфилов А.А.

¹ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, e-mail: nb.kolosova@yandex.ru, eskoll1978@yandex.ru, apanfilov@spbstu.ru;
²ООО «Энигма-С», Санкт-Петербург, e-mail: aarin@mail.ru

Цель работы – автоматизация подбора оптимальных параметров теплоизолирующего слоя, подстилающего нефтепровод, проложенного наземным способом на многолетнемерзлых грунтах. При прокладке нефтепровода в условиях вечной мерзлоты возникает зона оттаивания грунта, которая впоследствии в период эксплуатации может привести к негативным явлениям, возникающим в грунте, и, как следствие, возникновению деформаций в нефтепроводе. Для уменьшения ореола оттаивания используется теплоизолирующий слой, подстилающий нефтепровод. В данной статье описывается способ определения оптимальных размеров теплоизолирующего слоя, подстилающего нефтепровод и позволяющего свести зону оттаивания мерзлого грунта вокруг трубопровода к минимуму. В качестве модели использовался стальной нефтепровод по аналогу с трубопроводом Заполярье – Пурпе. Для расчетов использовались характеристики грунтов Республики Саха. Материал теплоизолирующего слоя представляет собой пенополиуретан. Исследование проводилось в программном комплексе PLAXIS 2D. В результате исследования разработан алгоритм определения оптимальных размеров теплоизолирующего слоя, подстилающего нефтепровод. Полученный алгоритм позволяет автоматизировать поиск оптимальных параметров теплоизолирующего слоя путем минимизации не только зоны оттаивания грунта, но и затрат на теплоизоляцию. Разработанный алгоритм является универсальным и может быть реализован в любом программном обеспечении (общем или специальном) с любой степенью дискретизации шага расчета.

Ключевые слова: нефтепровод, теплоизолирующий слой, параметры, многолетнемерзлый грунт, глубина оттаивания, оптимизация параметров, алгоритм

OPTIMIZATION THERMAL INSULATION LAYER PARAMETERS OF OIL PIPELINE LAID IN PERMAFROST CONDITIONS

¹Kolosova N.B., ²Rineyskaya A.A., ¹Kolosov E.S., ¹Panfilov A.A.

¹Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, e-mail: nb.kolosova@yandex.ru, eskoll1978@yandex.ru, apanfilov@spbstu.ru;
²Enigma-S Ltd, Saint Petersburg, e-mail: aarin@mail.ru

The purpose of this work is to automate the search for optimal parameters of the insulating layer underlying the oil pipeline laid by land method on permafrost soils. When laying an oil pipeline in permafrost conditions, a soil thawing zone occurs, which can subsequently lead to negative phenomena occurring in the soil during operation and, as a result, deformations in the pipeline. To reduce the halo of thawing, a heat-insulating layer underlying the oil pipeline is used. This article describes a method for determining the optimal size of the insulating layer underlying an oil pipeline and reducing the thawing zone of frozen soil around the pipeline to a minimum. A steel oil pipeline similar to the Zapolyarye – Purpe pipeline was used as a model. The soil characteristics of the Sakha Republic were used for calculations. Polyurethane foam is the material of the insulating layer. The study was conducted in the PLAXIS 2D software package. As a result of the research, the algorithm has been developed for determining the optimal size of the insulating layer underlying the oil pipeline. The obtained algorithm makes it possible to automate the search for optimal parameters of the insulating layer by minimizing not only the thawing zone of the soil, but also the costs of thermal insulation. The developed algorithm is universal and can be implemented in any software (general or special) with any degree of discretization of the calculation step.

Keywords: oil pipeline, thermal insulation layer, parameters, permafrost, optimization of parameters, algorithm, depth of thawing,

Введение

Интенсивное освоение месторождений в районах с многолетнемерзлыми грунтами привело к значительному увеличению строительства нефте- и газопроводов, обеспечивающих транспортировку энергоресурсов. Это обстоятельство требует особого подхода как на стадии проектирования, так и на стадии строительства и эксплуатации

транспортирующих трубопроводов [1]. Известно, что в мировом опыте при их строительстве в условиях вечной мерзлоты используются три способа прокладки: подземный, наземный и надземный [2, 3]. Следует отметить, что наземный способ прокладки, по сравнению с надземным и подземным, обладает конструктивной простотой; не требует дополнительных разработок много-

летнемерзлого грунта; установки сложного оборудования, контролирующего температурные изменения, и, как следствие, имеет экономическое преимущество по сравнению с другими способами. Кроме того, следует отметить, что наземные трубопроводы демонстрируют наименьшую глубину оттаивания грунтов, напрямую влияющую на процессы морозного пучения [4, 5].

С другой стороны, перед проектировщиками и строителями стоит задача получения максимального срока эксплуатации трубопровода в условиях вечной мерзлоты. Одним из способов увеличения срока эксплуатации трубопровода, по мнению авторов, является поиск эффективных конструктивных и технологических решений при наземной укладке трубопроводов.

При анализе научной литературы выяснилось, что ряд работ носит экспериментальный характер и не отражает связь между конструктивно-технологическими параметрами трубопроводов и их влиянием на температурный режим многолетнемерзлых грунтов [4]. С другой стороны, авторы других работ описывают взаимосвязь между различными физико-механическими свойствами мерзлого грунта и негативными явлениями, возникающими в массиве многолетнемерзлых грунтов (морозное пучение, трещинообразование в грунте и др.) [5, 6]. Однако в этих работах также не отражается влияние конструктивных решений (в частности, параметров теплоизоляции) на температурный процесс многолетнемерзлого грунта.

Таким образом, анализ научной литературы показал отсутствие решения проблемы взаимосвязи параметров теплоизоляции трубопровода с термическими параметрами многолетнемерзлых грунтов.

Целью исследования является нахождение оптимальной ширины, подстилающей нефтепровод теплоизоляции, которая позволит (по мнению авторов) максимально снизить негативное влияние на мерзлый грунт основания, тем самым сохраняя его природ-

ную устойчивость и сокращая риск возникновения процессов морозного пучения.

Задачей исследования являлось определение изменения термических показателей системы трубопровод – грунт. В процессе моделирования было получено распространение этих показателей в системе труба – грунт для нефтепровода, установленного наземным способом на многолетнемерзлых грунтах: песке, супеси, суглинке и глине.

Материалы и методы исследования

При определении конструкции исследуемой модели авторы опирались на проведенные исследования в области взаимодействия системы трубопровод – мерзлый грунт [5–7]. Расчетное исследование проводилось в программном комплексе (ПК) PLAXIS 2D. Исследовался слой теплоизоляции, подстилающий нефтепровод, из пенополиуретана компании ТЕХНОНИКОЛЬ с характеристиками, представленными в табл. 1.

В качестве исследуемого грунта рассматривались поочередно песок, супесь, суглинок и глина – наиболее часто встречающиеся в условиях вечной мерзлоты типы грунта. Характеристики последних представлены в табл. 2.

Для максимального приближения к реальным условиям расчетной модели в ПК PLAXIS 2D были приняты помесечные значения атмосферной температуры г. Усть-Мома Республики Саха, которые варьировались от 14,8 °С (июль) до -44,9 °С (январь).

Несмотря на многочисленность имеющихся факторов, влияющих на термическое состояние системы нефтепровод – грунт, в качестве исследуемых факторов были приняты глубина оттаивания и ширина ореола оттаивания. Именно эти показатели (по мнению авторов) могут вызвать негативные опасные природные явления (морозное пучение, растрескивание грунтов и др.) и привести к потере несущей способности мерзлых грунтов и, как следствие, к потере устойчивости непосредственно нефтепровода.

Таблица 1

Основные характеристики теплоизоляционного слоя

№	Наименование характеристики	Величина
1	Плотность, ρ	27
2	Модуль упругости, E_p , МПа	17
3	Удельная теплоемкость, c , кДж/кг·°С	1,45
4	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/м·°С	0,034

Источник: составлено авторами.

Таблица 2

Основные характеристики мерзлых грунтов

№	Наименование характеристики, обозначение, размерность	Тип грунта			
		Песок средней крупности	Супесь пластичная	Суглинок мягко-пластичный	Глина легкая песчаная пластично-мерзлая
1	Плотность грунта, ρ	1,78	1,82	1,82	1,67
2	Плотность частиц грунта, ρ	2,66	2,7	2,71	2,73
3	Коэффициент Пуассона, μ_0	0,22	0,3	0,34	0,35
4	Удельный вес, γ_p , кг/м ³	1780	1820	1820	1670
5	Угол внутреннего трения, φ_n , град	35	18	15	14
6	Суммарная влажность, W_{tot} , %	25	23	26	30,6
7	Коэффициент пористости, e_f	0,87	0,82	0,88	1,128
8	Число пластичности, I_p	-	0,06	0,09	0,208
9	Модуль деформации, E , МПа	30	8	7	3,19
10	Удельное сцепление, C_n , кПа	1	9	15	36
11	Суммарная льдистость, i_{tot} , %	39	34	39	2,7
12	Температура начала замерзания, $T_{вр}$, °С	-0,13	-0,67	-0,68	-0,25
13	Среднегодовая температура на глубине 10 м, °С	-7	-7	-7	-7
14	Удельная теплоемкость, c , Дж/кг·°С	750	850	950	950
15	Объемная теплоемкость мерзлого грунта, C_p , ккал/м ³ ·°С	435	487	535	667
16	Коэффициент теплопроводности талого/мерзлого грунта, $\lambda_{th/f}$, ккал/м·ч·°С	1,91/2,48	1,69/1,92	1,45/1,65	1,14/1,36

Источник: составлено авторами.

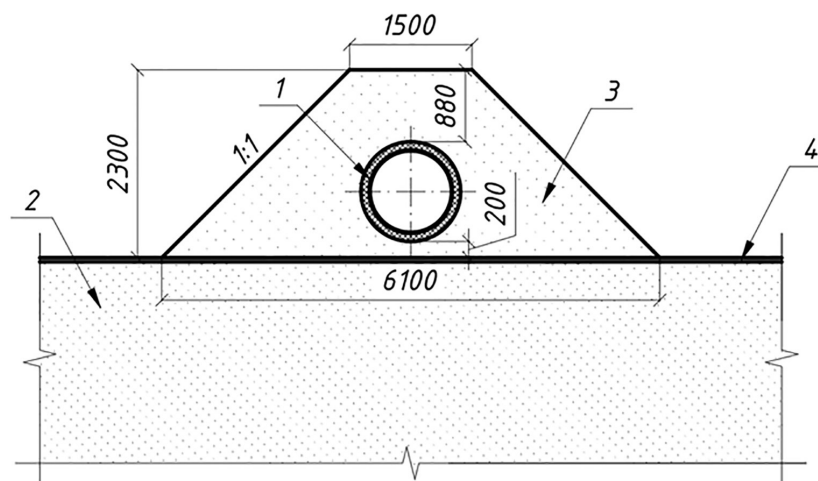


Рис. 1. Расчетная модель наземного нефтепровода: 1 – нефтепровод, диаметром 1200 мм, 2 – мерзлый грунт, 3 – насыпной грунт (песок), 4 – моховой слой
Источник: составлено авторами

Учитывая, что область оттаивания наземных магистральных трубопроводов располагается непосредственно под трубопроводом, исследование проводилось для

теплоизолирующего слоя, подстилающего трубопровод. Для нахождения оптимальных параметров данного слоя определялась зона оттаивания грунта. За оптималь-

ные параметры теплоизолирующего слоя были приняты параметры, при которых глубина оттаивания не достигала поверхности многолетнемерзлого грунта.

Первоначально подбор геометрических параметров подстилающего нефтепровод теплоизолирующего слоя производился на основе модели, представленной на рис. 1.

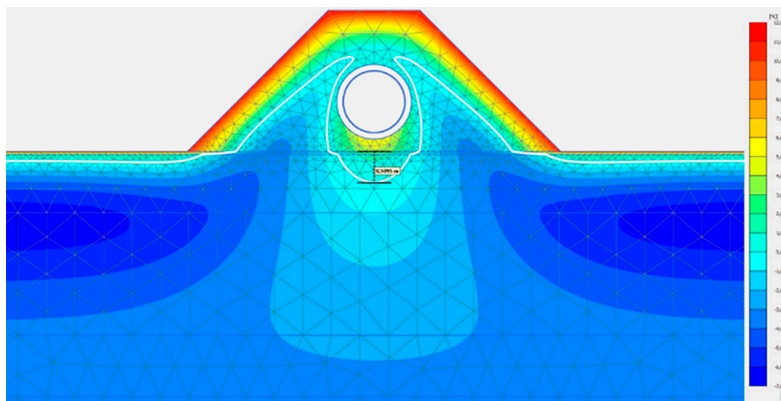


Рис. 2. Температурные поля нефтепровода без подстилающего теплоизолирующего слоя в условиях мерзлого песка
Источник: составлено авторами

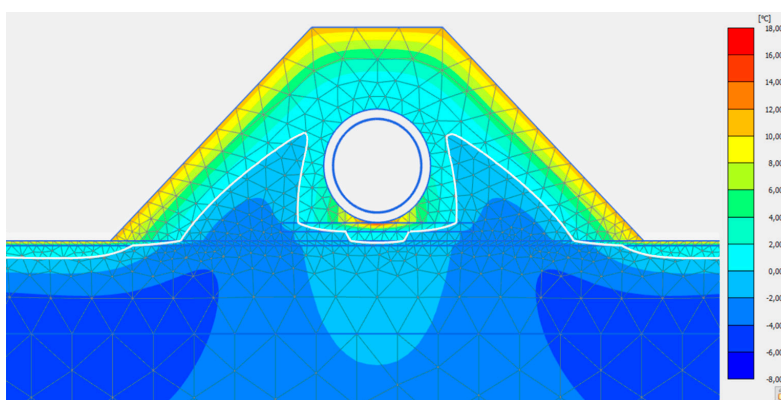


Рис. 3. Температурные поля наземного нефтепровода с подстилающим теплоизолирующим слоем шириной 2200 мм и толщиной 100 мм, в условиях мерзлого песка
Источник: составлено авторами

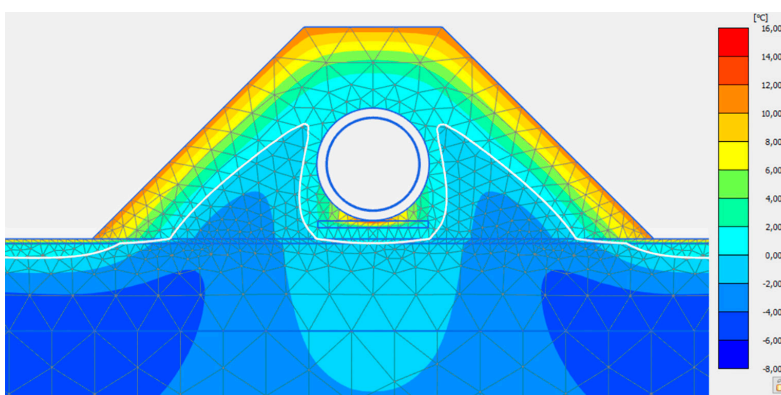


Рис. 4. Температурные поля наземного нефтепровода в условиях мерзлого песка с подстилающим теплоизолирующим слоем шириной 1200 мм и толщиной 80 мм
Источник: составлено авторами

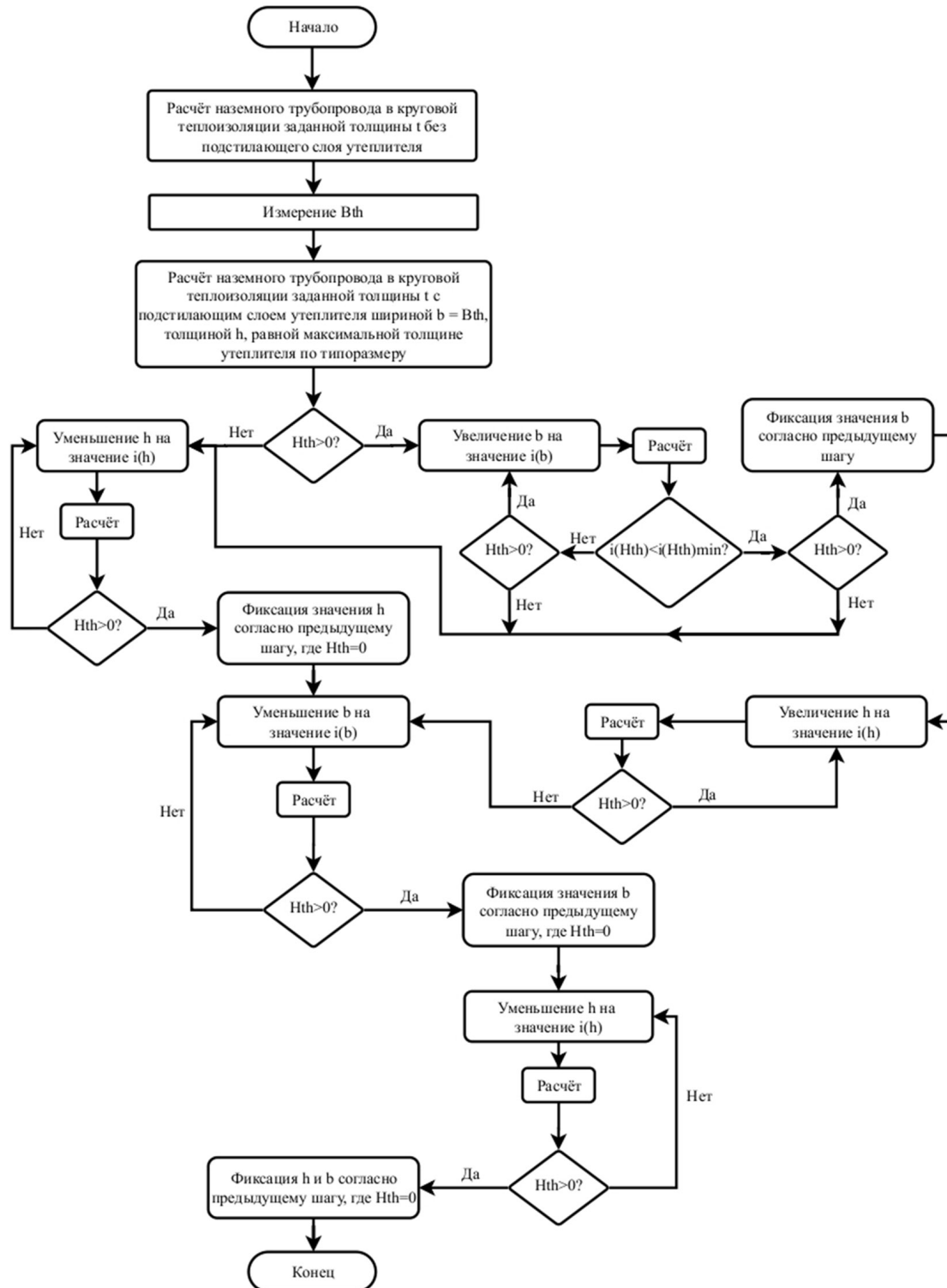


Рис. 5. Алгоритм подбора оптимальных параметров подстилающего нефтепровод теплоизоляционного слоя. Условные обозначения: t – толщина круговой теплоизоляции; V_{th} – ширина ореола оттаивания непосредственно под трубопроводом; N_{th} – глубина оттаивания мерзлого грунта; b – ширина подстилающего слоя теплоизолирующего слоя; h – толщина подстилающего слоя теплоизолирующего слоя; $i(b)$ – величина изменения b , принимаемая на усмотрение лица, осуществляющего расчет; $i(h)$ – величина изменения h , принимаемая согласно имеющимся типоразмерам плит теплоизолирующего слоя; $i(H_{th})$ – изменение глубины оттаивания мерзлого грунта по сравнению с предыдущим шагом; $i(H_{th})_{min}$ – минимальное изменение глубины оттаивания мерзлого грунта по сравнению с предыдущим шагом, принимаемое на усмотрение лица, осуществляющего расчет
Источник: составлено авторами

Исследование (на примере мерзлого песка) проводилось в следующей последовательности:

1. Определялась зона оттаивания при отсутствии подстилающего нефтепровод теплоизолирующего слоя. Пример температурных полей, полученных авторами в результате исследования наземного нефтепровода, представлен на рис. 2 (белой линией обозначена граница зоны оттаивания при нулевой температуре).

2. Определялась ширина ореола оттаивания непосредственно под телом трубы (2,164 м).

3. Полученное значение ширины зоны оттаивания округлялось в большую сторону до 2,2 м и принималось в качестве начальной ширины теплоизолирующего подстилающего слоя.

4. Начальная толщина теплоизолирующего слоя была принята равной половине расстояния между нижней границей трубопровода и поверхностью мохового слоя: 100 мм (в дальнейшем толщина уменьшалась с шагом 20 мм).

5. Для дальнейших итераций определялись температурные поля наземного нефтепровода при наличии подстилающего теплоизоляционного слоя.

Как показали полученные результаты исследования, отраженные на рис. 3, граница зоны оттаивания при начальных размерах параметров теплоизолирующего слоя (толщины и ширины) не достигала поверхности мерзлого грунта, следовательно, была возможность дальнейшего уменьшения параметров теплоизолирующего слоя. В ходе исследования авторами применялся метод уменьшения параметров теплоизолирующего слоя (толщина уменьшалась с шагом 20 мм, ширина – с шагом 0,1 м).

6. Определялась толщина теплоизолирующего слоя, при котором появлялось протаивание мерзлого грунта (в случае мерзлого песка это значение составило 60 мм).

7. По полученным авторами в ходе исследования температурным полям нефтепровода устанавливалось оптимальное (предыдущее) значение толщины теплоизолирующего слоя (в случае мерзлого песка – 80 мм).

После определения оптимального значения толщины теплоизолирующего слоя, тем же способом определялось оптимальное значение его ширины, которое составило 1,2 м (температурные поля данной итерации представлены на рис. 4). При дальнейшем уменьшении ширины теплоизо-

лирующего слоя наблюдалось протаивание мерзлого грунта.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе описанной выше последовательности действий авторами впервые разработан алгоритм подбора оптимальных геометрических параметров подстилающего нефтепровода теплоизолирующего слоя. Алгоритм представлен на рис. 5.

Из алгоритма видно, что процесс оптимизации параметров подстилающего нефтепровода теплоизоляционного слоя носит итерационный и циклический характер с заданной степенью дискретизации основных параметров: ширина подстилающего слоя теплоизолирующего слоя; изменение глубины оттаивания мерзлого грунта по сравнению с предыдущим шагом итерации; минимальное изменение глубины оттаивания мерзлого грунта по сравнению с предыдущим шагом. Величину шага дискретизации принимает исследователь, осуществляющий оптимизационный расчет.

Ранее, в исследованиях других авторов, рассматривались различные подходы по оптимизации параметров и характеристик трубопроводов в условиях вечной мерзлоты (выбор способа укладки трубопровода [2], исследование перемещений [4], определение неравномерности и неоднородности промерзания [6, 7]). Однако, по мнению авторов, данный предложенный алгоритм позволит более точно определить минимальный слой теплоизоляции при минимальных затратах по материалу с заданным исследователем шагом дискретизации.

Полученный алгоритм был применен авторами для определения оптимальных параметров подстилающего нефтепровода теплоизолирующего слоя, уложенного в других грунтах. Так, в условиях мерзлой супеси его параметры составили следующие значения: ширина 2200 мм, толщина 120 мм; в условиях мерзлого суглинка – ширина 2400 мм, толщина 160 мм; в условиях мерзлой глины – ширина 2300 мм, толщина 20 мм.

Заключение

Проведено актуальное расчетное исследование. Предложен инновационный алгоритм подбора параметров теплоизоляционного слоя при прокладке трубопроводов наземным способом в условиях многолетнемерзлых грунтов. Приведено детальное обоснование предлагаемого алгоритма

и проведено компьютерное моделирование в программном комплексе PLAXIS 2D.

Разработанный алгоритм, по мнению авторов, предполагает практическую значимость его применения. Автоматизация процесса оптимизации параметров теплоизолирующего слоя позволит перевести в цифровой формат минимизацию затрат на укладку теплоизоляции, подстилающей нефтепровод наземного исполнения в многолетнемерзлых грунтах, и существенно сократить сроки его проектирования и строительства. По мнению авторов, алгоритм является универсальным и при проектировании трубопровода в условиях вечной мерзлоты, может быть реализован в любом программном обеспечении (общем или специальном) с любой степенью дискретизации шага расчета.

Список литературы

1. Тарасенко А.А., Грученкова А.А., Чепур П.В., Юревич А.В. Оценка эффективности работы анкерных противопучинных свай в условиях многолетнемерзлых грунтов // Успехи современного естествознания. 2016. № 11–2. С. 411–416. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36247> (дата обращения: 03.02.2025).
2. Семенова Д.П. Прокладка трубопроводов в условиях вечной мерзлоты // Актуальные исследования. 2020. № 6 (9). С. 16–20. URL: <https://apni.ru/article/544-prokladka-truboprovodov-v-usloviyakh-vech-merz3> (дата обращения: 03.02.2025).
3. Муталова Л.М., Мустафин Ф.М. Совершенствование способа прокладки нефтепроводов в районах распространения мерзлых грунтов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2021. № 4. С. 56–59. DOI: 10.24412/0131-4270-2021-4-56-59.
4. Султанмагомедов Т.С., Бахтизин Р.Н., Султанмагомедов С.М., Урманова А.Р. Моделирование продольных перемещений трубопровода в многолетнемерзлых грунтах // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2021. Т. 332, № 4. С. 87–96. DOI: 10.18799/2413-1830-2021-4-87-96.
5. Розенберг В.В., Гунар А.Ю. Проблемы прокладки трубопроводов в области распространения несплошной мерзлоты // Успехи современного естествознания. 2024. № 9. С. 51–56. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=38310> (дата обращения: 03.02.2025).
6. Суриков В.И., Ибрагимов Э.Р., Гунар А.Ю. Методика выбора трассы и технических решений при прокладке магистральных трубопроводов в районах распространения многолетнемерзлых грунтов // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2018. № 3 (8). С. 254–263. DOI: 10.28999/2541-9595-2018-8-3-254-263.
7. Шамилов Х.Ш., Каримов Р.М., Гумеров А.К., Валиев А.Р., Ташбулатов Р.Р. Оптимизация проектных решений при прокладке магистральных трубопроводов в условиях островной и прерывистой мерзлоты // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2021. № 2 (11). С. 136–144. DOI: 10.28999/2541-9595-2021-11-2-136-144.