

ВЕСТНИК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ М.К. АММОСОВА.

VESTNIK OF NORTH-EASTERN FEDERAL UNIVERSITY.
СЕРИЯ “НАУКИ О ЗЕМЛЕ. EARTH SCIENCES”

Сетевое научное периодическое издание

Издается с 2016 года

Издание выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

№ 1 (37) 2025

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор

А.Н. Николаев, д. б. н.

Заместитель главного редактора

Е.Э. Соловьев, к. г.-м. н.

Выпускающий редактор

Я.П. Шепелева, к. г.-м. н.

Члены редакционной коллегии:

Верчеба А. А., доктор геолого-минералогических наук; Витченко А. Н., доктор географических наук; Данилов Ю. Г. кандидат географических наук; Лопух П. С., доктор географических наук; Мартынов В. Л., доктор географических наук; Михно В. Б., доктор географических наук; Нестеров Ю. А., кандидат географических наук; Никифорова З. С., доктор геолого-минералогических наук; Носонов А. М., доктор географических наук; Округин А. В., доктор геолого-минералогических наук; Полуфунтикова Л. И., кандидат геолого-минералогических наук; Присяжный М. Ю., доктор географических наук; Саввинова А. Н., кандидат географических наук; Семенов Ю. М., доктор географических наук; Скоринцева И. Б., доктор географических наук; Тесленок С. А., кандидат географических наук; Толстов А. В., доктор геолого-минералогических наук; Фридовский В. Ю., доктор геолого-минералогических наук; Часовский В. И., доктор географических наук.

Адрес учредителя и издателя: 677000, г. Якутск, ул. Белинского, 58

Адрес редакции: 677010, г. Якутск, ул. Кулаковского, 46, каб. 307

Тел./факс: +7 (4112) 36-15-18. e-mail: vestnik_geo@mail.ru. <https://vfuzeml.elpub.ru/jour/index>

Северо-Восточный федеральный университет

<http://s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/unir/vestnik-svfu/>

VESTNIK OF NORTH-EASTERN FEDERAL UNIVERSITY.
«EARTH SCIENCES»

Network scientific periodical

Published since 2016

The frequency of publication is 4 times a year

The founder and publisher is Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“The M. K. Ammosov North-Eastern Federal University”

№ 1 (37) 2025

EDITORIAL BOARD OF THE SERIES

Editor-in-Chief

A. N. Nikovaev, Doctor of Biological Sciences

Deputy Editor-in-Chief

E. E. Solovyov, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

I. P. Shepeleva, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences

Members of the Editorial Board of the Series:

A. A. Vercheba, Doctor of Geological-mineralogical Sciences; *Vitchenko A.N.*, Doctor of Geographical Sciences; *Y. G. Danilov*, Candidate of Geographical Sciences; *Lopuh P. C.*, Doctor of Geographical Sciences; *V. L. Martynov*, Doctor of Geographical Sciences; *V. B. Mikhno*, Doctor of Geographical Sciences; *Y. A. Nesterov*, Candidate of Geographical Sciences; *Z. S. Nikiforova*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *A. M. Nosonov*, Doctor of Geographical Sciences; *A. V. Okrugin*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *L. I. Polufuntikova*, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences; *M. Y. Prisyazny*, Doctor of Geographical Sciences; *A. N. Savvinova*, Candidate of Geographical Sciences; *Y. M. Semenov*, Doctor of Geographical Sciences; *I.B. Skorintseva*, Doctor of Geographical Sciences; *S. A. Teslenok*, Candidate of Geographical Sciences; *A. V. Tolstov*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *V. Y. Fridovsky*, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences; *V. I. Chasovsky*, Doctor of Geographical Sciences.

Founder and publisher address: The North-Eastern Federal University, Belinsky str, 58, Yakutsk, 677000.

Editors Office address: The North-Eastern Federal University, Kulakovskogo st, 46, room 307, Yakutsk, 677010

Telephone/Fax: +7 (4112) 36-15-18. e-mail: vestnik_geo@mail.ru. <https://vfuzeml.elpub.ru/jour/index>

<http://s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/unir/vestnik-svfu/>

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

Алванян А.К., Алванян К.А., Тагильцев С.Н.

Качественная характеристика и физико-механические свойства гипсового камня
«Зуевского» месторождения 5

Красильников П.А., Симонова Р.В., Татаркин А.В.

Нормативно-правовые аспекты комплексного природопользования и предложения
по совершенствованию нормативно правовой базы 13

Михалицына Т.И., Фомина М.И.

Петрографический и минераграфический состав пород и руд Урынского рудного поля
(Берелехский рудный район, Северо-Восток России) 23

Сивцев А.И., Александров А.Р., Петров Д.М.

Нефтеносные объекты на юго-восточном склоне Анабарской антеклизы 43

Татаринов Д.М., Старостин С.Н., Чичигинаров И.А., Слепцов Н.А.

Особенности конструкции гидрогеологических скважин на примере участка «Левобережный»
для захоронения дренажных рассолов месторождения трубки «Удачная» 55

Томский К.О., Иванова М.С., Оконешиников М.Е.

Моделирование периодической эксплуатации и закачки дегазированной нефти
в добывающие скважины для расформирования конуса газа в пластах 62

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

Мельникова А.А., Обутов К.А., Дёгтева Ж.Ф.

Полиструктурный подход в ландшафтном планировании на территориях
традиционного природопользования 75

Тананаев Н.И.

Климатические аспекты планирования региональных мероприятий по адаптации
к изменениям климата 85

CONTENT

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERALOGY

Alvanian A.K., Alvanian K.A., Tagiltsev S.N.

Qualitative characteristics and physical and mechanical properties of gypsum stone from the Zuevsky deposit..... 5

Krasilnikov P.A., Simonova R.V., Tatarkin A.V.

Regulatory and legal aspects of integrated nature management and proposals to improve the regulatory and legal framework 13

Mikhailitsyna T.I., Fomina M.I.

Petrographic and mineralogical composition of rocks and ores of the Urinsky ore field (Berelekh ore district, Northeast Russia)..... 23

Sivtsev A.I., Alexandrov A.R., Petrov D.M.

Oil-bearing objects on the south-eastern slope of the Anabar antecline 43

Tatarinov D.M., Starostin S.N., Chichiginarov I.A., Sleptsov N.A.

Features of hydrogeologic wells design: the case of the Levoberezhny site for burial of drainage brines of the Udachnaya pipe deposit..... 55

Tomskii K.O., Ivanova M.S., Okoneshnikov M.Ye.

Modeling of periodic operation and injection of degassed oil into production wells to disband the gas cone in reservoirs..... 62

PHYSICAL GEOGRAPHY AND BIOGEOGRAPHY, SOIL GEOGRAPHY, AND LANDSCAPE GEOCHEMISTRY

Melnikova A.A., Obutov K.A., Degteva Zh.F.

The polystructural approach in landscape planning in the territories of traditional nature management 75

Tananaev N.I.

Climate basis for planning regional actions for adaptation to climate change 85

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 553:04

<https://doi.org/10.25587/2587-8751-2025-1-5-12>

Научная оригинальная статья

КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГИПСОВОГО КАМНЯ «ЗУЕВСКОГО» МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.К. Алванян^{1*}, К.А. Алванян¹, С.Н. Тагильцев²¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Российская Федерация² Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, Российская Федерация
* alv-anton@yandex.ru

Аннотация

В статье приведены сведения о месторождениях гипса на территории Пермского края. Описана потребность различных отраслей промышленности в гипсе. Целью работы является определение качественной характеристики и физико-механических свойств гипсового камня. Приведено геологическое строение Зуевского месторождения строительного гипса. Дано описание полезной толщи, с разделением на участки и виды отложений, а также описание внутренней вскрыши. Качественная характеристика полезного ископаемого дана по результатам геологоразведочных работ. Оценка качества гипса выполнена по основным оценочным параметрам соответствующим требованиям основных нормативных документов: ГОСТ 4013-82 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов». Технические условия и ГОСТ 125-79 «Вяжущие гипсовые». Технические условия. Для определения пригодности и сортности гипса выполнено определение химического состава. Выполнены расчеты средневзвешенных содержаний химических компонентов по укрупненным интервалам, равным половине добычного уступа (5-7м). Кроме того, были определены физико-механические свойства гипсового камня: водопоглощение, объемный вес, удельный вес, объемная пористость, пористость истинная, предел прочности в сухом состоянии. По результатам проведенных работ выявлено, что химический состав гипсовой толщи Зуевского участка разнообразен, что вызвано неравномерной гидратацией ангидритов в плане и в разрезе, а также присутствием различных карбонатных примесей и карста. По своим физико – механическим свойствам гипс Зуевского участка неоднороден. Прочность гипса в воздушно – сухом составляет, в среднем, 16,9 МПа, и в соответствии с ГОСТ 125-79 гипсовый камень имеет марку Г-16. Сырье гипсовой толщи удовлетворяет требованиям ГОСТ 4013-82 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов» и ГОСТ 125-79 «Вяжущие гипсовые». По сложности геологического строения Зуевское месторождение отнесено ко II группе. Полезная толща на участке крайне неустойчивая по мощности и довольно выдержанная по качеству.

Ключевые слова: геологоразведка, полезные ископаемые, месторождение, гипсовый камень, ангидрит, химический состав, минеральный состав, физико-механические свойства, качество гипса, Пермский край

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки

Для цитирования: Алванян А.К., Алванян К.А., Тагильцев С.Н. Качественная характеристика и физико-механические свойства гипсового камня «Зуевского» месторождения. *Вестник СВФУ*. 2025;(1): 5-12.
DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-5-12

QUALITATIVE CHARACTERISTICS AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF GYPSUM STONE FROM THE ZUEVSKY DEPOSIT

Anton K. Alvanian¹, Karine A. Alvanian¹, Sergey N. Tagiltsev²*

¹Perm State National Research University, Perm, Russian Federation

²Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russian Federation

* alv-anton@yandex.ru

Abstract

The article provides information on gypsum deposits in the Perm region. The need of various industries for gypsum is described. The purpose of the work is to determine the qualitative characteristics and physical and mechanical properties of gypsum rock. The geological structure of the Zuevskoye deposit of building gypsum is given. A description of the useful strata is given, divided into sections and types of deposits, as well as a description of the internal overburden. The qualitative characteristics of the mineral are given based on the results of geological exploration. The quality of the gypsum is assessed based on the main evaluation parameters corresponding to the requirements of the main regulatory documents: GOST 4013-82 "Gypsum and gypsum-anhydrite stone for the production of binders". Specifications and GOST 125-79 "Gypsum binders". Specifications. To determine the suitability and grade of the gypsum, the chemical composition was determined. Calculations of average weighted contents of chemical components were performed for enlarged intervals equal to half of the mining bench (5-7 m). In addition, the physical and mechanical properties of gypsum rock were determined: water absorption, bulk density, specific gravity, volume porosity, true porosity, and ultimate strength in a dry state. Based on the results of the work, it was revealed that the chemical composition of the gypsum layer of the Zuevsky site is diverse, which is caused by uneven hydration of anhydrites in plan and in section, as well as the presence of various carbonate impurities and karst. Gypsum of the Zuevsky site is heterogeneous in its physical and mechanical properties. The strength of gypsum in air-dry averages to 16.9 MPa, and in accordance with GOST 125-79, gypsum rock has a grade of G-16. The raw materials of the gypsum thickness meet the requirements of GOST 4013-82 "Gypsum and gypsum-anhydrite stone for the production of binders" and GOST 125-79 "Gypsum binders". According to the complexity of the geological structure, the Zuevskoye deposit is assigned to group II. The useful thickness in the area is extremely unstable in thickness and quite consistent in quality.

Keywords: geological exploration, minerals, deposit, gypsum stone, anhydrite, chemical composition, mineral composition, physical and mechanical properties, gypsum quality, Perm region

Funding. No funding was received for writing this manuscript

For citation: Alvanian A.K., Alvanian K.A., Tagiltsev S.N. Qualitative characteristics and physical and mechanical properties of gypsum stone from the Zuevsky deposit. *Vestnik of North-Eastern Federal University. "Earth Sciences"*. 2025;(1):5-12 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-5-12

Введение

Месторождения гипса служат источником сырья в разных отраслях промышленности. В строительстве гипс используется для производства вяжущих материалов и добавок для цемента, а также при отделочных работах. Широкое применение гипс получил в химической отрасли при производстве серной кислоты, азотных удобрений, сульфата аммония и других веществ. Гипс является важным компонентом в целлюлозно-бумажной промышленности, сельском хозяйстве и медицинской сфере.

В связи с высокой потребностью различных производств в гипсе, определение качественной характеристики и физико-механических свойств является актуальной задачей.

В Пермском крае государственным балансом учтены следующие месторождения гипса: Дейковское, Ергачинское, Селищенское, Полазенское, Чумкаское, Соколино-Саркаевское,

Одиновское, Шубинское, Богомоловский лог, Кругловское, Швалевское, Разепинское, Зуевское [1, 2, 3].

Зуевское месторождение строительного гипса расположено в Кунгурском муниципальном округе Пермского края. В 2014-2016 годах выполнены геологоразведочные работы, по результатам которых в 2017 году запасы были поставлены на государственный баланс. Разработку месторождения готовится осуществлять ООО «Кнауф Гипс Кунгур» [4].

Материалы и методы

Для достижения обозначенной цели работы был проведен анализ геологоразведочных работ и дана оценка качества гипса на основании требований ГОСТ 4013-82, ГОСТ 125-79, ГОСТ 2389-79 [5, 6, 7].

Обсуждение результатов

Геологическое строение месторождения. Зуевское месторождение строительного гипса представляет собой субгоризонтально залегающие линзо-пластообразную залежь карбонатно-сульфатных отложений иренского (верхнего) горизонта кунгурского яруса пермской системы. Коренные отложения перекрыты четвертичными отложениями мощностью до 15,0 м и почвенно-растительным слоем 0,1-0,3 м.

На Северном участке месторождения глубже залегают карстово-обвальные отложения неоген-четвертичного возраста. Мощность отложений изменяется от 10 до 23 м. Суммарная мощность вскрышных пород на Северном участке изменяется от 11,2 до 34,1 м, средняя - 22,7 м.

На Южном участке месторождения кроме карстово-обвальных отложений вскрыша часто представлена выветрелыми известняками и доломитами. Мощность отложений достигает 25,4 м. Суммарная мощность вскрышных пород на Южном участке изменяется от 7,5 до 33,7 м, средняя - 20,6 м.

Полезная толща Зуевского месторождения представлена сульфатными отложениями ледянопещерской и шалашинской пачек. Сульфатные пачки разделены карбонатными породами неволинской пачки.

Ледянопещерская сульфатная пачка залегает ниже карбонатной неволинской. Представлена она гипсом белым, серым, мелкозернистой структуры, текстура плотная. Мощность гипсовой толщи изменяется от 1,5 до 10 м на Южном участке и 2,5 - 8,5 м на Северном. Гипсы подстилаются ангидритом и гипсоангидритом. Граница между гипсом и ангидритом не выражена, постепенные переходы визуально не определяются.

В пределах пачки в отдельных случаях отмечаются прослои белого селенита. Породы разбиты трещинами. В большинстве случаев трещины залечены гипсом белым пятнистым. Встречаются трещины, заполненные рыхлым материалом - суглинком с гравием.

Выше по разрезу вскрывается неволинская пачка, не выдержанная в плане и разрезе. Неволинская пачка представлена в основном доломитом, реже известняком, серым, светло-серым, средне- и мелкозернистым плотным, часто трещиноватым. Мощность пачки достигает 10 м.

Выше неволинской пачки вскрывается шалашинская сульфатная пачка, представленная гипсом от светло-серого до темно-серого цвета. Структура скрытокристаллическая, текстура плотная. Мощность пачки достигает 19 м на Южном участке и 14 м на Северном.

Качество гипса характеризуется результатами химического анализа, соотношением компонентов CaO , MgO , SO_3 и потерями при прокаливании (п.п.п.). В зависимости от наличия прослоев доломитов и гипсоангидритов изменяется содержание вышеперечисленных компонентов. По химическому составу гипс полезной толщи неоднороден, содержание двуводного сульфата кальция колеблется от 0,1 до 96,3 % на Южном участке и от 1,5 до 96,5 % на Северном участке.

Внутри полезной толщи выделяются некондиционные прослои, которые можно подразделить на 3 вида: собственно некондиционные прослои, провалы и карст. Некондиционные прослои представлены доломитами серыми, мелкокристаллическими, выветрелыми, гипсоангидритами серыми со слабым голубоватым оттенком, глиной с обломками.

Карстовые прослои представлены глиной темно-серой, песчанистой, плотной с редким щебнем известняка. Процент закарстованности – 9,3 % на Южном участке и 15,3 % на Северном.

Общий процент внутренней вскрыши (карст и некондиционные прослои) составляет 21,1 % на Южном участке и 30,4 % на Северном.

Подстилаются гипсы, в основном, ангидритами от голубовато-серых до темно-серых, плотных, пятнистых за счет мелких включений (до 1-2 мм) гипса, с прослойками глины, также содержат зерна доломита. Переход гипсовой толщи в ангидритовую либо резкий, либо постепенный, то есть прослеживается переходная зона, представленная гипсоангидритами, и гипсодоломитами.

Качественная характеристика полезного ископаемого. Зуевский участок представлен двумя основными литологическими разновидностями сульфатных пород: гипсом и ангидритом. Полезная толща сложена гипсом, в котором встречаются многочисленные карстовые полости, не заполненные и заполненные глиной со щебнем гипса, доломита и известняка. Гипсовая толща, практически повсеместно, разделена на две части прослоем выветрелого доломита. Ангидриты являются подстилающими породами для гипсов данного участка. Качественная характеристика дается по результатам геологоразведочных работ, проведенных на участке в 2014-2016 гг. Оценка качества гипса выполнена на основании геологического задания по основным оценочным параметрам. Качество гипса должно удовлетворять следующим требованиям:

- ГОСТ 4013-82 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов». Технические условия;

- ГОСТ 125-79 «Вяжущие гипсовые». Технические условия.

Качественный состав гипсового камня. Пригодность и сортность гипса по ГОСТ 4013-82 определяется по химическому составу. Поэтому для оценки гипсового камня был определен химический состав проб полезной толщи [8, 9].

Химический состав гипсовой толщи. Для определения качества сырья, степени влияния некондиционных прослоев, карстовых пустот, выполнены расчеты средневзвешенных содержаний химических компонентов по укрупненным интервалам, равным половине добычного уступа (5-7м). На основании этих расчетов определен сортовой состав гипса по ГОСТ 4013-82.

Химический состав гипсовой толщи Зуевского участка разнообразен, что вызвано неравномерной гидратацией ангидритов в плане и в разрезе, а также присутствием различных карбонатных примесей и карста.

На Северном участке содержание двуводного сульфата кальция по рядовым пробам по скважинам колеблется от 75,05 до 95,81 %. Средневзвешенное содержание по скважинам колеблется от 88,21 до 94,71 %. Среднее значение – 91,65 %, что соответствует II сорту гипса.

На Южном участке содержание двуводного сульфата кальция по рядовым пробам по скважинам колеблется от 70,05 до 96,38 %. Средневзвешенное содержание по скважинам колеблется от 81,19 до 92,56 %. Среднее значение – 89,07 %, что соответствует III сорту гипса.

По блоку 1-С₁ средневзвешенное содержание двуводного сульфата кальция по скважинам колеблется от 81,19 до 91,97 %. Среднее значение – 88,16 %, что соответствует III сорту гипса.

Некондиционные прослои и карст встречены, в основном, в гипсе III и IV сорта.

Закономерностей распределения качества гипса в плане и в разрезе не наблюдается. Распределение скважин по содержанию гипса приводится в таблице 1.

Таблица 1

Распределение скважин по содержанию гипса по ГОСТ 4013–82

Table 1

Well distribution by gypsum content under GOST 4013–82

Показатели	Распределение скважин по содержанию гипса согласно ГОСТ				Всего скважин, участвующих в определении качества гипса
	I сорт	II сорт	III сорт	IV сорт	
1	2	3	4	5	6
Южный участок					
Блок 1-С₁					
Количество скважин	-	5	5	-	10
Распределение в %	-	50	50	-	100
Блок 2-Р₁					
Количество скважин	-	4	1	-	5
Распределение в %	-	80	20	-	100
В целом по Южному участку					
Количество скважин	-	9	6	-	15
Распределение в %	-	60	40	-	100
Блок 1-Р₁ (Северный участок)					
Количество скважин	1	5	3	-	9
Распределение в %	11,1	56,6	33,3	-	100

Из приведенной таблицы видно, что качество гипса, приведенное по средневзвешенному содержанию по скважинам (в целом по полезной толще, исключая внутреннюю вскрышу), соответствует II и III сорту.

В таблице 2 приводится распределение гипсовой толщи по сортам в целом по участкам и по блокам, рассчитанное по сортовым интервалам. Определение сортности по укрупненным интервалам производилось расчетом средневзвешенного по рядовым пробам.

Таблица 2

Распределение гипса по сортам согласно ГОСТ 4013-82

Table 2

Distribution of gypsum by grades by GOST 4013-82

Номер блока	Сорт гипса, %				Внутренняя вскрыша, %		
	I	II	III	IV	н.к.	карст	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8
Южный участок							
Блок 1-С ₁	7,44	38,86	19,86	12,12	12,17	9,55	21,72
Блок 2-Р ₁	8,51	50,35	20,80	0,59	11,11	8,63	19,74
Итого по участку	7,76	42,29	20,14	8,68	11,85	9,28	21,13
Северный участок							
Блок 1-Р ₁	15,26	45,40	4,80	3,93	15,18	15,26	30,44

Из таблицы 2 видно, что на месторождении преобладают гипсы II и III сорта, причём гипсов II сорта в 2 раза больше, чем гипса III сорта. Гипсы IV сорта, как правило, залегают в нижнем интервале гипсовой толщи на границе с ангидритами или на границе с некондиционными прослоями.

Физико-механические свойства пород

Для изучения физико-механических свойств гипса было испытано 8 проб в лаборатории ООО «Пермгеолнеруд». Для определения объёмного веса пород было проанализировано ещё 14 проб. По своим физико-механическим свойствам гипс Зуевского участка неоднороден. В таблице 3 приводятся средние значения основных физико-механических показателей.

Таблица 3

Средние значения основных физико-механических показателей гипсов

Table 3

Average values of the main physical and mechanical properties of gypsum

Показатели	Единицы измерения	Значения показателей		
		от	до	среднее
1	2	3	4	5
Водопоглощение	%	0,09	0,48	0,18
Объёмный вес	г/см ³	2,22	2,29	2,25
Удельный вес	г/см ³	2,30	2,34	2,32
Пористость объёмная	%	0,23	0,76	0,42
Пористость истинная	%	0,86	1,71	1,29
Предел прочности в сухом состоянии	МПа	7,5	25,4	16,9

Прочность гипса в воздушно – сухом составляет, в среднем, 16,9 МПа, и в соответствии с ГОСТ 125-79 гипсовый камень имеет марку Г-16.

Значения физико-механических показателей гипса по блоку 1-С₁ несколько отличаются от значений по месторождению в целом. Средние значения показателей: водопоглощение – 0,20 %, объёмный вес – 2,26 г/см³, удельный вес – 2,32 г/см³, пористость объёмная – 0,45 %, пористость истинная – 1,29 %. Прочность гипса в воздушно – сухом составляет в среднем 19,3 МПа, что соответствует марке гипса Г-19.

Заключение

Зуевский участок представлен двумя основными литологическими разновидностями сульфатных пород: гипсом и ангидритом. Полезная толща сложена гипсом, в котором встречаются многочисленные карстовые полости, не заполненные и заполненные глиной со щебнем гипса, доломита и известняка. Гипсовая толща, практически повсеместно, разделена на две части прослоем выветрелого доломита.

Химический состав гипсовой толщи Зуевского участка разнообразен, что вызвано неравномерной гидратацией ангидритов в плане и в разрезе, а также присутствием различных карбонатных примесей и карста.

Сырье гипсовой толщи удовлетворяет требованиям ГОСТ 4013-82 «Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов» и ГОСТ 125-79 «Вяжущие гипсовые».

По сложности геологического строения Зуевское месторождение отнесено ко II группе. Полезная толща на участке крайне неустойчивая по мощности и довольно выдержанная по качеству.

По итогам всех данных, полученных при геологоразведочных, лабораторных и камеральных работах, определено качество полезной толщи, произведен подсчет запасов гипса в проектном контуре карьера до подстилающих пород.

Литература

1. Алвьян А.К., Алвьян К.А. Физико-механические свойства гипсового камня и инженерно-геологические условия Селищенского месторождения строительного гипса. *Вестник Пермского университета. Серия «Геология»*. 2019;18(4):386-393. <https://doi.org/10.17072/psu.geol.18.4.386>.
2. Алвьян А.К., Ибламинов Р.Г. Оценка качества и подсчет запасов строительного гипса месторождения «Швалеvский Лог» Пермский край. *Научный журнал КубГАУ*. 2013;(93):497-511.
3. Алвьян А.К., Ибламинов Р.Г., Коноплев А.В. Физико-механические свойства гипсового камня и инженерно-геологические свойства Богомоловского месторождения. *Научный журнал КубГАУ*. 2012;(83):168-177.
4. Алвьян А.К. Отчет о геологоразведочных работах и подсчете запасов гипса и ангидрита Зуевского месторождения в Кунгурском районе Пермского края. Пермь, 2010.
5. ГОСТ 4013-82. Камень гипсовый и гипсоангидритовый для производства вяжущих материалов. Технические условия.
6. ГОСТ 125-79. Вяжущие гипсовые. Технические условия.
7. ГОСТ 2389-79. Вяжущие гипсовые. Методы испытаний.
8. Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Гипс и ангидрит. М., 2007.
9. Инструкция по изучению инженерно-геологических условий залегания твердых полезных ископаемых при разведке. М.: Недра, 1975.

References

1. Alvanyan AK, Alvanyan K.A. Fiziko-mekhanicheskiye svoystva gipsovogo kamnya i inzhenerno-geologicheskkiye usloviya Selishchenskogo mestorozhdeniya stroitel'nogo gipsa [Physical and Mechanical Properties of Gypsum stone. Engineering and Geological Conditions of Selishchenskoe Deposit of Construction Gypsum]. *Bulletin of Perm University. Geology (Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya)*. 2019;18(4):386-393. <https://doi.org/10.17072/psu.geol.18.4.386> (in Russian).
2. Alvanyan AK, Iblaminov RG. Otsenka kachestva i podschet zapasov stroitel'nogo gipsa mestorozhdeniya «Shvalevskiy Log» Permskiy kray [Quality assessment and reserves estimate of gypsum deposit of Shvalevsky log (Perm region)]. *Scientific journal of KubSAU (Nauchnyy zhurnal KubGAU)*. 2013;(93):497-511 (in Russian).
3. Alvanyan AK, Iblaminov RG, Konoplev AV. Fiziko-mekhanicheskiye svoystva gipsovogo kamnya i inzhenerno-geologicheskkiye svoystva Bogomolovskogo mestorozhdeniya [Physical and mechanical properties of gypsum and geotechnical conditions of deposit Bogomolovskoye]. *Scientific journal of KubSAU (Nauchnyy zhurnal KubGAU)*. 2012;(83):168-177 (in Russian).
4. Alvanyan AK. Otchet o geologorazvedochnykh rabotakh i podschete zapasov gipsa i angidrita Zuyevskogo mestorozhdeniya v Kungurskom rayone Permskogo kraya [Report on geological exploration and calculation of reserves of gypsum and anhydrite of the Zuevskoye deposit in the Kungursky district of the Perm region]. Perm, 2010 (in Russian).
5. GOST 4013-82. Gypsum and gypsum-anhydrite stone for the production of binders. Technical conditions (in Russian).
6. GOST 125-79. Gypsum binders. Technical conditions (in Russian).
7. GOST 2389-79. Gypsum binders. Test methods (in Russian).
8. Methodical recommendations for the application of the Classification of reserves of deposits and forecast resources of solid minerals. Gypsum and anhydrite. [Metodicheskiye rekomendatsii po primeneniyu Klassifikatsii zapasov mestorozhdeniy i prognoznykh resursov tverdykh poleznykh iskopayemykh. Gips i angidrit]. M., 2007 (in Russian).
9. Instruksiya po izucheniyu inzhenerno-geologicheskikh usloviy zaleganiya tvordykh poleznykh iskopayemykh pri razvedke [Instructions for studying engineering-geological conditions of occurrence of solid minerals during exploration]. M.: Nedra, 1975 (in Russian).

Об авторах

АЛВАНИЯН Антон Карапетович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры Инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, SPIN: 8192-0328, e-mail: alv-anton@yandex.ru

АЛВАНИЯН Карине Антоновна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры Инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета. ул. Букирева, ORCID: 0000-0001-7813-4779, SPIN: 2402-5127, e-mail: karinealvanyan@yandex.ru

ТАГИЛЬЦЕВ Сергей Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры Гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии, Уральский государственный горный университет, ResearcherID: D-8994-2014, Scopus Author ID: 6506180352, SPIN: 5958-8035, e-mail: tagiltsev@k66.ru

About the authors

Anton K. ALVANIYAN, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Engineering Geology and Subsoil Protection, Perm State National Research University, SPIN: 8192-0328, e-mail: alv-anton@yandex.ru

Karine A. ALVANIYAN, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Department of Engineering Geology and Subsoil Protection, Perm State National Research University, ORCID ID: 0000-0001-7813-4779, SPIN: 2402-5127, e-mail: karinealvanyan@yandex.ru

Sergey N. TAGILTSEV, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology, Ural State Mining University, ResearcherID: D-8994-2014, Scopus Author ID: 6506180352, SPIN: 5958-8035, e-mail: tagiltsev@k66.ru

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Authors' contribution

All authors made equivalent contributions to the publication.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Корреспондент автор имеет право и полномочия выступать от имени всех авторов по этому исследованию.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest. The corresponding author has the right and authority to speak on behalf of all authors on this study.

Поступила в редакцию / Submitted 20.02.2025

Принята к публикации / Accepted 10.03.25

НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫЕ АСПЕКТЫ КОМПЛЕКСНОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ НОРМАТИВНО ПРАВОВОЙ БАЗЫ

П.А. Красильников^{1}, Р.В. Симонова², А.В. Татаркин¹*

¹ Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Российская Федерация

² Нижегородский институт управления – филиал РАНХиГС,
Нижний Новгород, Российская Федерация

* chisp07@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы государственного регулирования в области недро- и природопользования. Целью работы ставится анализ действующего законодательства в отношении комплексного природопользования, а также раскрытие нового взгляда на рациональное природопользование и освоение минерально-сырьевой базы. В статье предлагаются рекомендации по совершенствованию системы государственного регулирования этих отношений. Отмечается, что сфера государственного управления, связанная с получением лицензий для комплексного освоения природных ресурсов, представляет собой наиболее перспективное и правильное направление с точки зрения обеспечения рационального использования природно-ресурсного потенциала территории. Такой подход позволяет не только охранять, но и эффективно использовать различные виды природных ресурсов, а не ограничиваться лишь отдельными объектами природопользования. Использование такого подхода позволит увеличить экономическую эффективность освоения природных ресурсов территории через минимизацию вложений на развитие инфраструктуры, тем самым повышая рентабельность объектов освоения. Предлагаются рекомендации по совершенствованию нормативно-правовых актов, позволяющие обеспечить комплексное освоение природно-ресурсного потенциала в пределах «территории комплексного природопользования». Для достижения поставленной цели использовались методы системного, логического, а также аналитического исследования. А именно: анализ нормативной правовой базы, регламентирующей деятельность участников отношений в области природопользования на федеральном уровне, метод сравнения, методы дедукции и индукции.

Ключевые слова: государственное регулирование, рациональное недропользование, территории комплексного природопользования, природно-ресурсный потенциал

Для цитирования: Красильников П.А., Симонова Р.В., Татаркин А.В. Нормативно-правовые аспекты комплексного природопользования и предложения по совершенствованию нормативно правовой базы. *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2025;(1):13-22. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-13-22.

Original article

REGULATORY AND LEGAL ASPECTS OF INTEGRATED NATURE MANAGEMENT AND PROPOSALS TO IMPROVE THE REGULATORY AND LEGAL FRAMEWORK

Pavel A. Krasilnikov^{1}, Raisa V. Simonova², Alexey V. Tatarkin¹*

¹Perm State National Research University, Perm, Russian Federation

²Nizhny Novgorod Institute of Management – Branch of RANEPА, Nizhny Novgorod, Russian Federation

*chisp07@gmail.com

Abstract

The article deals with the issues of state regulation in the field of subsoil and nature management. The aim of the work is to analyze the current legislation in relation to complex nature management, as well as to

reveal a new view of rational nature management and development of mineral resource base. The article offers recommendations for improving the system of state regulation of these relations. It is noted that the sphere of state management, associated with obtaining licenses for the integrated development of natural resources, is the most promising and correct direction in terms of ensuring the rational use of natural resource potential of the territory. This approach allows not only to protect, but also to effectively use various types of natural resources, and not to be limited only to separate objects of natural resources use. The use of such an approach will increase the economic efficiency of development of natural resources of the territory through minimizing investments in infrastructure development, thereby increasing the profitability of development objects. We propose recommendations for the improvement of normative-legal acts that allow to ensure the integrated development of natural resource potential within the “territory of integrated nature management”. To achieve the goal, we used the methods of systematic, logical, as well as analytical research, namely: the analysis of the normative legal base regulating the activities of participants of relations in the field of nature management at the federal level, the method of comparison, and the methods of deduction and induction.

Keywords: state regulation, rational subsoil use, territories of integrated nature management, natural resource potential.

For citation: Krasilnikov P.A., Simonova R.V., Tatarkin A.V. Regulatory and legal aspects of integrated nature management and proposals to improve the regulatory and legal framework. *Vestnik of North-Eastern Federal University. “Earth Sciences”*. 2025;(1):13-22. (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-13-22.

Введение

Недропользование представляет собой одну из ключевых сфер техногенной деятельности человечества. Минеральные ресурсы нашей планеты, которые являются основой для поддержания жизни и прогресса цивилизации, играют центральную роль в экономике каждой страны. Современное российское правовое регулирование в сфере недр представляет собой одну из ключевых сфер национального законодательства и иллюстрирует федеративный характер Российской Федерации. Это проявляется в наличии двухуровневой структуры: Федеральное законодательство; Законодательство субъектов Российской Федерации.

Следует обратить внимание, что вопросам рационального использования минерально-сырьевой базы уделяется особое внимание в стратегических документах, связанных с природопользованием. Отдельным пунктом программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» прописано, что необходимо обеспечивать рациональное использование существующей минеральной сырьевой базы за счет вовлечения ранее неразрабатываемых месторождений. При этом понятие «рациональное использование» не раскрывается.

Многие исследователи говорят о том, что категория «рациональное недропользование» имеет основополагающее значение для регулирования отношений в области использования недр, при этом, этот термин так и не нашел законодательного закрепления.

Зачастую под рациональным использованием недр понимают полное и комплексное извлечение полезных компонентов из недр с использованием наиболее эффективных современных технологий.

При этом комплексный подход подразумевается только как извлечение основного полезного компонента и сопутствующего, расположенного в пределах тех же промышленных пластов или во вскрышных породах, но не относящийся к другим природным ресурсам, расположенным в пределах одной природно-технической системы или территории.

Недостаточная проработка нормативно-правовых актов в области комплексного использования различных природных ресурсов в пределах одной территории оказывается причиной их нерационального использования. Именно этим объясняется актуальность темы исследования.

Целью статьи ставится раскрытие нового взгляда и подхода на рациональное природопользование, точки зрения комплексного освоения природно-ресурсного потенциала с выдачей рекомендаций по совершенствованию системы государственного регулирования этих отношений.

Материалы и методы

Для решения обозначенной целевой задачи были использованы методы системного, логического, а также аналитического исследования. А именно: анализ нормативной правовой документации, регламентирующей деятельность участников отношений в области природопользования на федеральном уровне, а также метод сравнения, методы дедукции и индукции.

Нормативную основу исследования составили правовые акты: Конституция Российской Федерации, Закон РФ «О недрах», Федеральный закон «Об охране окружающей среды», Гражданский кодекс Российской Федерации, иные нормативные правовые акты, регламентирующие общественные отношения по государственному регулированию и управлению рационального недропользования, Государственные доклады «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации» в 2021 и в 2022 гг, а также стратегические документы РФ в области природопользования и социально-экономического развития.

Обсуждение результатов

Для решения задач в области обеспечения воспроизводства минерально-сырьевой базы Правительством РФ в 2014 принята и утверждена для реализации государственная программа «Воспроизводство и использование природных ресурсов». В этой программе, актуализированной на 28 октября 2024 года, четко сформулированы основные приоритетные направления государственной политики в этой области. Программа согласована и увязана со стратегическими целями развития минерально-сырьевой базы РФ до 2050 года. В ней указаны основные мероприятия, направленные на достижение поставленных целей.

Одной из задач ставится обеспечение рационального использования созданной минерально-сырьевой базы за счет вовлечения месторождений нераспределенного фонда недр, в т.ч. твердых полезных ископаемых. При этом понятие «рациональное использование» не раскрывается.

Множество ученых отмечают, что понятие «рационального недропользования» играет ключевую роль в регулировании правоотношений в сфере использования природных ресурсов, однако этот термин на данный момент не получил официального закрепления в законодательстве. В текущей редакции закона «о Недрах», в частности в статье 23, представлены общие понятия и требования, предъявляемые к рациональному использованию и охране недр. При этом самое значение термина и его правовая суть не приводится. Федеральный закон под этим подразумевает недопущение хищнического использования богатства недр и обеспечение геологического изучения в полном объеме, а также максимальное извлечение полезных ископаемых и сопутствующих компонентов при разработке месторождений. Кроме того, закон акцентирует внимание на защите месторождений от различных природных и техногенных катастроф.

В научной литературе, эти требования тоже находят своей подтверждение. Так, в работе А.Е. Жуковой и М.А. Руленкова, под рациональным использованием недр понимают экономически-эффективное и комплексное использование полезных ископаемых при недопущении негативного воздействия на компоненты природной среды [1].

Таким образом, зачастую под рациональным использованием недр понимают полное и комплексное извлечение полезных компонентов из недр с использованием наиболее эффективных современных технологий разработки и извлечения полезных компонентов из недр земли. Или же под рациональным использованием подразумевают минимизация вредного воздействия на компоненты природной среды при недропользовании.

При этом комплексный подход подразумевает только как извлечение основного полезного компонента и сопутствующего, расположенного в пределах тех же промышленных пластов или во вскрышных породах, но не относящийся к другим природным ресурсам, расположенным в пределах одной природно-технической системы или территории.

Вместе с тем, в ходе геологоразведочных работ вовлекаются большие объемы различных видов природных ресурсов: земельные, лесные, водные. В пределах одной территории могут располагаться различным минеральные ресурсы на разных глубинах. При этом выдача лицензии

осуществляется на конкретный вид полезного ископаемого, что создает существенные сложности и проблемы для получения лицензии на другой вид полезного ископаемого и зачастую это приводит к невозможности отработки этого ресурса.

Недостаточная проработка нормативно-правовых актов в области комплексного использования различных природных ресурсов в пределах одной территории оказывается причиной их нерационального использования.

Решение этих задач видится в разработке нормативно-правовых актов, регламентирующих и регулирующих отношения в области комплексного использования природных ресурсов. Это позволит внедрять комплексный подход к освоению минерально-сырьевой базы, тем самым увеличивая инвестиционную привлекательность территории, обеспечивая более полное освоение природных ресурсов и давая синергетический эффект от такого вида деятельности.

Теоретические основы правового регулирования комплексного природопользования

Геологическое изучение (поисково-оценочные и геологоразведочные работы) сопровождается значительным антропогенным влиянием на экосистему. При этом эксплуатация участков недр без учета воздействия на другие природные ресурсы невозможна из-за их естественной пространственной взаимосвязи в пределах данной территории [2].

Таким образом очевидно, что разведка полезных ископаемых неразрывна связана с различными природными ресурсами, расположенными в пределах этой территории. В ходе отработки месторождения извлекаются земельные, водные, лесные ресурсы, объекты недропользования оказывают воздействие на компоненты природной среды и т.д. В научной литературе наличие взаимообуславливающей связи многих процессов легло в основу экосистемного подхода.

Примером такой практики является предоставление комплексных экологических разрешений, когда контролирующие органы Российской Федерации проводят экологические проверки на основе анализа информации о воздействии на окружающую среду всех элементов этой природно-технической системы, расположенной на рассматриваемой территории.

Таким образом, интегрированный экосистемный подход уже находит отражение в рамках государственного регулирования мероприятий по охране окружающей среды. Авторы полагают, что данный опыт следует адаптировать и распространять на сферу недропользования и природопользования, активно управляя отношениями, связанными с природными ресурсами, через внедрение различных законодательных актов.

При этом, принципы экосистемного подхода должны стать основой для правового регулирования отношений в сфере совместного использования различных природных ресурсов с целью достижения единого экономического результата. К таким взаимодействиям также можно отнести комплексное природопользование в процессе разведки ископаемых.

В связи с чем, необходимо четко определить, что подразумевается под комплексным природопользованием.

Понятие комплексного природопользования находило свое отражение и в п. 2.3 Временного положения о порядке выдачи лицензий на комплексное природопользование, формально акт не отменен, но утратил силу в связи с отменой с 1 июля 2002 года Закона РСФСР от 19 декабря 1991 года N 2060-I «Об охране окружающей природной среды» на основании Федеральных законов от 30 декабря 2001 года N 196-ФЗ, от 10 января 2002 года N 7-ФЗ. Согласно этому документу под комплексным природопользованием понимается использование природно-ресурсного потенциала территории, при котором изъятие одного природного ресурса наносит наименьший ущерб другим природным ресурсам, а хозяйственная деятельность предприятия оказывает в целом минимально возможное воздействие на окружающую природную среду [3].

Необходимость получения лицензий в рамках комплексного природопользования сопоставляла требованиям оформления отдельных разрешений на каждую категорию природных ресурсов, из-за чего бюрократические процедуры значительно усложняли бизнес-процессы. Авторы считают, что именно это стало главным препятствием для широкой практики по ис-

пользованию и выдаче таких лицензий. Тем не менее, сфера государственного управления, связанная с получением лицензий для комплексного освоения природных ресурсов, представляет собой наиболее перспективное и правильное направление с точки зрения рационального использования природно-ресурсного потенциала территории. Такой подход позволяет не только охранять, но и эффективно использовать различные виды природных ресурсов, а не ограничиваться лишь отдельными объектами природопользования. Использование такого подхода позволит увеличить экономическую эффективность освоения природных ресурсов территории через минимизацию вложений на развитие инфраструктуры, тем самым повышая рентабельность объектов освоения.

Согласно данному выше определению, комплексное природопользование имеет несколько основных аспектов, которые могут быть значимыми в современном правовом регулировании.

Первое – связь всех природных объектов и ресурсов расположенных в пределах одной территории, независимо от их использования или не использования человеком.

Второе – необходимость экономической оценки природно-ресурсного потенциала. Очевидно, что при комплексном использовании природно-ресурсного потенциала со стороны государства должна быть проработана и внедрена система оценки и учета имеющихся природных ресурсов. Поскольку все природные ресурсы, расположенные на территории РФ, являются собственностью государства. В связи с чем, следует отметить о необходимости законодательного определения термина «природно-ресурсный потенциал территории», что поспособствует формированию системного подхода в регулировании взаимодействий в сфере комплексного использования природных ресурсов.

Следует отметить, что в современной научной литературе встречаются и методики комплексной оценки природно-ресурсного потенциала [4, 5].

Третий аспект комплексного подхода к природопользованию – необходимость многофакторной оценки объектов комплексного природопользования на социально-экономические условия, состояние инфраструктуры и экологию данной территории с учетом стратегических планов развития Российской Федерации, регионов и муниципальных округов.

В процессе комплексного природопользования в лицензии на право пользования необходимо указывать весь имеющийся состав и объем природных ресурсов территории, чтобы это позволяло достичь наибольшего экономического эффекта в ходе ведения хозяйственной деятельности. При этом надо понимать, что недропользователь придаст существенный импульс социально-экономического развития данной территории. Создаются новые рабочие места, развивается логистическая доступность территории, что может стимулировать развитие туризма и т.д. Конечно все это необходимо увязывать и с экологической нагрузкой на экосистему, чтобы оценивать и управлять рисками возникновения экологических катастроф.

В 2009 году по инициативе законодательного собрания Санкт-Петербурга было принято решение об изменении Федерального закона «Об охране окружающей среды», включая уточнение понятия комплексного природопользования. Запланированные принципы и методологии полностью совпадали с основами, изложенными во Временном положении, утвержденном приказом Минприроды России от 23 декабря 1993 года № 273. К сожалению, данный законопроект был отклонен на первом чтении Государственной Думой.

В законодательстве города Москвы существует специфический закон, касающийся комплексного природопользования. Это Закон Москвы от 2 марта 2005 года № 9 «О комплексном природопользовании в городе Москве» с поправками, внесенными 28 декабря 2022 года. Этот закон определяет комплексное природопользование как использование естественного потенциала территории для осуществления хозяйственной и иной деятельности, включая градостроительную. К сожалению, в данном документе отсутствуют механизмы и инструменты, которые бы способствовали получению комплексных лицензий на природопользование в пределах данной территории. Необходимо, как и ранее, согласно временному положению (Приказ

Минприроды РФ № 273), получать лицензии на каждый вид природного ресурса отдельно, поскольку системное правовое регулирование отношений комплексного природопользования в нормативно-правовых актах федерального уровня – отсутствует.

Вместе с тем проблемы и задачи, в связи с которыми действовало правовое регулирование комплексного природопользования, сохранились. Все это требует отдельной более глубокой проработки вопроса по управлению и регулированию отношений в области комплексного природопользования.

Предложения по совершенствованию нормативно-правовой базы комплексного природопользования

В рамках государственной программы «Воспроизводство и использование природных ресурсов» важной задачей является создание комплексных минерально-сырьевых кластеров (центров, баз) на территории России с целью максимизации экономических и социальных выгод от разработки месторождений полезных ископаемых.

Как было упомянуто ранее, в процессе разработки месторождений полезных ископаемых недропользователь неизбежно взаимодействует с другими природными ресурсами. Этот комплекс природных ресурсов имеет четкое определение в действующем экологическом законодательстве. В частности, в соответствии с пунктом 9 статьи 1 Федерального закона «Об охране окружающей среды» природный комплекс определяется как комплекс функционально и естественно связанных между собой природных объектов, объединенных географическими и иными соответствующими признаками. При этом, в качестве элементов природного комплекса могут рассматриваться различные природные ресурсы.

К сожалению, действующий в настоящее время, регуляторный нормативно-правовой механизм лицензирования и предоставления объектов недропользования не предполагает планирования, оценки и прогнозирования комплексной деятельности по разведке полезных ископаемых из недр земли с учетом рационального использования иных природных богатств.

Для достижения поставленной цели требуется создать и внедрить систему, которая обеспечит эколого-экономическую оценку предполагаемой хозяйственной деятельности природопользователя с учетом всех описанных ранее критериев. Повторимся, что она должна включать не только анализ и экономическую оценку одного объекта природопользования в соответствии с требованиями законодательства по экспертизе запасов, но и учитывать наличие других природных ресурсов, находящиеся в пределах этой экосистемы. При этом важно проводить многофакторный анализ, включающий аспекты состояния и развития инфраструктуры, экологической обстановки на данной территории и социально-экономические условия.

Например, осуществление интегрированной (комплексной) оценки различных направлений использования природных ресурсов может продемонстрировать, что сельскохозяйственная деятельность на землях, предназначенных для разработки месторождения, может быть более эффективной как с точки зрения маржинальности, так и с учетом экологического воздействия.

Следует отметить, что освоение и использование природных ресурсов имеет разное социально-экономическое и экологическое воздействие в различных регионах России и даже в отдельных его частях. При регулировании комплексного природопользования в процессе разведки полезных ископаемых необходимо учитывать особенности конкретной территории. Оценка специфики природопользования в пределах разных территориальных границ должна включать такие факторы, экологическая емкость территории (объем накопленного вреда, существующая техногенная нагрузка от действующих предприятий); потребности и перспективы развития этих территории в региональном плане; заинтересованность со стороны частного бизнеса в инвестировании; необходимость капитального инфраструктурного строительства; уровень социальной напряженности и другие подобные факторы.

Отдельные примеры учета специфики территории природопользования имеются и в настоящее время. Так, по решению губернатора Кемеровской области в 2017 году была при-

остановлена выдача лицензий на добычу угля, а именно: «были отменены пять аукционов Роснедр по разработке угольных участков» [6] поскольку в регионе существует высокая экологическая нагрузка на природные комплексы.

Следовательно, комплексное природопользование должно быть увязано с основными стратегическими документами развития региона.

Авторы считают, что основные положения стратегических документов развития регионов должны носить характер прямого действия, без чего невозможно достижение заданных показателей развития экономики региона и должны быть направлены, в том числе, на создание в его пределах инвестиционной привлекательности для бизнеса и формирование благоприятной экологической обстановки.

Стратегические планы развитию Российской Федерации и ее отдельных регионов содержат локальный (очаговый) характер промышленного освоения территорий. Существует мнение, что подобная тенденция является ключевым фактором, который должен стать основой для разработки специального правового режима для территорий комплексного природопользования.

«Очаговое» освоение территории в промышленно-хозяйственном плане, включая технологическое воздействие на конкретные участки, позволяет уменьшить негативные последствия для экологии региона в целом. При этом, активизация и оптимизация ключевых экономических и логистических ресурсов на ограниченной территории могут привести к значительным социально-экономическим успехам. В научной литературе данная тенденция называется кластерным подходом и считается одной из наиболее эффективных моделей развития [7]. Исследователи, работающие в области кластерного подхода, отмечают, что главной задачей внедрения кластерной политики является достижение интенсивного экономического роста и диверсификация экономики за счет активизации деятельности предприятий-участников кластера, в том числе через улучшение нормативно-правового регулирования. Кроме того, создание эколого-экономических кластеров основано на взаимосвязи их целей с задачами социально-экономического, промышленного и экологического развития региона, а также на принципе предупреждения, который акцентирует внимание на устранении причин возникновения негативного воздействия на окружающую среду, а не только на устранение их последствий [8].

Для реализации и внедрения кластерного подхода в природопользовании, помимо предложений по приданию особого статуса и правового режима территорий комплексного природопользования, целесообразно развитие и совершенствование нормативно-правового регулирования по охране и рациональному использованию природных ресурсов, с учетом исполнения обязательств социально-экономического, экологического и иного характера, со стороны недропользователей. Это позволит согласовать интересы природопользователя с целями и задачами региональных властей, обозначенных в документах стратегического планирования рассматриваемого региона.

Как упоминалось ранее, охрана окружающей среды и освоение природных ресурсов, которые не прописаны в лицензионном соглашении, а соответственно и не находятся в зоне интересов природопользователя, с одной стороны не входят в состав объектов, от которых природопользователи получают экономический эффект, а с другой стороны (природоохранное законодательство), необходимо их защищать и учитывать степень влияния на эти объекты, закладывая компенсационные меры. Соответственно они находятся в тесной юридической связи между собой. При этом, оформление прав на указанные «вторичные» ресурсы, в соответствии с законодательством РФ и индивидуальными правовыми актами очень сильно бюрократизированы. Следовательно, возможность их вовлечения в хозяйственную деятельность сильно усложнена и требует дополнительных финансовых и административных рычагов.

Все эти моменты должны найти отражение в усовершенствованной нормативно-правовой документации, при этом, соблюдая интересы региональных и федеральных властей, послабления со стороны государства должны накладываться и дополнительные обязательства на природопользователей.

К примеру, если природопользователь получает определённого рода послабления в пределах территории комплексного природопользования, то он берет на себя обязательство по строительству и поддержанию объектов гражданской инфраструктуры. При этом, если он не выполняет свои обязательства в рамках социально-экономических проектов, которые отражены в конкурсных технико-экономических предложениях и прописаны в лицензионных соглашениях на право пользования ресурсами данной территории, то это может привести к досрочному прекращению его права на природопользование.

Заключение

Под комплексным использованием природных ресурсов в контексте правового регулирования следует понимать систему общественных отношений, связанную с эксплуатацией природно-ресурсного потенциала определенной территории. Эта система направлена на достижение баланса между экологической и экономической эффективностью, уровнем экологической нагрузки, а также внедрением и применением лучших технологических решений. Важной целью такого подхода является максимальное извлечение и освоение природных ресурсов при условии минимизации негативного влияния техногенных факторов на природные компоненты и предотвращение истощения природных богатств.

Правовое регулирование эффективного пользования природными ресурсами должно учитывать естественную взаимосвязь всех компонентов экосистемы и комплексный характер использования природных ресурсов. Такой подход предполагает необходимость разработки правовых инструментов, включая дефиниции, категории и юридические нормы, которые обеспечивают комплексное природопользование в пределах выявленных территорий.

Введение понятий, касающихся территорий комплексного природопользования, является необходимым шагом. При этом законодательные акты должны содержать определения, процедуру создания и правовой режим таких территорий. Эти площади должны стать объектами особого государственного регулирования, которое будет учитывать интересы природопользователя, региональных властей и жителей, проживающих здесь.

Границы территории комплексного природопользования должны быть зафиксированы в лицензии на природопользование, выданной соответствующим государственным органом. При этом следует учитывать мнение органов власти, отвечающих за контроль по использованию и освоению природных ресурсов, расположенных в пределах этих территорий. Также необходимо учитывать выводы экспертных организаций, содержащие экологическую и экономическую оценку как отдельных объектов природопользования, так и всего природно-ресурсного потенциала территории.

Создание и внедрение в правовое регулирование понятия территория комплексного природопользования с учетом его особенного правового статуса не должно противоречить и исключать существующие механизмы получения прав на использование природных ресурсов. Кроме того, оно должно опираться на существующие эффективно-работающие механизмы, учитывающие индивидуальные характеристики объектов природопользования и используемые при освоении ресурса технологические схемы в пределах всего природного комплекса.

Считаем, что на пользователей природных ресурсов в пределах территорий комплексного природопользования необходимо накладывать дополнительные обязательства, касающиеся развития данной территории. К ним могут относиться: социально-инфраструктурные проекты (строительство дорог, школ, садов и т.д.); экологические проекты, связанные с устранением объектов накопленного вреда, сформированного в предыдущие годы. Эти проекты могут реализоваться не только в пределах территории комплексного природопользования, но вблизи него, обеспечивая близко проживающее население комфортными условиями для жизни. Следовательно, прилегающая территория, должна быть связана с ним юридически, так как развитие этих территории должно осуществляться на балансе интересов природопользователя и региональных властей. Соответственно, законодательство в области комплексного природопользования нуждается в дополнении нормами, которые бы четко определяли правовой режим

территорий комплексного природопользования и территорий, находящихся в зоне его влияния, а также должно содержать обязательства природопользователя на паритетных началах с крайними властями. При этом природопользователю должны быть предоставлены специфические права по отношению к этим землям.

Правовое регулирование комплексного использования природных ресурсов должно учитывать территориальные особенности расположения объектов природопользования и быть интегрировано в стратегические планы развития регионов.

Литература

1. Жукова А.Е., Руленков М.А. Государственное регулирование рационального недропользования. *Теория и практика современной науки*. 2019;(5):221-223.
2. Курницкая А.В. Опыт судебной практики по делам о прекращении права пользования недрами во взаимосвязи с правами на земельные, лесные участки, водные объекты (комплексный подход). *Актуальные проблемы российского права*. 2019;(8):176–182.
3. Приказ Минприроды РФ от 23.12.1993 № 273 «Об утверждении Временного положения о порядке выдачи лицензий на комплексное природопользование». [Электронный ресурс]: URL <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=15293>. (Дата обращения: 20.11.2024г).
4. Красильников П.А., Коноплев А.В., Хронусов В.В., Барский М.Г. Геоинформационное обеспечение экономической оценки природно-ресурсного потенциала территорий Пермского края. *Экономика региона*. 2009;(1):143-151.
5. Пыстина Н.Б., Баранов А.В., Наполов О.Б. Эколого-экономическая оценка природно-ресурсного потенциала осваиваемых территорий полуострова Ямал. *Научно-технический сборник «Вести газовой науки»*. 2013;(2):88–95.
6. Кузбасс прикроет доступ в недра. *Коммерсантъ* // [Электронный ресурс]: URL <https://www.kommersant.ru/doc/3500624> (дата обращения 1.11.2024г).
7. Кулакова Л.И. Кластерный подход – основа эффективного развития регионов. *Российское предпринимательство*. 2013;(22):121–130.
8. Мекуш Г.Е., Ушакова Е.О. Кластерный подход в развитии сибирских регионов. *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2017;(2):3–7.

References

1. Zhukova A.E., Rulenkov M.A. State regulation of rational subsoil use. *Theory and practice of modern science*. 2019;(5):221-223. (in Russian).
2. Kurnitskaya A.V. The experience of judicial practice in cases of termination of the right to use mineral resources in relation to rights to land, forest areas, and water bodies (an integrated approach). *Actual problems of Russian law*. 2019;(8):176–182. (in Russian).
3. Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated December 23, 1993 No. 273 «On Approval of the Temporary Regulations on the procedure for issuing licenses for integrated Environmental Management». [Electronic resource]: URL <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=15293>. (Date of reference: 11/20/2024). (in Russian).
4. Krasilnikov P.A., Konoplev A.V., Chronusov V.V., Barsky M.G.. Geoinformation support for the economic assessment of the natural resource potential of the territories of the Perm Region. *The economy of the region*. 2009;(1):143-151. (in Russian).
5. Pystina N.B., Baranov A.V., Polov O.B. Ecological and economic assessment of the natural resource potential of the developed territories of the Yamal Peninsula. *Scientific and technical collection "News of gas science"*. 2013;(2):88-95. (in Russian).
6. Kuzbass will block access to the bowels. *Kommersant* // [Electronic resource]: URL <https://www.kommersant.ru/doc/3500624> (accessed 11/11/2024). (in Russian).
7. Kulakova L.I. The cluster approach is the basis for effective regional development. *Russian entrepreneurship*. 2013; (22):121-130. (in Russian).
8. Mekush G.E., Ushakova E.O. Cluster approach in the development of Siberian regions. *Interexpo Geo-Siberia*. 2017; (2):3–7. (in Russian).

Об авторах

КРАСИЛЬНИКОВ Павел Анатольевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, ФГАОУ ВО Пермский государственный национальный исследовательский университет, ORCID ID: 0000-0002-0602-6143, ResearcherID: L-4526-2013, Scopus Author ID:57207559948, SPIN:5077-2091, e-mail: geolnauka@gmail.com

СИМОНОВА Раиса Вениаминовна, студент, Нижегородский институт управления – филиал ФГБОУ ВО РАНХиГС

ТАТАРКИН Алексей Викторович, доктор технических наук, профессор, ФГАОУ ВО Пермского государственного национального исследовательского университета, ORCID ID: 0000-0003-4446-5507, ResearcherID: HGD-2355-2022, Scopus Author ID: 55937468700, SPIN: 3177-3869, e-mail: vsto08@mail.com

About the authors

Pavel A. KRASILNIKOV, Doct. Sci (Geology and Mineralogy), Professor, Perm State National Research University, ORCID ID: 0000-0002-0602-6143, ResearcherID: L-4526-2013, Scopus Author ID:57207559948, SPIN:5077-2091, e-mail: geolnauka@gmail.com

Raisa V. SIMONOVA, Student, Nizhny Novgorod Institute of Management – Branch of RANEPА

Alexey V. TATARKIN, Doct. Sci. (Engineering), Professor, Perm State National Research University, ORCID ID: 0000-0003-4446-5507. ResearcherID: HGD-2355-2022, Scopus Author ID: 55937468700, SPIN: 3177-3869, e-mail: vsto08@mail.com

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Authors' contribution

All authors made equivalent contributions to the publication.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Корреспондент автор имеет право и полномочия выступать от имени всех авторов по этому исследованию.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest. The corresponding author has the right and authority to speak on behalf of all authors on this study.

Поступила в редакцию / Submitted 23.01.2025

Принята к публикации / Accepted 10.02.25

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ И МИНЕРАГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВЫ ПОРОД И РУД УРЬИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ (БЕРЕЛЕХСКИЙ РУДНЫЙ РАЙОН, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

Т.И. Михалицына¹, М.И. Фомина²*

¹ Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило, г. Магадан, Российская Федерация

² Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов, г. Москва, Российская Федерация

* tim_66@mail.ru

Аннотация

В статье приводятся результаты исследований минерального состава руд и вмещающих пород трех проявлений золоторудной минерализации в Урьинском рудном поле, входящим в Чай-Юрьинский рудно-россыпной узел Берелехского минерагенического района Яно-Колымского металлогенического пояса. Минералого-петрографические исследования проведены по традиционной методике с акцентом на степень метасоматических изменений и деформаций слагающих породы минералов. Установлено, что золоторудная минерализация парагенетически связана с гидротермально-измененными дайками нера-бохачинского комплекса (J₃nb), по составу отвечающим кварцевым диорит-порфирирам и диорит-порфирирам. Метасоматические изменения представлены двумя типами преобразований – пропилитизацией (хлорит, серицит, эпидот, альбит) и широко развитой березитизацией (кварц, серицит, хорит, карбонат, пирит). На метасоматически преобразованные породы наложены прожилки кварцевого, хлорит-карбонат-кварцевого, карбонат-кварцевого, альбит-карбонат-кварцевого состава с рудной минерализацией. Выявлены три этапа рудообразования – метасоматический, гидротермальный и гипергенный. В метасоматический этап в породе отлагается лейкоксен и ксеноморфный пирит I, (реже) пирротин, халькопирит и сфалерит (с микропримесью Cd). Гидротермальный этап подразделяется на четыре стадии (плутоногенная – I, II) и вулканоплутоногенная (III, IV); три являются продуктивными. С первой стадией связано развитие прожилков друзовидного кварца I, к трещинам которого приурочены глинистые минералы и лимонит; во вторую стадию отлагается висмутсодержащий галенит и высокопробное золото (929 ‰); третья – характеризуется образованием кварц (II)-полевошпатовых прожилков с гнездами карбоната и включением короткопризматического арсенопирита и пирита II. По трещинам катаклаза и в кавернах этих минералов обнаружены полисульфидные минералы и самородное золото (692 ‰). В четвертую стадию происходит формирование прожилков халцедоновидного кварца, содержащего редкую вкрапленность самородного золота, и отложение в породе фрамбоидального пирита, марказита и длиннопризматического арсенопирита. Описанные проявления Урьинского рудного поля по минеральному составу и вмещающей среде могут быть отнесены к золото-кварцевой рудной формации дайкового типа.

Ключевые слова: Урьинское рудное поле, Верхний и Нижний Власыч, месторождение Шахтное, рудовмещающие породы, дайковый тип, петрографический состав, березитизация, руда, рудная минерализация, золото-кварцевая формация, минеральные парагенезисы.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы НИР Рудообразующие процессы и системы в истории формирования главных тектонических структур арктической и тихоокеанской континентальных окраин Северо-Востока Азии (№ гос.рег. 121031700301-5) и при финансовой поддержке Хоз.договора между ООО «Золотодобывающая корпорация» и Северо-Восточным комплексным научно-исследовательским институтом им. Н.А. Шило.

Благодарности. Авторы выражают искреннюю благодарность руководству ООО «Золотодобывающая Корпорация» в возможности проведения полевых работ на исследуемой площади. Также авторы благодарят к.г.-м.н. Соцкую О.Т., директора ЦКП СВКНИИ за выполнение микроминералогических работ. Особую признательность авторы выражают рецензенту, д.г.-м.н. Н.Е. Савве за объективные и конструк-

тивные замечания, исправления которых значительно улучшили работу. Отдельно хочется отметить работу ответственного редактора Шепелевой Я.П. поддерживающей оперативную связь с авторами во время работы над публикацией и консультирующей по всем возникающим вопросам.

Для цитирования: Михалицына Т.И., Фомина М.И. Петрографический и минераграфический составы пород и руд Урьинского рудного поля (Берелехский рудный район, Северо-Восток России). *Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле»*. 2025;(1):23-42. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-23-42

Original article

PETROGRAPHIC AND MINERALOGRAPHIC COMPOSITIONS OF ROCKS AND ORES OF URYINSKY ORE FIELD (BERELEKHSKY ORE DISTRICT, NORTHEAST OF RUSSIA)

Tatiana I. Mikhailitsyna T.^{1}, Marina I. Fomina²*

¹ N. A. Shilo North-East Interdisciplinary Research Institute, Magadan, Russian Federation

² Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals,
Moscow, Russian Federation

* tim_66@mail.ru s

Abstract

The article presents the results of studying the mineral composition of ores and host rocks of three manifestations of gold ore mineralization in the Uryinsky ore field, which is part of the Chay-Yurinsky ore-placer unit of the Berelekh mineralogical region of the Yano-Kolyma metallogenic belt. Mineral and petrographic studies were carried out according to the traditional method with an emphasis on the degree of metasomatic changes and deformations of the constituent minerals. It was established that gold ore mineralization is paragenetically related to hydrothermal-altered dikes of the Nera-Bohapchinsky complex (J3nb), which in composition correspond to quartz diorite-porphyrates and diorite-porphyrates. Metasomatic changes are represented by two types of transformations: propylitization (chlorite, sericite, epidote, albite) and widely developed beresitization (quartz, sericite, chlorite, carbonate, pyrite). Veins of quartz, chlorite-carbonate-quartz, carbonate-quartz, albite-carbonate-quartz composition with ore mineralization are superimposed on metasomatically transformed rocks. Three stages of ore formation were identified – metasomatic, hydrothermal and hypergenic. During the metasomatic stage, leucoxene and xenomorphic pyrite I, (less commonly) pyrrhotite, chalcopyrite and sphalerite (with a micro-mixture of Cd) are deposited in the rock. The hydrothermal stage is divided into four stages (plutonogenic – I, II) and volcanic-plutonogenic (III, IV); three are productive. The first stage is associated with the development of veins of drusoid quartz I, to the cracks of which clay minerals and limonite are confined; in the second stage, bismuth-containing galena and high-grade gold (929 ‰) are deposited; the third stage is characterized by the formation of quartz (II) feldspar veins with carbonate nests and the inclusion of short-prismatic arsenopyrite and pyrite II. Polysulfide minerals and native gold (692 ‰) were found along the cracks of the cataclase and in the caverns of these minerals. In the fourth stage, veins of chalcedony-like quartz are formed, containing rare inclusions of native gold, and frambooidal pyrite, marcasite and long-prismatic arsenopyrite are deposited in the rock. The described manifestations of the Uryinsky ore field in terms of mineral composition and host medium can be attributed to the gold-quartz ore formation of the dyke type.

Key words: Uryinsky ore field, Upper and Lower Vlasych, Shakhtnoye deposit, ore-bearing rocks, dyke type, petrographic composition, beresitization, ore, ore mineralization, gold-quartz formation, mineral paragenesis.

Funding. The work was carried out within the framework of the research topic Ore-forming processes and systems in the history of the formation of the main tectonic structures of the Arctic and Pacific continental margins of Northeast Asia (state registration No. 121031700301-5) and with the financial support of the Contract between Gold Mining Corporation LLC and the North-East Comprehensive Research Institute named after N.A. Shilo.

Acknowledgments. The authors express their sincere gratitude to the management of Gold Mining Corporation LLC for the possibility of conducting field work on the study area. The authors also thank Ph.D. Sotskaya O.T., director of the Central Committee of the SVKNII for performing micromineralogical work. The authors express special gratitude to the reviewer, Doctor of Medical Sciences N.E. Savve for objective and

constructive comments, the corrections of which significantly improved the work. Separately, I would like to note the work of the responsible editor Shepeleva Y.P. maintaining prompt communication with the authors while working on the publication and advising on all emerging issues.

For citation: Mikhailitsyna T.I., Fomina M.I. Petrographic and mineralogical composition of rocks and ores of the Urinsky ore field (Berelekh ore district, Northeast Russia). *Vestnik of North-Eastern Federal University. "Earth Sciences"*. 2025;(1):23-42. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-23-42

Введение

Рассматриваемая территория, начиная, с конца 30-х годов прошлого века и по настоящее время привлекает особое внимание, в связи с уникальностью, открытой в 1936 году Чай-Юрьинской россыпи золота и высокой вероятностью нахождения соответствующих ей по масштабам коренных источников. В последнее десятилетие в результате поисковых и разведочных работ ООО «БарГолд» и ООО «Золотодобывающая Корпорация» в центральной части Чай-Юрьинского рудно-россыпного узла было выявлено золоторудное месторождение Шахтное и ряд рудопоявлений, объединенных в Урьинское рудное поле (далее РП).

Целью исследований является изучение петрографического состава рудовмещающих пород и минерального состава руд с акцентом на выявление их метасоматических преобразований и последовательности формирования золоторудной минерализации.

Материалы и методы

Для аналитических исследований использовался авторский материал двух полевых сезонов, отобранный из поверхностных и подземных горных выработок. Петрографические исследования проводились по классической методике. Процентное соотношение минералов в шлифах установлено полуколичественным методом с помощью визуальной оценки площади минеральных зерен в 10-20 полях зрения (в зависимости от зернистости породы) и последующего подсчета средних значений [1]. Минералого-петрографические исследования (более 200 препаратов) осуществлялись под микроскопом Axioplan Imagin ZEISS с использованием объективов и окуляров различного увеличения (от 25 до 1000). В аншлифах все минералы определялись на основании оптических свойств минералов в отраженном свете. На фотографиях при микросъемке использовались объективы '2,5 – поле зрения 10 мм, объектив '10 – 2,2 мм, объектив '20 – 1,1 мм, объектив '50 – поле зрения соответствует 0,84 мм и объектив '100 – 0,44 мм. Изучение химического состава рудных минералов выполнено с использованием микроанализатора Camebax с ЭДС-детектором X-Max-50 Oxford Instruments и программным обеспечением AZtec, режим Point ID; предел обнаружения элементов составляет 0,3 мас. %, диаметр электронного луча 3–4 мкм. (Северо-Восточный ЦКП, СВКНИИ ДВО РАН, г. Магадан, аналитик – О. Т. Соцкая).

Результаты и обсуждение

Объект исследований расположен в пределах Чай-Юрьинской рудно-россыпной площади, локализованной в зоне сочленения двух региональных структур Яно-Колымского орогенного пояса – Аян-Юряхского антиклинория (юго-запад) и Иньяли-Дебинского синклинория (северо-восток) (рис. 1). Для данных структур характерны линейная складчатость и преобладание разрывных нарушений северо-западного простирания, являющихся основными тектономагматическими структурами, вмещающими многочисленные дайки, многие из которых золоторудные. Границей служит Чай-Юрьинский глубинный разлом, который в современном рельефе прослеживается вдоль долины реки Чай-Урья. Разлом сопровождается интенсивной зоной деформации шириной 4–6 км, имеющей северо-западное простирание с общим падением на юго-запад и левосторонним взбросово-сдвиговым типом смещения.

По металлогеническому районированию Урьинское рудное поле входит в состав Чай-Юрьинского рудно-россыпного узла и относится к Берелехскому минерагеническому району Яно-Колымского металлогенического пояса [3].

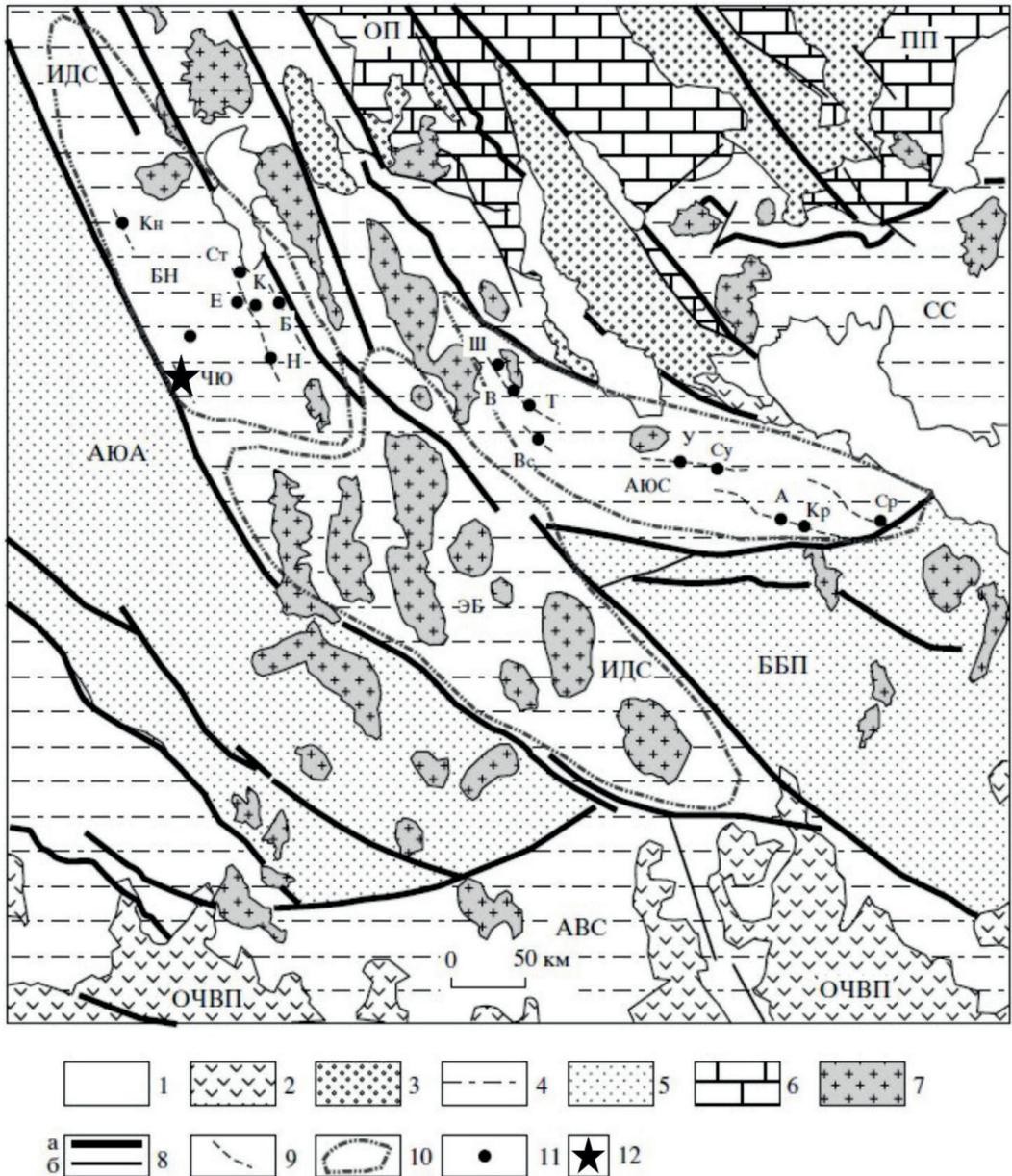


Рис. 1. Тектоническая позиция свит золотоносных даек [2].

Условные обозначения: 1 – молассы неотектонических впадин; 2 – ниже-верхнемеловые вулканогенные отложения ОЧВП; 3 – верхнеюрские терригенно-вулканогенные молассы краевых прогибов и рифтов; 4 – тонко-терригенные формации синклинориев Яно-Кольмской системы: ИДС – Ингьяли-Дебинский, СС – Сугойский; АВС – Армано-Вилигинский; 5 – тонко-терригенные формации антиклинориев и поднятий Яно-Кольмской системы: АЮА – Аян-Юрхский, ББП – Буюндино-Балыгчанское, 6 – рифейско-среднепалеозойский структурный этап: терригенно-карбонатные и кремнистые шельфовые формации окраинных поднятий и срединных массивов: ПП – Прикольмское, ОП – Омулёвское; 7 – мезозойские гранитоидные массивы; 8 – тектонические нарушения: крупнейшие (а), прочие (б); 9 – свиты золотоносных даек; 10 – металлогенические зоны: АЮС – Ат-Юрх-Среднеканская, БН – Берелёх-Нексиканская, ЭБ – Элгынья-Бохапчинская; 11 – основные месторождения золота в дайках: А – Арик; Б – Богатырь, В – Восточное, Вс – Веселое, Е – Евгар, К – Корта, Кн – Контрадинское, Кр – Крохалино, Н – Новое, Ср – Среднеканское, Ст – Стахановское, Су – Сурьянская, Т – Транспортная, У – Утинское, ЧЮ – Чай-Юринское, Ш – Штурмовское; 12 – Чай-Юрьинский РРУ

Fig. 1. Tectonic position of gold-bearing dyke suites [2].

Legend: 1 – molasses of neotectonic depressions; 2 – Lower-Upper Cretaceous igneous sediments; 3 – Upper Jurassic terrigenous-volcanic molasses of marginal deflections and rifts; 4 – thin-terrigenous formations of synclinaloriums of the Yano-Kolyma system: IDS – Inyali-Debinsky, SS – Sugoysky; ABC – Armano-Viliginsky; 5 – finely graded formations of anticlinoriums and uplifts of the Yana-Kolyma system: AYAA – Ayan-Yuryakhsky, BBP – Buyundino-Balygychanskoye, 6 – Riphean-Middle Paleozoic structural floor: terrigenous-carbonate and siliceous shelf formations of marginal uplifts and middle massifs: PP – Prikolymnskoye, OP – Omulevskoye; 7 – Mesozoic granitoid massifs; 8 – tectonic faults: major (a), other (b); 9 – suites of gold-bearing dykes; 10 – metallogenic zones: AYS – At-Yuryakh-Srednekanskaya, BN – Berelyokh-Nexikanskaya, EB – Elegynya-Bohapchinskaya; 11 – the main gold deposits in the dikes: A – Arik; B – Bogatyr, V – Vostochnoye, Vs – Veseloe, E – Evgar, K – Korota, Kn – Kontradinskoye, Kr – Krokhalinoye, N – Novoye, Sr – Srednekanskoye, St – Stakhanovskoye, Su – Surmyanaya, T – Transportnaya, U – Utnaya, CHU – Chai-Urinskoye, Sh – Sturmovskoye; 12 – Chai-Urinsky RRU

Урьинское рудное поле включает в себя рудопроявления *Нижний и Верхний Власыч*, Приисковый (в данной работе не рассматривается) и *месторождение Шахтное*. Территория сложена морскими терригенными, вулканогенно-терригенными породами от триаса до средней юры. Литологически породы сходны друг с другом, отличаясь типом переслаивания песчаников, алевролитов и сланцев, мощностями отдельных прослоев, текстурой. Для юрских отложений характерными особенностями являются повышенная кремнистость, карбонатность и наличие туфогенной примеси. Осадочные отложения прорваны штокообразными интрузивными телами и многочисленными дайками, образующими ареалы разнообразной формы и направления. Основной тип золоторудной минерализации Урьинского рудного поля в целом парагенетически связан с дайками нера-бохапчинского комплекса.

На площади Урьинского рудного поля вмещающие породы преобразованы широко развитыми метаморфическими и метасоматическими процессами. Породы регионально-метаморфизованы в условиях зеленосланцевой фации и подразделяются на хлорит-серицитовую и стильпномелановую субфации и более высокотемпературную эпидот-амфиболитовую фацию. Все последующие метаморфические изменения наложены на зеленосланцевую фацию.

Регионально-плутонические преобразования пород, контролируются зонами Чай-Юрьинского разлома и сопровождаются кальциево-железисто-магнезиальным метасоматозом, где минералами-индикаторами являются ильменит, кордиерит или андалузит. Контактный метаморфизм, обусловленный внедрением интрузивных массивов, выделяется полями ороговикованных пород, которые фиксируют нескрытые интрузии. Динамометаморфические преобразования, интенсивно проявленные в зонах стрессового воздействия, имеют площадное развитие. В породах частично утрачивается первичная осадочная структура, отмечается перераспределение углеродистого вещества, миграция его в плоскости сланцеватости и переотложение совместно с гидрослюдами, серицитом, биотитом (стильпномеланом).

Главными жильно-метасоматическими минералами *на всех участках* являются кварц, полевой шпат (альбит), карбонаты (\pm анкерит) формирующие прожилки и жилы (рис. 2). Пустоты и трещины в жилах заполняются карбонатом, а в их зальбандах развиваются глинистые минералы (рис. 2 д, е). Необходимо также отметить, что на всех участках в разной степени проявлен актинолит (рис. 2, ж, з).

В рудах обнаружено три разновидности кварца: *кварц I* – мелкокристаллический, друзовидный, прозрачный до полупрозрачного, серо-белого цвета, трещиноватый, слабо лимонитизированный. Отлагается в призальбандовых частях прожилков, либо формирует редкие самостоятельные прожилки мощностью до 1,8 мм (рис. 2, а); *кварц II* – крупно- до скрытокристаллического, полупрозрачный, бело-серый, трещиноватый, по трещинам лимонитизированный. Заполняет пространство между кристаллами кварца I. Выделяются две фазы его внедрения: с первой связано формирование кварцевых жил, содержащих крупное высокопробное золото,

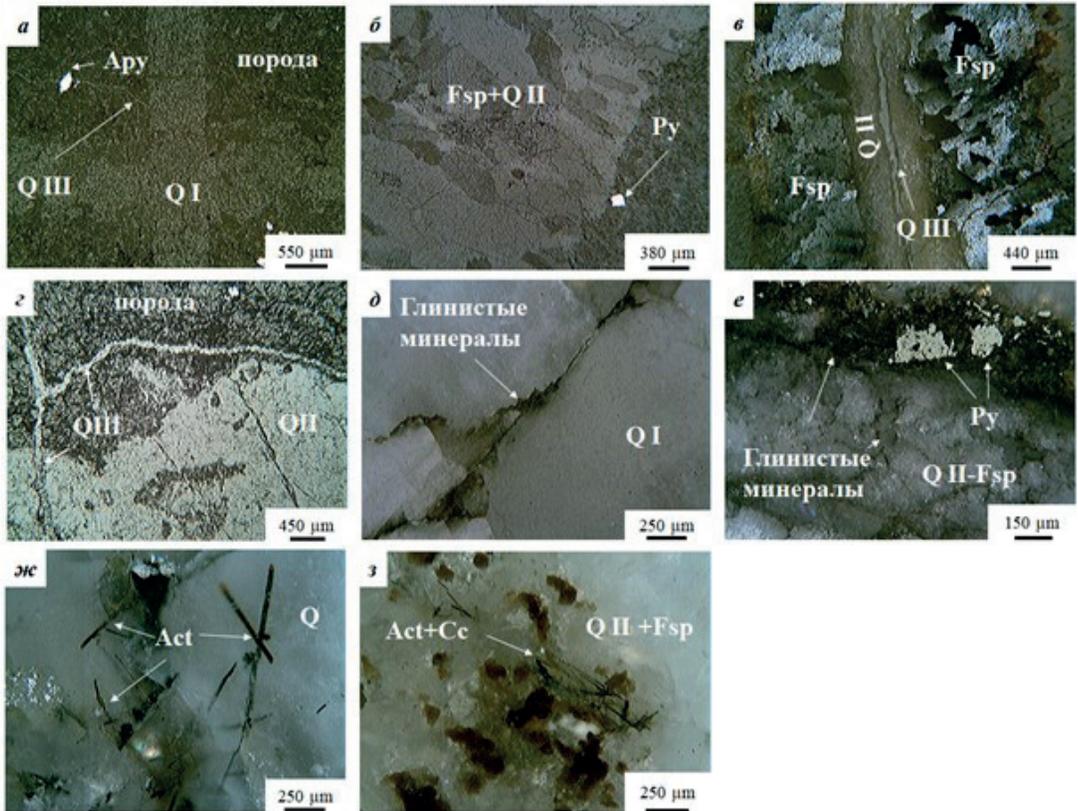


Рис. 2. Жильно-метасоматические минералы Урьинского рудного поля:

а) пересечение породы (с включением арсенопирита) кварцем I и микропрожилками кварца III; б) кварц (II)-полевошпатовый прожилок в породе, в зальбанде включение пирита; в) кварц III пересекает кварц II в обрамлении которого развиваются полевые шпаты; г) кварц III пересекает породу и кварц II; д) отложение глинистых минералов между кристаллами кварца I; е) развитие глинистых минералов на контакте с породой. В зальбанде отлагается пирит; ж) включение актинолита в кварце; з) включения актинолита и карбоната в кварц (II)-полевошпатовом прожилке. *Примечание:* Q – кварц, Fsp – полевошпат, Cc – карбонат, Act – актинолит, Py – пирит, Apy – арсенопирит

Fig. 2. Vein-metasomatic minerals of the Urinsky ore field:

а) rock intersection (with the inclusion of arsenopyrite) with quartz I and microregions of quartz III; б) quartz (II)-feldspar veins in the rock, pyrite inclusion in the zальband; в) quartz III crosses quartz II, framed by feldspars; г) quartz III crosses rock and quartz II; д) deposition of clay minerals between quartz crystals I; е) development of clay minerals in contact with the rock. Pyrite is deposited in the zальband; ж) inclusion of actinolite in quartz; з) inclusion of actinolite and carbonate in quartz (II)-feldspar vein. Note: Q – quartz, Fsp – feldspar, Cc – carbonate, Act – actinolite, Py – pyrite, Apy – arsenopyrite

срастающиеся с висмутсодержащим галенитом; вторая входит в состав полевошпат-карбонат-кварцевых прожилков, в которых установлена золото-полисульфидная минерализация. Кварц II образует не выдержанные по мощности (от 0,5 до 4 мм) линзы и прожилки, пересекается кварцем III; кварц III – халцедоновидный, выполняет трещины в породе и кварце II (рис. 2, в, г). На месторождении Шахтное в нем установлены микровключения самородного золота.

Полевой шпат (альбит) – мелкокристаллический, темноокрашенный, преимущественно отлагается в зальбандах кварцевых прожилков (см. рис. 2, в). Мощность полевошпатовых зальбандов часто выдержанная и составляет 1,5 мм.

В образцах выделяются две генерации карбоната: *карбонат I* – встречается в виде обломков небольших кристаллов в карбонате II. Размер от 0,07 до 0,12 мм; *карбонат II* – скрытокристаллический, слабо лимонитизированный (рис. 2, з), заполняет пустоты в кварце II и формирует в нем прожилки мощностью до 0,1 мм. Содержит спорадическую вкрапленность халькопирита, в редких случаях корродирует пирит.

Оруденение Верхний Власыч (площадь около 5 км²) расположено в бассейне руч. Власыч, левого притока р. Чай-Урья (рис. 3, а, б). В структурном плане оруденение приурочено к зоне смятия обрамляющей Чай-Юрьинский разлом. Вмещающие породы представлены тектонически дислоцированными нижнеюрскими отложениями кадыкчанской свиты – переслаивающимися глинистыми сланцами, алевролитами, песчаниками с прослоями вулканогенно-осадочных туфогенных пород (туфы среднего состава, туфоалевролиты) (рис. 3, д, е). Простираение пород преимущественно северо-западное, падение крутое. Терригенные породы вмещают свиту даек диорит-порфиринов с многочисленными апофизами, общей мощностью до 40–45 м и протяженностью более 500 м; мощность отдельных тел варьирует от 2 до 10 м (рис. 3, а, б). На контакте с дайками, осадочные породы пронизаны кварцевыми прожилками, образующими жильно-прожилковые зоны сложного строения.

Вмещающие породы, представленные туфоалевролитами (рис. 3, д, е) характеризуются бластоавлевропелитовой структурой, слабо проявленной пятнистой текстурой. Состав: Q40 % + Pl(An₂₂₋₃₀)40 % + связующая масса (Q + src ± h) 15 % + (stp + src ± h) 5 % ± src. Обломочный материал составляет около 80 %, неправильной, угловатой, изометричной формы (рис. 3, д, е). Связующая масса (до 15 %) пирокластическая пепловая перекристаллизована в гидрослюдисто-серицит-кварцевый агрегат; наблюдается обрастание первичных кварцевых зерен кварц-слюдистой каймой с субпараллельным расположением мельчайших индивидов (рис. 3, е). По всей связующей массе породы в виде рассеянной вкрапленности и неоформленных скоплений развиты поздние бурые стильпномелан-гидрослюдисто-серицитовые скопления (до 5 %). Встречаются также рассеянные одиночные смятые пластинки серицита (размером до 0,02'0,6 мм), по оптическим свойствам приближающиеся к мусковиту. В породе отмечаются прожилки мощностью 0,1 – 0,15 и 0,25 – 0,4 мм, сложенные безрудным параллельношестоватым кварцем (рис. 3, д). Они пересекают участки окварцованной, серицитизированной связующей массы туфоалевролита и перекрываются более поздними выделениями гидрослюды и стильпномелана. Вторичные изменения (до 25 %) представлены: девитрификацией, окварцеванием и серицитизацией пепловой связующей массы алевролита (1); развитием стильпномелан-гидрослюдисто-серицитовой ассоциации (2); поздней более высокотемпературной серицитизацией (3).

Рудовмещающие кварцевые диорит-порфириды интенсивно преобразованы гидротермально-метасоматическими процессами от березитизированных пород до полнопроявленных березитов (рис. 3, в, г). Для них характерны массивная (рис. 3, в), сланцеватая и пятнистая текстуры. Первичная мелкозернистая порода частично или полностью преобразована в лепидогранобластовый агрегат хлорит-карбонат-серицит-кварцевого состава (рис. 3, г).

Березитизированные диорит-порфириды и вмещающие их породы пронизаны сетью разноориентированных прожилков и маломощных кварцевых, полевошпатово-кварцевых, хлорит-карбонат-кварцевых, карбонат-кварцевых жил с включением рудной минерализации (золото-арсенипирит-пирит). Продуктивные зоны прожилкования характеризуются юго-восточным падением, мощностью от первых метров до 10-15 (рис. 3, а, б).

В осадочных и вулканогенно-осадочных породах мощность рудных прожилков не превышает первые сантиметры (5-10 мм), следует отметить, что более высокая интенсивность прожилкования развита в песчаных алевролитах, нежели в туфогенных породах (в среднем количество прожилков составляет от 3 до 10 на пог. метр).

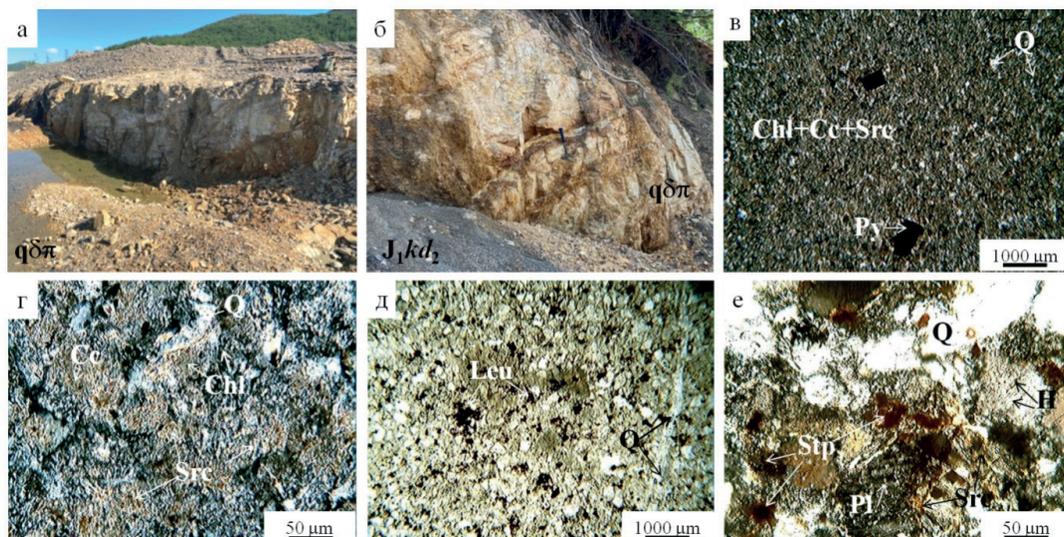


Рис. 3. Участок Верхний Власыч. Березитизированная дайка диорит-порфировитов:

а – выходы дайки в стенке траншеи, б – выходы дайки в борту канавы. Хлорит-карбонат-кварцевый метасоматит (полнопроявленный березит) шлиф с анализатором: в – перекристаллизованная массивная структура, г – лепидогранобластовый агрегат хлорит-карбонат-серицит-кварцевого состава. Туфоалеуrolит, шлиф с анализатором: д – секущий кварцевый прожилок, включения лейкоксена по массе породы; е – развитие стилипноmelана в составе цементирующей массы. *Примечание.* Q – кварц, Pl – плагиоклаз, Py – пирит, Stp – стилипноmelан, Src – серицит, H – гидрослюда, Cc – карбонат, Chl – хлорит.

Fig. 3. Upper Vlasych site. Beresitized dike of diorite-porphyrites:

а – dike exits in the trench wall, б – dike exits on the side of the ditch. Chlorite-carbonate-quartz metasomatite (fully developed beresite) thin section with analyzer: в – recrystallized massive structure, г – lepidogranoblastic aggregate of chlorite-carbonate-sericite-quartz composition. Tufoaleurolite, thin section with analyzer: д – secant quartz veins, leucoxene inclusions by rock mass; е – development of stilpnomelan in the cementing mass. *Note:* Q – quartz, Pl – plagioclase, Py – pyrite, Stp – stilpnomelan, Src – sericite, H – hydromica, Cc – carbonate, Chl – chlorite.

Количество сульфидных минералов на участке Верхний Власыч в среднем составляет 1,6 % при дисперсии этого показателя от единичных знаков до 4 % (максимальное количество). Рудная минерализация представлена пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, галенитом, пирротинном, сфалеритом, блеклой рудой и самородным золотом (рис. 4). Наибольшим распространением пользуются пирит и арсенопирит.

Пирит в породе встречается в виде ксеноморфных агрегатов и мелко- до крупнокристаллических идиоморфных кристаллов кубического и пентагондодекаэдрического габитуса. В шлифах установлено три разновидности пирита. *Пирит I* отлагается по трещинам или в виде включений в породе; мелкокристаллический, формирует линзовидные скопления согласно слоистости. Некоторые зерна частично по периферии и по трещинам катаклаза замещены лимонитом. Линзы пирита обрамляются мелкочешуйчатым лейкоксеном. Размер агрегатов от 0,1 до 0,2 мм. *Пирит II* формируется на контакте породы и кварца. Средне-крупнокристаллический, слабо трещиноватый, корродируется карбонатом. В более крупных агрегатах отчетливо видны грани роста, подчеркнутые мелкокристаллическим преобразованным пиритом III (рис. 4, з). Срастается с арсенопиритом, халькопиритом и блеклой рудой, а также содержит включения пирротина, арсенопирита, халькопирита и галенита (рис. 4, б-е). По трещинам катаклаза и по периферии лимонитизирован (до 90 %). Размер от 0,2 до 1,8 мм. По своему составу пирит I и

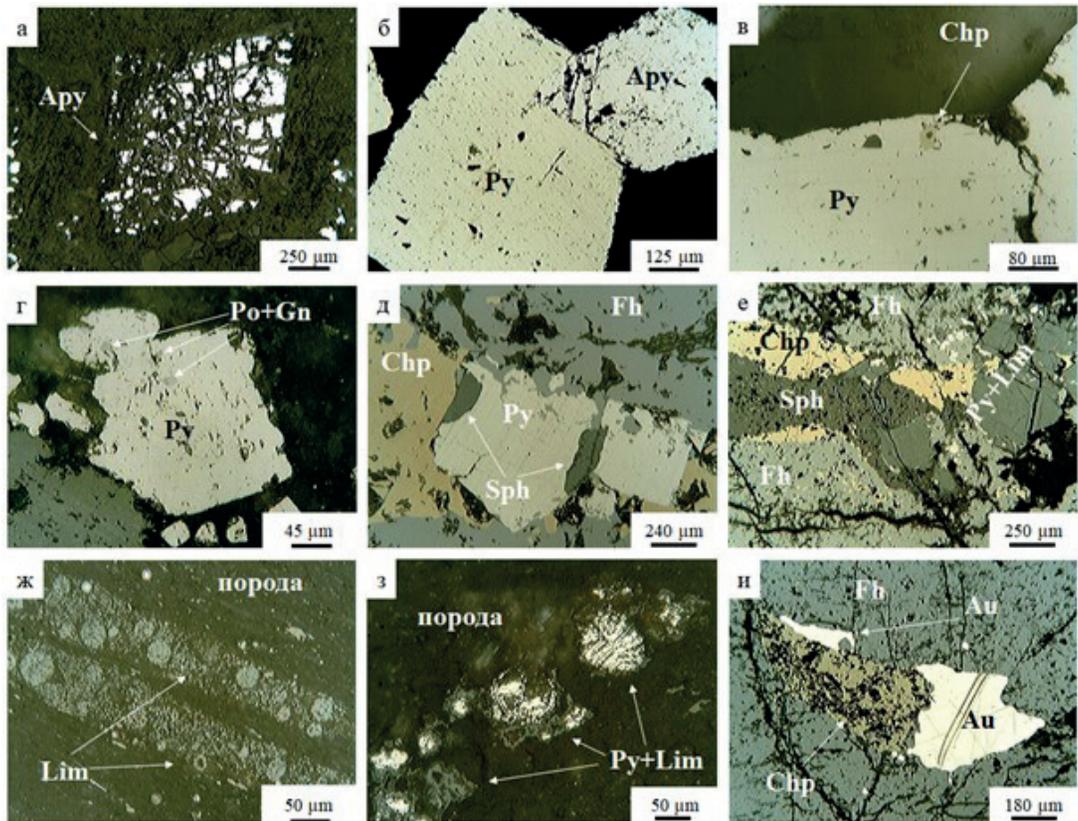


Рис. 4. Взаимоотношения рудных минералов на участке Верхний Власыч:

а) катаклазированный арсенопирит короткопризматического габитуса; б) срастание пирита и арсенопирита; в, г) включения в пирите: в – халькопирита, г – пирротина и галенита; д, е) ассоциация блеклой руды с пиритом, халькопиритом и сфалеритом; ж, з) фрамбоиды пирита III в разной степени замещенные лимонитом; и) включение самородного золота и халькопирита в блеклой руде. *Примечание:* Апу – арсенопирит, Py – пирит, Chp – халькопирит, Po – пирротин, Gn – галенит, Fh – блеклая руда, Sph – сфалерит, Lim – лимонит, Au – самородное золото.

Fig. 4. Relationships of ore minerals in the Upper Vlasych site:

а) cataclased arsenopyrite of short-prismatic habitus; б) fusion of pyrite and arsenopyrite; в, г) inclusions in pyrite: в – chalcopyrite, д – pyrrhotite and galena; е, ф) association of faded ore with pyrite, chalcopyrite and sphalerite; г, h) pyrite III framboids substituted with limonite to varying degrees; и) inclusion of native gold and chalcopyrite in faded ore. Note: Apy – arsenopyrite, Py – pyrite, Chp – chalcopyrite, Po – pyrrhotine, Gn – galena, Fh – fahllore, Sph – sphalerite, Lim – limonite, Au – native gold.

пирит II стехиометричные (таблица 1). *Пирит III* образует мелкие, идиоморфные кристаллы, отлагающиеся по граням роста пирита II или формирует фрамбоиды. Мелкие кристаллики, частично или полностью замещены марказитом, и обрамляются лимонитовой рубашкой (либо нацело замещаются лимонитом) (рис. 4, ж, з). Между кристаллами развивается галенит. Размер кристалликов от 0,01 до 0,05 мм; размер сферул не превышает 0,066 мм. В составе пирита III отмечается микропримесь As (от 0,18 до 1,76 %) (таблица 1).

На участке установлены кристаллы *арсенопирита* двух морфологических разновидностей: длинно- и короткопризматическая. Сильно катаклазированный и кавернозный, частично замещён лимонитом. В образцах встречаются единичные включения в породе, а также скопления обломков короткопризматических кристаллов, срастающихся с пиритом (рис. 5, а, б). Размер от

Химический состав рудных минералов Уринского рудного поля (участки Верхний Власыч, Нижний Власыч, Шахтный) Таблица 1

Chemical composition of ore minerals of Urinsky ore field (Upper Vlasych, Lower Vlasych, Shakhtny areas) Table 1

Минерал (количество замеров)	Химический состав, вес. %													
	Pb	Bi	Se	S	Fe	Zn	As	Cu	Cd	Ag	Co	Ni	Sb	Au
Галенит (83) Pb _{1,03} S _{0,97}	80,35- 87,77			11,42- 13,71										
Се-галенит (48) Pb _{1,02} (Se _{0,02} S _{0,96}) _{0,98}	83,62- 87,79		0,32- 1,03	11,28- 13,40										
Се-Fe-галенит (10) (Fe _{0,24} Pb _{0,74}) _{0,98} (Se _{0,02} S _{1,00}) _{1,02}	64,63- 81,35		0,49- 1,15	13,60- 21,22	4,41- 12,42									
Ві-галенит (21) Pb _{0,98} Bi _{0,01} S _{1,00}	83,20- 86,53	0,28- 1,66	0,00- 0,75	12,91- 14,11										
Пирит (268) Fe _{1,00} S _{2,00}				50,73- 55,05	42,59- 48,72									
As-пирит (120) Fe _{1,00} (As _{0,01} S _{1,99}) _{2,00}				9,79- 54,59	43,17	0,00- 3,69	0,18- 1,76							
Арсенопирит (88) Fe _{1,01} As _{0,91} S _{1,08}				20,31- 23,39	33,24- 36,54		40,29- 45,30							
Сфалерит (7) (Zn _{0,9} Fe _{0,02}) _{0,97} S _{1,02}				33,14- 34,20	1,16- 7,76	56,69- 65,58		0,00- 3,33						
Fe-сфалерит (5) (Zn _{0,80} Fe _{0,18}) _{0,98} S _{1,03}				32,61- 43,77	9,95- 17,18	41,26- 54,35								
Сфалерит с примесью Fe и Cd (Zn _{0,9} Fe _{0,07} Cd _{0,01}) _{0,98} S _{1,02}				32,59- 34,69	5,19- 8,08	55,10- 58,54			0,71- 1,32					
Халькопирит (102) Cu _{0,94} Fe _{0,02} S _{1,02}				25,77- 41,90	24,53- 36,41			22,74- 35,28						
Герсдорфит (12) (Fe _{0,39} Co _{0,04} Ni _{0,57}) _{1,00} As _{0,93} S _{1,07}				19,67- 21,15	12,09- 13,74		39,96- 41,35			0,00- 2,18		19,10- 20,74	0,00- 3,72	
Пирротин (86) Fe _{0,93} S _{1,07}				34,63- 51,47	51,47- 63,12									
Блеклая руда (или минераль- ные смеси, близкие по составу к блеклым рудам) (70)	0,00- 8,06			0,00- 27,24	1,80- 27,99	0,00- 5,29		6,31- 34,88		0,00- 41,66			0,00- 30,23	
Самородное золото I (22)														67,30- 70,99
Самородное золото II (114)														84,27- 95,60

Примечание. Аналитик О. Т. Соцкая, Sameбах, Северо-восточный ЦКП, г. Магадан

0,033 до 2 мм. Арсенопирит сернистый (см. таблицу 1) – среднее отношение S/As составляет 1,24 (среднее содержание S 36,6 ат. % и As – 29,5 ат. %), что характерно для арсенопирита, генетически связанного с золото-кварцевой формацией [4, 5].

Халькопирит представлен ксеноморфными агрегатами, обнаруженными в свободном состоянии в кварце и в сростании с пиритом, блеклой рудой, сфалеритом и самородным золотом. Кавернозный. По периферии зерен развивается ковеллин и лимонит. Размер от 0,001 до 0,25 мм. Состав минерала стехиометричный, но с небольшим превышением серы (таблица 1).

Галенит и *пирротин* встречаются в единичных количествах в кварце, карбонате и пирите. Размер агрегатов от 0,007 до 0,25 мм.

Сфалерит формирует ксеноморфные агрегаты, отлагающиеся по трещинам и по периферии галенита. Срастается с пиритом, халькопиритом и блеклой рудой, и пространственной ассоциации с самородным золотом.

В сфалерите установлена эмульсионная вкрапленность халькопирита (размер 0,11 мм). По составу выделяется маложелезистый сфалерит (Fe от 1,16 до 4,49 %) и высокожелезистый – до 17,18 % Fe (таблица 1).

Блеклая руда (или минеральная смесь близкая по составу к блеклым рудам) образует крупные интерстициальные включения в кварце (до 12 мм). Агрегаты массивные, трещиноватые. По трещинам и периферии замещаются лимонитом. Срастается с халькопиритом, пиритом и сфалеритом. Содержит включения самородного золота. Состав блеклых руд нестабильный – от теннантит-тетраэдрита до фрейбергита (содержание Ag варьирует от 0 до 41,66 %). При этом установлены содержания Fe от 1,8 до 30 %, а Zn от 0 до 5,29 % (таблица 1).

Самородное золото на участке Верхний Власыч встречается в виде относительно крупных ксеноморфных включений в блеклой руде (рис. 4, и). Ассоциирует с халькопиритом, пиритом и сфалеритом. Размер 0,03-0,4 мм. По данным микрозондового анализа средняя пробность самородного золота 692 ‰, при вариациях этого показателя от 673 до 710 ‰ (таблица 1).

Оруденение Нижний Власыч расположено в нижней части долины руч. Власыч, левого притока р. Чай-Урья. Здесь основными рудолокализирующими структурами являются: минерализованная зона, приуроченная к свите даек в различной степени березитизированных диоритовых порфиритов северо-западного простирания и вмещающих их нижнеюрских вулканогенно-осадочных пород (1); линейный штокверк, расположенный к северо-востоку от минерализованной зоны, где вмещающими породами являются верхнетриасовые терригенные породы, представленные глинистыми сланцами с маломощными (первые миллиметры) прослоями светло-серых алевролитов (2).

Участок Нижний Власыч, также, как и Верхний Власыч приурочен к зоне дробления и расланцевания северо-западного направления, сопровождающей Чай-Юрьинский глубинный разлом и контролирующей свиту субпараллельных, ориентированных в северо-западном направлении даек березитизированных диоритовых порфиритов. Дайки образуют полосу шириной от 50 до 150 м, протяженностью более 1000 м.

Вмещающие терригенные породы, представленные алевролитами, алевролитистыми глинистыми сланцами характеризуются различной степенью расланцевания, микролинзовидно-горизонтальнослоистой, сланцеватой текстурой, бластоалевропелитовой структурой, нередко с туфогенной примесью псаммитовой размерности (рис. 5, а). Углеродистое вещество тонкодисперсной формы совместно с серицитом и гидрослюдой, образует цепочечные и микролинзовидные стяжения по сланцеватости. Угловатые обломки кварца приобретают удлинненно-уплощенную, каплевидную, линзовидную форму, и также ориентированы согласно сланцеватости (рис. 5, а, б).

Цемент перекристаллизован в микролепидогранобластовый агрегат серицита, дисперсного кремнезема, пелитоморфного карбоната; серицит имеет однородную оптическую ориентировку (рис. 5, б). Отмечаются скопления мелких кристалликов титанистого минерала и вкрапленность пирита (рис. 5, б).

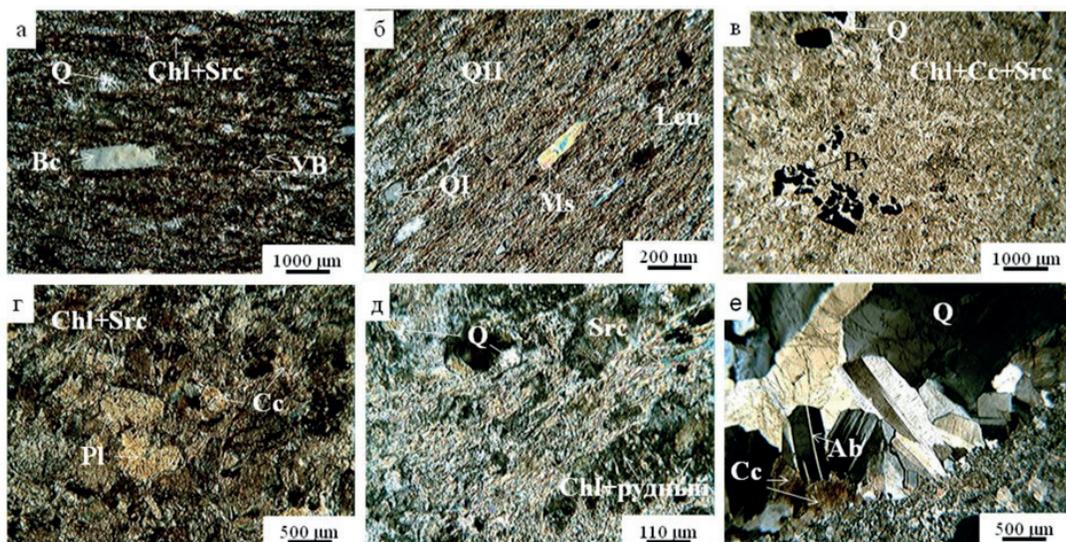


Рис. 5. Участок Нижний Власыч. Алевролитистый углисто-глинистый сланец, шлиф с анализатором:

а – бластоалевропелитовая структура с псаммитовой примесью туфогенного материала; б – перекристаллизованный цемент карбонат-серицит-кварцевого состава. Березитизированный кварцевый диорит-порфирит, шлиф с анализатором: в – включения рудной минерализации в кварцевом прерывистом микропрожилке; г – вкрапленники плагиоклаза, частично замещенные мелкочешуйчатым серицитом; д – преобразование основной массы в лепидогранобластовый агрегат карбонат-серицит-кварцевого состава с включением псевдоморфоз хлорита и рудного минерала по амфиболу; е – карбонат-альбит-кварцевый прожилок в березитизированном кварцевом диорит-порфирите. *Примечание.* Q – кварц, Pl – плагиоклаз, Ab – альбит, Py – пирит, Src – серицит, Ms – мусковит, Cc – карбонат, Chl – хлорит, вс- вулканическое стекло, УВ – углеродистое вещество.

Fig. 5. Lower Vlasych site. Silty coal-shale, thin section with analyzer:

а – blastoaleuropelite structure with psammitic admixture of tuffaceous material; б – recrystallized cement of carbonate-sericite-quartz composition. Berezitized quartz diorite-porphyrite, thin section with analyzer: в – ore mineralization inclusions in quartz discontinuous microneedling; д – plagioclase phenocrysts partially replaced by fine-scaled sericite; е – conversion of the bulk mass into a lepidogranoblast aggregate of carbonate-sericite-quartz composition with the inclusion of pseudomorphosis of chlorite and ore by amphibole; ф – carbonate-albite-quartz vein in berezitized quartz diorite-porphyrite.

Рудовмещающие березитизированные кварцевые диорит-порфириты характеризуются массивной, сланцеватой, линзовидносланцеватой, пятнистой, полосчатой текстурами; преимущественно blastoporphiroвой, иногда с элементами сериально-порфировой структурой с лепидогранобластовой структурой основной массы (рис. 5, в, д). В единичных образцах частично сохранилась первичная микролитовая структура основной массы. Усредненный состав: $(Pl(An_{27-28}) \pm src)33 \% + QII \% + src35 \% + cc15 \% + QII 10 \% + \text{рудные}$. Порода состоит из интенсивно серицитизированных короткопризматических зерен плагиоклаза, наиболее крупные из которых являются первичными вкрапленниками (An_{27-28}) (размер до $0,2 \times 0,3$ мм) (рис. 5, г). Зерна первичного кварца (размер до 0,2 мм) неправильной, угловатой формы содержат скопления газово-жидких включений, имеют ровное погасание; включения позднего кварца характеризуются сглаженными очертаниями с волнистым погасанием. Между вкрапленниками развиваются серицит, образующий кучные скопления разветвленной, удлиненной формы в ассоциации с неправильными сростаниями пелитоморфного карбоната (рис. 5, г, д). Мелкие выделения рудного вещества в виде рыхлых скоплений сосредоточены на участках наибольшей серицитизации (рис. 5, г). Поздние идиоморфные зерна пирита, (размером до 0,8 мм) неравно-

мерно распределены по всей площади шлифа (рис. 5, в), местами пирит обрамляется кварцевой или альбит-кварцевой каймой. Часто березитизированные кварцевые диорит-порфириды содержат поздние прожилки альбит-карбонат-кварцевого состава (рис. 5, е).

Минерализованные дайки и минерализованные зоны дробления во вмещающих породах имеют крутое падение на юго-запад, мощность отдельных даек составляет от 0,5-1,0 до 10-15 м, протяженность до нескольких сотен метров; минерализованная зона по простиранию составляет 700 м.

Линейный штокверк (мощность от 60 до 100 м) кварцевого, карбонат-кварцевого и сульфидно-кварцевого прожилкования расположен в приустьевой части долины руч. Нижний Власыч и локализован в тектонизированных осадочных породах. Он образован серией сближенных разнонаправленных зон прожилкового окварцевания, мощностью от 0,5-1,0 до 20 м. Продуктивные прожилки (до 10 мм) с рудной минерализацией преимущественно приурочены к песчанистым разностям пород.

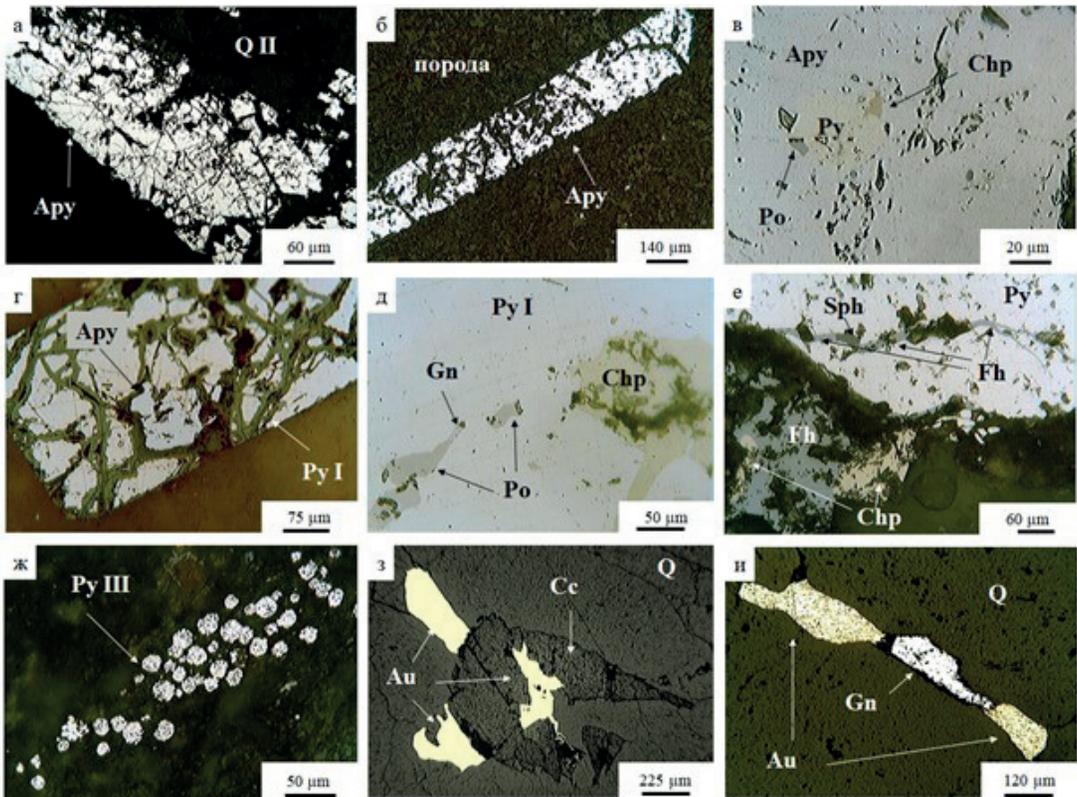


Рис. 6. Минеральные сростания рудных минералов на участке Нижний Власыч:

а, б) катаклазированные кристаллы арсенопирита: а – в кварце второй разновидности, б – в породе; в) включения халькопирита, пирротина и пирита в арсенопирите; г) отложение арсенопирита между обломками пирита; д) микровключения пирротина, халькопирита и галенита в пирите; е) развитие блеклой руды по трещинам и по периферии пирита. Блеклая руда сростается с халькопиритом и сфалеритом; ж) скопление фрамбOIDов пирита III в породе; з, и) проявления самородного золота в кварц-полевошпатовом прожилке: з – в свободном состоянии, в ассоциации с карбонатом, и – в сростании с галенитом

Fig. 6. Mineral intergrowths of ore minerals in the Lower Vlasych site:

а, b) cataclased arsenopyrite crystals: a – in quartz of the second variety, b – in rock; c) inclusion of chalcopyrite, pyrrhotite and pyrite in arsenopyrite; d) deposition of arsenopyrite between pyrite fragments; e) development of fahllore along cracks and along pyrite periphery. Fahllore fuses with chalcopyrite and sphalerite; g) accumulation of pyrite III framboids in the rock; h, i) manifestations of native gold in a quartz-feldspar vein: h – in a free state, in association with carbonate, i – in fusion with galena

Количество сульфидных минералов на участке Нижний Власыч в среднем составляет 3,2 %, при дисперсии этого показателя от единичных знаков до 11,5 % (максимальное количество). Эти показатели превышают аналогичные на Верхнем Власыче в два раза. Рудная минерализация представлена пиритом, арсенопиритом, халькопиритом, галенитом, пирротинном, сфалеритом, блеклой рудой, герсдорфитом и самородным золотом (рис. 6). Наибольшим распространением пользуются пирит и арсенопирит.

Характеристика основных рудных минералов аналогична характеристике минералов Верхнего Власыча. Однако в рудах отмечается присутствие герсдорфита и снижение количества блеклой руды (до знаковых количеств). Также отмечаются отличия в характеристиках галенита и самородного золота.

Галенит – рудный минерал, встречающийся как моноагрегат в кварце или срastaющийся с самородным золотом, так и образующий микровключения в пирите II. В более крупных агрегатах отчетливо прослеживается спайность. В пирите галенит ассоциирует с пирротинном, сфалеритом и халькопиритом. В свободном состоянии – по периферии частично замещается церусситом. Размер моноагрегатов от 0,1 до 0,55 мм. Размер микровключений в пирите от 0,011 до 0,022 мм. По результатам микроаналитических исследований установлено несколько разновидностей галенита: стехиометричный, с примесью Se (от 0,32 до 1,03 %), с примесью Se (от 0,49 до 1,15 %) и Fe (от 4,41 до 12,42 %), с микропримесью Bi (от 0,28 до 1,66 %) (таблица 1). Таким образом, на основании полученных данных, можно предположить, что оруденение Нижний Власыч формировалось при разных температурных режимах, в отличие от участка Верхний Власыч.

На участке Нижний Власыч встречаются две формы проявления *самородного золота*: а) в свободном состоянии и б) в срastании с сульфидами. В первом случае самородное золото отлагается в кварцевых (кварц первой фазы внедрения) прожилках, где пустоты заполняются карбонатом (рис. 6, з), а во втором – карбонат не обнаружен и золото тяготеет к висмутсодержащему галениту (рис. 6, и). Облик минерала – ксеноморфный или интерстициальный. Размер от 0,022 до 1,1 мм. Средняя пробность самородного золота, составляет 929 ‰, с разбросом показателя от 843 до 956 ‰ (таблица 1).

Месторождение Шахтное (площадь около 3 км²) находится в пойме р. Чай-Урья, в створе ручьев Власыч-Случайный. В структурном плане минерализованная зона месторождения, представленная серией ветвящихся сближенных, субпараллельных крутопадающих даек кварцевых диорит-порфиринов, приурочена к одной из ветвей Чай-Юрьинского глубинного разлома северо-западного простирания, на участке пересечения с системой поперечных северо-восточных разломов [6].

Вмещающие породы представлены верхнетриасовыми отложениями, включающими в себя темно-серые до черных глинистых сланцев с прослоями светло-серых алевролитов. Породы интенсивно тектонизированы, рассланцованы до листоватой щебенки. По кластической части развивается бурый карбонат в виде ромбовидных и ксеноморфных порфиробластов (рис. 7, г). Цемент перекристаллизован в хлорит-серицитовый микролепидобластовый агрегат (рис. 7, в, г). В приконтактовых частях и на контактах с дайками в глинистых сланцах значительно увеличивается количество тонкой вкрапленности пирита, нередко образующего гнезда, микропрожилки, стяжения линзовидной формы (рис. 7, б). В грубозернистых разностях развиваются маломощные прожилки (мощностью от нитевидных до 2 мм, единично до 5 мм) карбонатного, кварц-карбонатного и кварцевого состава с включениями пирита в виде тонкой вкрапленности; мощности зон прожилкования составляют первые метры.

Рудовмещающие березитизированные кварцевые диориты (рис. 7, а) имеют субвертикальное падение юго-западного и северо-восточного направления. Общая протяженность серии даек составляет более 1200 м при ширине от 50 до 120 м. Следует отметить, что на месторождении более ярко проявлены процессы пропилитизации в породах. Кварцевые диорит-

порфириты характеризуются частичным или полным разложением первичных минералов; плагиоклазы в большей степени альбитизированы; по темноцветным минералам развит хлорит, эпидот (рис. 7, д, е). На пропилитизированные породы наложены более поздние процессы березитового типа с формированием прожилков различного состава и с включением рудной минерализации (рис. 7, е, ж).

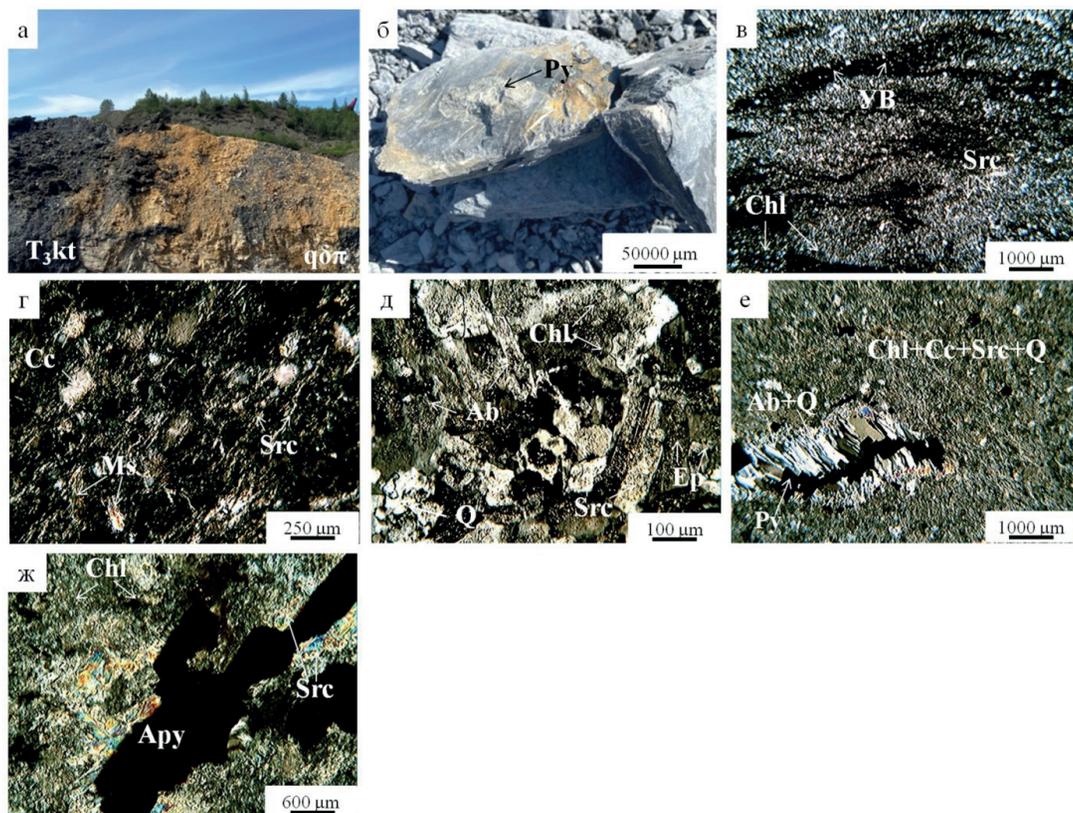


Рис. 7. Месторождение Шахтное

(а). Линзовидное включение тонкой вкрапленности пирита (б). Тектонизированный углисто-глинистый сланец (в, г), шлиф с анализатором: в – микролепидобластовый агрегат хлорит-серицитового состава с включением углеродистого вещества; г – порфиробласты карбоната ромбовидной и ксеноморфной форм. Пропилит-березитизированный кварцевый диорит-порфирит (д), шлиф с анализатором: д – развитие тонкой смеси эпидот-хлоритового состава по вкрапленникам и основной массе породы. Березит по кварцевому диорит-порфириту (е, ж), шлиф с анализатором: е – прерывистый альбит-кварцевый прожилок с включением пирита; ж – приуроченность арсенопирита к участкам, обогащенным серицитом. *Примечание.* Q – кварц, Ab – альбит, Py – пирит, Apy – арсенопирит, Src – серицит, Ms – мусковит, Cс – карбонат, Chl – хлорит, Ep – эпидот, УВ – углеродистое вещество.

Fig. 7. Shakhhtnoye field

(a). Lens-like inclusion of fine pyrite inclusions (b). Tectonized coal-clay shale (c, g), thin section with analyzer: c – microlepidoblastic aggregate of chlorite-sericite composition with inclusion of carbonaceous substance; d – porphyroblasts of rhomboid and xenomorphic carbonate. Propylite-beresitized quartz diorite-porphyrity (e), thin section with analyzer: e – development of a thin mixture of epidote-chlorite composition on disseminated rocks and the bulk of the rock. Beresite by quartz diorite-porphyrity (f, f), thin section with analyzer: f – intermittent albite-quartz vein with pyrite inclusion; g – presence of arsenopyrite in areas enriched with sericite.

В полнопроявленных березитах первичная структура нацело преобразована в лепидограно-бластовый агрегат хлорит(±), карбонат, серицитового состава с включением кварца грано-бластовой структуры. Рудная минерализация преимущественно приурочена к участкам, обогащенным серицитом, альбит-кварцевым прожилкам (рис. 7, е, ж). Часто встречается, что метасоматические изменения разных типов совмещены в пределах одного тела.

Продуктивная минерализация представлена крутопадающими прожилками и жилами арсенопирит-кварцевого, пирит-карбонат-кварцевого, пирит-хлорит-карбонат-кварцевого состава, невыдержанной мощности и локализуется преимущественно в дайках интенсивно березитизированных диорит-порфириров, изредка развиваясь во вмещающих приконтактовых алевросланцах. Мощность минерализованной зоны в центральной части составляет 90 м, на флангах до 20-40 м.

Количество сульфидов на месторождении Шахтное варьирует от единичных знаков до 8 %, при среднем показателе 4 %. Золото встречается как в свободном состоянии, так и в виде тонкой вкрапленности в сульфидах. Кроме золота рудная минерализация представлена пиритом, пиротином, арсенопиритом, галенитом, халькопиритом и марказитом (рис. 8). Основные рудные минералы месторождения Шахтный – это пирит и арсенопирит. Их характеристика аналогична минералам, встреченным на выше описанных участках. Есть небольшое отличие в ассоциациях арсенопирита и форме проявления самородного золота.

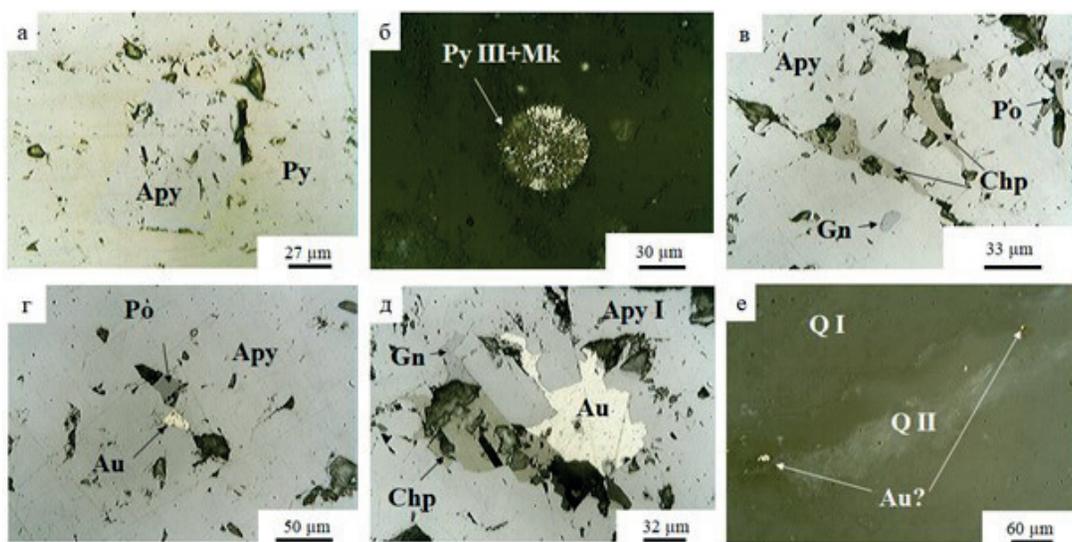


Рис. 8. Рудная минерализация месторождения Шахтное:

а) пирит с включением арсенопирита; б) марказит развивается по сферуле пирита третьей генерации; в) включения пирротина, халькопирита и галенита в арсенопирите; г-е) проявления самородного золота: г – в арсенопирите в ассоциации с пирротином, д – совместно с халькопиритом и галенитом заполняет микропустоты в арсенопирите; е – образует микровключения в халцедоновидном прожилке кварца III

Fig. 8. Ore mineralization of the Shakhtnoye deposit:

а) pyrite with the inclusion of arsenopyrite; б) marcasite develops along the third generation pyrite spherule; в) inclusion of pyrrhotite, chalcopyrite and galena in arsenopyrite; д-е) manifestations of native gold: д – in arsenopyrite in association with pyrrhotite, е – together with chalcopyrite and galena fills micro-voids in arsenopyrite; ф – forms microinclusions in chalcedony vein of quartz III

По своей морфологии *арсенопирит* месторождения Шахтное идентичен арсенопириту Нижнего и Верхнего Власыча. Встречается как в свободном состоянии, так и в сростании с пиритом (рис. 8, а). Но каверны в нем частично заполнены галенитом, халькопиритом и пирроти-

ном (преимущественно) (рис. 8, в-д). Кроме того, в арсенопирите и среди его обломков в ассоциации с полисульфидами отлагается самородное золото (рис. 8, г, д). Размер от 0,05 до 2,1 мм.

Самородное золото формирует ксеноморфные микровключения в арсенопирите в ассоциации с пирротинном, халькопиритом и галенитом (рис. 8, г, д). Содержит микровключение халькопирита. Цвет минерала ярко-желтый. Размер включений от 0,003 до 0,126 мм. В единичных случаях самородное золото встречается в халцедоновидном кварце (рис. 8, е), размеры включений от 0,01 до 0,022 мм.

Заключение

В пределах Урьинского рудного поля золоторудная минерализация, локализована преимущественно в березитизированных дайках кварцевых диорит-порфириров, а также во вмещающих их тектонизированных осадочных породах, обогащенных разноориентированными прожилками сульфидно (пирит, арсенопирит) – кварцевого, альбит-кварцевого, карбонат-кварцевого, хлорит-карбонат-кварцевого состава.

Степень метасоматических изменений в осадочных и вулканогенно-осадочных породах варьирует от 25 % до 45 %. Вторичные минералы образуют моно- и полиминеральные псевдоморфные выделения по обломкам; первичный глинистый цемент пород преобразован в гранобластовый, лепидогранобластовый агрегат кварц-хлорит-серицитового состава. Отмечается карбонатизация, лейкоксенизация (3-5 %), сульфидизация (до 5 %).

В *рудовмещающих* кварцевых диорит-порфиритах степень преобразований значительно увеличивается и колеблется от 30 % до 100 %. Метасоматические изменения пропилютового (хлорит, серицит, эпидот, альбит) и березитового (кварц, серицит, хорит (реже), карбонат) типов. На метасоматически преобразованные породы наложены прожилки сульфидно-кварцевого, хлорит-карбонат-кварцевого, карбонат-кварцевого, альбит-карбонат-кварцевого состава.

На основании изучения пространственно-временных отношений минералов и минеральных парагенезисов, а также химического состава минералов установлена последовательность минералообразования, в которой выделены метасоматический, гидротермальный и гипергенный этапы (таблица 2).

Гидротермальный этап подразделяется на четыре стадии, три из которых – продуктивные. В первый метасоматический этап в породе отлагается лейкоксен и ксеноморфный пирит I, в значительно меньшей степени – пирротин, халькопирит и сфалерит (с микропрмесью Cd).

Второй этап – гидротермальный – формируется в четыре стадии – плутоногенную (первый и второй) и вулcano-плутоногенную (третий и четвертый) (таблица 2). С первой связано развитие прожилков друзовидного кварца I, по трещинам которого развиваются глинистые минералы и лимонит (см. рис. 2, д, е); во вторую стадию отлагается, висмутсодержащий галенит и высокопробное золото (929 ‰) (см. рис. 6, з, и). Третья стадия характеризуется образованием кварц (II)-полевошпатовых прожилков с гнездами карбоната. С этими прожилками связаны короткопризматический арсенопирит и пирит II. По трещинам катаклаза и в кавернах этих минералов обнаружены полисульфидные минералы и самородное золото (692 ‰) (рис. 8, г, д), это же золото образует включения в блеклой руде (см. рис. 4, и). Следует отметить, что данные по пробности самородного золота, полученные нами, сопоставимы с результатами предшественников [7]. В четвертую стадию трещины в породе и кварце II заполняются халцедоновидным кварцем III, содержащим спорадическую вкрапленность самородного золота (рис. 8, е). В эту же стадию формируется длиннопризматический арсенопирит и фрамбоидальный пирит III, частично замещенный марказитом и оксидами железа, и заполнением пустот в пирите III галенитом.

Охарактеризованные проявления Урьинского рудного поля по минеральному составу и вмещающей среде могут быть отнесены к золото-кварцевой рудной формации дайкового типа.

Таблица 2.

Схема последовательности минералообразования Урьинского рудного поля

Table 2

Urinsky Ore Field Mineral Formation Sequence Diagram

Минералы	Этапы					
	Метасоматический	Гидротермальный				Гипергенный
		Плутоногенный		Вулканогенно-плутоногенный		
		I	II	III	IV	
<i>Жильно-метасоматические минералы</i>						
Кварц		друзовидный	массивный		халцедоновидный	
Карбонат						
Полевой шпат						
Рутил						
Серицит						
Хлорит						
Ильменит						
Актинолит						
Углеродистое вещество						
Глинистые минералы						
<i>Рудные минералы</i>						
Арсенопирит						
Пририт						
Пирротин						
Марказит						
Галенит			с Bi		с Sn	
Халькопирит						
Сфалерит	с Cd			с Fe	мало Fe	
Герсдорфит						
Блеклая руда						
Самородное Au			929 ‰		692 ‰	
<i>Гипергенные минералы</i>						
Лимонит						
Церуссит						
Гидролимонит						
Лейкоксен						
Оксиды Pb						
Оксиды Mn						
Скородит						
Ковеллин						

Распространенные **—————** Второстепенные **—————** Редкие **—————**

Литература

1. Костин А.Е., Кухаренко Е.А., Наумов М.В., Ремизов Д.Н. Практическая петрология: методические рекомендации по изучению магматических образований применительно к задачам госгеолкарт. ФГБУ «ВСЕГЕИ», Санкт-Петербург, 2017:168 с.
2. Волков А.В., Егоров В.Н., Прокофьев В.Ю., Сидоров А.А., Горячев Н.А., Бирюков А.А. Месторождения золота в дайках Яно-Колымского пояса. *Геология рудных месторождений*. 2008;50(4):311-337.
3. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток. Дальнаука; 2006.Кн.1:572.
4. Волков А.В., Сидоров А.А. Прогнозно-поисковая модель месторождений золота, связанных с интрузивами гранитоидов Арктической зоны России. *Арктика: экология и экономика* 2018;31(3):84-99. doi: 10.25283/2223-4594-2018-3-84-99
5. Тюкова Е. Э, Ворошин С. В. *Состав и парагенезисы арсенипирита в месторождениях и вмещающих породах Верхне-Колымского региона (к интерпретации генезиса сульфидных ассоциаций)* Магадан: СВКНИИ ДВО РАН; 2007:107.
6. Хасанов И.М., Михалицына Т.И., Муравьев Л.А., Макарова Д.В. Использование методологии трансформации геофизических полей при изучении рудных систем дайкового типа в зоне влияния Чай-Юрьинского глубинного разлома. *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия «Науки о Земле»* 2024;(2):25-35. doi: 10.25587/2587-8751-2024-2-25-35.
7. Позднякова Н.Н. Использование тпоморфных признаков россыпного золота при прогнозировании и поисках рудных месторождений (на примере россыпей Шахматинского района Забайкалья и россыпи р. Чай-Юрья Магаданской области): Автореф. дис. ...канд. геол.-мин. наук. Москва. 2015. 27с.

References

1. Kostin AE, Kukhareno EA, Naumov MV, Remizov DN. Practical petrology: methodological recommendations for the study of magmatic formations in relation to the tasks of state geolcart. A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg; 2017:168 p. (in Russian)
2. Volkov AV, Egorov VN, Prokofiev VYu, Sidorov AA, Goryachev NA, Biryukov AA. Gold deposits in the dikes of the Yana-Kolyma belt. *Geology of ore deposits*. 2008;50(4):311–337. (in Russian)
3. Khanchuk AI (ed). Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia: in 2 books. Book 1. Vladivostok: Dalnauka, 2006:572. (in Russian)
4. Volkov AV, Sidorov AA Forecast and prospecting model of gold deposits associated with intrusions of granitoids of the Arctic zone of Russia. *Arktika: Ekologia i Ekonomika*. 2018;31(3):84–99. (in Russian)
5. Khasanov IM, Mikhailitsyna TI, Muravyov LA, Makarova DV. Use of the methodology of transformation of geophysical fields in the study of dike-type ore systems in the zone of influence of the Chai-Urinsky deep fault. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences Series*. 2024;(2):25–35 (in Russian)
6. Tyukova EE, Voroshin S.V. *Composition and paragenesis of arsenopyrite in deposits and host rocks of the Verkhne-Kolyma region (to the interpretation of the genesis of sulfide associations)* Magadan: FEB RAS; 2007:107. (in Russian)
7. Pozdnyakova NN. Use of topomorphic signs of placer gold in forecasting and searching for ore deposits (on the example of placers of the Shakhmatinsky district of Transbaikalia and placers of the Chai-Yurya river of the Magadan region): Summary of Candidate's dissertation (Geology). Moscow. 2015:27. (in Russian)

Сведения об авторах

МИХАЛИЦЫНА Татьяна Ивановна, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило» ДВО РАН, ORSID: 0000-0002-8668-7805 ResearcherID: 450675310, SPIN-код: 5200-7304, AuthorID: 115269, e-mail: tim_66@mail.ru

ФОМИНА Марина Ивановна, – кандидат геолого-минералогических наук, Ученый секретарь, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов», SPIN-код: 4590-1431, AuthorID: 6722, e-mail: mif-74@yandex.ru

About the authors

Tatyana I. MIKHALITSYNA, Cand. Sci. (Geology), Senior Researcher, N.A. Shilo Northeast Interdisciplinary Research Institute, FEB RAS, ORSID: 0000-0002-8668-7805 ResearcherID: 450675310, SPIN-код: 5200-7304, AuthorID: 115269, e-mail: tim_66@mail.ru

Marina I. FOMINA, Cand. Sci. (Geology), Scientific Secretary, Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals, TsNIGRI, SPIN-код: 4590-1431, AuthorID: 6722, e-mail: mif-74@yandex.ru

Вклад авторов

Михалицына Т.И. – формулирование идеи, проведение исследования, верификация данных, ресурсное обеспечение исследования, создание черновика рукописи, редактирование рукописи, визуализация, администрирование проекта.

Фомина М.И. – проведение исследования, верификация данных, проведение статистического анализа, создание черновика рукописи, редактирование рукописи, визуализация.

Authors' contribution

Mikhailitsyna T.I. – conceptualization, investigation, validation, resources, writingoriginaldraft, writing, review and editing, visualization, project administration.

Fomina M.I. – investigation, validation, writingoriginaldraft, writing, review and editing, visualization.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests

The authors declare no relevant conflict of interests

Submitted / Поступила в редакцию 05.03.25

Accepted / Принята к публикации 11.03.25

НЕФТЕНОСНЫЕ ОБЪЕКТЫ НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ АНАБАРСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

А.И. Сивцев^{1}, А.Р. Александров², Д.М. Петров²*

¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Российская Федерация

² ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» «Институт проблем нефти и газа СО РАН», г. Якутск, Российская Федерация

* maraday@yandex.ru

Аннотация

В статье поднимается вопрос целесообразности изучения возможностей освоения тяжелых нефтей и битумов в верхней части разреза на северо-западе Республики Саха (Якутия). Наиболее перспективным объектом по обилию проявлений и географического расположения выделено Силигир-Мархинское битумное поле. Кратко дана информация по литолого-стратиграфическому разрезу и по основным тектоническим элементам изучаемой территории. Отличительной чертой рассматриваемой территории указана аномальная толщина разреза с отрицательной температурой (до 1450 м). Подробно представлены особенности распределения эпигенетических нефте- и битумопроявлений по разрезу и влияния процессов гипергенеза на индивидуальный и групповой состав нефтей и битумов. Сделан вывод, что наиболее изученным и привлекательным объектом для добычи тяжелых нефтей, малых и асфальтов являются породы мархинской и моркокинской свит в непосредственной близости от кимберлитовой трубки «Удачная». Даны физико-химические характеристики нефтей и битумов, свидетельствующие об их подвижности в температурных условиях верхней части разреза рассматриваемого района. Предложено применение горизонтального бурения в комбинации с мультипликативным гидроразрывом пласта для освоения нефтей и битумов Силигир-Мархинского поля. Представлены прямые признаки нефтегазоносности, установленные в ходе испытаний разведочной скважины № 2-Р, пробуренной в неструктурных условиях. Возможной причиной неполучения притоков нефти и газа указано некачественное вскрытие продуктивных пластов. Сделан вывод о сохранении перспектив нефтегазоносности Мархинского вала по нижней части разреза с учетом заложения разведочной скважины в неструктурных условиях и небольшого опыта вскрытия нефтеносных пластов. Отмечена необходимость мониторинга устойчивости дебита газа с повышенным содержанием водорода в районе трубки «Удачная» для изучения возможностей добычи водорода.

Ключевые слова: Сибирская платформа, кембрийские отложения, Анабарская антеклиз, Мархинский вал, нефтепроявление, битумопроявление, горизонтальное бурение, гидроразрыв пласта, перспективы нефтегазоносности, водородопроявление.

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ № 125020301277-6.

Для цитирования: Сивцев А.И., Александров А.Р., Петров Д.М. Нефтеносные объекты на юго-восточном склоне Анабарской антеклизы. *Вестник СВФУ*. 2025;(1):43-54. <https://doi.org/10.25587/2587-8751-2025-1-43-54>

Original article

OIL-BEARING OBJECTS ON THE SOUTH-EASTERN SLOPE OF THE ANABAR ANTECLISE

Aleksey I. Sivtsev^{1}, Alexander R. Aleksandrov², Dmitrii M. Petrov²*

¹M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

² Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, maraday@yandex.ru

Abstract

The article raises the question of the expediency of studying the possibilities of developing heavy oils and bitumen in the upper part of the section in the northwest of the Republic of Sakha (Yakutia). The Siligir-Markhinsky

bitumen field is identified as the most promising object by abundance of manifestations and geographical location. Brief information is given on the lithological and stratigraphic section and the main tectonic elements of the study area. Anomalous thickness of the section with negative temperature (up to 1450 m) is indicated as a distinctive feature of the studied territory. The features of the distribution of epigenetic oil and bitumen occurrences along the section and the influence of hypergenesis processes on the individual and group composition of oils and bitumen are presented in detail. It is concluded that the most studied and attractive object for the extraction of heavy oils, malts and asphalts are the rocks of the Markhinskaya and Morkokinskaya suites in the immediate vicinity of the Udachnaya kimberlite pipe. Physicochemical characteristics of oil sand bitumens are given, indicating their mobility in the temperature conditions of the upper part of the section of the region under consideration. It is proposed to use horizontal drilling in combination with multiplicative petrofracturing for the development of oils and bitumens of the Siligir-Markhinsky field. Direct signs of oil and gas content established during testing of exploration well No. 2-P drilled in non-structural conditions are presented. A possible reason for the failure to obtain oil and gas inflows is the poor quality of the opening of productive layers. It is concluded that the prospects for oil and gas content of the Markhinsky arch along the lower part of the section are preserved, taking into account the placement of the exploratory well in non-structural conditions and limited experience in opening oil-bearing strata. It is noted that the necessity of monitoring the stability of gas flow rate with an increased hydrogen content in the area of the Udachnaya pipe to study the possibilities of hydrogen production.

Keywords: Siberian platform, Cambrian deposits, Anabar anticline, Markhinsky arch, oil seep, bitumen showing, horizontal drilling, hydraulic fracturing, oil and gas prospects, hydrogen showing.

Funding. The work was performed within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation No. 125020301277-6.

For citation: Sivtsev A.I., Alexandrov A.R., Petrov D.M. Oil-bearing objects on the south-eastern slope of the Anabar anticline. *Vestnik of North-Eastern Federal University. "Earth Sciences"*. 2025;(1):43-54 <https://doi.org/10.25587/2587-8751-2025-1-43-54>

Введение

Факт ухудшения структуры запасов нефти в мире признается всеми специалистами нефтегазовой отрасли. В России уже сейчас более 40 % добычи и 60 % запасов углеводородов приходится на трудноизвлекаемые запасы и к 30-му году достигнет величины в 70 % [1]. На эту ситуацию можно повлиять открытием новых месторождений нефти, однако, скорее всего, эти резервы могут быть открыты в новых, малоизученных и труднодоступных районах и еще не факт, что эти запасы будут относиться к категории легкоизвлекаемых. Кроме того, себестоимость добычи нефти в таких районах будет высокой. И, несомненно, наступит время масштабной разработки залежей тяжелой нефти и добычи углеводородных ресурсов из массивов битумо- и нефтенасыщенных пород.

В пределах северо-западной части Республики Саха (Якутия) битумопроявления распространены очень широко. Здесь выделяются Нордвикское, Северо-Анабарское, Нижне-Оленекское, Восточно-Анабарское, Верхне-Мунско-Моторчунское, Верхнечимидикэнское, Силигир-Мархинское и т.д. Во всех этих битумных полях и месторождениях битумы представлены вязкими неподвижными разновидностями типа мальт и более глубоко преобразованными в зоне гипергенеза нафтидами. Суммарные ресурсы этих битумных полей на глубины до 300 м оцениваются, по самым скромным подсчетам около 10 млрд. т. [2].

Наиболее интересны с позиций разработки залежей битума и нефти бассейны верхних течений рек Силигир и Марха (Силигир-Мархинское). Здесь на площади более чем 6000 км² карбонатные породы верхнего кембрия сильно пропитаны нефтью. Из-за сложных коллекторских свойств пород пришедшая в них маточная нефть распространена крайне неравномерно. Данное битумное поле является также самым близким к нефтепроводу Восточная Сибирь – Тихий Океан.

Материалы и методы исследования

Материалами исследований послужили опубликованные научные труды и архивные материалы по результатам геологоразведочных работ, проведенных в 60-ые годы XX-го века.

Методами исследований стали синтез и анализ данных для выявления перспективных направлений и подходов в освоении скоплений тяжелых нефтей.

Геологическое строение

Силигир-Мархинское поле (рис. 1), крупнейшее по масштабам, располагается на юго-восточном склоне Анабарской антеклизы. Площадь его более 6000 км² [3]. Разрез этого битумного поля слагают отложения среднего, верхнего кембрия и нижнего ордовика.

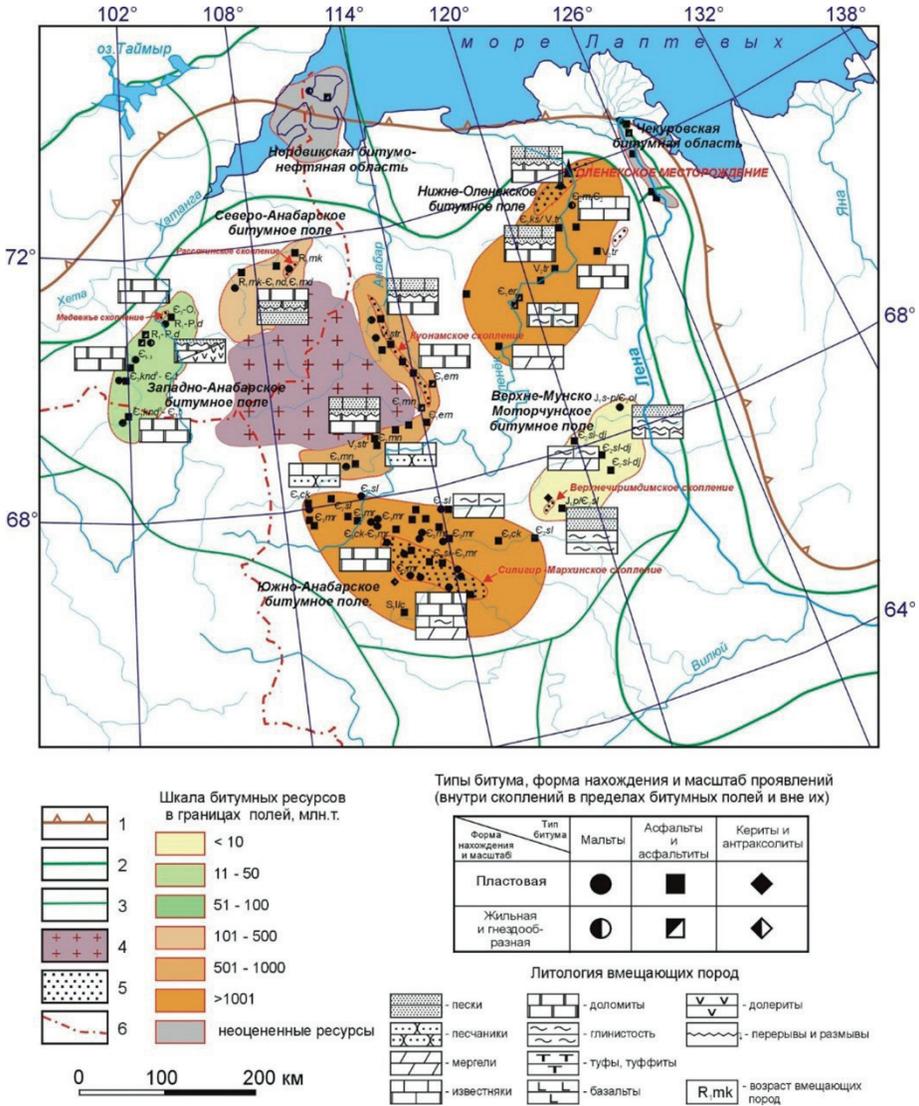


Рис. 1. Фрагмент карты зон скоплений битумов северо-востока Сибирской платформы (по данным И.А. Кушмар, 2006, с изменениями)

Условные обозначения: 1 – граница Сибирской платформы, 2 – границы нефтегазоносных провинций (НГП), 3 – границы нефтегазоносных областей (НГО), 4 – выходы кристаллических пород, 5 – скопления битумов, 6 – границы субъектов РФ.

Fig. 1. Fragment of bitumen accumulation zones map in the north-east of the Siberian platform (according to I.A. Kushmar, 2006, with changes)

Symbols: 1 – boundary of the Siberian platform, 2 – boundaries of oil and gas provinces (OGP), 3 – boundaries of oil and gas regions (OGR), 4 – outcrops of crystalline rocks, 5 – accumulations of bitumen, 6 – boundaries of Russian Federation subjects.

Мархинская структурно-поисковая скважина № 2-Р прошла комплекс осадочных и кристаллических пород и закончена бурением на глубине 2052 м. Кристаллический фундамент вскрыт на глубине 2025 м. Вскрытый разрез представлен отложениями кембрия и позднего докембрия. Верхняя часть разреза представлена преимущественно карбонатными отложениями мархинской, чучукской и оленекской свит.

Мархинская свита (0-170 м, верхний кембрий) представлена пачками переслаивания водорослевых оолитовых и обломочных известняков, доломитов, мергелей, алевролитов, аргиллитов и глинистых известняков.

Чучукская свита (170-238 м, верхний кембрий) представлена пачками переслаивания обломочно-водорослевых битуминозных известняков и доломитов с подчиненным присутствием аргиллитов и алевролитов. В прослоях глинистых известняков, аргиллитов и обломочных известняков встречаются включения розового гипса и зерен пирита.

Оленекская свита (238-465 м, средний кембрий) условно делится на верхнюю и нижнюю пачки. Верхняя (238-338 м) представлена чередованием доломитов, аргиллитов и алевролитов. Присутствуют включения, прожилки и линзы розового гипса и голубовато-серого и белого ангидрита. Нижняя сложена доломитами, мергелями, аргиллитами с прослоями и линзами ангидрита и гипса (0,5-0,8 м).

В широком тектоническом плане Силигир-Мархинское битумное поле расположено на пологой моноклинали с падением на юго-запад и юго-восток. Наиболее крупным тектоническим элементом рассматриваемой территории является Мархинский вал. Вал имеет северо-западное простирание и расположен в пределах Алдано-Анабарской зоны относительно приподнятого архейского кристаллического фундамента. Размеры вала: длина 185-190 км; ширина 20-30 км; амплитуда 150-180 м. Строение вала асимметричное. Юго-западное его крыло более пологое относительно северо-восточного крыла. По изменению мощности верхнего и среднего кембрия в колонковых скважинах установлено [4], что Мархинский вал начал формироваться в конце среднего и, возможно, начале позднего кембрия.

К северо-востоку от Мархинского вала располагается Оленекско-Тюнгский вал, вытянутый параллельно ему и отделенный от него Ханнинским прогибом длиной 220-250 км, шириной 20,0-25,0 км и амплитудой 155 м. К северо-западу на продолжении Мархинского вала в бассейне рек Арга-Сала и Мойеро находятся Кенелекянский и Богольский структурные мысы. На севере на некотором отдалении расположена Верхнесилигирская котловина. К юго-западу от Мархинского вала выделяются малоамплитудные Далдынский вал, Мархинский свод и Верхне-Мархинская впадина.

Отличительной чертой района является уникальная по толщине зона отрицательных температур (рис. 2). В результате термометрических исследований в скважинах установлена, что в районе Мархинского вала породы имеют отрицательную температуру до глубины 1450 м. При этом геотермический градиент измеряется величинами 0,01-0,1°C, а геотермическая ступень возрастает иногда до 1000 м. В данном случае в стволе скважины, по-видимому, действует несколько факторов, которые приводят к значительному переохлаждению разреза. Главные из них – наличие перетока из вышележащих водоносных горизонтов в нижележащие и конвенционные течения, которые в сильно минерализованной воде весьма эффективны [4].

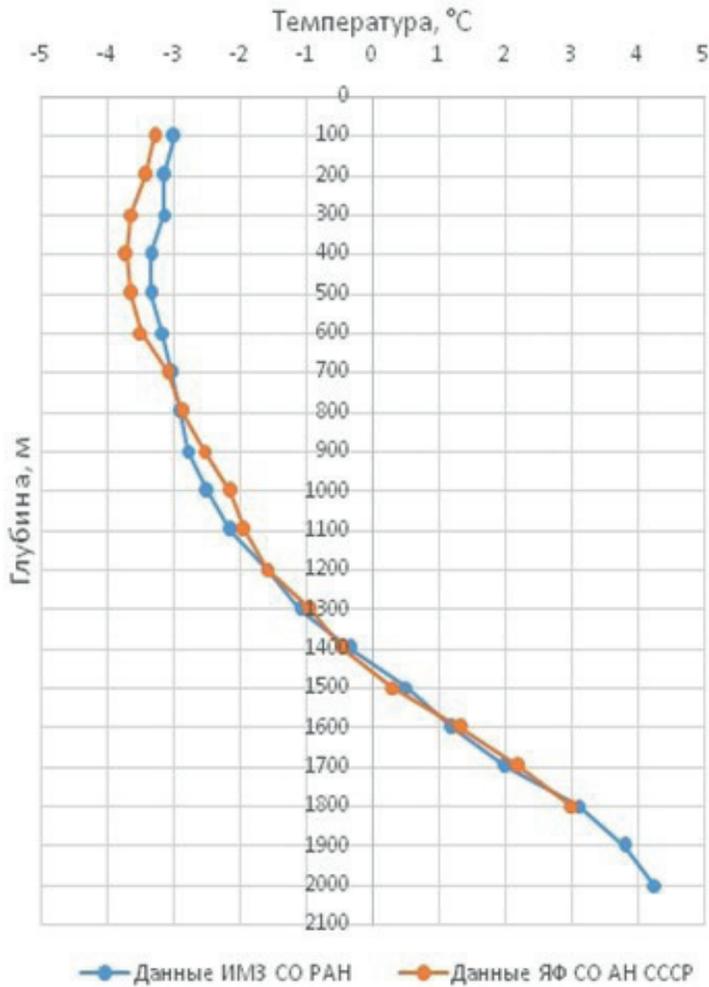


Рис. 2. Изменение температуры по стволу скважины (построен по данным Института мерзлотоведения СО РАН и лаборатории геохимии Якутского филиала Сибирского отделения АН СССР)

Fig. 2. Temperature change along the borehole plotted based on data from the Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the RAS and the Geochemistry Laboratory of the Yakut branch of the Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences)

Особенности нефте- и битумопроявлений

Наибольшая битумонасыщенность приурочена к мархинской свите верхнего кембрия. Распределение битумов крайне неравномерное по разрезу и площади. При этом толщины битумонасыщенных пластов изменяются в широких пределах от десятков сантиметров до первых метров. В районе трубки «Удачная» в гидрогеологических скважинах отмечены интервалы обильного битумонасыщения до 50 м. Содержание битума в битумонасыщенных породах варьирует в пределах 0,39-18,96 %. На дневной поверхности битумы представлены преимущественно асфальтами, реже мальтами и асфальтитами. По данным колонкового бурения на Мархинском валу, а также по результатам бурения Мархинской опорной скважины на глубинах 140-160 м встречена уже капельно-жидкая нефть с плотностью 0,91-0,92 г/см³. Жидкая нефть была зафиксирована в Мархинской опорной скважине в отложениях старореченской свиты венда (ин-л 1810-1830 м), также в отложениях рифея (ин-л 1961-1963 м и 1976-1980 м). Суммарные запасы битумов Силигир-Мархинского поля на глубину до 100 м оцениваются в 2 млрд. т. [2].

Битумы, пропитывающие наиболее пористые слои чучукской и мархинской свит (их содержание достигает 6 % и более), по элементарному и групповому составу (C = 80-84 %, H = 10-12 %, N + O = 1-5,8 %, масла 50-65 %, смолы – 33 %, асфальтены 2-17 %) могут быть отнесены к малът-асфальтам, происхождение которых следует связывать с процессами окисления пластовых нефтей в гипергенной зоне. Средняя толщина сильно пропитанных окисленной нефтью прослоев, имеющих открытую пористость выше 8 %, составляет 1,5-2 м [4].

Сложное распределение нефтей и битумов, фиксируемое в естественных обнажениях, сохраняется и в разрезах колонковых скважин в районе трубки «Удачная» и Мархинского вала. Эффективная мощность сильно пропитанных битумом горизонтов верхнего кембрия и самой верхней части среднего кембрия равна 80 м. Средневзвешенное содержание битума по разрезу – 0,03 вес % (по более 300 образцам).

Содержание масел в битумах 51-90 % (чаще 65 %), асфальтенов 2-13 %, смол – около 30 %. Все битумы содержат серу (0,85-3,52 %, чаще несколько более 2 %). Характерно низкое (0,03-0,4 %) содержание остаточного органического углерода в породах верхнего кембрия.

Углеводороды, выделенные из битумов, состоят из жидкой метанонафтеновой фракции (59-86 %), твердых (3,4-13 %) и ароматических (7,6-27,9 %) разностей. В метанонафтеновой фракции отношение углерода парафиновых цепей к общему числу атомов углерода составляет 0,52-0,61, в нафтеновых кольцах 0,27-0,32 и ароматических структурах 0,1-0,16. Эти данные свидетельствуют о том, что нефть, насыщающая породы, может быть отнесена только к нефтям метанового типа. Необходимо также отметить, что из нефти, содержащейся в керне с глубины более 200 м, выделялся газ: CH_4 – 7,7 %, C_2H_6 – 9,6 %, CO_2 – 3,8 %, H_2 – 78,9 % [4].

В зоне развития обильных нефтепроявлений в бассейне р. Марха обнаружены естественные источники метанового газа ($\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6$ – 79,7 %, CO_2 – 1,1 %, O_2 – 0,2-0,5 %, $\text{N}_2 + \text{Ar}$ – 18,7 %) со всеми гомологами тяжелых углеводородов, а также источники (рек Орто-Силигир, Олдондо и др.) хлоридно-кальциевых вод с сероводородом.

Проявления асфальтовых битумов и жидкой нефти установлены в большей части колонковых скважин, пробуренных на кимберлитовой трубке «Удачная». Битум в трубке скапливался главным образом в зонах брекчированного кимберлита, заполнял трещины, жёлобы, пустоты и кальцитовые жилы, придавая им коричневый цвет. Исследование битума под микроскопом показывает, что он поступил в трещины уже после того, как в них были отложены кальцит и гипс, принесенные сюда гидротермальными водами. Элементарный и групповой состав битума (C – 79,84 %, H = 10-12 %, S = 1,7-3 %, N + O = 2,45-10 %, масла 67-75 %, смолы 1,5-21 %, асфальтены 10-12 %) свидетельствует о его принадлежности к классу нефтей. Углеводородная часть таких битумов представлена преимущественно метанонафтеновыми разностями (81-91 %), в составе которых до 20 % твердых углеводородов, а ароматическая фракция – только моно- и в меньшей степени биароматическими (9-19 %). В метанонафтеновой фракции доля углерода, приходящегося на парафиновые цепи, достигает 66-72 % [4].

Нефти из кимберлитовой трубки «Удачная» с глубины 140-162 м имеют плотность 0,91-0,92 г/см³. В них содержится незначительное количество бензиновых фракций: с концом кипения до 150° С – 2,4 %, до 200° С – 7,4 %. Максимальный выход характерен для маслянистых компонентов (32,3 %). Не перегоняемый остаток при температуре до 500° С составляет 50,4 %, что обусловлено повышенным содержанием в нефти смолистых асфальтеновых компонентов. Количество твердых парафинов в ней изменяется от 0,3 до 1,35 %, кинематическая вязкость ее при 200° С составляет 115 см²/с [5].

Из других нефтегазопроявлений на трубке «Удачная» заслуживает внимания фонтан горючего газа из скв. 42 с глубины 367,9 м. В составе газе преобладает водород (H_2 – 53,63 %, CH_4 + C_2H_6 – 36,94 %, C_2H_6 – 2,667 %, C_3H_8 – 0,946 %, C_4H_{10} – 0,259 %, C_5H_{12} + высшие – 0,025 %, C_nH_m – 0,26 %, CO – 0,05 %, N_2 – 0,12 %, He – 0,0048 %, Ar – 0,0081 %). Газ в залежи

по составу (исключая водород и непредельные углеводороды) отвечает попутному газу нефтяных месторождений.

Перспективы освоения скоплений тяжелых нефтей

Наиболее изученным и привлекательным объектом для добычи тяжелых нефтей, малых и асфальтов могут стать породы мархинской и моркокинской свит в непосредственной близости от кимберлитовой трубки «Удачная». По данным Е.И. Бодунова с соавторами, коллекторские свойства пород этих свит в Далдыно-Алакитском районе отличаются значительной неоднородностью (табл.1) [6].

Таблица 1

Коллекторские свойства пород моркокинской и мархинской свит [6]

Table 1

Reservoir properties of rocks of the Morkokinskaya and Markhinskaya suites [6]

Кол-во скважин	Толщина свит, м	Кол-во пластов коллекторов	Эффективная толщина пластов коллекторов, м	Значения Кп, %
Моркокинская свита				
2	192 – 220	2 -23	2,8 – 36,2	3,0 – 27,2
Мархинская свита				
62	296 – 547	0 – 38	0 – 32,5	3,0 – 20,7

Как видно из таблицы, распространение пластов с высокими коллекторскими свойствами неравномерное по площади и разрезу Далдыно-Алакитского района. С большой долей вероятности подобная ситуация в целом характерна для всего этого района. Это в целом характерно и для большинства массивов карбонатных пород мира (крайняя невыдержанность в пространстве карбонатных пород достаточных коллекторских свойств, исключение – это мезозойские карбонатные отложения Персидского залива).

Фильтрационная неоднородность в массиве карбонатных пород обусловлена тектоническим фактором. С одной стороны, формирование системы трещин в массиве карбонатных пород является определяющим фактором формирования вторичной пористости и кавернозности, а с другой, вторичная минерализация приводит к снижению фильтрационной проницаемости массива карбонатных пород. Именно сочетанием этих двух факторов и обусловлена существенная невыдержанность в пространстве фильтрационно-емкостных свойств карбонатных пород.

Кроме того, на степень невыдержанности фильтрационно-емкостных свойств массива карбонатных пород могли оказать особенности геологического развития южного и юго-восточного склонов Анабарской антеклизы. С историко-генетических реконструкций можно предположить, исходя из анализа распределения толщин венд-нижнесреднепалеозойских отложений юго-восточного и восточного склонов Анабарской антеклизы [7], что в течение длительного времени склоны Анабарской антеклизы представляли собой относительно приподнятую зону, в сторону которой могла происходить латеральная миграция углеводородов, генерированных вендрифейскими отложениями осевой части современной Вилюйской синеклизы (Ыгыаттинская впадина). Процесс насыщения нефтью карбонатных пород, слагающих склоны Анабарской антеклизы, был длительным и многоэтапным. На первом этапе происходил латеральный транзит из очагов генерации по терригенным пластам (типа старореченской свиты). Далее перераспределение углеводородов по разрезу происходило субвертикально по разрывным нарушениям во время тектонических активизаций.

Реальными объектами постановки добычи природных битумов на глубинах до 300 м могут стать карбонатные породы верхнекембрийского возраста – мархинская и моркокинская свиты (рис. 3).

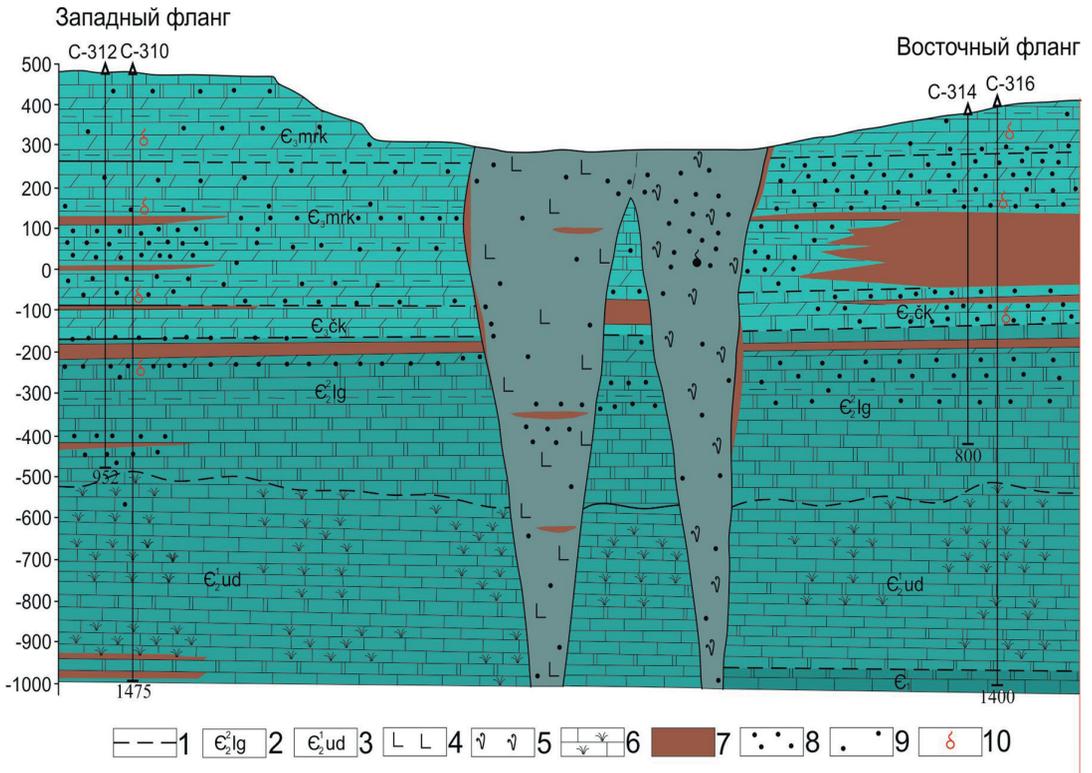


Рис. 3. Схематический геологический разрез тр. Удачная
(составили А.Н. Маршалова, В.А. Павлов, 1986 г. с дополнениями авторов)

Условные обозначения: 1 – границы стратиграфических подразделений, 2- лагуно-сабкховая пачка, 3 – рифогенно-обломочная толща, 4 – кимберлиты западного тела трубки, 5 – кимберлиты восточного тела трубки, 6 – эпифитоновые водоросли, 7 – сплошь пропитанные нефтью участки пород, 8 – участки пятнистого нефтенасыщения, 9 – участки слабого нефтенасыщения, 10 – газопроявления.

Fig. 3. Schematic geological section of the Udachnaya pipe
(compiled by A.N. Marshalova, V.A. Pavlov, 1986 with additions by the authors)

Symbols: 1 – boundaries of stratigraphic division, 2 – lagoon-sabkha pack, 3 – reefogenic-clastic strata, 4 – kimberlites of the western body, 5 – kimberlites of the eastern body, 6 – epiphyton algae, 7 – oil-soaked rocks areas, 8 – areas of spotted oil saturation, 9 – areas of weak oil saturation, 10 – gas occurrences.

Нижняя часть разреза мархинской свиты в рассматриваемом регионе сложена плитчатыми тонкокристаллическими известняками с редкими тонкими (0,15-0,2 м) прослоями аргиллитов и линзами водорослевых известняков. В средней части разреза свиты присутствуют оолитовые и водорослевые известняки, а также доломиты. В верхней части разреза свиты преобладают доломитизированные известняки и доломиты. Суммарная толщина разреза свиты до 260 м.

Разрез моркокинской свиты в нижней ее части сложен светло-серыми доломитами, выше по разрезу залегает толща переслаивания оолитовых известняков, известковистых песчаников и конгломератов. Завершается разрез доломитизированными известняками. Толщина разреза свиты 160 м.

Самые большие по масштабам битумопроявления приурочены к средней и верхней частям разреза мархинской свиты. По Б.А. Клубову (1983), нередко встречаются пачки пропитанных мальтой и асфальтом темно-коричневых и черных пористо-кавернозно-трещинных известняков и доломитов. Битум образует капельные выпоты, натеки.

Вопросы перспектив нефтегазоносности Мархинского вала в традиционном понимании остаются открытыми. Прямые признаки нефтегазоносности были установлены при испытании Мархинской разведочной скважины № Р-2, которая оказалась пробуренной в неблагоприятных условиях и по структурному положению оказалась почти на 150 м ниже свода, выявленного колонковым бурением. Скважина не была обсажена и испытана только в открытом стволе. Всего испытано 4 интервала: 2000-2030 м, 1836-1850 м, 1652-1656 м и 1010-1038 м (см. табл. 2).

Таблица 2

Основные результаты испытания разведочной скважины № 2-Р Мархинская площадь

Table 2

Main results of exploration testing of well No. 2-P Markhinskaya area

Интервал	Пластовые давления, фиксированные во время испытания, атм.	Основные результаты испытания
2000-2030 м		Объект сухой.
1836-1850 м	38 (через 1 час) 96 (через 1,2 часа) 138 (через 2 часа) 227 (через 3 часа) 216 (через 6,5 часа)	Пленки нефти. СКО. Сильно разгазированная высокоминерализованная вода с пленками нефти. Газ горючий, горит синим пламенем.
1652-1656 м	206 (через 1,6 часа) 198 (через 3 часа) 195 (через 6 часов)	Приток высокоминерализованной и сильно газированной воды. Зафиксированное высокое пластовое давление, по всей видимости, обусловлено некачественной пакерровкой – просачивание раствора из забойной зоны. На приборах и тросе обнаружены примазки нефти.
1010-1038 м	125 (через 1,7 часа), 106 (через 1,9 часа), 114 (от 2-3,3 часов), 84 (через 3,8 часа)	Газированная нефть. Одновременно поступлением нефти наблюдалось интенсивное газирование раствора. Газ горел синим пламенем. Отобрано было 2,5 литра нефти для анализа.

Несмотря на неблагоприятные структурные условия и некачественное опробование перспективных интервалов можно выделить два потенциальных продуктивных горизонта с признаками газоносности (1652-1656 м) и нефтеносности (1836-1855 м). Надо отметить, Среднеботуобинское нефтегазоконденсатное месторождение (НГКМ) почти 10 лет разведывалось как газовое месторождение с нефтяной оторочкой, не имеющей промышленного значения. В первое время ботуобинский горизонт вскрывался глинистым раствором на пресной основе и только переход на буровые растворы на углеводородной основе подтвердил промышленное значение нефтяной оторочки на этом месторождении. Как оказалось, образовавшиеся в ботуобинских песчаниках в призабойной зоне скважины (ПЗС) стойкие водонефтяные эмульсии увеличивали гидродинамическое сопротивление в межпоровых каналах и резко снижали дебиты нефти (не более первых кубов в сутки). Вскрытие ботуобинских песчаников растворами на углеводородной основе привело к устойчивым дебитам практически до 200 м куб. нефти в сутки [8]. Весьма вероятно, в Мархинском вале могли также пропустить нефтяную залежь из-за ухудшения фильтрационно-емкостных свойств ПЗС за счет проникновения бурового раствора.

Заключение

Силигир-Мархинское битумное поле, включающее крупный Мархинский вал, кенеликянские поверхностные нефтепроявления и кимберлитовые трубки «Удачная», является наиболее изученным и близким к разрабатываемым месторождениям Непско-Ботуобинской антеклизы. Отличительной чертой района является уникальная по толщине зона отрицательных

температур, что, несомненно, будет оказывать негативное воздействие на подвижность жидких пластовых флюидов. Вместе с тем отмечается низкий порог застывания кенеликянских нефтей (-58°C), что позволяет предположить о подвижности этих нефтей в температурных условиях рассматриваемого района [5]. Технологии бурения горизонтальных стволов скважин в комбинации с мультипликативным гидроразрывом пласта (ГРП) могут обеспечить эффективное освоение нефтей и битумов Силигир-Мархинского поля.

Определенный интерес вызывает повышенное содержание водорода в составе газов из газопроявлений в районе трубки «Удачная». В работе [9] отмечается, что в этом районе весьма ценным станет проведение мониторинговых исследований по стабильности дебитов водорода, составившего в свое время 100 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$ (скв. 42).

В нижней части разреза перспективы нефтегазоносности связываются с Мархинским валом и прилегающими к нему структурами, где установлены высокоминерализованные подземные воды хлоридно-кальциевого типа, в которых содержится большое количество нафтеновых кислот, брома, йода, аммония и других показателей нефтегазоносности. С учетом заложения разведочной скважины в неструктурных условиях и небольшого опыта вскрытия нефтеносных пластов, весьма вероятно, в Мархинском вале остается неоткрытым нефтяное месторождение.

Разработка битумных месторождений и месторождений тяжелой нефти Сибирской платформы дело, как минимум, даже не среднесрочной перспективы. Но, неизбежно высокие цены на углеводородное сырье в будущем, сделают рентабельными проекты по разработке таких месторождений. Причем, такие проекты могут оказаться более рентабельными чем, например, добыча нефти на шельфах арктических морей восточного сектора РФ (море Лаптевых и Восточно-Сибирское море). Следовательно, уже сегодня необходимо начинать разрабатывать технологии по разработке месторождений вязкой нефти и битумов в условиях криолитозоны.

Литература

1. Чижевский А.В. Минэнерго спрогнозировали рост доли трудноизвлекаемых запасов нефти в РФ до 70 % к 2030 году. *Деловой журнал «Neftegaz.RU»*. 2023. Режим доступа: <https://neftegaz.ru/news/gas/777204-v-minenergo-sprognozirovali-rost-doli-trudnoizvlekaemykh-zapasov-nefti-v-rf-do-70-k-2030-odu/?ysclid=m6r56hcck149951107>
2. Сафронов А.Ф. Природные битумы восточной части Сибирской платформы – потенциальный объект добычи углеводородного сырья. *Наука и образование*. 2013; 3(71):86-89.
3. Баженова Т.К., Кушмар И.А. Основные черты геологии и геохимии природных битумов домезозойского мегабассейна Сибирской платформы. *Природные битумы и тяжелые нефти*: сб. материалов Международной конференции. – СПб.: Недра;2006:132-145
4. Макаров К.К. Геологическое строение и перспективы южного склона Анабарской антеклизы на нефть и газ / Макаров К.К. Косолапов А.И. *Геологическое строение и нефтегазоносность восточной части Сибирской платформы и прилегающих районов*. М.: «Недра»;1968:341-351
5. Арчegov В.Б. Блоковая делимость и источники нефти на юге Анабарской антеклизы в связи с развитием нефтегазового комплекса Сибирской платформы / Арчegov В.Б. // *Нефтегазовая геология. Теория и практика*. 2008;3(4):11. Режим доступа: https://ngtp.ru/rub/4/53_2008.pdf
6. Бодунов Е.И., Белецкий В.Л., Фрадкин Г.С. и др. Геология, гидрогеология и геохимия нефти и газа южного склона Анабарской антеклизы. Якутск: изд. ЯФ СО АН СССР;1986:176.
7. Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия) / Отв. ред. Л.М. Парфенов, М.И. Кузьмин. М.: МАИК «Наука/Интерпериодика». 2001:571.
8. Васильев Р.И. Долгая дорога к открытию нефти в Якутии. *Аммосов-2023: сборник материалов общеуниверситетской научной конференции студентов и магистрантов*, Якутск, 27 апреля 2023 года. Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова; 2023:876-879.
9. Абукова Л.А. Природный водород как полезное ископаемое: состояние проблемы в России. В кн.: *Физико-технические проблемы добычи, транспорта и переработки органического сырья в условиях холодного климата: Сборник трудов III Всероссийской конференции, посвященной 25-летию Института*

проблем нефти и газа СО РАН, Якутск, 10–13 сентября 2024 года. Киров: Межрегиональный центр инновационных технологий в образовании; 2024:14-17. – DOI 10.24412/cl-37255-2024-1-14-17.

References

1. Chizhevsky AV. The Ministry of Energy predicted an increase in the share of hard-to-recover oil reserves in the Russian Federation to 70 % by 2030. *Business Magazine «Neftegaz.RU»*. 2023. Available from: <https://neftgaz.ru/news/gas/777204-v-minenergo-sprognozirovali-rost-doli-trudnoizvlekaemykh-zapasov-nefti-v-rf-do-70-k-2030-odu/?ysclid=m6r56hcckl49951107> (in Russian).
2. Safronov AF. Natural bitumen of eastern part of Siberian platform – potential object of the mining of the hydrocarbons. *Science and education*. 2013; № 3(71): 86-89 (in Russian).
3. Bazhenova TK, Kushmar IA. Main features of the geology and geochemistry of the natural bitumen of pre-Mesozoic megabasin of the Siberian platform. In: *Natural bitumen and heavy oil. Collection of works of International Conference*. SPb.: Nedra;2006:132-145 (in Russian).
4. Makarov KK, Kosolapov AI. The geological structure and perspectives of the oil and gas of the southern slope of Anabar anticline. In: *Geological structure and the oil and gas of eastern part of Siberian platform and the surrounding areas*. M: Nedra;1968:341-351 (in Russian).
5. Archegov VB. Block separability and source of oil in the south of Anabar anticline in connection of the development of the oil and gas complex the of Siberian platform. *Oil and gas geology. Theory and Practice*. 2008;3(4):11. (in Russian). Available from: https://ngtp.ru/rub/4/53_2008.pdf
6. Bodunov EI, Beletsky VL, Fradkin GS, et al. Geology, hydrogeology and geochemistry of the oil and gas of southern adret of Anabar anticline. Yakutsk: publ. YS SB AS USSR;1986:176 (in Russian).
7. Tectonics, geodynamics and metallogeny of the territory of the Republic of Sakha (Yakutia). In: Parfenov LM. and Kuz'min MI (eds). M.: Nauka/Interperiodika. 2001:571 (in Russian).
8. Vasiliev RI. A long way to the discovery of oil in Yakutia. In: Ammosov – 2023. *Collection of works of university-wide science conference of students and master candidates, Yakutsk, 27th of April 2023*. Yakutsk: North-Eastern Federal University of M.K. Ammosov;2023:876-879 (in Russian).
9. Abukova LA. A natural hydrogen as a mineral: a state of the problem in Russia. In: *Physical-technical problems of the mining, transportation and recycling of an organic raw materials in the conditions of cold climate. Collection of works III National Conference dedicated to 25th anniversary of the Institute of Oil and Gas Problems SB RAS, Yakutsk, 10th-13th of September 2024*. Kirov: Interregional Centre for Innovative Technologies in Education; 2024:14-17. (in Russian) DOI 10.24412/cl-37255-2024-1-14-17.

Сведения об авторах

СИВЦЕВ Алексей Иванович, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры «Недропользование», ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», ORCID: 0000-0001-8386-2383, ResearcherID: F-1077-2014, Scopus Author ID: 56287496100, SPIN: 8676-4888, e-mail: maraday@yandex

АЛЕКСАНДРОВ Александр Романович, научный сотрудник, ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» Институт проблем нефти и газа СО РАН, ORCID: 0000-0001-6459-8951, ResearcherID: D-8376-2021, Scopus Author ID: 56513304000, SPIN: 5062-9473, e-mail: sutuka1956@mail.ru

ПЕТРОВ Дмитрий Михайлович, инженер-исследователь, ФИЦ «ЯНЦ СО РАН» Институт проблем нефти и газа СО РАН, ORCID: 0000-0002-3125-5933, ResearcherID: D-8376-2021, Scopus Author ID: 57214721323, SPIN: 3827-1218, SPIN: 1127-8070, e-mail: qanala@mail.ru

About the authors

Aleksei I. SIVTSEV, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Associate Professor, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, ORCID: 0000-0001-8386-2383, ResearcherID: F-1077-2014, Scopus Author ID: 56287496100, SPIN: 8676-4888, e-mail: maraday@yandex

Alexander R. ALEKSANDROV, Researcher, Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the RAS, ORCID: 0000-0001-6459-8951, ResearcherID: D-8376-2021, Scopus Author ID: 56513304000, SPIN: 5062-9473, e-mail: sutuka1956@mail.ru

Dmitrii M. PETROV, Research engineer, Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the RAS, ORCID: 0000-0002-3125-5933, ResearcherID: D-8376-2021, Scopus Author ID:57214721323, SPIN: 3827-1218, SPIN: 1127-8070, e-mail: qanala@mail.ru

Вклад авторов

Сивцев А.И. – разработка концепции, проведение исследования, руководство исследованием
Александров А.Р. – редактирование рукописи, визуализация, администрирование данных
Петров Д.М. – создание черновика рукописи, визуализация

Authors' contribution

Sivtsev A.I. – conceptualization, investigation, supervision
Aleksandrov A.R. – writing-review&editing, visualization, project administration
Petrov D.M. – writing original draft, visualization

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest

*Поступила в редакцию / Submitted 24.02.25
Принята к публикации / Accepted 05.03.25*

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СКВАЖИН НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА «ЛЕВОБОЕРЕЖНЫЙ» ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ДРЕНАЖНЫХ РАССОЛОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ»

Д.М. Татаринов^{1*}, С.Н. Старостин², И.А. Чичигинов¹, Н.А. Слепцов¹

¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
г. Якутск, Российская Федерация

² КП РС(Я) «Дороги Арктики», г. Якутск, Российская Федерация

* dm.tatarinov@s-vfu.ru

Аннотация

Статья посвящена исследованию особенностей конструкции гидрогеологических скважин на участке «Левобережный», предназначенных для захоронения дренажных рассолов месторождения трубки «Удачная» в условиях многолетнемерзлых пород Западной Якутии. Актуальность работы обусловлена необходимостью минимизации негативного воздействия алмазодобывающего производства на хрупкую экосистему криолитозоны. Основное внимание уделено проблеме утилизации хлоридных кальциевых рассолов, которые оказывают разрушительное влияние на устойчивость горных пород и горно-шахтное оборудование. В статье представлены результаты бурения 8 скважин глубиной 300 м, выполненных с использованием передвижной буровой установки УКБ-5С. Описаны методы бурения, включая вращательное и ударно-вращательное бурение с применением сжатого воздуха в качестве очистного агента, что позволило достичь выхода керна не менее 80 %. Детально рассмотрена конструкция скважин, включая крепление обсадными трубами и цементирование затрубного пространства для обеспечения устойчивости стволов в условиях воздействия рассолов. Особое внимание уделено технологическим решениям, таким как использование перфорированных колонн с щелевыми фильтрами для предотвращения обвалов и растепления пород. Проведенные гидрогеологические исследования, включая методы кустовых наливов, подтвердили высокую поглощательную способность трещиноватых многолетнемерзлых пород, что делает участок «Левобережный» пригодным для захоронения дренажных вод. Результаты работ показали, что разработанная конструкция скважин и примененные технологии бурения обеспечивают устойчивость и долговечность скважин в сложных геологических условиях. Полученные данные могут быть использованы для дальнейших опытно-промышленных работ и прогнозных расчетов, направленных на безопасное и эффективное захоронение дренажных рассолов.

Ключевые слова: многолетнемерзлые породы, дренажные рассолы, гидрогеологические скважины, бурение, захоронение отходов, трубка «Удачная», участок «Левобережный».

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки

Для цитирования: Татаринов Д.М., Старостин С.Н., Чичигинов И.А., Слепцов Н.А.

Особенности конструкции гидрогеологических скважин на примере участка «Левобережный» для захоронения дренажных рассолов месторождения трубки «Удачная». *Вестник СВФУ.* 2025;(1): 55-61. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-55-61

FEATURES OF HYDROGEOLOGIC WELLS DESIGN: THE CASE OF THE LEVOBEREZHZHNY SITE FOR BURIAL OF DRAINAGE BRINES OF THE UDACHNAYA PIPE DEPOSIT

Dmitry M. Tatarinov^{1*}, *Stanislav N. Starostin*², *Igor A. Chichiginarov*¹, *Nikolay A. Sleptsov*⁴

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

² SE RS(Y) "Roads of the Arctic", Yakutsk, Russian Federation

* dm.tatarinov@s-vfu.ru

Abstract

The article is devoted to the study of the design features of hydrogeological wells at the Levoberezhny site, intended for the burial of drainage brines from the Udachnaya pipe deposit in permafrost conditions in Western Yakutia. The relevance of the work is due to the need to minimize the negative impact of diamond mining on the fragile ecosystem of the cryolithozone. The main attention is paid to the problem of utilization of calcium chloride brines, which have a devastating effect on the stability of rocks and mining equipment. The article presents the results of drilling 8 wells with a depth of 300 m, performed using a mobile drilling rig UKB-5S. Drilling methods are described, including rotary and impact-rotary drilling using compressed air as a cleaning agent, which made it possible to achieve a core yield of at least 80 %. The design of wells is considered in detail, including casing fastening and cementing the annular space to ensure the stability of the trunks under the influence of brines. Special attention is paid to technological solutions, such as the use of perforated columns with slit filters to prevent rock collapses and thawing. The hydrogeological studies carried out, including the methods of bush filling, have confirmed the high absorption capacity of fractured permafrost rocks, which makes the Levoberezhny site suitable for the disposal of drainage waters. The results of the work have shown that the developed well design and applied drilling technologies ensure the stability and durability of wells in difficult geological conditions. The data obtained can be used for further pilot production and predictive calculations aimed at safe and efficient disposal of drainage brines.

Keywords: permafrost rocks, drainage brines, hydrogeological wells, drilling, waste disposal, Udachnaya pipe, Levoberezhny site.

Funding. No funding was received for writing this manuscript.

For citation: Tatarinov D.M., Starostin S.N., Chichiginarov I.A., Sleptsov N.A. Features of hydrogeologic wells design: the case of the Levoberezhny site for burial of drainage brines of the Udachnaya pipe deposit. *Vestnik of North-Eastern Federal University. "Earth Sciences"*. 2025;(1):55-61 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-55-61

Введение

Эффективное использование природных ресурсов и сохранение геологической среды северных регионов являются одними из наиболее актуальных глобальных проблем современности. Уязвимость экосистем, усугубляемая активным промышленным ростом в зонах вечной мерзлоты, нередко становится причиной серьезных экологических нарушений, которые невозможно исправить, особенно в ходе добычи минеральных ресурсов. Алмазодобывающая промышленность Западной Якутии также испытывает на себе влияние этих проблем. В ответ на это компания АК «АЛРОСА» внедрила ряд стратегий, целью которых является минимизация, а в отдельных случаях и полное исключение вредного влияния горнодобывающих работ на экологию. Одной из ключевых проблем являются дренажные и промышленные сточные воды, которые занимают существенную часть в общей массе вредных отходов, возникающих в процессе алмазодобычи.

Отработка глубоких горизонтов крупнейшего месторождения алмазов – трубки «Удачная» – связана с поступлением хлоридных кальциевых рассолов в карьер и в подземные горные выра-

ботки. [1] Они оказывают негативное воздействие на устойчивость горных пород, провоцируя разрушение вследствие снижения их прочностных характеристик, коррозию крепежных элементов и горно-шахтного оборудования, а также усложнение водоотливных операций из-за высокой минерализации флюидов. Данные процессы требуют реализации дополнительных работ, применения стойких материалов и адаптации технологических регламентов для минимизации рисков деформации и нарушения устойчивости подземных выработок.

Возможность использования глубокозалегающих водоносных горизонтов в Западной Якутии для захоронения дренажных рассолов зависят от: региональных гидрогеологических условий, определяющих закрытость подземного резервуара; характера водообмена подземных и поверхностных вод; фильтрационно-емкостных свойств поглощающей водоносной толщи, а также мощности и проницаемости пород перекрывающего мерзлого экрана [2]. Следует отметить, что наиболее благоприятными структурами для утилизации жидких промышленных отходов на севере Якутской алмазоносной провинции являются участки многолетнемерзлых пород, приуроченные к зонам тектонических нарушений. К примеру, за 25-летний период отработки трубки «Удачная» в условиях обводнения уже использовано два полигона захоронения [2].

Данная статья направлена на описание характеристик гидрогеологической скважины, предназначенной для утилизации дренажных вод, на основе проведенных исследований. В работе использовано комплексное моделирование, позволяющее оценить возможность сброса дренажных рассолов в водоносный горизонт.

Геологические и технические условия

Наиболее перспективным участком для организации нового узла закачки рассолов в массив многолетнемерзлых пород является участок «Левобережный» (рис. 1). Основной задачей работ являлось доизучение гидрогеологической структуры и получение исходных данных для постановки опытно-промышленных работ по закачке дренажных вод и выполнению прогнозных расчетов. В рамках проекта на участке «Левобережный» было пробурено 8 скважин, глубиной по 300 м. Назначение скважин – изучение и оценка гидрогеологических структур уч. Левобережный для захоронения дренажных вод и промышленных стоков рудника Удачный. Местоположение скважин на перспективном участке Левобережный выбрано в центральной части отведенной площади – в зоне наибольших высотных отметок поверхности, а также в районе пробуренных и опробованных ранее с положительным результатом скважин для выполнения гидрогеологических исследований методами кустовых наливов.



Рис. 1. Общий вид участка Левобережный

Fig. 1 General view of the Levoberezhny site

Методы и технология бурения

Проходка скважин осуществлялась с использованием передвижной буровой установки УКБ-5С (буровой станок СКБ-5), питаемой от дизельной электростанции ДЭС-60. Бурение выполнялось вращательным и ударно-вращательным (пневмударным) способами с использованием колонкового бурения диаметром 132 мм (твердосплавная коронка диаметром 112 мм с расширителями) и одинарных колонковых труб диаметром 108 мм. Выход керна составлял не менее 80 %, что позволило детально изучить геолого-литологический разрез, физико-механические свойства пород и гидрогеологические условия.

Геологический разрез участка представлен многолетнемерзлыми породами, характеризующимися высокой трещиноватостью, кавернозностью и льдистостью. Наличие зон трещиноватости и перемежающихся по твердости пород приводило к разрушению керна, что потребовало применения специальных мер: ограничение длины рейса до 0,5 м, снижение подачи очистного агента и частоты вращения, а также бурение «всухую».

Конструкция скважин

Конструкция скважин (рис. 2) была разработана с учетом требований геологического и технического задания, глубины бурения, особенностей геологического разреза, а также параметров оборудования, используемого для гидрогеологических и геофизических исследований.

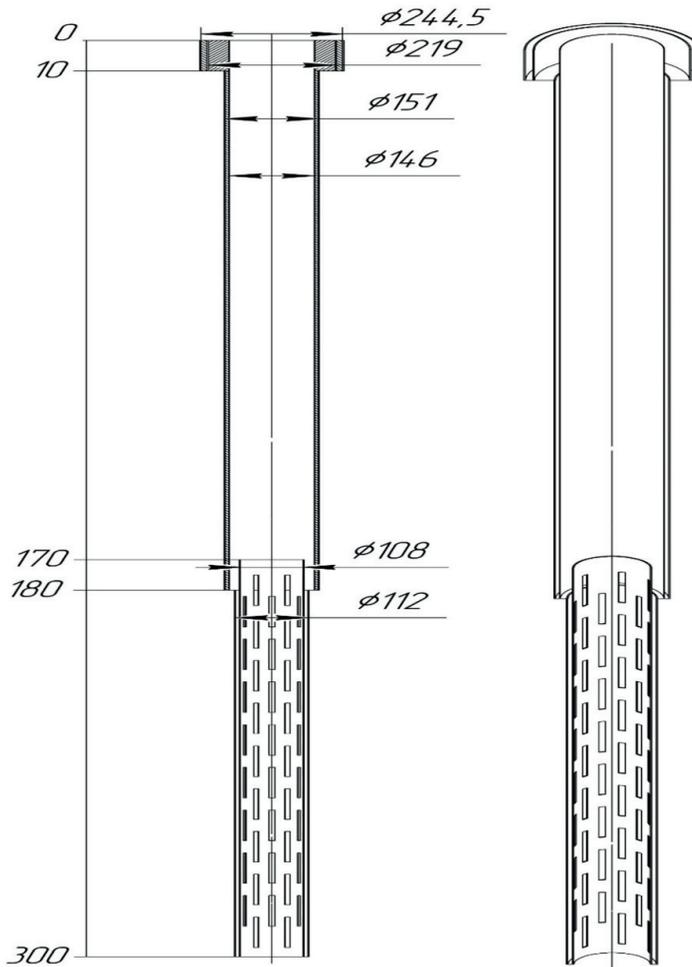


Рис. 2. Конструкция гидрогеологической скважины

Fig. 2 Hydrogeological well design

1. Интервал 0–10 м:

• Проходка выполнялась диаметром 132 мм с отбором керна и последующим расширением до 244,5 мм.

• Интервал укреплялся обсадными трубами диаметром 219 мм.

• Затрубное пространство цементировалось для предотвращения проникновения поверхностных вод и стабилизации неустойчивых пород.

2. Интервал 10–180 м:

• Проходка осуществлялась диаметром 132 мм с расширением до 161 мм.

• Интервал крепился обсадными трубами диаметром 146 мм.

• Цементация затрубного пространства обеспечивала устойчивость стенок скважин в условиях воздействия дренажных рассолов.

3. Интервал 180–300 м:

• Проходка выполнялась диаметром 132 мм с отбором керна.

• Интервал обсаживался перфорированной потайной колонной диаметром 108 мм.

• Фильтр колонны имел щелевую конструкцию с отверстиями размером 1,5×30 см и скважностью 20 %.

• Длина перфорированной части колонны составляла 120 м.

Такая конструкция скважин обеспечила надежную изоляцию интервалов, устойчивость ствола в условиях многолетнемерзлых пород и возможность эффективного проведения гидрогеологических исследований.

Технологические особенности

Проведенные буровые работы на участке «Левобережный» позволили получить значительный объем данных, необходимых для оценки гидрогеологической структуры участка и проектирования системы захоронения дренажных рассолов. Результаты бурения и последующих исследований подтвердили сложность геологического разреза, представленного многолетнемерзлыми породами с высокой степенью трещиноватости и льдистости. Эти особенности оказали существенное влияние на выбор методов бурения, конструкцию скважин и технологические решения.

Использование сжатого воздуха в качестве очистного агента позволило минимизировать коагуляцию трещин и обеспечить высокий выход керна. Для подачи воздуха использовалась компрессорная установка КВ-20/16, а для улучшения выноса шлама и снижения запыленности применялся эжектор. Герметизация устья скважин и отвод запыленного воздуха через специальные трубы обеспечили соблюдение экологических требований и безопасность работ.

Цементирование затрубного пространства обсадных колонн выполнялось с использованием портландцемента ПЦТ-500 с добавлением хлористого кальция для ускорения схватывания при отрицательных температурах. Плотность цементного раствора составила 1,84 г/см³, что обеспечило надежную изоляцию затрубного пространства. Испытания обсадных колонн на герметичность подтвердили их высокую надежность.

Проведенные гидрогеологические и геофизические исследования (рис. 3), включая методы кустовых наливов, позволили оценить фильтрационные свойства пород и их способность к поглощению дренажных рассолов. Установлено, что зоны интенсивной трещиноватости в многолетнемерзлых породах обладают высокой поглотительной способностью, что делает их пригодными для захоронения дренажных вод.

В процессе бурения были выявлены следующие проблемы:

1. Самозаклинивание керна – решено ограничением длины рейса и использованием сжатого воздуха.

2. Растепление пород – предотвращено за счет крепления обсадных колонн и цементирования затрубного пространства.

3. Образование ледяных пробок – минимизировано герметизацией устья и использованием охлажденного сжатого воздуха.



Рис. 3. Выполнение расходомерии с наливом

Fig. 3 Performing flow metering with filling

Заключение

Результаты работ подтвердили, что участок «Левобережный» пригоден для организации узла закачки дренажных рассолов. Конструкция скважин, разработанная с учетом особенностей геологического разреза, обеспечила их устойчивость и долговечность. Полученные данные могут быть использованы для дальнейших опытно-промышленных работ и прогнозных расчетов.

Таким образом, проведенные исследования и примененные технологические решения позволили успешно решить поставленные задачи и создать основу для безопасного и эффективного захоронения дренажных рассолов на участке «Левобережный».

Литература

1. Дроздов А.В., Иост Н.А., Лобанов В.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии. Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2008:507.
2. Дроздов А.В. Оценка перспективности участка «Левобережный» для захоронения дренажных рассолов трубки «Удачная». *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле РАН.* 2013;(1).
3. Янников А.М. Гидрогеология Далдынского кимберлитового поля: Республика Саха (Якутия). Мирный: АЛРОСА; 2023:305.
4. Агринский А.В. Результаты изучения гидрогеологических условий при разведке одной из кимберлитовых трубок в Западной Якутии. *Тр. ВСЕГИНГЕО.* 1980;(135):48-57.
5. Акишев А.Н. Проектирование сверхглубоких алмазородных карьеров. Проблемы и решения. В кн. *Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием: сборник докладов.* Апатиты- Санкт-Петербург, 2012:160–165.
6. Ильков А.Т. и др. Информационный отчет о выполненных гидрогеологических работах за 2011 год. Мирный, МГРЭ, 2012 г.

References

1. Drozdov AV, Iost NA, Lobanov VV. Cryohydrogeology of diamond deposits in Western Yakutia. Irkutsk: ISTU Publishing House, 2008:507 (in Russian).
1. Drozdov AV. Assessment of the prospects of the “Levoberezhny” site for the burial of drainage brines of the “Udachnaya” pipe. *News of the Siberian Branch of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences.* 2013:1 (in Russian).
2. Yannikov A.M. Hydrogeology of the Daldyn kimberlite field : Sakha Republic (Yakutia). Mirny : ALROSA. 2023:305 (in Russian).

3. Agrinsky AV. Results of studying hydrogeologic conditions during exploration of one of the kimberlite pipes in Western Yakutia. *Tr. VSEGINGEO*. 1980;(135):48-57 (in Russian).

4. Akishev AN. Designing of super-deep diamond ore pits super-deep diamond-ore open pits. Problems and Solutions. *All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation: collection of reports. – Apatity-St. Petersburg*, 2012:160-165 (in Russian).

5. Ilkov AT et al. Informational Report on the performed hydrogeological works for 2011. Mirny, MGRE, 2012 (in Russian).

Об авторах

ТАТАРИНОВ Дмитрий Михайлович, старший преподаватель, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», SPIN: 7884-9640, e-mail: dm.tatarinov@s-vfu.ru

СТАРОСТИН Станислав Николаевич, начальник разработки месторождений, КП РС (Я) «Дороги Арктики», e-mail:

ЧИЧИГИНАРОВ Игорь Александрович, студент, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», email: igorykt02@gmail.com

СЛЕПЦОВ Николай Александрович, студент, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова», email: slepsovnicola@gmail.com

About the authors

Dmitry M. TATARINOV, Senior Lecturer, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, SPIN: 7884-9640, e-mail: dm.tatarinov@s-vfu.ru

Stanislav N. STAROSTIN, Head of Field Development, State Enterprise of the Sakha Republic (Yakutia) “Roads of the Arctic”, e-mail:

Igor A. CHICHIGINAROV, student, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, email: igorykt02@gmail.com

Nikolay A. SLEPTSOV, student, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, email: slepsovnicola@gmail.com

Вклад авторов

Татаринов Д.М. – разработка концепции, методология

Старостин С.Н. – ресурсное обеспечение исследования

Чичигинаров И.А. – проведение статистического анализа

Слепцов Н.А. – проведение статистического анализа

Authors' contribution

Tatarinov D.M. – conceptualization, methodology

Starostin S.N. – resources

Chichiginarov I.A. – formal analysis

Slepsov N.A. – formal analysis

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 21.02.25

Принята к публикации / Accepted 03.03.25

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЗАКАЧКИ ДЕГАЗИРОВАННОЙ НЕФТИ В ДОБЫВАЮЩИЕ СКВАЖИНЫ ДЛЯ РАСФОРМИРОВАНИЯ КОНУСА ГАЗА В ПЛАСТАХ

*К.О. Томский**, *М.С. Иванова*, *М.Е. Оконешников*

Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,

г. Якутск, Российская Федерация

* kirilltom@mail.ru

Аннотация

В настоящее время на многих крупных месторождениях с массивной газовой шапкой остро стоит проблема прорывного газа газовых шапок, добываемого при разработке нефти тонких нефтяных оторочек. Одним из возможных способов ограничения добычи газа и снижения газового фактора является периодическая эксплуатация скважин. Для ускорения выравнивания газового конуса и возврата фонда в добычу при периодической эксплуатации применена обратная закачка дегазированной нефти в пласт. В работе был произведен анализ промыслового опыта периодической эксплуатации скважин с закачкой дегазированной нефти. С целью выполнения качественных сравнительных расчетов разных вариантов в работе было применено гидродинамическое моделирование периодической эксплуатации скважин и обратной закачки нефти в пласт на базе цифровой модели Среднеботуобинского месторождения (СБНГКМ). По результатам моделирования были выявлены основные закономерности. При моделировании периодической эксплуатации скважины в качестве варьируемых показателей использовались количество остановок и продолжительность остановки, при моделировании периодической эксплуатации с закачкой дегазированной нефти к варьируемому показателю добавлялся объем закачиваемой дегазированной нефти. В качестве контрольного показателя использовался такой технологический показатель, как накопленная добыча нефти. Результаты моделирования показывают, что периодическая работа скважины и закачка дегазированной нефти приводит к повышению накопленной добычи нефти по всем вариантам расчета. При этом если сравнивать варианты с периодической эксплуатацией с вариантом периодической эксплуатации с обратной закачкой нефти в пласт, то обратная закачка нефти в пласт в объемах до 100 м³ не приводят к дополнительной добыче нефти по сравнению с чистой периодикой.

Ключевые слова: геолого-физическая характеристика продуктивных пластов, нефтегазовый пласт, конус газа, моделирование периодической эксплуатации, обратная закачка нефти в пласт, цифровая модель, Среднеботуобинское нефтегазоконденсатное месторождение, гидродинамическое моделирование, нефтяные оторочки, газовая шапка

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки

Для цитирования: Томский К.О., Иванова М.С., Оконешников М.Е. Моделирование периодической эксплуатации и закачки дегазированной нефти в добывающие скважины для расформирования конуса газа в пластах. *Вестник СВФУ*. 2025;(1):62-74. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-62-74

MODELING OF PERIODIC OPERATION AND INJECTION OF DEGASSED OIL INTO PRODUCTION WELLS TO DISBAND THE GAS CONE IN RESERVOIRS

*Kirill O. Tomskii**, *Maria S. Ivanova*, *Maksim Ye. Okoneshnikov*

M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

* kirilltom@mail.ru

Abstract

Currently, many large fields with a massive gas cap have an acute problem of breakthrough gas from gas caps produced during the development of oil from thin oil rims. One of the possible ways to limit gas production and reduce the gas factor is periodic operation of wells. To accelerate the alignment of the gas cone and return the fund to production during periodic operation, re-injection of degassed oil into a reservoir is used. The paper analyzed the field experience of periodic operation of wells with the injection of degassed oil. In order to perform high-quality comparative calculations of different options, hydrodynamic modeling of periodic operation of wells and re-injection of oil into the reservoir was used based on the digital model of the Srednebotuobinskoye field (SBOGCF). Based on the modeling results, the main patterns were identified. When modeling periodic well operation, the number of shutdowns and shutdown duration were used as variable indicators; when modeling periodic operation with degassed oil injection, the volume of injected degassed oil was added to the variable indicators during modeling. The cumulative oil production was used as a control indicator. The modeling results show that periodic well operation and degassed oil injection lead to an increase in cumulative oil production for all calculation options. At the same time, if we compare the options with periodic operation with the option of periodic operation with oil reinjection into the reservoir, then oil reinjection into the reservoir in volumes of up to 100 m³ does not lead to additional oil production compared to pure periodicity.

Keywords: geological and physical characteristics of productive formations, oil and gas formation, gas cone, modeling of periodic operation, oil reinjection into the formation, digital model, Srednebotuobinskoye oil and gas condensate field, hydrodynamic modeling, oil rims, gas cap

Funding. No funding was received for writing this manuscript

For citation: Tomskii K.O., Ivanova M.S., Okoneshnikov M.Ye. Modeling of periodic operation and injection of degassed oil into production wells to disband the gas cone in reservoirs. *Vestnik of North-Eastern Federal University. "Earth Sciences"*. 2025;(1):62-74 (in Russian) DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-62-74

Введение

При разработке нефтяных месторождений часто возникает проблема закупорки скважин газом. Недостаточное пластовое давление приводит к образованию газового конуса, который впоследствии перемещается вместе с добываемой нефтью к скважинам, что приводит к снижению эффективности добычи нефти [1-2].

Основным вызовом на месторождении является избыточная добыча попутного нефтяного газа (ПНГ) и газа газовой шапки (ГШ), что в условиях инфраструктурных ограничений представляет определенные проблемы, связанные с его утилизацией. Текущая стратегия ограничения добычи ПНГ включает оптимизацию технологии заканчивания – применение автономных устройств контроля притока (АУКП), контроль режимов добывающих скважин (депрессия/забойное давление), организацию закачки воды в подгазовой зоне, периодическую эксплуатацию скважин [3-5].

Для ограничения добычи газа с 2020 г. на месторождении выполняются периодические остановки скважин. Для увеличения эффективности программы периодической эксплуатации в 2022 году начаты работы по глушению скважин дегазированной нефтью.

Для минимизации добычи ПНГ на месторождении с 2018 года внедрена практика периодической эксплуатации фонда скважин, осложненного большим газовым фактором (ГФ) [3].

Преимуществами периодической эксплуатации являются снижение объема добычи ПНГ, равномерная выработка запасов, а также снижение эксплуатационных затрат, в том числе энергопотребления [3].

Мероприятие по периодической эксплуатации заключается в следующем: при достижении высокого значения ГФ (~3 000 м³/т) скважина останавливается с последующим запуском через некоторый промежуток времени. Физический смысл метода заключается в выравнивании и стабилизации газового конуса, подтянувшегося к скважине за время эксплуатации. Через определенный период времени происходит расформирование конуса с формированием зоны остаточной газонасыщенности [3, 6-10].

Практика применения периодической эксплуатации показала возможность многократных остановок с воспроизводимостью эффектов по снижению ГФ после повторного запуска, пример по одной из скважин приведен в таблице 1 [3].

Таблица 1

Показатели эксплуатации до/после периодических остановок на примере одной скважины [3]

Table 1

Performance indicators before/after periodic shutdowns using one well as an example

Остановка	Остановочные показатели			T _{ост}	Запускные показатели		
	q _ж , м ³ /сут	q _н , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³		q _ж , м ³ /сут	q _н , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³
1	27,4	21,1	3264	63	33,5	28	2499
2	25	20	6168	14	29,2	24,2	1066
3	26,8	22,5	3778	15	25	21	235
4	31	23,4	1651	25	34,3	26,9	1013
5	25,8	20,4	4997	36	28,5	22,4	865

Было отмечено, что большая часть скважин, где получен значительный положительный эффект, приурочена к смене глубинного оборудования (ГНО). Объяснение высокой эффективности снижения ГФ на запуске в случаях смены глубинного оборудования, по сравнению с обычными остановками, кроется в глушении скважины перед извлечением ГНО [11-15]. На скважинах проводится обратное глушение товарной нефтью (глушение в затрубное пространство), забор нефти осуществляется с центрального пункта сбора, объем рассчитывается исходя из конструкции скважины.

Постановка проблемы

Дальнейшее развитие идей периодической эксплуатации с учетом эффектов от глушения скважин проявилось в целенаправленной закачке дегазированной нефти (ДГН) в пласт при остановке скважины.

Интересным с научной и практической стороны является возможность прогнозирования снижения газового фактора (ГФ) при изменении периодов остановки скважин и объемов закачиваемой дегазированной нефти. В настоящее время гидродинамическое моделирование является основным инструментом, позволяющим с высокой точностью прогнозировать поведение пласта при различном технологическом воздействии и принимать управленческие решения с целью повышения эффективности разработки и эксплуатации месторождений углеводородов [16-20].

Целью данной работы является исследование эффективности закачки дегазированной нефти в добывающие скважины для расформирования конуса газа, приводящее к повышению эффективности добычи нефти, с использованием гидродинамического моделирования на отечественном программном продукте ТНавигатор.

Учитывая, что технология закачки дегазированной нефти с целью расформирования конуса газа является относительно новой в отечественной нефтяной практике, а описание моделирова-

ния подобных нестандартных технологических операций не встречается в литературе, актуальность данной работы не вызывает сомнений [21-25].

В рамках выполнения работы была создана синтетическая гидродинамическая модель СБНГКМ на базе программного продукта ТНавигатор, произведено гидродинамическое моделирование периодической эксплуатации добывающей скважины и периодической эксплуатации с закачкой дегазированной нефти в пласт.

Материалы и методы исследования

В работе использовалась синтетическая гидродинамическая модель СБНГКМ, созданная на базе модели ПО Roxar и перенесенная на программный продукт ТНавигатор (рис. 1).

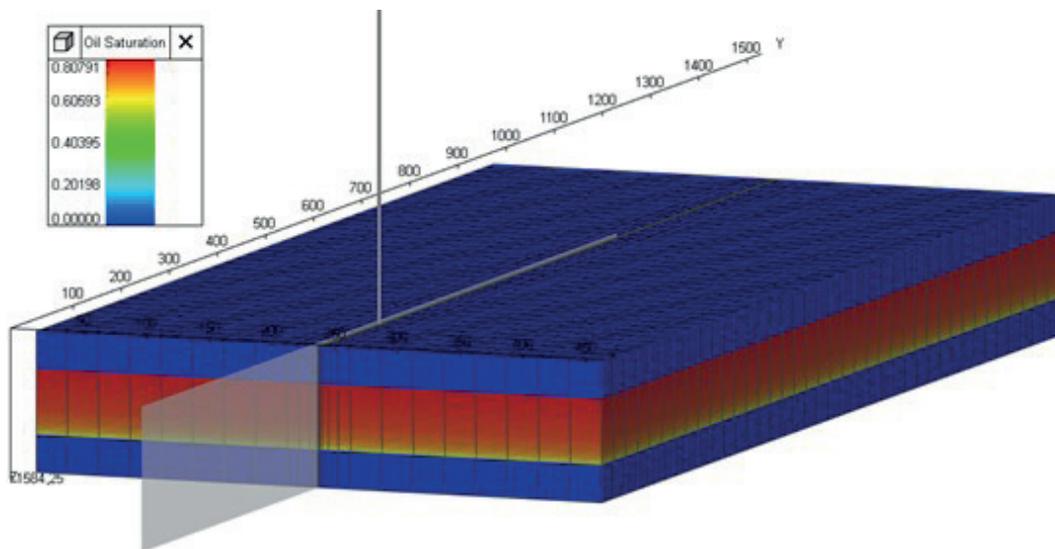


Рис. 1. 3Д модель пласта с отображением нефтенасыщенности перед запуском расчета

Fig. 1. 3D reservoir model with oil saturation display before starting the calculation

В модели имеется одна добывающая скважина, расположенная по центру модели на глубине, соответствующей 3 м от ВНК. Разработка ведется на режиме истощения, без поддержания пластового давления. Размеры модели составляют по X=451 м, по Y=950 м, по Z=31 м, размер ячейки по X=25 м, по Y=25 м, по Z=0,5 м, количество ячеек 93000, толщина нефтяной оторочки 14 м. Вдоль скважины сделано локальное измельчение сетки для более точного моделирования газового конуса.

Моделирование проводилось со следующими основными управляющими воздействиями и ограничениями: 1. Дебит скважины по жидкости – 60 ст.м³/сут; 2. Время остановки – 31, 61, 92, 123, 152 сутки; 3. Предельная обводненность – 0,98; 4. Максимальный ГФ – 2500 ст.м³/ст.м³; 5. Минимальный дебит нефти – 1 м³/сут; 6. Минимальное забойное давление – 50 бар; 7. Объемы закачиваемой нефти – 10, 20, 50, 100 м³; 8. Макс. Депрессия – 5 бар. Свойства флюида (сжимаемость породы – 0,00005 1/бар, давление насыщения 140 бар). Дата начала остановки скважины соответствовала достижению критического ГФ в 2500 ст.м³/ст.м³ и принималось одинаковой для всех вариантов – 01.10.2027 года, что соответствует 3 годам и 9 месяцам работы скважины с момента начала моделирования.

В итоге было произведено 25 сравнительных расчетов: 5 расчетов с разной продолжительностью остановки скважины без закачки нефти в пласт, также были произведены расчеты с 4 разными объемами закачки нефти в пласт, при каждом из которых были рассчитаны такие же 5 разных периодов остановки скважин.

Результаты

На рисунке 2 представлены графики дебита нефти и ГФ при остановке скважины на 123 сутки. В результате анализа результатов видно, что запускной газовый фактор снизился до 2244,44 м³/ м³ по сравнению с ГФ перед остановкой, равной 2635,72 м³/ м³.

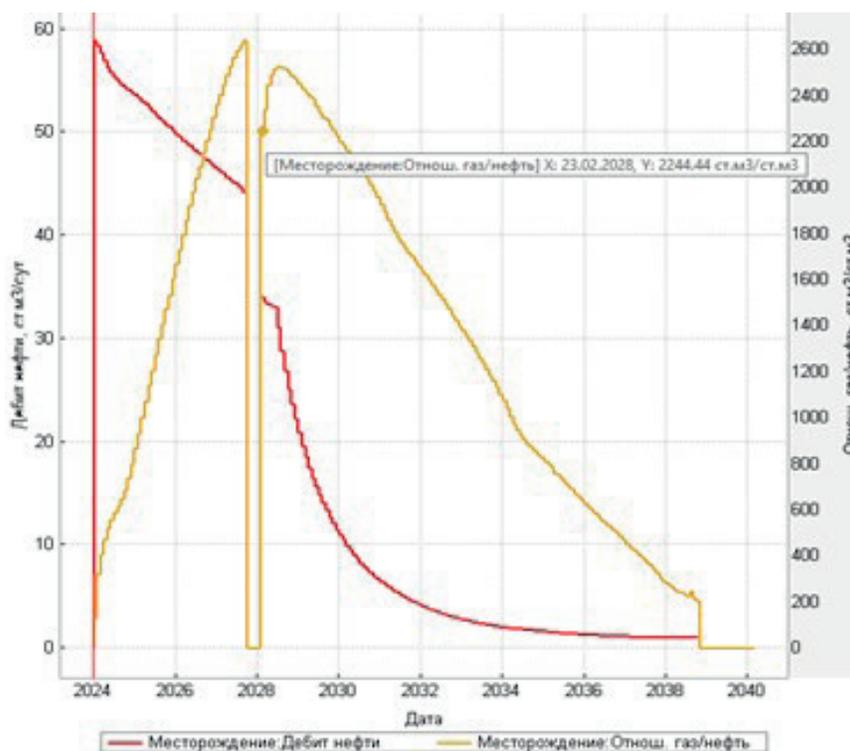


Рис. 2. Графики дебита нефти и газового фактора при остановке скважины на 123 сутки

Fig. 2. Oil flow rate and gas factor graphs when the well is shut down on day 123

В таблице 2 и на рисунке 3 показаны обобщенные результаты расчета периодической работы скважин без закачки ДГН: после остановок наблюдается снижение ГФ. Анализ данных показывает, что чем больше время простоя, тем больше дебит жидкости и меньше запускной ГФ. В целом, моделирование на синтетической модели показывает довольно хорошо прослеживаемое пропорциональное снижение ГФ с увеличением времени простоя.

Таблица 2

Результаты расчета периодической работы скважин без закачки ДГН

Table 2

Results of calculation of periodic operation of wells without injection of degassed oil

	Остановочные показатели		T _{ост}	Запускные показатели	
	q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ / м ³		q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ / м ³
1	44,113	2635,72	31	33,33	2443,99
2	44,113	2635,72	61	33,514	2373,67
3	44,113	2635,72	92	33,68	2318,67
4	44,113	2635,72	123	33,936	2244,44
5	44,113	2635,72	152	34,058	2197,48

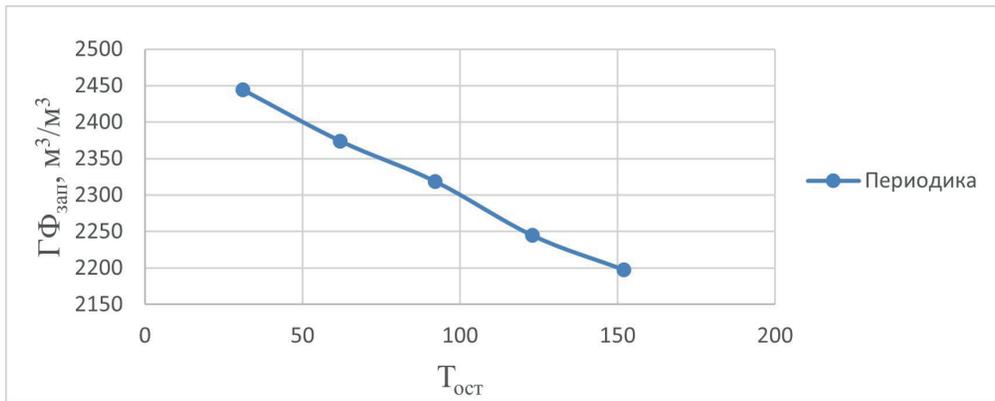


Рис. 3. График зависимости запускового газового фактора от времени простоя

Fig. 3. Graph of the dependence of the starting gas factor on the downtime

На рисунке 4 представлен процесс формирования газового конуса к добывающей скважине, следующим этапом работы было моделирование закачки дегазированной нефти при периодической эксплуатации скважины. в таблице 3 представлены обобщенные результаты, полученные при моделировании обратной закачки нефти в пласт при периодической эксплуатации скважин.

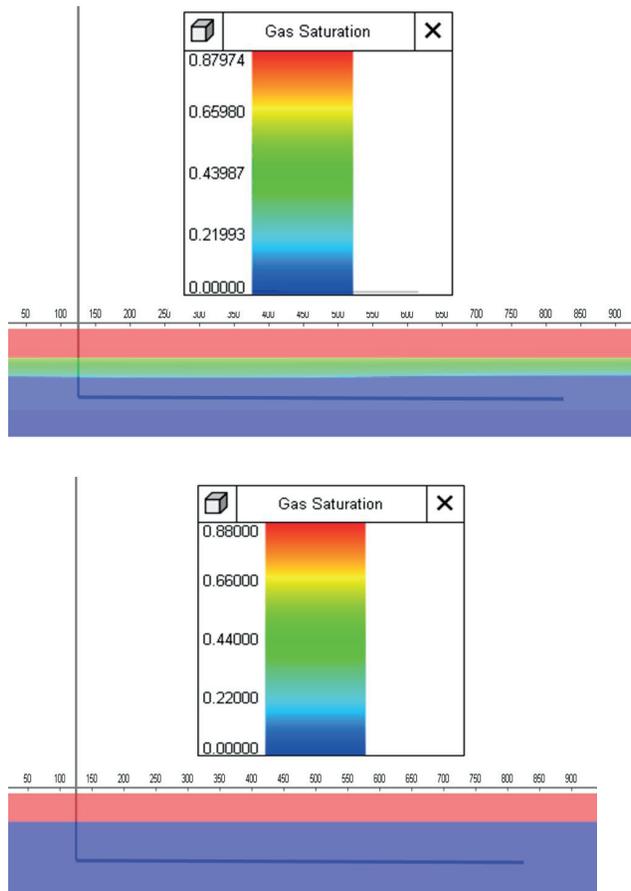


Рис. 4. Процесс формирования конуса газа в 3Д модели пласта

Fig. 4. The process of gas cone formation in the 3D reservoir model

Таблица 3

Результаты расчета периодической работы скважин с закачки ДГН разных объемов

Table 3

The results of calculating the periodic operation of wells with injection of degassed oil of different volumes

Периодика					
Остановка	Остановочные показатели		T _{ост}	Запускные показатели	
	q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³		q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³
1	44,113	2635,72	31	33,33	2443,99
2	44,113	2635,72	62	33,514	2373,67
3	44,113	2635,72	92	33,68	2318,67
4	44,113	2635,72	123	33,936	2244,44
5	44,113	2635,72	152	34,058	2197,48
Периодика + ДГН 10 м ³					
Остановка	Остановочные показатели		T _{ост}	Запускные показатели	
	q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³		q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³
1	44,113	2635,72	31	33,35	2440,28
2	44,113	2635,72	61	33,5	2376,12
3	44,113	2635,72	92	33,84	2338,9
4	44,113	2635,72	123	33,98	2237,99
5	44,113	2635,72	152	34,124	2181,32
Периодика + ДГН 20 м ³					
Остановка	Остановочные показатели		T _{ост}	Запускные показатели	
	q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³		q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³
1	44,113	2635,72	31	33,35	2440,8
2	44,113	2635,72	61	33,54	2367,99
3	44,113	2635,72	92	33,71	2314,46
4	44,113	2635,72	123	33,98	2238,12
5	44,113	2635,72	152	34,101	2190,73
Периодика + ДГН 50 м ³					
Остановка	Остановочные показатели		T _{ост}	Запускные показатели	
	q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³		q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³
1	44,113	2635,72	31	33,36	2432,45
2	44,113	2635,72	61	33,57	2359,85
3	44,113	2635,72	92	33,751	2303,63
4	44,113	2635,72	123	34,1	2208,9
5	44,113	2635,72	152	34,232	2162,52

Остановка	Периодика + ДГН 100 м ³				
	Остановочные показатели		T _{ост}	Запускные показатели	
	q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³		q _ж , м ³ /сут	ГФ, м ³ /м ³
1	44,113	2635,72	31	33,43	2417,04
2	44,113	2635,72	61	33,65	2342,32
3	44,113	2635,72	92	33,9	2275,35
4	44,113	2635,72	123	34,28	2173,33
5	44,113	2635,72	152	34,389	2132,69

Обсуждение

Таким образом, сравнивая результаты гидродинамического моделирования периодической работы скважин без закачки ДГН и результаты периодической работы скважин с закачкой ДГН разных объемов можно сделать вывод, что закачка дегазированной нефти в добывающие скважины имеет эффект с точки зрения снижения газового фактора и увеличения дебитов после остановки.

На рисунке 5 представлены графики зависимости снижения газового фактора от времени простоя при разных объемах обратной закачки нефти. В целом по результатам моделирования можно сделать вывод о пропорциональном снижении газового фактора с увеличением, как объемов закачки нефти, так и времени простоя.

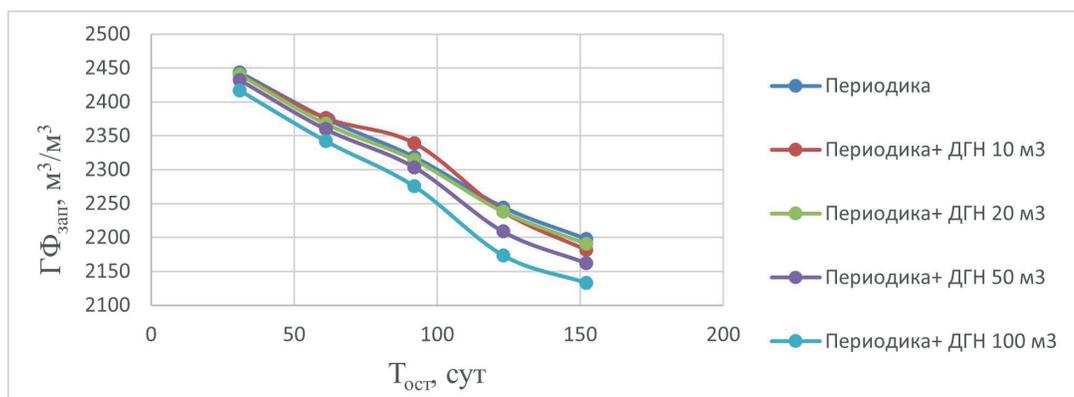


Рис. 5. График зависимости запускного газового фактора от времени простоя

Fig. 5. Graph of the dependence of the starting gas factor on the downtime

Также был рассчитан такой технологический показатель, как накопленная добыча нефти за период разработки, равный 15 годам (рис. 6). На гистограммах показаны обобщенные результаты по накопленной добыче нефти по всем вариантам. При этом в случаях обратной закачки ДГН в пласт объем накопленной добычи указан с вычетом объемов закачанной обратно в пласт нефти. В качестве базового варианта была принята накопленная добыча нефти без периодической остановки скважины, которая составила 93967 м³.



Рис. 6. Накопленная нефть по разным периодам (31, 62, 92, 123, 152)

Fig. 6. Accumulated oil for different periods (31, 62, 92, 123, 152)

Результаты моделирования показывают, что периодическая работа скважины и закачка дегазированной нефти приводит к повышению накопленной добычи нефти по всем вариантам расчета. При этом если сравнивать варианты с периодической эксплуатацией с вариантом периодической эксплуатации с обратной закачкой нефти в пласт, то обратная закачка нефти в пласт в объемах до 100 м³ не приводят к дополнительной добыче нефти по сравнению с чистой периодикой. При остановке скважины до 123 суток к увеличению накопленной добычи нефти приводит только обратная закачка нефти в пласт с объемом 100 м³. При этом с увеличением продолжительности остановки до 123 суток наблюдается практически пропорциональный прирост по накопленной добыче нефти (31 сутка – 94150 м³, 62 сутки – 94294 м³, 92 сутки – 94385 м³, 123 сутки – 94511 м³), при увеличении продолжительности остановки до 152 суток прирост по накопленной добыче нефти практически отсутствует, при этом при длительной остановке (152 сутки) мы наблюдаем, что эффект от обратной закачки нефти в пласт будет положительным при всех объемах закачки, что мы не могли наблюдать при меньшем времени остановки.

Заключение

В работе проведен анализ промысловых данных по периодической эксплуатации скважин, а также эксплуатации с закачкой нефти в пласт с целью расформирования газового конуса, создана синтетическая гидродинамическая модель с помощью ПО ТНавигатор на базе цифровой модели СБНГКМ Roxar;

Гидродинамическое моделирование периодической эксплуатации скважины с обратной закачкой нефти в пласт проведено в 25 разных вариантах расчета с разной продолжительностью остановки скважины и разными объемами закачки дегазированной нефти;

Результаты моделирования на синтетической модели показывают довольно хорошо прослеживаемое пропорциональное снижение ГФ с увеличением времени простоя, по результатам моделирования можно сделать вывод о пропорциональном снижении газового фактора с увеличением, как объемов закачки нефти, так и времени простоя;

Как показали расчеты, обратная закачка нефти в пласт в объемах до 100 м³ не приводят к дополнительной добыче нефти по сравнению с чистой периодикой, при остановке скважины до 123 суток к увеличению накопленной добычи нефти приводит только обратная закачка нефти в пласт с объемом 100 м³, рост накопленной добычи нефти останавливается, начиная с времени простоя, равной 123 суткам и выше;

При длительной остановке (152 сутки и более) наблюдается увеличение накопленной добычи при любых объемах закачки нефти (10 м³ и выше).

Литература

1. Ivanov E.N., Akinin D.V., Valeev R.R. et al. Development of Reservoir with Gas Cap and Underlying Water on Srednebotuobinskoye Field. *SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition*, 24-26 October 2016, Moscow, Russia. OnePetro. 2016:579-593. № SPE-182055-MS. DOI: 10.2118/182055-MS (in English).
2. Tomskii K.O., Ivanova M.S. Optimization of the location of a multilateral well in a thin oil rim, complicated by the presence of an extensive gas cap. *Journal of Mining Institute*. 2024; 265:140-146. (in English).
3. Приз К.И., Алексеев А.С., Черкасов Н.А. и др. Опыт периодической эксплуатации и закачки дегазированной нефти для расформирования конуса газа. *Экспозиция Нефть Газ*. 2023;5(98):69-73. – DOI 10.24412/2076-6785-2023-5-69-73. – EDN PPLZDE.
4. Бакиров Д.Л., Ахметшин И.К., Фаттахов М.М. и др. Опыт планирования, строительства и заканчивания многозабойных скважин с большой протяженностью горизонтальных участков. В кн. *Материалы 6 Тюменского международного инновационного форума «НЕФТЬГАЗТЭК»*, 16-17 сентября 2015, Тюмень, Россия. Салехард: Печатник, 2015:51-68.
5. Носачев А.А. Прогноз применения методов увеличения нефтеотдачи по геолого-промысловым данным: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Уфа: Башкирский научно-исследовательский и проектный институт нефтяной промышленности, 2000. 23 с.
6. Ivanova M.S., Tomskii K.O. Effectiveness of demulsifiers for the destruction of highly mineralized water-oil emulsions of the Srednebotuobinsky oil and gas condensate field. *International Scientific and Practical Conference «Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering»*, 20-23 October 2020, Rostov-on-Don, Russia. E3S Web of Conferences. 2020;217(04001). DOI: 1051/e3sconf/202021704001 (in English).
7. Ермеков Р.И., Меркулов В.П., Чернова О.С., Коровин М.О. Особенности учета анизотропии проницаемости в гидродинамической модели. *Записки Горного института*. 2020;243:299-304. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.299
8. Томский К.О., Никитин Е.Д., Иванова М.С. Анализ эффективности применения горизонтальных скважин для выработки запасов залежи газоконденсатного месторождения с низкими фильтрационно-емкостными свойствами. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2023;334(9): 172-181.
9. Tomskiy K.O., Ivanova M.S., Nikitin E.D., Rudykh L.A. Application of hydrodynamic simulation on the basis of a composite model to improve the efficiency of gas-condensate reservoir development. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2024;9(3):221–230. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-10-176> (in English).
10. Фаттахов М.М., Бакиров Д.Л., Сенцов А.Ю. и др. Развитие технологий заканчивания скважин с горизонтальным и многозабойным окончанием в ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь». *Нефтяное хозяйство*. 2016;(8):25-27.
11. Фаттахов М.М., Бакиров Д.Л., Бондаренко Л.С. и др. Технично-технологические решения для повышения эффективности бурения многозабойных скважин. *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2017;(9):58-63.
12. Al-Rbeawi S., Artun E. Fishbone type horizontal wellbore completion: a study for pressure behavior, flow regimes, and productivity index. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 2019;176:172-202. DOI: 10.1016/j.petrol.2018.12.076 (in English).
13. Блинов П.А. Определение устойчивости стенок скважины при проходке интервалов слабосвязных горных пород с учетом зенитного угла. *Записки Горного института*. 2019;236:172-179. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.172.
14. Дроздов Н.А. Фильтрационные исследования на кернах и насыпных моделях Уренгойского месторождения для определения эффективности водогазового воздействия на пласт при извлечении конденсата из низконапорных коллекторов и нефти из нефтяных оторочек. *Записки Горного института*. 2022;71:783-794. DOI: 10.31897/PMI.2022.71
15. Думакова А.К., Трандин И.И., Поливанов С.А. Опыт бурения многозабойной скважины по технологии Fishbone в АО «Оренбургнефть». *Недропользование XXI век*. 2020;(5):41-45.
16. Томский К.О., Иванова М.С., Ощепков Н.С., Соколов Н.Г. Определение оптимального расположения многозабойной скважины fishbone с учетом особенностей Среднеботуобинского НГКМ при помощи гидродинамического моделирования. *Математические заметки СВФУ*. 2022;29(4):95-112. – DOI 10.25587/SVFU.2023.68.12.008. – EDN WSYMLV.

17. Майков Д.Н., Борхович С.Ю. Аналитическая модель многозабойной скважины с полным вертикальным вскрытием пласта. *Нефть. Газ. Новации*. 2020;(11):61-65.
18. Аржиловский А.В., Зернин А.А., Широков А.С. и др. Оценка эффективности многозабойных скважин на месторождениях Ванкорского кластера в различных геологических условиях. *Недропользование XXI век*. 2020;(6):64-73.
19. Двойников М.В., Будовская М.Е. Разработка углеводородной системы заканчивания скважин с низкими забойными температурами для условий нефтегазовых месторождений Восточной Сибири. *Записки Горного института*. 2022;253:12-22. DOI: 10.31897/PMI.2022.4.
20. Glebov E.A., Shokarev I.A., Gulov B. et al. Yurkharovskoye Extended Reach Drilling Campaign Resulted in the Successful Completion of Record Multilateral Well. *SPE Russian Petroleum Technology Conference, 26-28 October 2015*, Moscow, Russia. OnePetro, 2015. № SPE-176507-MS. DOI: 10.2118/176507-MS (in English).
21. Тузов Е.В., Махмутов Д.З., Лисицин М.А. и др. Методология строительства многозабойных скважин на Среднеботуобинском нефтегазоконденсатном месторождении, Восточная Сибирь. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2020;(12):35-45. DOI: 10.33285/0130-3872-2020-12(336)-35-45
22. Lukiyantseva E.A., Oparin A., Sultanov R.B. Size Matters: «Birch leaf» Project or New World Record in Drilling of Multilateral Wells. *6th International Conference GeoBaikal, 5-9 October 2020, Irkutsk, Russia. Bunnik: European Association of Geoscientists & Engineers*, 2020;2020:1-4. DOI: 10.3997/2214-4609.202052012 (in English).
23. Bazitov M.V., Golovko I.S., Konosov D.A. et al. First Fishbone Well Drilling at Vankorskoe Field // SPE Russian Petroleum Technology Conference, 26-28 October 2015, Moscow, Russia. OnePetro, 2015. № SPE-176510-MS. DOI: 10.2118/176510-MS
24. Шпидько К.В., Гимазитдинов И.И. Многозабойные скважины – путь к дополнительной нефти. в кн. *Материалы XIV Международной конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых», 9-12 ноября 2021*. Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. 2021;1:72-75.
25. Зернин А.А., Макарова К.А., Тюлькова А.И. Особенности промыслово-геофизических и гидродинамических исследований горизонтальных многозабойных скважин на месторождениях ПАО «НК РОСНЕФТЬ». *Нефтяное хозяйство*. 2021;(7):94-98. DOI:).

References

1. Ivanov EN, Akinin DV, Valeev RR et al. Development of Reservoir with Gas Cap and Underlying Water on Srednebotuobinskoye Field. *SPE Russian Petroleum Technology Conference and Exhibition, 24-26 October 2016*, Moscow, Russia. OnePetro, 2016:579-593. No. SPE-182055-MS. DOI: 10.2118/182055-MS
2. Tomskii KO, Ivanova MS. Optimization of the location of a multilateral well in a thin oil rim, complicated by the presence of an extensive gas cap. *Journal of Mining Institute*. 2024;265:140-146.
3. Pavelyeva ON, Rubtsova ME. Optimization of Field Development in Western Siberia When Drilling Multilateral Wells. *Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference “New Generation Science: Convergence of Knowledge, Technologies, and Society”*, June 3, 2019, Smolensk, Russia. Smolensk: MNITS “Naukosfera”, 2019:54-57 (in Russian).
4. Bakirov DL, Akhmetshin IK, Fattakhov MM et al. Experience in Planning, Construction and Completion of Multilateral Wells with Long Horizontal Sections. *Proceedings of the 6th Tyumen International Innovation Forum “NEFTGAZTEK”*, September 16-17, 2015, Tyumen, Russia. Salekhard: Pechatnik, 2015:51-68 (in Russian).
5. Nosachev AA. Forecast of the Application of Enhanced Oil Recovery Methods Based on Geological and Field Data: Abstract of Cand. Sci. geol.-min. sciences. Ufa: Bashkir Research and Design Institute of the Oil Industry, 2000. 23 p.
6. Ivanova MS, Tomskii KO Effectiveness of demulsifiers for the destruction of highly mineralized water-oil emulsions of the Srednebotuobinsky oil and gas condensate field. *International Scientific and Practical Conference «Environmental Risks and Safety in Mechanical Engineering»*, 20-23 October 2020, Rostov-on-Don, Russia. E3S Web of Conferences, 2020;217(04001). DOI: 1051/e3sconf/202021704001
7. Ermekov RI, Merkulov VP, Chernova OS, Korovin MO. Features of accounting for permeability anisotropy in a hydrodynamic model. *Zapiski Gornogo Instituta*. 2020;243:299-304. DOI: 10.31897/PMI.2020.3.299 (in Russian).

8. Tomskiy KO, Nikitin ED, Ivanova MS Analysis of the efficiency of using horizontal wells to develop reserves of a gas condensate field with low filtration-capacity properties. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Georesources Engineering.* – 2023;334(9):172-181 (in Russian).
9. Tomskiy KO, Ivanova MS, Nikitin ED, Rudykh LA. Application of hydrodynamic simulation on the basis of a composite model to improve the efficiency of gas-condensate reservoir development. *Mining Science and Technology (Russia).* 2024;9(3):221–230. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2023-10-176>
10. Fattakhov MM, Bakirov DL, Sentsov AYu et al. Development of well completion technologies with horizontal and multilateral completions at LUKOIL-Western Siberia. *Oil Industry.* 2016;(8):25-27 (in Russian).
11. Fattakhov MM, Bakirov DL, Bondarenko LS et al. Technical and technological solutions to improve the efficiency of drilling multilateral wells. *Geology, geophysics and development of oil and gas fields.* 2017;(9):58-63 (in Russian).
12. Al-Rbeawi S, Artun E. Fishbone type horizontal wellbore completion: a study for pressure behavior, flow regimes, and productivity index. *Journal of Petroleum Science and Engineering.* 2019;176:172-202. DOI: 10.1016/j.petrol.2018.12.076.
13. Blinov PA. Determination of the stability of the wellbore walls when drilling intervals of weakly cohesive rocks taking into account the zenith angle. *Zapiski Gornogo Instituta.* 2019;236:172-179. DOI: 10.31897/PMI.2019.2.172 (in Russian).
14. Drozdov NA. Filtration studies on cores and bulk models of the Urengoy field to determine the efficiency of water-gas stimulation of the formation when extracting condensate from low-pressure reservoirs and oil from oil rims. *Zapiski Gornogo Instituta.* 2022;71:783-794. DOI: 10.31897/PMI.2022.71 (in Russian).
15. Dumakov AK, Trandin II, Polivanov SA. Experience of drilling a multilateral well using Fishbone technology at Orenburgneft JSC. *Subsoil Use XXI Century.* 2020;(588):41-45 (in Russian).
16. Tomsky KO, Ivanova MS, Oshchepkov NS, Sokolov NG. Determination of the optimal location of a multilateral fishbone well taking into account the features of the Srednebotuobinskoye OGCF using hydrodynamic modeling. *Mathematical notes of NEFU.* – 2022;29(4):95-112. – DOI 10.25587/SVFU.2023.68.12.008. – EDN WSYMLV (in Russian).
17. Maikov DN, Borkhovich SYu. Analytical model of a multilateral well with full vertical formation penetration. *Oil. Gas. Innovations.* 2020;(11):61-65 (in Russian).
18. Arzhilovskiy AV, Zemin AA, Shirokov AS et al. Evaluation of the efficiency of multilateral wells at the Vankor cluster fields in various geological conditions. *Subsoil Use XXI century.* 2020;(6):64-73 (in Russian).
19. Dvoynikov MV, Budovskaya ME. Development of a hydrocarbon well completion system with low bottomhole temperatures for oil and gas fields in Eastern Siberia. *Zapiski Gornogo Instituta.* 2022;253:12-22. DOI: 10.31897/PMI.2022.4 (in Russian).
20. Glebov EA, Shokarev IA, Gulov B et al. Yurkharovskoye Extended Reach Drilling Campaign Resulted in the Successful Completion of Record Multilateral Well. *SPE Russian Petroleum Technology Conference, 26-28 October 2015, Moscow, Russia. OnePetro, 2015; SPE-176507-MS.* DOI: 10.2118/176507-MS
21. Tuzov EV, Makhmutov DZ, Lisitsyn MA et al. Methodology of construction of multilateral wells at the Srednebotuobinskoye oil and gas condensate field, Eastern Siberia. *Construction of oil and gas wells on land and at sea.* 2020;(12):35-45. DOI: 10.33285/0130-3872-2020-12(336)-35-45 (in Russian).
22. Lukyantseva EA, Oparin A, Sultanov RB. Size Matters: «Birch leaf» Project or New World Record in Drilling of Multilateral Wells. *6th International Conference GeoBaikal, 5-9 October 2020, Irkutsk, Russia. Bunnik: European Association of Geoscientists & Engineers, 2020;2020:1-4.* DOI: 10.3997/2214-4609.202052012
23. Bazitov MV, Golovko IS, Konosov DA et al. First Fishbone Well Drilling at Vankorskoe Field. *SPE Russian Petroleum Technology Conference, 26-28 October 2015, Moscow, Russia. OnePetro, 2015 SPE-176510-MS.* DOI: 10.2118/176510-MS
24. Shpidko KV, Gimazitdinov II. Multilateral wells – the path to additional oil. *Proceedings of the XIV International Conference «Problems of Development of Hydrocarbon and Ore Mineral Deposits», November 9-12, 2021. Perm: Perm National Research Polytechnic University, 2021;1:72-75* (in Russian).
25. Zemin AA, Makarova KA, Tyulkova AI. Features of field geophysical and hydrodynamic studies of horizontal multilateral wells at the fields of PJSC NK ROSNEFT. *Oil industry.* 2021;(7):94-98. DOI: 10.24887/0028-2448-2021-7-94-98 (in Russian).

Об авторах

ТОМСКИЙ Кирилл Олегович, кандидат технических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», ORCID: 0000-0001-7612-5393, ResearcherID: AAP-3745-2020, Scopus Author ID: 57191432762, SPIN: 8266-5598, e-mail: kirilltom@mail.ru.

ИВАНОВА Мария Сергеевна, кандидат химических наук, доцент, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», ORCID: 0000-0003-3272-9253, ResearcherID: 7202135803, Scopus Author ID: 7202135803, SPIN: 7978-1491, e-mail: ims.06@mail.ru.

ОКОНЕШНИКОВ Максим Егорович, студент, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова»

About the authors

Kirill O. TOMSKIY, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, ORCID: 0000-0001-7612-5393, ResearcherID: AAP-3745-2020, Scopus Author ID: 57191432762, SPIN: 8266-5598, e-mail: kirilltom@mail.ru.

Maria S. IVANOVA, Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, ORCID: 0000-0003-3272-9253, ResearcherID: 7202135803, Scopus Author ID: 7202135803, SPIN: 7978-1491, e-mail: ims.06@mail.ru.

Maksim Y. OKONESHNIKOV, student, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

Вклад авторов

Томский К.О. – разработка концепции, методология, программное обеспечение.

Иванова М.С. – проведение исследования, проведение статистического анализа.

Оконешников М.Е. – проведение исследования, проведение статистического анализа.

Authors' contribution

Tomskiy K.O. – concept development, methodology, software.

Ivanova M.S. – conducting research, conducting statistical analysis.

Okoneshnikov M.Y. – conducting research, conducting statistical analysis.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 21.02.2025

Принята к публикации / Accepted 03.03.2025

ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 911

<https://doi.org/10.25587/2587-8751-2025-1-75-84>

Научная оригинальная статья

ПОЛИСТРУКТУРНЫЙ ПОДХОД В ЛАНДШАФТНОМ ПЛАНИРОВАНИИ НА ТЕРРИТОРИЯХ ТРАДИЦИОННОГО ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ

А.А. Мельникова¹, К.А. Обутов¹, Ж.Ф. Дёгтева^{2}*¹Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова,
г. Якутск, Российская Федерация²Брянский государственный аграрный университет
г. Брянск, Российская Федерация

* degteva.z@bk.ru

Аннотация

Статья посвящена актуальной на сегодняшний день проблеме – ландшафтно-экологическому планированию. Целью статьи является анализ возможностей применения концепции полиструктурности ландшафта в ландшафтно-экологическом планировании на территориях традиционного природопользования. В Нерюнгринском районе Южной Якутии еще сохранились территории компактного проживания и традиционного природопользования коренных малочисленных народов Севера – эвенков, кроме того, здесь ведется активное промышленное освоение территории. На примере Нерюнгринского района Якутии выделены и описаны характерные особенности в пространственной полиструктурной организации ландшафта. Полиструктурный подход в ландшафтном планировании включает в себя разные способы описания пространственной структуры ландшафта и, следовательно, предполагает использование разных подходов и методов в их исследовании. Особое внимание уделено морфологической и бассейновой структурам ландшафта. Для определения морфологической структуры территории были использованы данные дистанционного зондирования Земли, интерпретированные с помощью инструментов ГИС. Построение границ речных бассейнов выполнено с применением автоматизированных методик геоинформационных технологий, что позволило определить количество бассейнов рек второго порядка водосбора реки Иенгра, установить их средний уклон и выявить ситуации риска загрязнения. Использование концепции полиструктурности при ландшафтном планировании дает возможность на одной и той же территории найти гармоничное соотношение между промышленным освоением, традиционным хозяйством и экологической стабильностью. Промышленное освоение вызывает ряд проблем на территориях традиционного природопользования и влияет на сокращение оленьих пастбищ. Но при правильном ландшафтном планировании можно не только сохранить традиционный уклад жизни местных жителей, но привнести и ряд дополнительных возможностей.

Ключевые слова: ландшафтное планирование, полиструктурная организация ландшафта, территории традиционного природопользования, промышленное освоение, эвенки, бассейновая структура, морфологическая структура, Республика Саха (Якутия), геоинформационные технологии.

Для цитирования: Мельникова А.А., Обутов К.А., Дёгтева Ж.Ф. Полиструктурный подход в ландшафтном планировании на территориях традиционного природопользования. *Вестник СВФУ.* 2025;(1): 75-84. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-75-84

THE POLYSTRUCTURAL APPROACH IN LANDSCAPE PLANNING IN THE TERRITORIES OF TRADITIONAL NATURE MANAGEMENT

Alisa A. Melnikova¹, Kirill A. Obutov¹, Zhanna F. Degteva^{2}*

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

² Bryansk State Agrarian University, Bryansk, Russian Federation

*degteva.z@bk.ru

Abstract

The article is devoted to a relevant problem of landscape-ecological planning. The purpose of the article is to analyze the possibilities of applying the concept of landscape polystructure in landscape-ecological planning in the territories of traditional nature use. In Neryungrinsky district of South Yakutia there are still territories of compact residence and traditional nature use of indigenous small-numbered peoples of the North – Evenks; in addition, there is an active industrial development of the territory. On the example of the Neryungrinsky district of Yakutia the characteristic features in the spatial polystructural organization of the landscape are identified and described. The polystructural approach in landscape planning includes different ways of describing the spatial structure of the landscape and, accordingly, implies the use of different approaches and methods in their study. Special attention is paid to morphological and basin structures of the landscape. Remote sensing data interpreted using GIS tools were used to determine the morphological structure of the territory. The construction of river basin boundaries was carried out using automated methods of geoinformation technologies, which made it possible to determine the number of second-order river basins in the Iengra River watershed, establish their average gradient and identify pollution risk situations. The use of the concept of polystructure in landscape planning makes it possible to find a harmonious balance between industrial development, traditional economy and ecological stability in the same territory. Industrial development creates a number of problems in the territories of traditional nature use and affects the reduction of reindeer pastures. However, with competent landscape planning it is possible not only to preserve the traditional way of life of local residents, but also to add a number of additional opportunities to it.

Keywords: landscape planning, polystructural structure of the landscape, territories of traditional nature use, industrial development, Evenki people, basin structure, morphological structure, Republic of Sakha (Yakutia), geoinformation technologies.

For citation: Melnikova A.A., Obutov K.A., Degteva Zh.F. The polystructural approach in landscape planning in the territories of traditional nature management. *Vestnik of North-Eastern Federal University. "Earth Sciences"*. 2025;(1):75-84 (in Russian). DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-75-84

Введение

Концепция полиструктурности ландшафта имеет основополагающее значение при ландшафтном планировании территории [1]. Ландшафтное планирование способно решать целый ряд задач в пространственной организации общества с учетом природоохранных требований, в том числе и на территориях с особым режимом [2]. Его можно рассматривать как одну из форм территориального планирования в конкретном ландшафте, которая обеспечивала бы устойчивое развитие и сохранение основных функций этого ландшафта, и выполняла бы роль системы поддержания жизни [3]. Кроме того, ландшафтное планирование служит эффективным приемом для устойчивого территориального развития, помогая оценить природно-ресурсный потенциал региона, экологические и социально-экономические условия, с последующим определением возможных вариантов оптимизации землепользования и комплекса мероприятий по их реализации [4].

При географическом ландшафтном планировании, как отмечает А. В. Хорошев, обязательно сталкиваешься с гетерогенными территориями, и часто пространственные элементы ланд-

шафтной структуры имеют разные или даже противоположные экологические функции [5]. Поэтому следует отдавать себе отчет, какие ценности территории сохранить, какие создать, а какие приумножить. Главным образом при управлении ландшафтом, учитываются экологические, социальные, экономические и культурные ценности [6]. При этом, обращает внимание В. Н. Калуцков, понимание местной культуры и уважение к региональным традициям служат неотъемлемой частью ландшафтного планирования на исторических территориях [6].

Особого внимания заслуживает ландшафтное планирование на территориях традиционного природопользования (ТПП), которые призваны защищать образ жизни и традиции коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока России. Несмотря на значительный объем фундаментальных и прикладных ландшафтных исследований по ландшафтному планированию, в российской практике недостаточно опыта применения их на ТПП. Особенно актуальными данные исследования становятся в настоящее время, когда правительством России активно изучаются недра Дальнего Востока и Сибири, проводятся мероприятия по разработке и введению в эксплуатацию новых месторождений, увеличиваются объемы добычи. Что в свою очередь открывает новые перспективы для развития минерально-сырьевой базы страны, однако вместе с тем приводит к изменениям исконной среды обитания коренных малочисленных народов.

В Республике Саха (Якутия) в местах традиционного проживания и традиционной хозяйственной деятельности коренных народов обязательно проведение научного исследования – этнологической экспертизы. Согласно сведениям Министерства по развитию Арктики и делам народов Севера Республики Саха (Якутия) по состоянию на январь 2025 г. общая стоимость оцененных убытков в период с 2012 г. составила более чем 1,4 млрд руб. Таким образом правильно проведенное ландшафтное планирование позволит снизить издержки хозяйствующим субъектам при реализации проектов и максимально сохранить исконную среду обитания коренных народов, ведущих традиционное хозяйство и образ жизни.

В зависимости от конкретных задач ландшафтно-экологического планирования, отмечает Е. А. Позаченюк, приходится обращаться к разным способам описания структуры ландшафта [7]. Именно концепция полиструктурности ландшафта дает возможность ввести в научный анализ разнообразные варианты моделей ландшафта. Знание полиструктурного устройства ландшафтов может сделать регулирование и управление ландшафтными системами более эффективными [8].

Цель работы – выявить возможности применения концепции полиструктурности ландшафта в ландшафтно-экологическом планировании на территориях традиционного природопользования.

Материалы и методы

В качестве региона исследования был выбран Нерюнгринский район Республики Саха Якутия, так как здесь, несмотря на успешную реализацию проектов промышленного освоения, еще сохранились территории компактного проживания коренных малочисленных народов – эвенков, где жители занимаются оленеводством, промысловой охотой и звероводством.

Методологической основой работы является концепция полиструктурной организации ландшафта. Основными методами исследования послужили экспедиционный, картографический и геоинформационный. Особое внимание уделено дистанционным методам исследования и геоинформационным технологиям, так как территории традиционного природопользования в Якутии занимают более 154,4 млн. га.

Для определения морфологической структуры территории удобным инструментом могут служить данные ДЗЗ, интерпретированные с помощью инструментов ГИС. Для работы были использованы мультиспектральные изображения со спутника Landsat 8 от 18.06.2023 со всеми присущими ему каналами. Комбинирование этих каналов производилось помощью ПО “QGIS” и “IDRISI Selva”.

Построение границ речных бассейнов рек выполнено с применением автоматизированных методик, реализованных с использованием инструментов QGIS, SAGA GIS и GDAL в следующей последовательности: корректировка цифровой модели рельефа (Resampling), заполнение локальных понижений (Fill Sinks), определение потока речной сети (Flow Accumulation), выделение гребней хребтов и построение речных бассейнов (Upslope area), распределение бассейнов по средним уклонам [9].

Результаты и обсуждение

Полиструктурный подход в ландшафтном планировании включает в себя разные способы описания пространственной структуры ландшафта и, следовательно, предполагает использование разных подходов и методов в их исследовании. Исходя из возможностей использования пространственных структур в ландшафтном планировании авторские классификации условно были объединены в группы: 1) структурно-генетическая (Н. А. Солнцев, В. А. Николаев), морфологическая структура ландшафта (Ф. Н. Мильков, А. Н. Федоров), геостационарная (В. Н. Солнцев), генетико-морфологическая (Г. И. Швецс, М. Д. Гродзинский); 2) геоциркуляционная (В. Н. Солнцев), парагенетическая (Ф. Н. Мильков), бассейновая (Г. И. Швецс, М. Д. Гродзинский); 3) нуклеарная (А. Ю. Ретеюм); 4) биоцентрично-сетевая (Г. И. Швецс, М. Д. Гродзинский) и др.

Морфологическая структура ландшафта (и другие структуры первой группы) отражают морфологические единицы ландшафта, их площади и взаиморасположения. Главная ценность территории эвенков Южной Якутии – возможность ведения традиционного хозяйства. Морфологическая структура ландшафта может дать достаточно полную информацию об участках для оленьих пастбищ, сбора дикоросов, промысла рыбы и охотничьих угодьях.

Помимо традиционного природопользования на территории исследуемого района проводится геологическое изучение недр, разведка и добыча россыпного золота; строительство магистрального газопровода «Сила Сибири»; осуществляется строительство разъезда и двухпутной вставки на перегоне Дальневосточной железной дороги и реконструкция моста участка Бамовская – Нерюнгри и т.п. Для хозяйствующих субъектов исходя из морфологической структуры ландшафта возможно определить почвенный и растительный покров, участки развития опасных геологических и гидрометеорологических процессов. Кроме того, что особенно важно для проведения любых геологоразведочных и строительных работ на территории Якутии – выявить распространение криогенных процессов [10].

Использование геоинформационных технологий позволяет дифференцировать морфологическую структуру ландшафта, детектировать границы, уточнить конфигурацию и положение форм рельефа, выявить геоморфологические элементы, определить водоразделы, что в свою очередь снижает объем данных для анализа и может повысить скорость принятия решений в ландшафтном планировании (рис. 1, 2).

Для дифференциации морфологической структуры ландшафта были использованы различные комбинации спектральных каналов. Наиболее удачными оказались сочетания: 7, 3, 1 и 5, 6, 4. Комбинация каналов 7, 3, 1. позволяет четко различать топографическую текстуру и грунты. Достигается это за счет использования канала 7 ближнего инфракрасного диапазона, который подходит для анализа горных пород, почв, а также выявления источников воды, за счет канала 1, улавливающего темно-синий цвет спектра и подсвечивающий прибрежные аэрозоли. Такое сочетание каналов позволяет наиболее точно выделить береговые линии. Благодаря каналу 3 здоровая растительность отображается в зеленых тонах, открытые участки почвы окрашены в розовые и фиолетовые тона. Желтый цвет представляет снега. Белые цвета характерны для искусственных объектов, таких как дороги и городская застройка, а также песков, что в свою очередь позволяет предположить, где проводятся золотодобывающие работы.

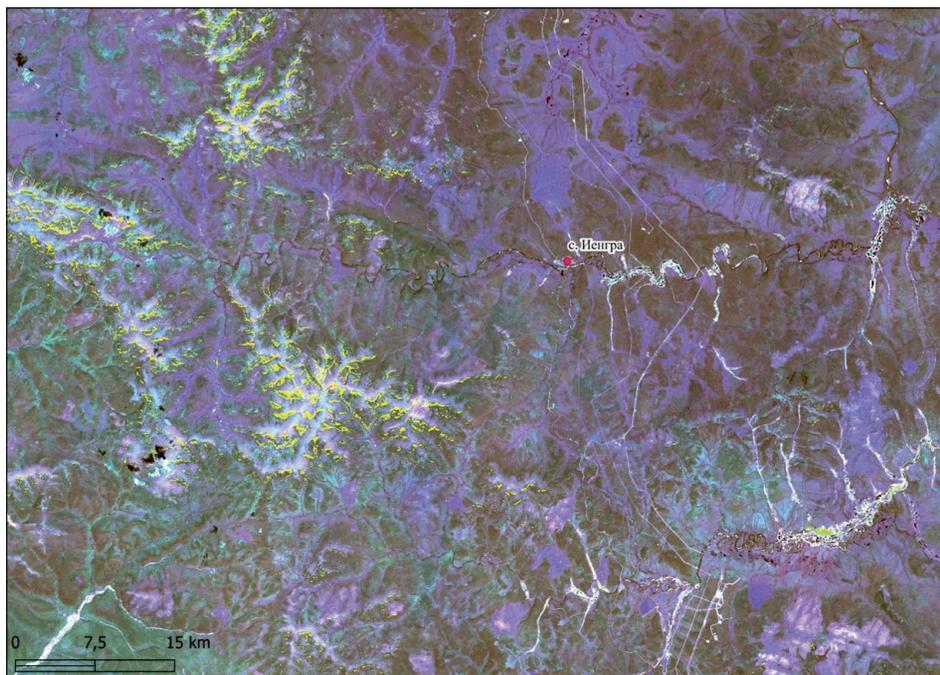


Рис. 1. Дифференциация морфологической структуры ландшафта в окрестностях с. Иенгра (сочетание каналов 7, 3, 1 Landsat 8 от 18.06.2023)

Fig. 1. Differentiation of the morphological structure of the landscape in the vicinity of Iengra village (combination of channels 7, 3, 1 of Landsat 8 dated 06/18/2023)

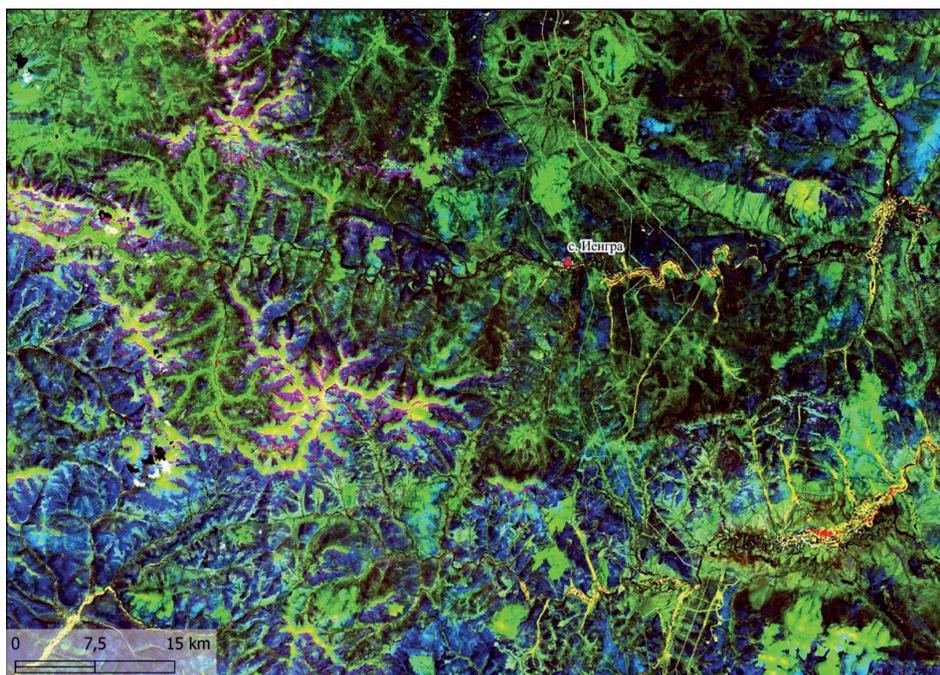


Рис. 2. Дифференциация морфологической структуры ландшафта в районе с. Иенгра (сочетание каналов 5, 6, 4 Landsat 8 от 18.06.2023)

Fig. 2. Differentiation of the morphological structure of the landscape in the area of Iengra village (combination of channels 5, 6, 4 of Landsat 8 dated 06/18/2023)

Сочетание каналов 5, 6, 4 – это комбинация красного, инфракрасного и ближнего инфракрасного каналов. Она четко выявляет границу между водными объектами и сушей. Благодаря инфракрасным диапазонам это сочетание подчеркивает объекты плохо различимые при естественной комбинации цветов (например, обычные воды – черный цвет и воды загрязненные – красный). Это сочетание каналов отображает растительность в оттенках синего и коричневого. Почвенный покров показан в оттенках зеленого, где, как правило, чем ярче цвет, тем ниже влажность почвы. Сочетание 5, 6, 4 каналов дает возможность провести анализ и изучить растительный покров, почвы и выявить вскрышные породы.

Анализ бассейновой структуры ландшафта наиболее удобен для использования на территориях традиционного природопользования Южной Якутии. Проведенные экспедиционные исследования показали, что при определении границ выпаса оленей местные жители села Иенгра используют горные хребты. На территории преобладают горные лиственничные леса и редколесья с участками лишайниково-зеленомошных редин и кедрово-стланиковых зарослей. Кочевание оленей проходит по постоянному в течение года маршруту в бассейне реки Иенгра и ее притоков (рис. 3). Осенняя, зимняя и весенняя стоянки оленеводов расположены на склонах южной экспозиции, летняя – на склонах северной. На территории традиционного природопользования определены места заготовки дров, рыбалки и охоты, кроме того, священное место – Шаман гора.

Горный рельеф исследуемой территории и наличие постоянных водотоков требует при ландшафтном планировании изучить латеральные (горизонтальные) вещественно-энергетические потоки.

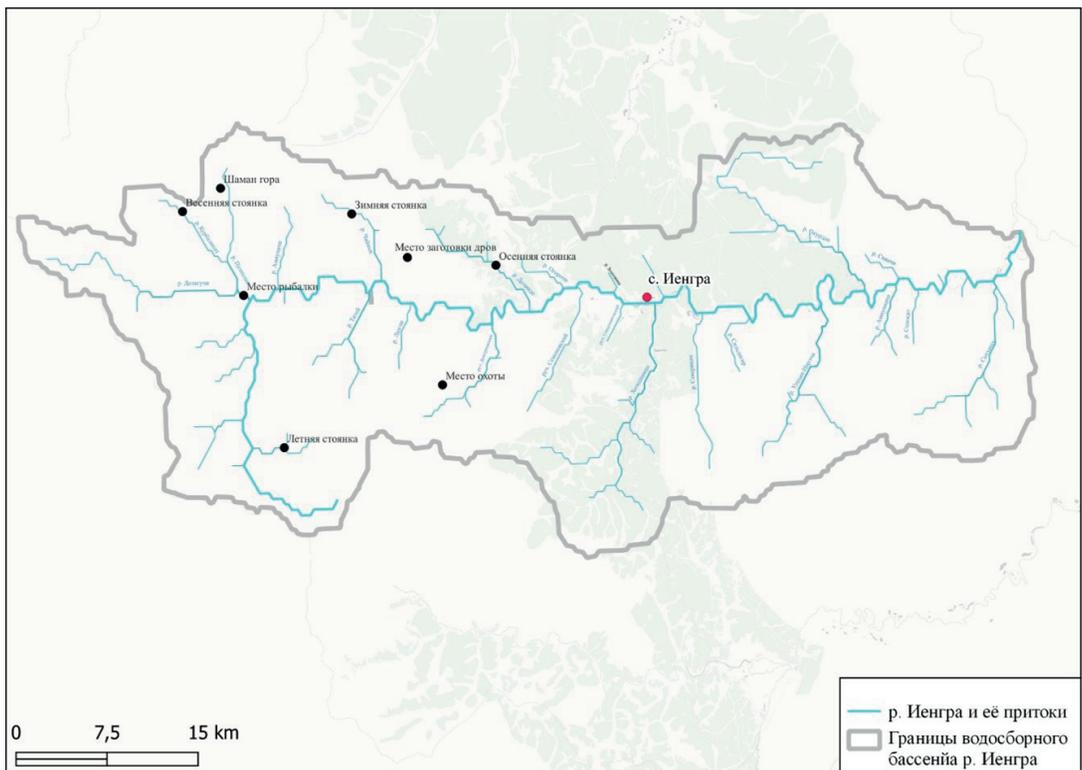


Рис. 3. Места кочевания оленей в бассейне реки Иенгра

Fig. 3. Reindeer migration sites in the Yengra River basin

Анализ бассейновой структуры ландшафта позволяет выявить энерго- и массообмен, места вовлечения вещества в миграцию, зоны его перемещение и аккумуляции. Как отмечает А. В. Хорошев, площадной сток в таких системах регулируется, прежде всего, каркасными линиями рельефа, пересекая которые изменяется интенсивность и направление потоков.

Для выявления риска загрязнения анализ бассейновой структуры ландшафта проводился с использованием геоинформационных технологий, что позволило определить количество бассейнов рек второго порядка водосбора реки Иенгра и установить их средний уклон (табл. 1).

Таблиц 1

Распределение бассейнов по средним уклонам водосбора реки Иенгра

Table 1

Distribution of basins according to the average slope of the Yengra River catchment

Средний уклон, в градусах	Тип	Количество бассейнов, шт.	Доля от общего количества, %	Доля от общей площади водосбора, %
2 – 4,9	Покатые	5	23,8	28,58
5 – 8,9	Покато-крутые	14	66,7	62,49
9 – 12	Крутые	2	9,5	8,92

Полученная картограмма речных бассейнов водосбора реки Иенгра визуализирует особенности распределения бассейновых геосистем и их уклонов в сторону основного водотока (рис. 4).

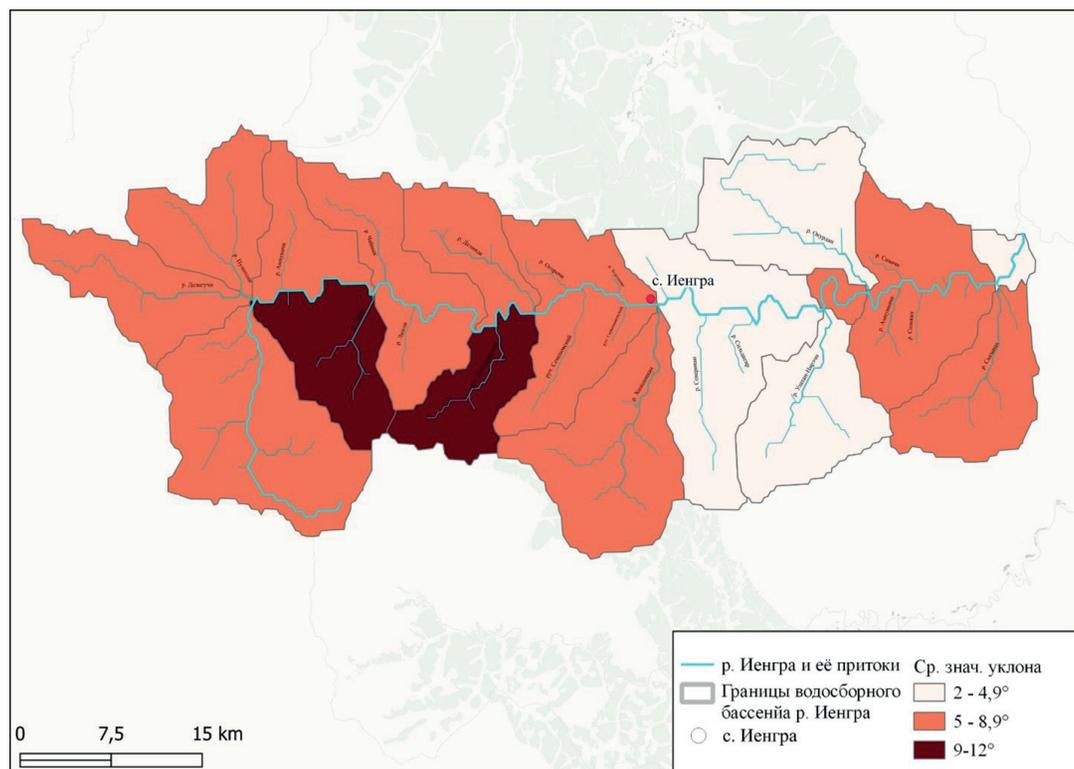


Рис. 4. Карта речных бассейнов водосбора реки Иенгра

Fig. 4. Map of river basins of the Yengra River catchment

Исходя из проведенного исследования бассейна р. Иенгра выявлены ситуации риска загрязнения: 1) риск минимален при расположении источника загрязнения на покатых склонах; 2) умеренный на покато-крутых склонах; 3) максимален на крутых склонах.

Изучение бассейновой структуры ландшафта позволяет выявить направления стока и зависимость природных комплексов от их расположения в пределах водосборного бассейна. При этом помимо уклона необходимо оперировать достаточным количеством данных об особенностях рельефа, литологии, выпадении осадков, почвенном покрове, заболоченности и лесистости территории, растительных сообществах и др.

Применение концепции полиструктурности ландшафта требует более глубокого изучения, кроме того, открытыми остались вопросы возможного применения нуклеарной и биоцентрично-сетевой структур.

Заключение

Ландшафтно-экологическое планирование с применением концепции полиструктурности предполагает использования различных методов. Для каждой описываемой пространственной структуры ландшафта требуются свои оптимальные подходы и методы исследования.

Использование концепции полиструктурности при ландшафтном планировании дает возможность на одной и той же территории найти гармоническое соотношение между промышленным освоением, традиционным хозяйством и экологической стабильностью.

Промышленное освоение вызывает ряд проблем на территориях традиционного природопользования и влияет на сокращение оленьих пастбищ. Но при правильном ландшафтном планировании можно не только сохранить традиционный уклад жизни местных жителей, но привнести и ряд дополнительных возможностей.

Литература

1. Хорошев А.В. Ландшафтно-экологические основы территориального планирования. В кн.: *Эколого-географические проблемы развития регионов и городов Республики Казахстан*. Москва: Географический факультет Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова; 2017:89-101.
2. Бабин В.Г., Семенов Ю.М., Шитов А.В. и др. Ландшафтное планирование природного парка «Зона покоя Укок» (Республика Алтай). *География и природные ресурсы*. 2011;(3):38-45.
3. Дроздов А.В., Алексеев Н.А., Антипов А.Н. и др. Ландшафтное планирование с элементами инженерной биологии: учебное издание. Совместный европейский проект «Образование – основа устойчивого природопользования», Программа ТЕМПУС, При содействии Европейской Комиссии, Институт географии Российской академии наук, Учебно-образовательный центр Института географии РАН и Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Москва: ООО «Товарищество научных изданий КМК»; 2006:239.
4. Антипов А.Н. Ландшафтное планирование как инструмент управления природопользованием (на примере Байкальского региона). *Известия РАН. Серия географическая*. 2006;(5):82-91.
5. Хорошев А.В. Географическая концепция ландшафтного планирования. *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2012;(4):103-112.
6. Хорошев А.В., Авессаломова И.А., Дьяконов К.Н. и др. Теория и методология ландшафтного планирования. Москва: Общество с ограниченной ответственностью Товарищество научных изданий КМК; 2019:444.
7. Позаченюк Е.А. Территориальное планирование: Учебное пособие для студентов университетов, обучающихся по специальности «Экология и охрана окружающей среды» – специализация «Территориальное планирование». Симферополь: ДОЛЯ; 2006:256.
8. Боков В.А. Формы проявления полиструктурности ландшафтов. В кн.: Горбунов А.С., Хорошев А.В., Быковская О.П. (ред.) *Теоретические и прикладные проблемы ландшафтной географии. VII Мильковские чтения. Материалы XIV Международной ландшафтной конференции. В 2-х томах, Воронеж, 17–21 мая 2023 года*. Воронеж: Воронежский государственный университет; 2023;1:15-17.

9. Ермолаев О.П., Мальцев К.А., Мухарамова С.С. и др. Картографическая модель бассейновых геосистем малых рек водосбора реки Лены. *Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки*. 2018;160(1):126-144.

10. Федоров А.Н., Шестакова А.А., Торговкин Я.И., Васильев Н.Ф. Цифровое тематическое картографирование современного состояния мерзлотных ландшафтов в Якутии. *Вестник Северо-Восточного федерального университета. Серия: Науки о Земле*. 2019;(2):36-49.

References

1. Khoroshev AV. Landscape and ecological foundations of territorial planning. In: *Ecological and geographical problems of development of regions and cities of the Republic of Kazakhstan*. Moscow: Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University; 2017:89-101. (in Russian).

2. Babin V.G., Semenov Yu.M., Shitov A.V. et al. Landscape planning of the Ukok Rest Zone Nature Park (Altai Republic). *Geography and natural resources*. 2011;(3):38-45. (in Russian).

3. Drozdov A.V., Alekseenko N.A., Antipov A.N. and others. Landscape planning with elements of engineering biology: an educational publication. The joint European project “Education is the basis for sustainable Environmental management”, the TEMPUS Program, With the assistance of the European Commission, the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences, the Educational Center of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences and the Faculty of Geography of Lomonosov Moscow State University. Moscow: LLC “Association of scientific publications of KMC”; 2006:239. (in Russian).

4. Antipov A.N. Landscape planning as a tool for environmental management (on the example of the Baikal region). *News of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical*. 2006;(5):82-91. (in Russian).

5. Khoroshev A.V. Geographical concept of landscape planning. *Proceedings of the Russian Academy of Sciences. The series is geographical*. 2012;(4):103-112. (in Russian).

6. Khoroshev A.V., Absalomova I.A., Dyakonov K.N. and others. Theory and methodology of landscape planning. Moscow: Limited Liability Company Association of Scientific Publications of the KMC; 2019:444. (in Russian).

7. Pozachenyuk E.A. Territorial planning: A textbook for university students studying in the specialty “Ecology and environmental protection” – specialization “Territorial planning”. Simferopol: SHARE; 2006:256. (in Russian).

8. Bokov V.A. Forms of manifestation of polystructural landscapes. In: *Gorbulnov A.S., Khoroshev A.V., Bykovskaya O.P. (ed.) Theoretical and applied problems of landscape geography. VII Milkov readings. Proceedings of the XIV International Landscape Conference. In 2 volumes, Voronezh, May 17-21, 2023*. Voronezh: Voronezh State University; 2023;1:15-17. (in Russian).

9. Ermolaev O.P., Maltsev K.A., Mukharamova S.S. et al. Cartographic model of basin geosystems of small rivers in the Lena River catchment area. *Scientific notes of Kazan University. Series: Natural Sciences*. 2018;160(1):126-144. (in Russian).

10. Fedorov A.N., Shestakova A.A., Torgovkin Ya.I., Vasiliev N.F. Digital thematic mapping of the current state of permafrost landscapes in Yakutia. *Vestnik of the Northeastern Federal University. Series: Earth Sciences*. 2019;(2):36-49. (in Russian).

Сведения об авторах

ДЕГТЕВА Жанна Федоровна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры природообустройства и водопользования, Брянский государственный аграрный университет, SPIN: 1883-6416, e-mail: degteva.z@bk.ru

МЕЛЬНИКОВА Алиса Александровна, аспирант эколого-географического отделения, Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, e-mail: melalisa@mail.ru

ОБУТОВ Кирилл Андреевич, аспирант эколого-географического отделения, Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, ORCID: 0000-0003-0104-7655, SPIN: 7616-0000, e-mail: obutovkirill@gmail.com

About the authors

Zhanna F. DEGTEVA, Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Environmental Management and Water Use, Bryansk State Agrarian University, SPIN: 1883-6416, e-mail: degteva.z@bk.ru

Alisa A. MELNIKOVA, Postgraduate student, Department of Ecology and Geography, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: melalisa@mail.ru

Kirill A. OBUTOV, Postgraduate student, Department of Ecology and Geography, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, ORCID: 0000-0003-0104-7655, SPIN: 7616-0000, e-mail: obutovkirill@gmail.com

Вклад авторов

Дегтева Ж.Ф. – надзор и руководство за планированием и выполнением исследовательской деятельности, включая наставничество

Мельникова А.А. – подготовка и создание черновика рукописи, в частности написание первоначального текста рукописи, проведение исследовательского процесса, в частности, проведение экспериментов или сбор данных / доказательств

Обутов К.А. – визуализация/представление данных, применение статистических, математических или других формальных методов для анализа или синтеза данных исследования

Authors' contribution

Degteva Z.F. – oversight and leadership responsibility for the research activity planning and execution, including mentorship external to the core team

Melnikova A.A. – preparation, creation and/or presentation of the published work, specifically writing the initial draft, conducting a research and investigation process, specifically performing the experiments, or data/evidence collection

Obutov K.A. – preparation, creation and/or presentation of the data presentation, preparation, creation and/or presentation of the published work, application of statistical, mathematical, computational, or other formal techniques to analyze or synthesize study data

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 18.02.2025

Принята к публикации / Accepted 03.03.25

КЛИМАТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ПО АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА

Н.И. Тананаев^{1,2}*

¹ Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова,
г. Якутск, Российская Федерация

² Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга,
г. Петропавловск-Камчатский, Российская Федерация

* tanni@s-vfu.ru

Аннотация

Адаптация к климатическим изменениям рассматривается как экономическая задача, однако в ее основе лежат климатические условия территорий и их ожидаемые изменения в среднесрочной перспективе. Цель данной статьи – определение актуальных подходов к оценке климатических рисков по данным исследований и экспертных оценок, выбору релевантных климатических переменных, прогнозированию ожидаемого (вероятного) уровня климатических рисков с помощью моделей глобального климата. В работе использованы общенаучные методы анализа, синтеза и научного обобщения. Проведен анализ существующей нормативно-правовой документации в области региональной адаптации, показана ограниченность ее требований, в первую очередь – упор на ретроспективный анализ рисков и закрытый перечень показателей, характеризующих уровень их опасности. Одной из основных задач, решение которых необходимо в процессе адаптационного планирования, является нахождение соответствия между риском и климатическими переменными, определяющими его вероятность реализации и уровень опасности. Рассмотрены подходы к определению перечня региональных климатических переменных, сведения о которых необходимы для планирования мер по адаптации, в рамках климатического либо отраслевого подхода с использованием стандартных перечней климатических переменных и индексов, формируемых Всемирной метеорологической организацией, либо на основании экспертного консенсуса. Показано, что региональный климатический прогноз – один из основных компонентов в решении задачи адаптации к изменениям климата, рассмотрены методики прогнозирования и повышения пространственной точности такого прогноза (статистический и динамический даунскейлинг). Предложенные методические подходы предназначены для использования в практике планирования региональных адаптационных мероприятий, в том числе на территории Республики Саха (Якутия), и при актуализации Стратегии социально-экономического развития РС (Я).

Ключевые слова: климатические изменения, климатические действия, меры адаптации, климатические проекции, региональный план адаптации, основные климатические переменные, ретроспективная оценка рисков

Финансирование: Исследование выполнено по плану НИР Научно-исследовательской лаборатории по изучению климата и экосистем северных регионов ИЕН СВФУ по приоритетным направлениям Программы развития СВФУ им. М.К. Аммосова на 2025 г. (обзор нормативно-правовой документации); в рамках программы Министерства науки и высшего образования РФ «Приоритет-2030. Дальний Восток» (национальный проект «Наука и университеты»), реализуемой ФГБОУ ВО «Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга» (анализ климатических переменных и прогнозов).

Для цитирования: Тананаев Н.И. Климатические аспекты планирования региональных мероприятий по адаптации к изменениям климата. *Вестник СВФУ*. 2025;(1):85-97. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-85-97

CLIMATE BASIS FOR PLANNING OF REGIONAL ACTIONS FOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Nikita I. Tananaev^{1,2*}

¹ M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

² Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russian Federation

* tanni@s-vfu.ru

Abstract

Adaptation to climate change is seen as an economic task, but it is based on the climatic conditions of territories and their expected changes in the medium term. The purpose of this article is to identify relevant approaches to assessing climate risks based on research data and expert assessments, selecting relevant climate variables, and forecasting the expected (probable) level of climate risks using global climate models. The work uses general scientific methods of analysis, synthesis and scientific generalisation. The analysis of existing regulatory and legal documentation in the field of regional adaptation has been carried out, and the limitations of its requirements have been shown, primarily the emphasis on retrospective analysis of risks and a closed list of indicators characterising the level of their danger. One of the main tasks to be solved in the process of adaptation planning is to find a correspondence between risk and climatic variables that determine its probability of realisation and the level of danger. Approaches to determining the list of regional climatic variables, information about which is necessary for planning adaptation measures, within the framework of the climate or sectoral approach, using standard lists of climatic variables and indices, formed by the World Meteorological Organisation, or on the basis of expert consensus, are considered. It is shown that regional climate forecast is one of the main components in solving the problem of adaptation to climate change, and the methods of forecasting and improving the spatial accuracy of such a forecast (statistical and dynamic downscaling) are considered. The proposed methodological approaches are intended for use in the practice of planning regional adaptation measures, including in the territory of the Republic of Sakha (Yakutia), and in updating the Strategy of Socio-Economic Development of the Republic of Sakha (Yakutia).

Keywords: climate change, climate action, adaptation measures, climate projections, regional adaptation plan, essential climate variables, retrospective risk assessment.

Funding: The study was carried out: under the research plan of the Climate and Ecosystems of Northern Regions Research Laboratory, Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University (NEFU), according to the priority areas of the NEFU Development Programme for 2025 (regulatory analysis); within the framework of the programme of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation ‘Priority-2030. Far East’ (national project ‘Science and Universities’), implemented by Vitus Bering Kamchatka State University (analysis of climate variables and regional climate projections).

For citation: Tananaev N.I. Climate basis for planning of regional actions for adaptation to climate change. Vestnik of NEFU. Earth Sciences. 2025;(1):85-97. DOI: 10.25587/2587-8751-2025-1-85-97

Введение

Наблюдаемые климатические изменения имеют глобальный характер [1] и одновременно – выраженное региональное измерение [2], в котором для отдельных территорий характерен определенный набор изменяющихся климатических показателей, интенсивность их изменения, а также вклад изменения каждого показателя (или их группы) в совокупный эффект для социально-экономической системы, чаще всего негативный [3].

Оценки совокупного эффекта глобальных климатических изменений неопределенны как в краткосрочной, так и в долгосрочной перспективе [3]. Некоторые экономические модели оценивают его как положительный [4], такие оценки существуют и для территории Российской Федерации [5]. Тем не менее, актуальный мета-анализ экономических импакт-моделей указывает на отрицательный эффект изменений климата для мировой экономики [4], для подавляю-

щего большинства стран мира в долгосрочной перспективе [6], для регионов со слабым развитием демократических институтов и высоким уровнем неравенства [3].

Климатические действия, в которые государства вовлечены через механизмы Парижского соглашения, направлены на снижение негативного социально-экономического эффекта глобальных изменений и способны это сделать [7]. Климатические действия включают: мероприятия по митигации, сокращению промышленных выбросов парниковых газов и природной эмиссии, увеличивающейся вследствие естественной или антропогенной трансформации экосистем; мероприятия по адаптации к климатическим изменениям, направленные на повышение устойчивости экономики и общества в ближайшей и отдаленной перспективе [8]. Необходимость разработки и внедрения адаптационных мер на национальном и субнациональном уровне в Российской Федерации регулируется рядом документов стратегического планирования [9].

Адаптационное планирование рассматривается в существующей литературе как экономический процесс, либо как управленческая задача [10], однако оно основано на тесном взаимодействии между управленческими и научными институтами [11]. В данной статье задача адаптации рассматривается с точки зрения климатической науки, как задача получения и использования климатических данных в качестве инструмента поддержки и научного обоснования в процессе планирования адаптационных мероприятий на уровне регионов, что заполняет указанный пробел в литературе. В статье рассмотрены актуальные подходы к оценке климатических рисков по данным исследований и экспертным оценкам, подходы к определению и расчету релевантных климатических переменных, особенности прогнозирования их изменений.

Материалы и методы

Основными материалами для исследования послужила актуальная нормативно-правовая база на национальном и субнациональном уровне, регулирующая адаптационное планирование в российских регионах, а также массив сведений об основных климатических переменных и современных источниках климатических данных. В работе использованы общенаучные методы анализа, синтеза и научного обобщения.

Результаты и обсуждение

Постановка проблемы. Основная цель регионального адаптационного планирования – формирование комплекса мероприятий в рамках полномочий региона, направленных на минимизацию негативных последствий и наиболее эффективное использование позитивных аспектов (возможностей), связанных с климатическими изменениями. Планирование включает несколько этапов, каждый из которых должен быть обеспечен климатической информацией: (1) установление современного уровня опасности климатических рисков, а при возможности – прогнозного уровня; (2) определение потребностей региона в адаптационных мерах в контексте конкретных климатических рисков; (3) разработка комплекса мероприятий, закрывающих потребности, по возможности – достигая максимального эффекта при минимальных затратах; (4) оценка возможностей, открывающихся в результате изменений климата, и разработка комплекса мероприятий, направленных на реализацию данных возможностей.

Определение структуры климатических рисков для региона и уровня их опасности – ключевой момент регионального адаптационного планирования. Перечень климатических рисков должен быть релевантным для региона, с учетом его природно-климатических условий и специфики социально-экономического развития, в том числе внутрирегионального многообразия. Последнее особенно важно для регионов Сибири и Дальнего Востока РФ, имеющих значительные размеры и огромное разнообразие геосистем.

Климатические риски и уровень их опасности. Климатический риск (КР), как и иные виды рисков, может быть оценен количественно в системе координат «вероятность – ущерб», но такой подход применим для объектовых расчетов, а не для региональных обобщений. Уровень опасности КР в рамках адаптационного планирования в РФ оценивается по единому для регионов набору показателей согласно утвержденным методическим рекомендациям (Приказ

Минэкономразвития РФ от 13.05.2021 г. № 267, дополнены Приказом Минэкономразвития РФ от 28.12.2023 г. № 928). Данная работа выполняется единообразно во всех регионах, которые сталкиваются в ней со сходными затруднениями.

1. Перечень климатических рисков – закрытый, включает 26 рисков, взятых обобщенно, без детализации. Например, п. 20 «Засуха» взят без расшифровки по типу засухи (почвенная, атмосферная, гидрологическая). Атмосферная и почвенная засуха – опасные агрометеорологические явления, сведения о которых могут быть почерпнуты из бюллетеней региональных управлений Росгидромета; гидрологическая засуха имеет свои критерии, но не относится к опасным явлениям (ОЯ), и ее повторяемость оценивается в рамках научных исследований [12]. Некоторые риски традиционно относятся к опасным экзогенным процессам (оползни, сели, лавины), в развитии которых вклад климатических факторов не всегда очевиден.

2. Оценка уровня опасности опирается на ретроспективный анализ КР – за предшествующий период продолжительностью не менее 10 лет, согласно Приказу № 267. Ретроспективный анализ рисков делает акцент на ранее реализованных рисках и нанесенном ущербе, что упрощает планирование и приоритизацию адаптационных мероприятий с допущением, что структура рисков не изменится на горизонте планирования. По ряду причин такой подход является спорным. Во-первых, экстремальные события редкой повторяемости, наносившие значимый ущерб за временным горизонтом ретроспекции, могут быть не учтены в таком анализе; в то же время известно, что вероятность таких событий возрастает в климате будущего [13]. Во-вторых, неясно, целесообразно ли адаптироваться к существующему климату и его уровню КР, если известно, что он будет изменяться как минимум на протяжении нескольких десятилетий. В-третьих, определение прогнозного уровня КР опционально, вследствие чего недоучитывается возможность актуализации одних и дезактуализации других КР в климате будущего. Например, риск экстремальных снегопадов на юго-востоке Камчатского края, как ожидается, сменится риском заморозков и экстремальных дождей. Приказом № 267 предусматривается использование климатических прогнозов, в том числе предоставляемых Климатическим центром ГГО им. А.И. Воейкова. Данный прогноз изменения средней температуры воздуха и суммы осадков может иметь ценность, если к данным значениям будут привязаны конкретные показатели риска. В ином случае требуется анализ данных климатического моделирования, однако соответствующие научные школы есть далеко не во всех регионах.

3. Оценка уровня опасности КР затрудняется неопределенностью количественных критериев, перечень которых установлен Приказами № 267 и № 928. Для большинства КР основным показателем уровня опасности КР установлена «Подверженность территории, %». Неясно, учитывается ли здесь общая площадь субъекта РФ, ее хозяйственно-освоенная часть, или иные показатели подверженности. С увеличением площади субъекта РФ данный критерий значительно размывается. Так, по риску 17 «Наводнение» очевидно, что для большинства регионов подверженность наводнением их общей площади не превышает 10 %, что соответствует «умеренно опасному» уровню, а для Республики Саха (Якутия), региона общей площадью свыше 3 млн. км² – не превышает долей процента. Тем не менее, наводнения – наиболее опасное природное явление, занимающее первое место в структуре ущербов региона. Объективно установить уровень опасности данного риска возможно через отношение количества населенных пунктов, для которых официально установлены границы зон затопления (123), к количеству населенных пунктов, расположенных в речных долинах (около 200). Определенная таким методом подверженность превышает 50 %, что соответствует объективному «катастрофическому» уровню опасности.

Уровень опасности КР не увязан априорно с уровнем возможных последствий (ущербов), которые в отношении региональных климатически-уязвимых объектов оцениваются отдельно, в ретроспекции. Как следствие, например, уровень опасности риска «Жара», взятого без уточнений, о каком аспекте жары идет речь, определяется только долей подверженной данному

рisku территории региона. Он никак не увязан с возможными последствиями для социально-экономической системы, например, с избыточной смертностью [14] или нагрузкой на энергосистемы и возрастающей вероятностью аварий [15]. Статистика избыточных смертей или перерывов в электроснабжении, обусловленных жарой, может отсутствовать в регионе, как и монетарная оценка ущерба, связанного с этими эффектами. В результате, адаптация систем здравоохранения и энергоснабжения к увеличению температур воздуха и продолжительности периодов жары не будет обозначена как адаптационная потребность региона, и соответствующие мероприятия не будут включены в региональный план адаптации. Обобщенный в данном случае наносится не только и не столько конкретным климатически-уязвимым объектам, а экономике региона в целом, поскольку избыточная смертность, например, может иметь множественные реперкуссии в экономической системе: потеря объемов производительного труда, потеря налоговой базы для регионального налогообложения, а в случае смерти людей старшего возраста – возможная потеря естественного прироста вследствие демотивации родителей (старшее поколение играет роль «заместительных родителей»).

Уровень опасности КР при данном подходе также практически не имеет привязки к конкретным климатическим переменным, несмотря на то, что именно их значения определяют подверженность региона тому или иному риску, а также вероятный размер ущерба, особенно при реализации комплексного риска [16]. Определение регионального перечня климатических переменных, соответствующих основным КР, оценка их современных и будущих значений – научная задача, решение которой требует определенных профессиональных навыков.

Следует понимать, что при значительном внутрорегиональном разнообразии природно-климатических условий один тип риска может определяться разным сочетанием синоптических факторов в разных районах. К примеру, риск «Наводнение» реализуется в весенне-летний период в среднем течении р. Лена и центральной Якутии, что связано в основном с заторными явлениями, и в летне-осенний период – на горных и полугорных реках в верховьях бассейна р. Яна и ее притоков, в результате дождевых паводков. Вероятность наводнения в этих районах определяется разным сочетанием факторов, для каждого из которых необходимо определить конкретные переменные, его характеризующие: например, максимальный суточный слой осадков для дождевых паводков; сумма отрицательных зимних температур, слой зимних осадков и сумма положительных температур начала весны – для весеннего половодья [17]. Таким образом, задача состоит в нахождении соответствия между риском и климатическими переменными, определяющими его вероятность реализации и уровень опасности.

Климатические переменные для планирования адаптации. Глобальные изменения климата охватывают комплекс взаимосвязанных процессов и явлений в земной системе. В процессе регионального проектирования мер адаптации они должны получить научно-обоснованную количественную определенность: какой параметр изменяется, в каком направлении и с какой интенсивностью; каково влияние изменений данного параметра на социально-экономическую систему и ее отдельные элементы (отрасли).

Климат есть ансамбль (статистическое обобщение) состояний погоды на заданном пространственном и временном масштабах [18]. Климатическая переменная – любая характеристика параметров состояния климатической системы на выбранном пространственном и временном масштабах, определенная в терминах средних, экстремумов, дисперсии, повторяемости и обеспеченности. Климатические изменения описываются через значения температуры воздуха в приземном слое и суммы атмосферных осадков, в первую очередь по причине того, что эти величины измеряются на глобальной сети метеорологических станций. Однако другие, производные показатели могут более детально характеризовать конкретные явления: волны жары (продолжительность стояния среднесуточной температуры воздуха выше $+30^{\circ}\text{C}$), интенсивность морозного выветривания (количество переходов через 0°C), повышенный уровень загрязненности атмосферы (количество дней с неблагоприятными условиями атмосферной циркуляции).

Привязка климатических показателей к доступным данным наблюдений на метеорологических станциях порождает ряд затруднений. Во-первых, возникает проблема пространственного масштаба: наблюдения характеризуют только некоторую окрестность точки расположения станции, тогда как риски могут проявляться за пределами этой окрестности, что приводит к необходимости использования данных реанализа. Во-вторых, некоторые критически значимые показатели риска, например, показатели потенциала конвективных явлений, в частности, развития мощных грозных очагов: доступная конвективная потенциальная энергия (CAPE, convective available potential energy) и другие индексы определяются по аэрологическим данным, которые измеряет не каждая станция. Следовательно, данные показатели могут определяться только по данным модельных климатических реанализов. В-третьих, точечные данные наблюдений не могут быть напрямую поставлены в контекст климатических проекций, основанных на данных сценарного моделирования, для этого необходимо применять регрессионный анализ либо использовать данные реанализов в качестве «базового климата».

Ключевую роль в определении регионального перечня климатических переменных играет обеспеченность исходными данными; их отсутствие не позволяет оперировать конкретными значениями переменных. В настоящее время существует обилие массивов климатической информации, полученных из разных источников, с различными уровнями точности и неопределенности [19]. С практической точки зрения целесообразным выглядит использование следующих подходов:

1. Основные климатические переменные (ECV, essential climate variable). Всемирная метеорологическая ассоциация (ВМО) сформировала список из 55 основных климатических переменных (ОКП), сгруппированных в три домена: атмосфера (приземный слой, свободная атмосфера, химический состав), океан (приповерхностная физика, глубоководная физика, экосистемы океана, биогеохимия), суша (гидросфера, биосфера, криосфера, антропосфера). Преимущество использования ОКП заключается в систематической работе коллективов, входящих в Глобальную систему наблюдений за климатом (ГСНК), по формированию массивов геоданных, характеризующих состояние каждой ОКП. Эти данные могут быть использованы как опорные при разработке климатического прогноза. Например, для переменной «Расход воды» поддерживаются глобальные базы гидрологических данных RivDIS [20], GRDC [21]. Официальные данные ВМО при необходимости могут быть интегрированы с другими массивами данных, опирающихся на другие методы, например, FLO1K [22], RADR [23], данные климатического моделирования.

2. Климатические индексы ClimPACT [24]. Перечень сформирован Группой экспертов по секторальным климатическим индексам ВМО (ET-SCI, Expert Team on Sector-specific Climate Indices), и включает 63 индекса. Для каждого индекса указана его применимость в одной или нескольких отраслях: здравоохранение, сельское хозяйство и продовольственная безопасность, водные ресурсы и продовольственная безопасность, берега, снижение риска катастроф, энергетика, рыбное хозяйство, лесное хозяйство и эмиссия парниковых газов, криосфера. Группой разработано прикладное программное обеспечение для расчета индексов по данным метеостанций или регулярным сеткам.

3. Экспертный отбор климатических параметров. Обширная работа, проделанная в рамках двух перечисленных выше проектов, может потребовать усилий эксперта по отбору наиболее релевантных переменных (индексов) из пула имеющихся, либо определению других переменных, не вошедших в перечни ОКП или ClimPACT, но необходимых для региональной оценки КР. Пример: количество переходов через 0°C , которое определяет интенсивность морозного выветривания и его влияния на инженерные сооружения, но также характеризует вероятность гололедицы, опасность дорожно-транспортных происшествий и травм у пешеходов.

Очевидно, что не все климатические переменные имеют практическое значение с точки зрения планирования адаптационных мероприятий во всех регионах. Данные об обилии фито-

планктона или концентрации биогенных элементов, скорее всего, незначимы для Республики Саха (Якутии), но могут быть необходимы для прогноза развития рыбной популяции Камчатского края. По этой причине необходим экспертный отбор переменных на уровне региона, затем – разработка прогноза по выбранным переменным. Такой отбор может осуществляться двумя путями.

Климатический подход опирается на априорный подбор переменных (индексов) на основании ретроспективного анализа и пула экспертных оценок. Рассматриваются ОКП и их производные, для каждой теоретически моделируется возможное влияние на экосистемы, население и экономику региона. В случае высокой значимости динамика такой климатической переменной (индекса) исследуется детально. При необходимости – создается региональный долгосрочный прогноз ее изменения, который используется для планирования адаптации одной или нескольких отраслей. Например, увеличение числа дней летнего периода со штормовыми ветрами на юге Камчатского края равно неблагоприятно повлияет и на туристический бизнес, который будет ограничивать морские выходы и вертолетные туры, и на рыбный промысел, где промысловикам необходимо будет вставать в простой либо менять тип промыслового судна. Принятие решений в каждой отрасли на основе полученной информации – отдельный, независимый процесс. Из более широких соображений, возможно, удастся показать, что изменение показателя летней штормовой активности у берегов Камчатки связано с выходом тропических циклонов во внетропическую область в Северной Пацифике, развитием «взрывного» циклогенеза или иными факторами, однако эти результаты имеют скорее научный, чем прикладной интерес.

Отраслевой подход опирается на запрос конкретных отраслей или приоритетных адаптантов. Для сельского хозяйства это может быть сумма биологически-активных температур, для речного транспорта – повторяемость уровня воды ниже проектных отметок, для строительства – глубина сезонного протаивания. Перечень отраслевых климатических показателей также может определяться экспертным опросом среди представителей отрасли. При таком подходе изменение той или иной переменной также можно связать с конкретными обстоятельствами; рост пожарной опасности в лесах, или снижение уровня воды ниже проектной отметки в среднем и нижнем течении р. Лена можно связать с особенностями циклональной циркуляции летнего периода в центральной и южной Якутии [25].

Оптимальным методом анализа в обоих подходах представляются матричные решения, сходные с приведенным в [26], построенные совместно относительно климатических переменных и последствий влияния/изменения. Где возможно, такие решения должны содержать не только современные, но и прогнозные оценки секторального влияния изменения той или иной климатической переменной [27].

Региональный климатический прогноз. Глобальные климатические модели проекта CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project, фаза 6) содержат данные об изменении параметров состояния климатической системы Земли на период до 2100 г. в основных сценариях социально-экономического развития планеты [28]; эти данные находятся в открытом доступе. Как источник данных, глобальные климатические модели (ГКМ) неоднородны и сложны для ассимиляции в процессы принятия решений.

В проекте ScenarioMIP участвуют более 30 моделей [29], их пространственное разрешение варьирует от 50 до 500 км, с каждой моделью ассоциируются свои неопределенности, которые снижаются с использованием ансамблевого подхода. Региональные ансамбли климатических моделей, наилучшим образом воспроизводящих современный климат территории, позволяют оценить ожидаемые изменения в основных климатических сценариях, а использование реанализов в качестве «базового климата» повышает точность таких проекций [30]. Удобство такого подхода состоит в возможности оценить изменения любой выбранной переменной по заранее ограниченному кругу моделей, без предварительного анализа, с допущением, что отобранные модели воспроизводят эти переменные так же хорошо, как и среднегодовую температуру воздуха.

Предположение, что модели, точнее прочих воспроизводящие изменения одной климатической характеристики, будут равно точны в воспроизведении (и прогнозе) других климатических характеристик, спекулятивно; известно, например, что глобальные климатические модели воспроизводят поля осадков значительно менее точно, чем поля температуры воздуха [31]. Допущение, что ансамбль, «успешный» по одной климатической переменной, будет достаточно точным и в отношении других переменных, относится к таким же общепринятым, как и допущение, что модели, успешно воспроизводящие современный климат, будут успешными и в прогнозе, что также не гарантировано. Оба эти допущения широко применяются в климатическом прогнозировании, в том числе для целей адаптации [32].

Повысить пространственное разрешение позволяют методы статистического и динамического даунскейлинга. Статистические методы позволяют увеличить пространственное разрешение до 1 км, но снижают временное разрешение до уровня климатических норм [33], а также сами вносят значительную неопределенность в региональные климатические проекции [34]. Динамический даунскейлинг, или региональное климатическое моделирование, позволяет увеличить пространственное разрешение до 2 км, пользуясь гидродинамическими подходами. Опубликованы результаты сценарного регионального моделирования на территорию Северной Евразии с разрешением 25 км с помощью региональной модели Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова [27], воспроизводящие, в том числе некоторые индексы программы ClimPACT.

Региональные климатические проекции играют важную роль в оценке будущей опасности климатических рисков, когда установлен переход от значений отдельных климатических переменных или их комплекса к оценке уровня риска. Для некоторых характеристик уровня риска, например, средняя площадь одиночного оврага или средний диаметр карстовых воронок, нахождение прямой связи с климатическими переменными затруднительно.

Некоторые показатели риска, например, комплексный показатель В.Г. Нестерова (пожарной опасности в лесах) [35], жара и засуха, возврат холодов в вегетационный период (заморозки), определяются через характеристики погодных условий, исходные данные суточного разрешения. Комплексный показатель В.Г. Нестерова определяется по данным о температуре воздуха, температуре точки росы в 12 ч местного времени, сумме осадков (свыше 2.5 мм) за предшествующие 24 часа. Климатические модели CMIP6 не содержат информации о температуре точки росы, этот параметр требуется рассчитывать отдельно, по данным о температуре воздуха и относительной влажности, однако принципиально такой прогноз возможен – с оговоркой, что точность моделей в суточном разрешении может быть сравнительно низка. Достоверность расчета во многом определяется точностью прогноза длительности периода без дождей; при создании прогноза пожарной опасности предварительно следует проверить на исторических данных сходимость модельных и наблюдаемых эмпирических распределений максимальной продолжительности периода без дождей. Для территорий с редкой сетью метеорологических станций необходимо также проверять, что этот показатель с достаточной точностью воспроизводится климатическим реанализом или выбранным спутниковым продуктом.

Региональные климатические проекции, основанные на глобальных или региональных моделях, имеют важное преимущество для крупных субъектов РФ: при пространственном разрешении прогнозных данных $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ по широте и долготе (и лучше) они позволяют дифференцировать территорию региона по интенсивности изменений и уровню опасности климатических рисков на уровне отдельных муниципальных образований. Основные риски на территории Республики Саха (Якутии) – лесные пожары, деградация верхних горизонтов многолетней мерзлоты – распределены по территории региона неравномерно, и пространственно-распределенная информация позволит учесть эту неравномерность при приоритизации мер адаптации.

Заключение

Адаптация к изменениям климата рассмотрена в данной работе через призму климатических переменных и подходов, определяющих их связь с уровнем опасности климатических рисков. Целесообразность адаптационных мероприятий нередко оценивается монетарными критериями, например, по соотношению между понесенными расходами и потенциальным избежанным ущербом; оценить это соотношение без использования климатических данных невозможно. При определении уровня необходимых инвестиций в объекты инженерной защиты территорий необходимо использовать климатические прогнозы (проекции), поскольку эти объекты должны обеспечивать проектный уровень безопасности территории в течение всего срока эксплуатации.

Современный алгоритм разработки адаптационных мероприятий, как представляется, основан на признании факта, что современная социально-экономическая система не адаптирована даже под существующий уровень опасности климатических рисков. Ретроспективный подход к определению уровня опасности рисков не позволяет судить об их будущем уровне и ожидаемых ущербах, особенно в долгосрочной перспективе, на горизонте нескольких десятилетий. В то же время прогноз изменения климатических характеристик – один из основных компонентов в задаче планирования адаптационных мероприятий.

Стохастический характер климатической системы ставит перед региональными органами власти и представителями ключевых отраслей экономики задачи планирования работы коммунальных структур и экономической системы, отличные от решаемых ранее. Современные индустрии «привыкли» к климату настоящего, и отдельные годы, сильно отличающиеся по погодным условиям от среднего (бесснежные зимы, влажное лето) нарушают их нормальное функционирование. В климате будущего сильно отличающиеся годы станут нормой, и смена экономической модели на более подходящую (например, в туристской отрасли – автотуры вместо туров на снегоходах, смена маршрутных предложений) – адекватный адаптационный ответ. Не следует забывать, однако, что в отдельные годы погода может, тем не менее, возвращаться к историческим нормам. Повышение устойчивости индустрии к таким возвратам и в целом к росту вероятности экстремальных погодных явлений – также часть адаптационного процесса, которая должна быть учтена регионами в документах адаптационного планирования.

Литература

1. Sippel S., Meinshausen N., Fischer E.M. et al. Climate change now detectable from any single day of weather at global scale. *Nature Climate Change*. 2020;10:35–41. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0666-7>.
2. Collins M., Beverley J.D., Bracegirdle T.J. et al. Emerging signals of climate change from the equator to the poles: new insights into a warming world. *Frontiers in Science*. 2024;2:1340323. <https://doi.org/10.3389/fsci.2024.1340323>.
3. Meierrieks D., Stadelmann D. Is temperature adversely related to economic development? Evidence on the short-run and the long-run links from sub-national data. *Energy Economics*. 2024;136:107758. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107758>.
4. Tol R.S.J. A meta-analysis of the total economic impact of climate change. *Energy Policy*. 2024;185:113922. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113922>.
5. Экономические эффекты климатических изменений в России: анализ рисков и возможностей для устойчивого развития страны / Центр «Климатическая политика и экономика России» ИНИП РАН. М.: ИНИП РАН, 2024. – 12 с.
6. Kahn M.E., Mohaddes K., Ng R.N.C. et al. Long-term macroeconomic effects of climate-change: Cross-country analysis. IMF Working Paper WP/19/215. International Monetary Fund; 2019:58.
7. Mann, M.E. Warming ends when carbon pollution stops. *Frontiers in Science*. 2023;1:1256273. <https://doi.org/10.3389/fsci.2023.1256273>.
8. Климатическая доктрина Российской Федерации (утверждена Указом Президента РФ от 26 октября 2023 г. № 812), 21 с.

9. Задорин М.Ю. Обзор международных стандартов и российского законодательства по климатической адаптации. *Арктика и Север*. 2023;(53):273–290. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2023.53.273>
- Zadorin M.Yu. Overview of International Standards and Russian Legislation on Climate Change Adaptation. *Arktika i Sever*. 2023;(53):273–290. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2023.53.273> (in Russian).
10. Молчанова Я.П., Гусева Т.В., Малков А.В. и др. Адаптация к изменению климата как элемент планирования: возможность применения европейского опыта для г. Москва. *Вестник РХТУ им. Д. И. Менделеева. Гуманитарные и социально-экономические исследования*. 2017;(8-2):163–171.
11. Булавинова М.П. Концептуальные подходы в исследованиях адаптации к изменениям климата (обзор). *Научоведческие исследования*. 2023;(2):132–154.
12. Владимиров А.В. Классификация гидрологических засух. *Ученые записки РГГМУ*. 2012;(23):5–12.
13. Fischer E.M., Sippel S., Knutti R. Increasing probability of record-shattering climate extremes. *Nature Climate Change*. 2021;11:689–695. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01092-9>.
14. Lüthi S., Fairless C., Fischer E.M. et al. Rapid increase in the risk of heat-related mortality. *Nature Communications*. 2023;14:4894. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40599-x>.
15. Liang J., Qiu Y. (L.), Wang B. et al. Impacts of heatwaves on electricity reliability: Evidence from power outage data in China. *iScience*. 2025;28(1):111855. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.111855>.
16. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации / под редакцией В. М. Катцова. – СПб.: ФГБУ «ГГО», 2017. – 106 с.
17. Тананаев Н.И., Находкин Н.А., Голованов А.О. Природные факторы возникновения наводнений в среднем течении р. Амга, Центральная Якутия. *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия «Науки о Земле»*. 2022;3(27):61–75. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2022.27.3.006>.
18. Дымиников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М. Проблемы моделирования климата и его изменений. *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. 2006;42(5):618–636.
19. Merchant C.J., Paul F., Popp T. et al. Uncertainty information in climate data records from Earth observation. *Earth System Science Data*. 2017;9(2): 511–527. <https://doi.org/10.5194/essd-9-511-2017>.
20. Vörösmarty C.J., Fekete B., Tucker B.A. Global River Discharge, 1807-1991, V. 1.1 (RivDIS). ORNL DAAC, Oak Ridge Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/199>.
21. Global Runoff Data Centre. Federal Institute of Hydrology, Koblenz, Germany. URL: <https://portal.grdc.bafg.de/applications/public.html?publicuser=PublicUser>.
22. Barbarossa V., Huijbregts M.A.J., Beusen A.H.W. et al. FLO1K, global maps of mean, maximum and minimum annual streamflow at 1 km resolution from 1960 through 2015. *Scientific Data*. 2018;5:180052. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.52>.
23. Feng D., Gleason C.J., Lin P. et al. Recent changes to Arctic river discharge. *Nature Communications*. 2021;12:6917. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27228-1>.
24. Zhang X., Alexander L., Hegerl G.C. et al. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change*. 2011;2(6):851–870. <https://doi.org/10.1002/wcc.147>.
25. Игнатьева Ю.И., Тананаев Н.И. Повторяемость циклонов над территорией Республики Саха (Якутия) в летние месяцы. *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия «Науки о Земле»*. 2024;(2):46–53. <https://doi.org/10.25587/2587-8751-2024-2-46-53>.
26. Дьяков М.Ю., Михайлова Т.Р. Актуальные вопросы климатической адаптации Камчатского края. *Научные труды ВЭО России*. 2024;247:390–414. <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2024-247-3-390-414>.
27. Катцов В.М., Хлебникова Е.И., Школьник И.М. и др. Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата как основа разработки адаптационных программ в экономике Российской Федерации. *Метеорология и гидрология*. 2020;(5):46–58.
28. O'Neill B.C., Tebaldi C., van Vuuren D.P. et al. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*. 2016;9(9):3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>.
29. Tebaldi C., Debeire K., Eyring V. et al. Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics*. 2021;12(1):253–293. <https://doi.org/10.5194/esd-12-253-2021>.
30. Tananaev N.I. Regional ensemble of CMIP6 global climate models for Sakha (Yakutia) Republic, Northern Eurasia. *Polar Science*. 2024;41:101066. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2024.101066>.
31. Crawford J., Venkataraman K., Booth J. Developing climate model ensembles: A comparative case study. *Journal of Hydrology*. 2019;568: 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.054>.

32. Yilmaz B., Aras E., Nacar S. A CMIP6-ensemble-based evaluation of precipitation and temperature projections. *Theoretical and Applied Climatology*. 2024;155:7377–7401. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05066-7>.
33. Mahony C.R., Wang T., Hamann A. et al. A global climate model ensemble for downscaled monthly climate normals over North America. *International Journal of Climatology*. 2022;42(11):5871–5891. <https://doi.org/10.1002/joc.7566>.
34. Lafferty D.C., Sriver R.L. Downscaling and bias-correction contribute considerable uncertainty to local climate projections in CMIP6. *npj Climate and Atmospheric Science*. 2023;6:158. <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00486-0>.
35. ГОСТ Р 22.1.09-99 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Москва: Госстандарт России; 2000:8.

References

- Sippel S., Meinshausen N., Fischer E.M. et al. Climate change now detectable from any single day of weather at global scale. *Nature Climate Change*. 2020;10:35–41. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0666-7>.
- Collins M., Beverley J.D., Bracegirdle T.J. et al. Emerging signals of climate change from the equator to the poles: new insights into a warming world. *Frontiers in Science*. 2024;2:1340323. <https://doi.org/10.3389/fsci.2024.1340323>.
- Meierrieks D., Stadelmann D. Is temperature adversely related to economic development? Evidence on the short-run and the long-run links from sub-national data. *Energy Economics*. 2024;136:107758. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2024.107758>.
- Tol R.S.J. A meta-analysis of the total economic impact of climate change. *Energy Policy*. 2024;185:113922. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113922>.
- Economic Effects of Climate Change in Russia: Analysing Risks and Opportunities for Sustainable Development of the Country. Moscow: INP RAS; 2024:12 (in Russian).
- Kahn M.E., Mohaddes K., Ng R.N.C. et al. Long-term macroeconomic effects of climate-change: Cross-country analysis. IMF Working Paper WP/19/215. International Monetary Fund; 2019:58.
- Mann, M.E. Warming ends when carbon pollution stops. *Frontiers in Science*. 2023;1:1256273. <https://doi.org/10.3389/fsci.2023.1256273>.
- Climate Doctrine of the Russian Federation (approved by Presidential Decree No. 812 of 26 October 2023), 21 p. (in Russian).
- Zadorin M.Yu. Overview of International Standards and Russian Legislation on Climate Change Adaptation. *Arktika i Sever*. 2023;(53):273–290. <https://doi.org/10.37482/issn2221-2698.2023.53.273> (in Russian).
- Molchanova Y.P., Guseva T.V., Malkov A.V. et al. Adaptation to climate change as a planning element: the possibility of applying European experience for the city of Moscow. *Bulletin of D.I. Mendeleev Russian Chemical Technology University. Humanitarian and socio-economic studies*. 2017;(8-2):163-171.
- Bulavinova M.P. Conceptual approaches in climate change adaptation research (review). *Naukovedcheskie issledovaniya*. 2023;(2):132-154 (in Russian).
- Vladimirov A.V. Classification of hydrological droughts. *Uchenye zapiski RSHMU*. 2012;(23):5-12 (in Russian).
- Fischer E.M., Sippel S., Knutti R. Increasing probability of record-shattering climate extremes. *Nature Climate Change*. 2021;11:689–695. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01092-9>.
- Lüthi S., Fairless C., Fischer E.M. et al. Rapid increase in the risk of heat-related mortality. *Nature Communications*. 2023;14:4894. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-40599-x>.
- Liang J., Qiu Y. (L.), Wang B. et al. Impacts of heatwaves on electricity reliability: Evidence from power outage data in China. *iScience*. 2025;28(1):111855. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2025.111855>.
- Report on climate risks on the territory of the Russian Federation (edited by V.M. Kattsov). Saint-Petersburg: Main Geophysical Observatory; 2017:106 (in Russian).
- Tananaev N.I., Nakhodkin N.A., Golovanov A.O. Natural drivers of high floods in the middle reach of the Amga River, Central Yakutia. *Vestnik of North-Eastern Federal University Series "Earth Sciences"*. 2022;(3):61-75 (in Russian). <https://doi.org/10.25587/SVFU.2022.27.3.006>.
- Dymnikov V.P., Lykosov V.N., Volodin E.M. Problems of Modelling the Climate and its Changes. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauki. Atmospheric and Oceanic Physics*. 2006;42(5):618-636 (in Russian).

19. Merchant C.J., Paul F., Popp T. et al. Uncertainty information in climate data records from Earth observation. *Earth System Science Data*. 2017;9(2): 511–527. <https://doi.org/10.5194/essd-9-511-2017>.
20. Vörösmarty C.J., Fekete B., Tucker B.A. Global River Discharge, 1807-1991, V. 1.1 (RivDIS). ORNL DAAC, Oak Ridge Tennessee, USA. <https://doi.org/10.3334/ORNLDAAC/199>.
21. Global Runoff Data Centre. Federal Institute of Hydrology, Koblenz, Germany. URL: <https://portal.grdc.bafg.de/applications/public.html?publicuser=PublicUser>.
22. Barbarossa V., Huijbregts M.A.J., Beusen A.H.W. et al. FLO1K, global maps of mean, maximum and minimum annual streamflow at 1 km resolution from 1960 through 2015. *Scientific Data*. 2018;5:180052. <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.52>.
23. Feng D., Gleason C.J., Lin P. et al. Recent changes to Arctic river discharge. *Nature Communications*. 2021;12:6917. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27228-1>.
24. Zhang X., Alexander L., Hegerl G.C. et al. Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. *WIREs Climate Change*. 2011;2(6):851–870. <https://doi.org/10.1002/wcc.147>.
25. Ignatyeva Y.I., Tananaev N.I. Recurrence of cyclonic events over the Sakha Republic (Yakutia) in summer months. *Vestnik of North-Eastern Federal University Series "Earth Sciences"*. 2024;(2):46-53 (in Russian). <https://doi.org/10.25587/2587-8751-2024-2-46-53>
26. Dyakov M.Yu., Mikhailova T.R. Actual issues of climatic adaptation of the Kamchatka Territory. *Scientific Proceedings of the All-Russia Economic and Economic Organisation of Russia*. 2024;247:390–414. <https://doi.org/10.38197/2072-2060-2024-247-3-390-414>.
27. Kattsov V.M., Khlebnikova E.I., Shkolnik I.M. et al. Probabilistic scenario forecasting of regional climate as a basis for the development of adaptation programmes in the economy of the Russian Federation. *Russian Meteorology and Hydrology*. 2020;(5):46-58.
28. O'Neill B.C., Tebaldi C., van Vuuren D.P. et al. The Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) for CMIP6. *Geoscientific Model Development*. 2016;9(9):3461–3482. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-3461-2016>.
29. Tebaldi C., Debeire K., Eyring V. et al. Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6. *Earth System Dynamics*. 2021;12(1):253–293. <https://doi.org/10.5194/esd-12-253-2021>.
30. Tananaev N.I. Regional ensemble of CMIP6 global climate models for Sakha (Yakutia) Republic, Northern Eurasia. *Polar Science*. 2024;41:101066. <https://doi.org/10.1016/j.polar.2024.101066>.
31. Crawford J., Venkataraman K., Booth J. Developing climate model ensembles: A comparative case study. *Journal of Hydrology*. 2019;568: 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.10.054>.
32. Yilmaz B., Aras E., Nacar S. A CMIP6-ensemble-based evaluation of precipitation and temperature projections. *Theoretical and Applied Climatology*. 2024;155:7377–7401. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05066-7>.
33. Mahony C.R., Wang T., Hamann A. et al. A global climate model ensemble for downscaled monthly climate normals over North America. *International Journal of Climatology*. 2022;42(11):5871–5891. <https://doi.org/10.1002/joc.7566>.
34. Lafferty D.C., Srivier R.L. Downscaling and bias-correction contribute considerable uncertainty to local climate projections in CMIP6. *npj Climate and Atmospheric Science*. 2023;6:158. <https://doi.org/10.1038/s41612-023-00486-0>.
35. GOST R 22.1.09-99 Safety in emergency situations. Monitoring and forecasting of forest fires. Moscow: Gosstandart of Russia; 2000:8.

Об авторе

ТАНАНАЕВ Никита Иванович, кандидат географических наук, заведующий лабораторией, доцент, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова; ведущий научный сотрудник, Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга; ORCID: 0000-0003-2997-0169, ResearcherID: J-3471-2012, Scopus Author ID: 12782200000, SPIN: 1859-8831, e-mail: tanni@s-vfu.ru

About the author

Nikita I. TANANAEV, Cand. Sci. (Geography), Laboratory Head, Associate Professor, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University; Leading Researcher, Vitus Bering Kamchatka State University; ORCID:

0000-0003-2997-0169, ResearcherID: J-3471-2012, Scopus Author ID: 12782200000, SPIN: 1859-8831, e-mail: tanni@s-vfu.ru

Вклад авторов

Тананаев Н.И. – разработка концепции, программное обеспечение, верификация данных, проведение статистического анализа, проведение исследования, администрирование данных, создание черновика рукописи, редактирование рукописи, визуализация, получение финансирования

Authors' contribution

Tananaev N.I. – conceptualization, software, validation, formal analysis, investigation, data curation, writing – original draft, writing – review & editing, visualization, funding acquisition

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию / Submitted 03.03.2025

Принята к публикации / Accepted 10.03.2025

**Вестник Северо-Восточного федерального университета
им. М.К. Аммосова.
Vestnik of North – Eastern Federal University.
Серия "Науки о Земле. Earth Sciences"**

Сетевое научное периодическое издание

№ 1(37) 2025

Технический редактор *А.Н. Егорова*
Компьютерная верстка *Л.М. Винокурова*
Оформление обложки *П.И. Антипин*

Подписано в печать 26.03.2025. Формат 70x108/16.
Дата выхода в свет 26.03.25.