

## ЭЛЕКТРОННАЯ СЕРИЯ «НАУКИ О ЗЕМЛЕ»

научного рецензируемого журнала

«ВЕСТНИК СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

имени М.К. АММОСОВА»

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»

№ 2 (34) 2024

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ СЕРИИ

Главный редактор

*А.Н. Николаев*, д. б. н.

Заместитель главного редактора, редактор серии «Науки о Земле»

*Е.Э. Соловьев*, к. г. - м. н., доцент.

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: 677000, г. Якутск, ул. Петровского, 5, каб.1

Тел./факс: (4112) 40-38-75. e-mail: [vestnik\\_geo@mail.ru](mailto: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» SERIES

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”

№ 2 (34) 2024

EDITORIAL BOARD OF THE SERIES

Editor-in-Chief

*A.N. Nikovaev*, Doctor of Biological Sciences

Deputy Editor-in-Chief, Editor of the Series:

*E.E. Solovyov*, Candidate of Geological-mineralogical sciences, Associate Professor

Commissioning Editor

*Ia. P. Shepeleva*, Candidate of Geological-mineralogical sciences Sciences

Members of the Editorial Board of the Series:

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

Founder and publisher address: the North-Eastern Federal University, 677000, Yakutsk, ul. Belinskogo, 58.

Editors Office address: the North-Eastern Federal University, 677000, Yakutsk, ul. Petrovskogo, 5, room 1

Telephone/Fax: (4112) 40-38-75. e-mail: [vestnik\\_geo@mail.ru](mailto:vestnik_geo@mail.ru). <https://vfuzeml.elpub.ru/jour/index>  
<http://s-vfu.ru/universitet/rukovodstvo-i-struktura/strukturnye-podrazdeleniya/unir/vestnik-svf/>

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

### ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

- Пуляев Н.А., Третьякова О.Г., Третьякова Н.М.* Глубинное строение и перспективы рудо- и нефтегазоносности Северо-Западной части Момо-Селенняхской впадины..... 5
- Сивцев А.И., Калинин А.И.* Прямые геохимические исследования в Вилюйской синеклизе..... 13
- 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 ..... 25
- Шепелёв Н.Г.* Современное состояние и перспективы геологического картографирования территории Российской Федерации в правовом аспекте ..... 36

### ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

- Игнатьева Ю.И., Тананаев Н.И.* Повторяемость циклонов над территорией Республики Саха (Якутия) в летние месяцы ..... 46
- Карамзин В.А., Ядрихинский И.В., Пестрякова Л.А.* Снижение экологического риска промышленно-осваиваемой территории через систему раннего предупреждения (на примере северных и арктических территорий Российской Федерации)..... 54
- Обутов К.А., Данилов Ю.Г.* Автоматизация определения границ речных бассейнов малых рек на примере Хангаласского района РС (Я) ..... 60
- Ядрихинский И.В., Попова Д.Н., Карамзин В.А., Сивцева Е.А., Эверстов Н.В., Левина С.Н., Давыдова П.В., Эверстова А.А., Егоров А.В.* Оценки качества биогеоценоза в границах антропогенного влияния на устойчивость промышленно осваиваемой территории..... 68

---

---

# CONTENT

---

## **GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERALOGY**

- Pulyaev N.A., Tretyakova O.G., Tretyakova N.M.* Deep structure and prospects of ore and petroleum bearing capacity of the North-Western part of the Momo-Selennyakh depression ..... 5
- Sivtsev A.I., Kalinin A.I.* Direct geochemical studies in the Vilyui syncline ..... 13
- Khasanov I.M., Mihalitsina T.I., Muravyev L.A., Makarova D.V.* Using the methodology of transformation of geophysical fields in the study of dike-type ore systems in the zone of influence of the Chai-Yurinsky deep fault ..... 25
- Shepelev N.G.* The current state and prospects of geological mapping of the territory of The Russian Federation: the legal aspect ..... 36

## **PHYSICAL GEOGRAPHY AND BIOGEOGRAPHY, SOIL GEOGRAPHY, AND LANDSCAPE GEOCHEMISTRY**

- Ignatyeva Y.I., Tananaev N.I.* Recurrence of cyclonic events over the Sakha Republic (Yakutia) in summer months ..... 46
- Karamzin V.A., Yadrikhinskiy I.V., Pestryakova L.A.* Reduction of environmental risk of industrially developed territory through the early warning system: the example of northern and arctic territories of The Russian Federation ..... 54
- Obutov K.A., Danilov Yu.G.* Automation of determining the boundaries of river basins of small rivers: the case of Khangalassky district of the Sakha Republic (Yakutia) ..... 60
- Yadrikhinskiy I.V., Popova D.N., Sivseva E.A., Everstov N.V., Levina S.N., Davydova P.V., Everstova A.A., Egorov A.V.* Assessment of biogeocenosis quality within the boundaries of anthropogenic impact on the sustainability of an industrially developed territory ..... 68

# ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 550.8(571.56-18)

DOI 10.25587/2587-8751-2024-2-5-12

*Н.А. Пуляев, О.Г. Третьякова<sup>1</sup>, Н.М. Третьякова<sup>2</sup>*<sup>1</sup> СВФУ имени М.К. Аммосова<sup>2</sup> РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

e-mail: pna-s-vfu@mail.ru

e-mail: og.tretiakova@s-vfu.ru

e-mail: natatretyakova2003@gmail.com

## ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РУДО – И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ МОМО-СЕЛЕННЯХСКОЙ ВПАДИНЫ

*Аннотация.* В статье представлены результаты среднемасштабного геологического картирования Момо-Селенняхской впадины. Получены новые данные о глубинном строении, рудо- и нефтегазоносности впадины и выявлены достоверные и предположительные признаки нефтегазоносности. Рассмотрено геологическое строение впадины, включая ее расположение в Колымо-Омолонском супертеррейне, граничащем с Верхоянской складчатой системой.

Момо-Селенняхская впадина расположена в пределах Колымо-Омолонского супертеррейна, который граничит с Верхоянской складчатой системой. Впадина образовалась в результате растяжения коры в позднем плиоцене – раннем плейстоцене. Она выполнена отложениями песков и галечников миоценового и плиоценового возраста, перекрытых плейстоценовыми ледниковыми образованиями. Селенняхская и Сюрюктяхская впадины являются частью Момо-Селенняхской впадины, которая расположена в пределах Колымо-Омолонского супертеррейна. Селенняхская впадина имеет пологую форму и сложена верхнеюрскими осадочно-вулканогенными образованиями. Фундамент впадины нарушен разломами, вдоль которых происходили подвижки блоков.

Сюрюктяхская впадина имеет более сложное строение и выполнена рыхлыми отложениями палеоген-неогенового и четвертичного возраста. Фундамент впадины сложен верхнесилурийскими и девонскими карбонатными отложениями, а также верхнеюрскими осадочно-вулканогенными образованиями. Впадина сформировалась в зоне крупного разлома Улахан, что подтверждается результатами гидрогеохимического опробования, свидетельствующими о наличии скрытых минерализованных зон дробления, сопряженных с разломом Улахан. В этих зонах повышены содержания кадмия, бора, меди, цинка, свинца, молибдена и других металлов. Наличие битуминозных сланцев, повышенные содержания нафтеновых кислот, йода, брома и фтора в водах, а также наличие маслянистых пятен и грифонов с выбросом газа указывают на возможную нефтеносность района.

*Ключевые слова:* Момо-Селенняхская, Селенняхская, Сюрюктяхская впадины, разломы, вулканогенно-осадочные породы, гидрохимическое опробование, геологический профиль, нафтеновые кислоты, битуминозность, нефтегазоносность.

*N.A. Pulyaev, O.G. Tretiakova<sup>1</sup>, N.M. Tretiakova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> M.K. Ammosov North-Eastern Federal University,

<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy

e-mail: pna-s-vfu@mail.ru

e-mail: og.tretiakova@s-vfu.ru

e-mail: natatreyakova2003@gmail.com

## DEEP STRUCTURE AND PROSPECTS OF ORE AND PETROLEUM BEARING CAPACITY OF THE NORTH-WESTERN PART OF THE MOMO-SELENNYAKH DEPRESSION

*Abstract.* The article presents the results of medium-scale geological mapping of the Momo-Selennyakh depression. New data on the deep structure, ore and oil-and-gas bearing capacity of the depression were established. Reliable and presumptive signs of oil and gas content were revealed. The geologic structure of the depression, including its location in the Kolyma-Omolon superterrane bordering the Verkhoyansk fold system, was discussed.

The Momo-Selennyakh depression is located within the Kolyma-Omolon superterrane, which borders the Verkhoyansk fold system. The depression was formed as a result of crustal stretching in the Late Pliocene – Early Pleistocene. It is composed of sand and gravel deposits of Miocene and Pliocene age overlain by Pleistocene glacial formations. The Selennyakh and Syuryuktyakh depressions are part of the Momo-Selennyakh depression, which is located within the Kolyma-Omolon superterrane. The Selennyakh depression has a gentle shape and is composed of Upper Jurassic sedimentary-volcanogenic formations. The basement of the depression is disrupted by faults along which the blocks moved.

The Syuryuktyakh depression has a more complex structure and is composed of loose sediments of Paleogene-Neogene and Quaternary age. The basement of the depression is composed of Upper Silurian and Devonian carbonate sediments and Upper Jurassic sedimentary-volcanogenic formations. The depression was formed in the zone of the large Ulakhan fault. The results of hydrogeochemical sampling indicate the presence of hidden mineralized crushing zones associated with the Ulakhan fault. These zones have elevated contents of cadmium, boron, copper, zinc, lead, molybdenum and other metals. The presence of bituminous shales, increased content of naphthenic acids, iodine, bromine and fluorine in waters, as well as the presence of oily patches and griffons with gas emission indicate possible oil-bearing capacity of the area.

*Keywords:* Momo-Selennyakh, Selennyakh, Syuryuktyakh depressions, faults, volcanic-sedimentary rocks, hydrochemical sampling, geological profile, naphthenic acids, bituminous content, oil and gas potential.

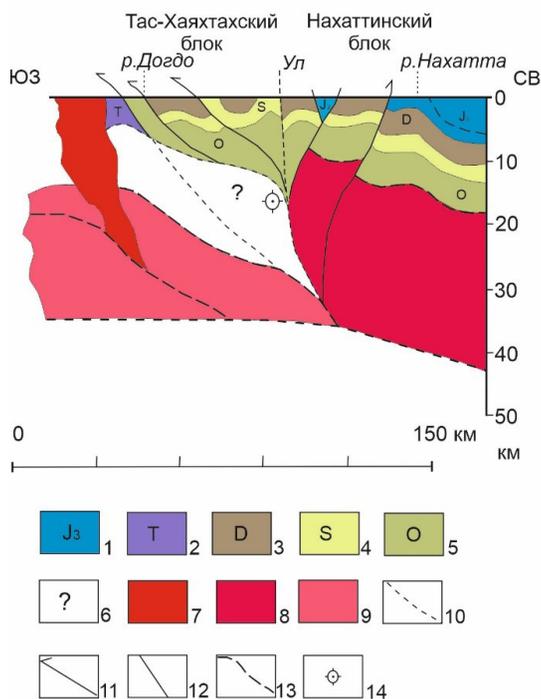
### Введение

При среднемасштабном геологическом картировании, проведенном в пределах Момо-Селенняхской впадины, получены новые данные о ее глубинном строении, рудо – и нефтегазоносности [7]. Установлены достоверные и предположительные предпосылки и признаки нефтегазоносности. Несмотря на наличие прямых и косвенных признаков нефтенасыщенности горных пород продуктами нефти и, в целом, высоких перспектив на обнаружение нефти и газопроявлений, а также рудопроявлений, на площади проведен неполный объем поисково-разведочных работ. В связи с этим она считается недостаточно изученной.

### Геологическое строение площади

Момо-Селенняхская впадина расположена в пределах Колымо-Омолонского супертеррейна, который является одной из главных тектонических структур Верхояно-Колымской складчатой системы (рис. 1). На западе Колымо-Омолонский супертеррейн граничит с Верхоянской складчатой системой. Эта граница получила название зоны сочленения складчатой зоны с супертеррейном [6]. В эту зону входит и Тас-Хаяхтахский блок (горст-антиклинорий), который образовался в палеозое и граничит с впадиной на северо-западе. Наряду с такими структурами, как Делакаг-Нерский и Аян-Юряхский антиклинории, Иньяли-Дебинский синклинорий Верхоянской складчатой зоны, Тас-Хаяхтахский и Омудевский блоки образуют самостоятельную тектоническую единицу, получившую название коллизийный пояс Черского [6].

## КОЛЫМО-ОМОЛОНСКИЙ СУПЕРТЕРРЕЙН



Осадочные комплексы Колымо-Омолонского Супертеррейна [6]:

1. юрские;
2. триасовые;
3. девонские;
4. силурские;
5. ордовикские;
6. породы неопределенного возраста;
7. Позднемезозойские коллизионные гранитоиды;
8. Фундамент Нахаттинского блока Колымо-Омолонского супертеррейна;
9. Кристаллический фундамент Северо-Азиатского кратона.

Разломы:

10. межплитный шов;
11. надвиги;
12. предполагаемые;
13. прочие;
14. проекция глубинных очагов некоторых землетрясений

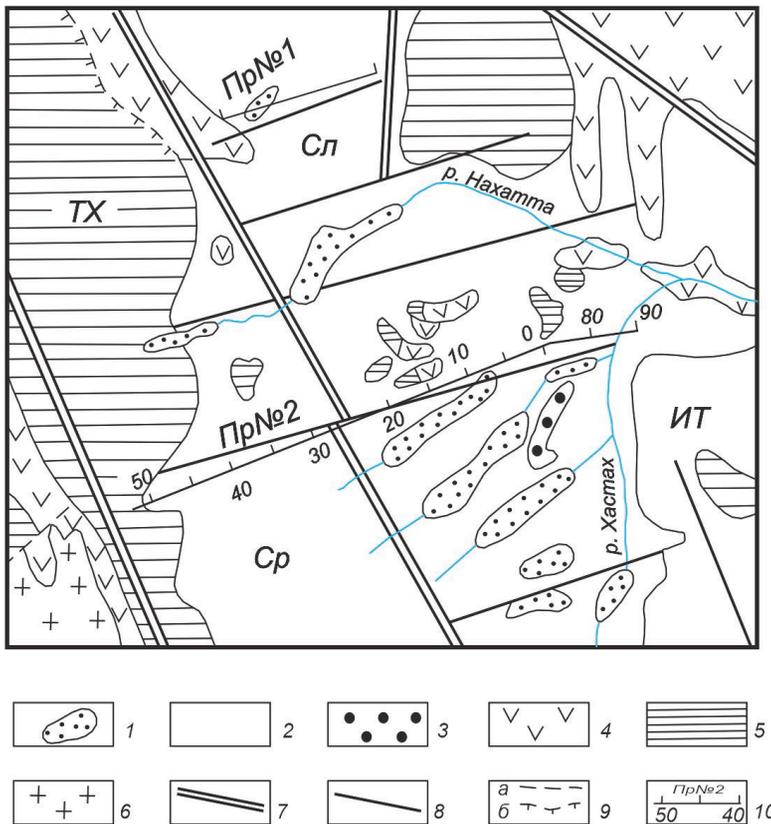
Рис. 1. Схематический структурный разрез Колымо-Омолонского супертеррейна

Fig. 1. Schematic structural section of the Kolyma-Omolon superterrane

Тас-Хаяхтахский блок расположен на юго-западной окраине Колымо-Омолонского супертеррейна [5]. Блок состоит из осадочных горных пород преимущественно карбонатного состава, сформировавшихся от ордовика до верхнего девона. В разрезе карбонатных толщ преобладают известняки и доломиты, с частым присутствием рифовых фаций. В пределах блока выделяются небольшие фрагменты офиолитового комплекса, наиболее крупными являются Мунилканский и Уччинский блоки более низкого порядка. Они образованы серпентитизированными гарцбургитами и дунитами, габбро и габбро-амфиболитами, метабазитами, офикальцитами и офикластитами, испытавшими многократный метаморфизм и деформации [5, 6]. Офиолиты, представленные в виде тектонических пластин, находятся над верхнепалеозойскими карбонатными отложениями. В позднем плиоцене-раннем плейстоцене в условиях общего растяжения коры формируется Момский рифт [1, 3] с его межгорными впадинами – Кыринская, Нижне-Момская и Верхне-Момская. Несколько раньше образована Верхне-Селенняхская (Момо-Селенняхская) впадина, которая является продолжением впадин Момского рифта.

Момо-Селенняхская впадина заполнена отложениями песков и галечников миоценового и плиоценового возраста, мощностью до 200 м, перекрытыми плейстоценовыми ледниковыми образованиями. В пределах Колымо-Омолонского супертеррейна выявлен активный в кайнозое крупный разлом Улахан, который является генеральным и играет основную структурообразующую роль в формировании современного рельефа и контролирует проявления местной сейсмичности. Разлом глубокого заложения Улахан простирается более чем на 1500 км (рис. 1, 2)

Момо-Селенняхская впадина осложнена поперечными поднятиями, разделяющими ее на две более мелкие впадины – Селенняхскую и Сюрюктяхскую [7], геологическое строение которых существенно отличается друг от друга (рис. 2).



**Рис.2.** Геолого-структурная схема северо-западной части Момо-Селенняхской впадины.

1 – Наледи; 2 – палеоген-неогеновые и четвертичные отложения; 3 – верхнеюрские терригенные отложения; 4 – триасовые и верхнеюрские терригенно-вулканогенные отложения; 5 – ордовикские и девонские карбонатные отложения; 6 – гранитоиды; 7 – разломы первого порядка; 8 – разломы второго порядка; 9 – прочие разломы: (а) взбросы, сбросы; (б) надвижки; 10 – геолого-геофизические профили; Надписи на схеме: ТХ – Тас-Хаяхтахский горст-антиклинорий; ИТ – Илень-Тасский антиклинорий; СЛ – Селенняхская впадина; СР – Сюрюктяхская впадина; УЛ – разлом Улахан

**Fig. 2.** Geological and structural scheme of the northwestern part of the Momo-Selennyakh depression.

1 – Glaciers; 2 – Paleogene-Neogene and Quaternary sediments; 3 – Upper Jurassic terrigenous sediments; 4 – Triassic and Upper Jurassic terrigenous-volcanogenic sediments; 5 – Ordovician and Devonian carbonate sediments; 6 – granitoids; 7 – first-order faults; 8 – second-order faults; 9 – other faults: (10 – geological and geophysical profiles; Inscriptions on the scheme: TX – Tas-Khayakhtakh gorst-anticlinorium; IT – Ilin-Tass anticlinorium; SL – Selennyakh depression; SR – Syuryuktyakh depression; UL – Ulakhan fault

### Геологическое строение Селенняхской и Сюрюктяхской впадин

Селенняхская впадина представляет собой углубление, центр которого достигает глубины 600-700 м. [8]. Форма впадины четко видна в аномалиях магнитного поля, которые совпадают с линейными зонами интенсивных градиентов силы тяжести, связанными с разломом Улахан. Интенсивность магнитных аномалий увеличивается к центру впадины. Большинство локальных максимумов соответствуют верхнеюрским осадочно-вулканогенным образованиям, указывая на сложное строение фундамента впадины. Верхнеюрские образования имеют мощность от 3,5 до 4-5 км в центре впадины, а глубина магнитовозмущающих тел не превышает 1 км [7]. Большая часть юрских осадков сильно деформирована на западном борту впадины

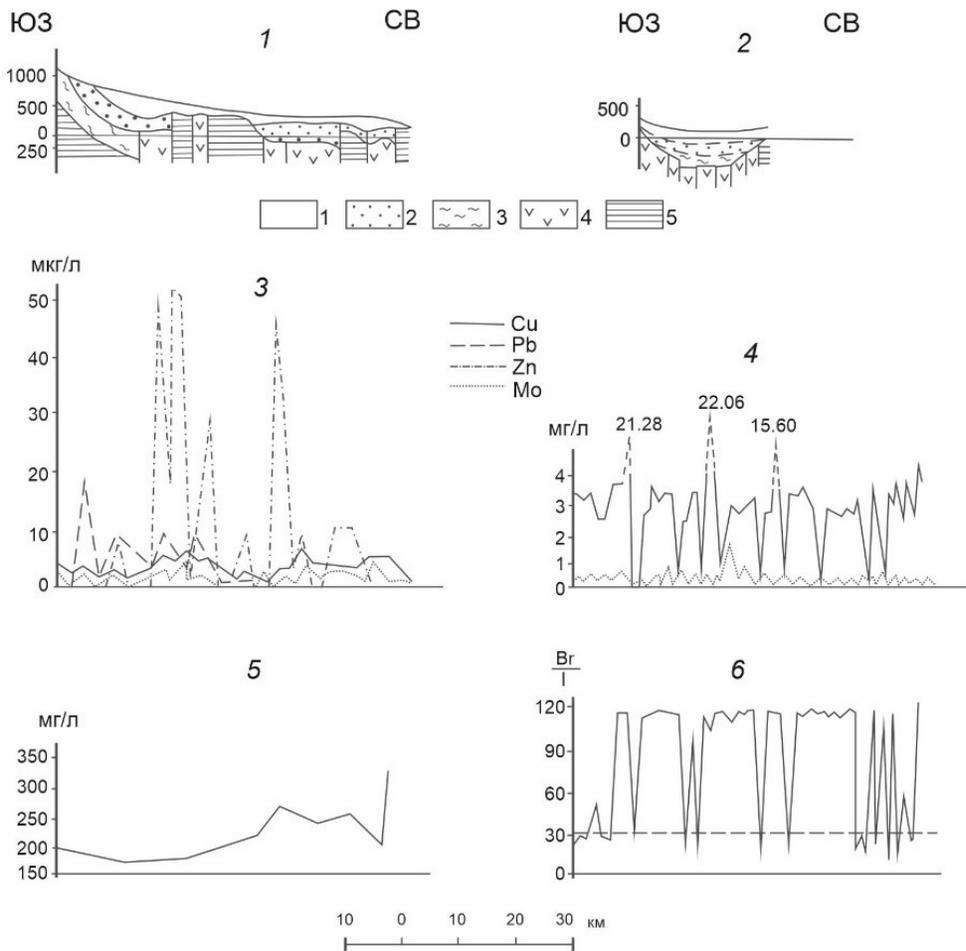
вдоль разлома Улахан, а к центру впадины напряженность складчатости уменьшается. Судя по элементам залегания в отдельных коренных обнажениях, выходящих из-под покрова рыхлых отложений на дневную поверхность, отмечаются куполовидные брахискладки шириной 3-5 км и углами падения на крыльях 10-25°. Восточный борт впадины граничит с Томмот-Уяндинским разломом, четко выраженным в гравитационном поле и хорошо дешифрируемым на аэро- и космоснимках.

С целью выяснения особенностей глубинного строения фундамента впадины, от озера Холбочон до правобережья р. Берелёх пройден магнитно- и электроразведочный профили (ВЭЗ), протяженностью 25 км, пересекающие впадину с юго-запада на северо-восток. В профилях магнитно- и электроразведки были обнаружены линейные структуры [7], соответствующие разломам в фундаменте впадины, вдоль которых происходили подвижки блоков фундамента с амплитудой в первые сотни метров.

Сюрюктяхская впадина имеет более сложное строение и состоит из рыхлых отложений разного возраста [7]. Она выполнена рыхлыми отложениями палеоген-неогенового и четвертичного возраста. Мощность отложений в наиболее погруженной западной части впадины достигает 800-1000 м, а в восточной части – до 500-600 м. Судя по останцам коренных пород, выходящих из-под рыхлых отложений на дневную поверхность (левый борт руч. Нахатта и Берелёх), а также анализу геофизических данных, фундамент впадины сформирован верхнесилурийскими и девонскими карбонатными отложениями, а также верхнеюрскими осадочно-вулканогенными образованиями. Песчано-глинистые отложения бастахской серии волжского яруса были отмечены лишь в крайней восточной части впадины, в междуречье Умбы и Учугей-Уряха. Заложение Сюрюктяхской впадины, как и Селенняхской, видимо, произошло, в палеоген-неогеновое время, но окончательно она, по всей вероятности, сформировалась в неоген-четвертичное время, одновременно с поднятием хребта Тас-Хаяхта. Ось максимальных прогибаний Момо-Селенняхской впадины, в пределах изученного района, в целом совпадает с осью максимальных мощностей, достигающих 5 км, верхнеюрских осадочно-вулканогенных образований Холбочонской грабен-синклинали. В этом смысле Момо-Селенняхская впадина является унаследованной по отношению к выделяемому здесь нами мезозойскому Холбочонскому прогибу. Сюрюктяхская впадина, как и Селенняхская, сформировалась в зоне крупного разлома Улахан северо-западного простирания. К этому разлому приурочена крупная Нахаттасская зона магнитных аномалий, являющаяся продолжением Селенняхской зоны магнитных аномалий и связанная также с вулканогенными образованиями основного и среднего состава позднеюрского возраста [7]. По данным электропрофилеирования разлом в фундаменте выражен мощными зонами дробления, вдоль которых контактируют карбонатные и вулканогенные отложения фундамента впадины [7].

### **Результаты гидрогеохимического опробования**

Исследования гидрохимии были проведены по всем водотокам впадины. Результаты химического анализа (рисунок 3) свидетельствуют о наличии скрытых под чехлом кайнозойских отложений минерализованных зон дробления, сопряженных с разломом Улахан, которые были выявлены по данным наземного геофизического профилирования [7, 8]. На это указывают и повышенные содержания в сухих остатках гидрохимических проб таких химических элементов, как кадмий, бор, медь, цинк, свинец, молибден и ряд других металлов, а также и увеличение общей минерализации вод от 170-190 мг/л до 250-330 мг/л. Этот факт зафиксирован в гидропробах, которые были отобраны в местах пересечения профилями зоны разлома Улахан. На поверхности к этому разлому приурочена серия многолетних наледей, которые фиксируют участки разгрузки подземных минерализованных вод. Анализ сухих остатков гидропроб с наледей также показал высокие содержания рудных элементов и увеличение минерализации. Литохимические пробы из потоков рассеяния химических элементов показали повышенное содержание 15 рудных элементов.



**Рис. 3.** Результаты химического анализа

1, 2 – Геологические разрезы через Момо-Селенняхскую впадину по геофизическому профилю; *графики содержания:* 3 – микрокомпонентов в сухих остатках гидропроб по геофизическому профилю; 4 – нафтеновых кислот (I) и фтора (II) в гидропробах по профилю, 5 – минеральных веществ в гидропробах по профилю, 6 – график величин отношения брома к йоду

**Fig. 3.** Results of chemical analysis

1, 2 – Geological sections through Momo-Selennyakh depression along the geophysical profile; *graphs of content:* 3 – microcomponents in dry residues of hydro samples along the geophysical profile; 4 – naphthenic acids (I) and fluorine (II) in hydro samples along the profile, 5 – mineral substances in hydro samples along the profile, 6 – graph of bromine to iodine ratio values

Помимо крупных разломов (типа Улахан и Томмот-Уяндинского), в пределах района выявлена серия более мелких оперяющих дизъюнктивных нарушений [2]. Амплитуда смещений по этим разломам достигает 400-700 м. В приподнятых блоках на поверхности часто обнажаются коренные породы палеозойского и мезозойского возраста, а к опущенным блокам тяготеют все наледи района. Наличие нафтеновых кислот в воде считается надежным признаком возможной нефтеносности отложений. В гидропробах, взятых над зонами разломов, отмечается повышение содержания и нафтеновых кислот до 22,06 мг/л, в то время как в других пробах, содержание их варьирует от 2,25 мг/л до 4,38 мг/л. Этот факт позволяет предположить, что на глубине подземными водами размываются нефтематеринские или нефтewмещающие породы, и по зонам сквозных таликов, связанными с разломами, нафтеновые кислоты выносятся на поверхность. Косвенным подтверждением этого вывода является наличие битуминозных сланцев в отложе-

ниях венлокского яруса раннего силура, битуминозных сланцев и известняков в отложениях датинской и хобочалинской свит раннего девона, содержание органического углерода в которых достигает 6,49 %.

Возможная нефтеносность района также может быть подтверждена содержанием в водах йода (до 1,27 мг/л), брома (до 12,53 мг/л), фтора (до 1,78 мг/л), а также отношением брома к йоду, величина которого для вод нефтяных месторождений не должна превышать 30 [4]. В большинстве опробованных водотоков Момо-Селенняхской впадины этот показатель не превышает 30. Кроме того, в геологических маршрутах часто наблюдались в текучих водах маслянистые пятна округлой формы с радужной побежалостью, которые, то соединяются, образуя большие пятна, то разбиваются на несколько более мелкие пятна. Эти пятна также могут указывать на наличие на глубине нефтепроявлений [7]. В некоторых боковых притоках реки Нахатта отмечались грифоны с выбросом газа и ключи с водой, имеющей сильный специфический запах. В таких местах наблюдалась бурная растительность, ярко-зеленая трава, обильный лиственный кустарник и яркий мох (от коричневого до ярко-зеленого цвета). Важным фактом насыщенности горных пород нефтью и ее продуктами является окраска известняков и песчаников, которые имеют различные оттенки коричневого цвета, как самой породы, так и в трещинах в виде коричневых примазок. Отличить примазки нефти и цвет породы, насыщенной нефтью, от окисленного железа и марганца, которые тоже часто окрашивают горную породу в коричневый до черного цвета, достаточно легко. Окрашенные нефтью породы не смачиваются водой, на их поверхности образуются нерастаевающиеся округлые пленки (пятна).

### **Заключение**

При проведении геолого-съёмочных работ обнаружены косвенные и прямые признаки нефтенасыщенности пород под чехлом вулканогенно-осадочных пород. В наземных маршрутах неоднократно упоминалось о находках битуминозных карбонатных пород, выбросы по трещинам газов с запахом сероводорода, масляные пятна с радужной побежалостью в водотоках предгорной части Момо-Селенняхской впадины.

Для трети анализируемых проб отношение брома к йоду не превышает 30, при этом они тяготеют к зонам разломов фундамента впадины. Не исключено, что при наличии мощной покрывки, которой здесь могут быть верхнеюрские алевриты и вулканогенные образования мощностью 3-5 км, смятые в пределах впадины в пологие брахиоскладки, а также выявленные прямые и косвенные признаки, в изученном районе на глубине могут присутствовать рудо- и нефтепроявления. Ассоциация химических элементов халькофильной группы с повышенными их содержаниями в литохимических и гидрохимических потоках рассеяния, часто превышающими фоновые в 2-3 раза, может свидетельствовать о наличии на глубине под чехлом рыхлых отложений и рудных объектов с литофильной и халькофильной рудной специализацией. Вероятно, это полиметаллические руды. Для оценки перспектив площади на рудоносность и нефтегазоносность необходимо провести дополнительный комплекс поисково-разведочных работ.

### **Литература**

1. Грачев, А.Ф. Рифтовые зоны Земли / А.Ф. Грачев. – Ленинград : Недра, Ленинградское отделение, 1977. – 247 с. – Текст : непосредственный.
2. Данилов, В.Г. Верхнеюрские отложения Момского горст-антиклинория / В.Г. Данилов // Геология и полезные ископаемые Верхояно-Колымской складчатой системы. – Якутск, 1984. – С. 98-105. – Текст : непосредственный.
3. Имаев, В.С. Сейсмоструктура Якутии / В.С. Имаев, Л.П. Имаева, Б.М. Козьмин – Москва : ГЕОС, 2000. – 227 с. – Текст : непосредственный.
4. Макаров, А.Н. Оценка рудоносности площадей в горноскладчатых областях Якутии геохимическими методами / А.Н. Макаров // Геология и полезные ископаемые Верхояно-Колымской складчатой системы. – Якутск, 1984. – С. 43-50. – Текст : непосредственный.

5. Парфенов, Л.М. Рельеф земной поверхности и история его формирования / Л.М. Парфенов, А.В. Прокопьев, В.Б. Спектор // Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – Москва : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – С. 12-32. – Текст : непосредственный.
6. Третьяков, М.Ф. Особенности строения земной коры сейсмического пояса Черского : монография / М.Ф. Третьяков, И.М. Колодезников, В.С. Имаев. – Якутск : СФЕРА, 2010. – 103 с. – Текст : непосредственный.
7. Урзов, А.С. Геологическая съемка и поиски в пределах северных отрогов хребта Тас-Хаяхта и Момо-Селенняхской впадины / А.С. Урзов, Н.А. Пуляев, Л.А. Генесев [и др.] // Геологический отчет Сюрюктянской партии. – Якутск : ТГФ ЯПГО. ЯПСЭ, 1979. – С. 394. – Текст : непосредственный
8. Урзов, А.С. Перспективы нефтегазоносности северо-западной части Момо-Селенняхской впадины / А.С. Урзов, Н.А. Пуляев // Геология и полезные ископаемые Верхояно-Колымской складчатой системы. – Якутск, 1984. – С. 106-109. – Текст : непосредственный.

### References

1. Grachev, A.F. Riftovye zony Zemli / A.F. Grachev. – Leningrad : Nedra, Leningradskoe otделение, 1977. – 247 s. – Текст : непосредственный.
2. Danilov, V.G. Verhnejurskie otlozhenija Mомskого горст-antiklinorija / V.G. Danilov / Geologija i poleznye iskopaemye Verhojano-Kolymской складчатой системы. – Jakutsk, 1984. – S. 98-105. – Текст : непосредственный
3. Imaev, V.S. Sejsmotektonika Jakutii / V.S. Imaev, L.P. Imaeva, B.M. Koz'min – Moskva : GEOS, 2000. – 227 s. – Текст : непосредственный.
4. Makarov, A.N. Ocenka rudonosnosti ploshhadej v gornoskladchatyh oblastjah Jakutii geohimическими методами / A.N. Makarov // Geologija i poleznye iskopaemye Verhojano-Kolymской складчатой системы. – Jakutsk, 1984. – S. 43-50. – Текст : непосредственный.
5. Parfenov, L.M. Rel'ef zemnoj poverhnosti i istorija ego formirovanija / L.M. Parfenov, A.V. Prokop'ev, V.B. Spektor // Tektonika, geodinamika i metallogenija territorii Respubliki Saha (Jakutija). – Moskva : MAIK «Nauka/Interperiodika», 2001. – S. 12-32. – Текст : непосредственный.
6. Tret'jakov, M.F. Osobennosti stroenija zemnoj kory sejsmического пояса Chersкого : monografija / M.F. Tret'jakov, I.M. Kolodeznikov, V.S. Imaev. – Jakutsk : SFERA, 2010. – 103 s. – Текст : непосредственный.
7. Urzov, A.S. Geologическая съемка и поиски в пределах северных отрогов хребта Тас-Хаяхта и Момо-Селенняхской впадины / A.S. Urzov, N.A. Puljaev, L.A. Genesev [i dr.] // Geologический отчет Сюрюктянской партии. – Jakutsk : TGF JaPGO. JaPSJe, 1979. – S. 394. – Текст : непосредственный.
9. Urzov, A.S. Perspektivy neftegazonosnosti severo-zapadnoj chasti Mомo-Selennjahской впадины / A.S. Urzov, N.A. Puljaev // Geologija i poleznye iskopaemye Verhojano-Kolymской складчатой системы. – Jakutsk : 1984. – S. 106-109. – Текст : непосредственный.

### Сведения об авторах

*ПУЛЯЕВ Николай Анатольевич* – к.г.-м.н., доцент кафедры прикладной геологии геологоразведочного факультета СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: pna-s-vfu@mail.ru

*PULYAEV Nikolay Anatolievich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Department of Applied Geology, Geological Prospecting Faculty, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, pna-s-vfu@mail.ru

*ТРЕТЬЯКОВА Ольга Геннадьевна* – ст. преп. кафедры прикладной геологии геологоразведочного факультета Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, e-mail: og.tretiakova@s-vfu.ru

*TRETIAKOVA Olga Gennadievna* – senior lecturer, Department of Applied Geology, Geological Prospecting Faculty, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, og.tretiakova@s-vfu.ru

*ТРЕТЬЯКОВА Наталья Максимовна* – студентка института агробиотехнологии РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, e-mail: natatreyakova2003@gmail.com

*TRETIAKOVA Natalya Maksimovna* – student, Institute of Agrobiotechnology of the Russian State Agrarian University – K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, natatreyakova2003@gmail.com

*А.И. Сивцев*<sup>1</sup>, *А.И. Калинин*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> СВФУ им. М.К. Аммосова

<sup>2</sup> Институт проблем нефти и газа СО РАН

e-mail: maraday@yandex.ru

## ПРЯМЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ВИЛЮЙСКОЙ СИНЕКЛИЗЕ

*Аннотация.* В статье приводится аналитический обзор результатов прямых геохимических исследований, проведенных в Вилуйской синеклизе – одной из перспективных на нефть и газ территорий востока Сибирской платформы. Целью работы является демонстрация высокой эффективности прямых геохимических опробований для поиска месторождений нефти и газа в условиях терригенного разреза рассматриваемой территории. Показано, что над всеми продуктивными структурами получены профильные контрастные аномалии. При этом установлено общее нарастание легких углеводородных (УВ) компонентов от флангов к ее центру и приуроченность наиболее ощутимых микроконцентраций тяжелых углеводородов (ТУ) к периклинальным участкам продуктивных структур. Также отмечается пятнистый характер профильных аномалий над продуктивными структурами. Данное явление, по всей видимости, свидетельствует о преобладающем эффекте фильтрационной миграции по различным ослабленным зонам от источника углеводородов (залежей). Приведены результаты собственных рекогносцировочных работ, проведенных в 2016 году на южной периклинали Средневилуйского газоконденсатного месторождения. Заверочные работы проводились для оценки эффективности аппаратуры и методики исследования. Зафиксированы относительно высокие значения бензола и толуола над зонами распространения залежей Т<sub>1</sub>-IIa и Т<sub>1</sub>-III. Сделано предположение, что максимальные значения Б/Т могут быть приурочены к зонам нефтяных скоплений. На основе проведенных геохимических опробований и приведенного исторического опыта сделан вывод, что в комплексе с другими геолого-геофизическими методами прямые геохимические исследования позволяют увеличить достоверность прогноза перспектив нефтегазоносности слабоизученных территорий. Рекомендовано применять геохимические опробования на смежных территориях со схожим геологическим разрезом.

*Ключевые слова:* Вилуйская синеклиза, перспективы нефтегазоносности, прямая геохимия, палеозой, мезозой, терригенный разрез, ароматические углеводороды, Средневилуйское месторождение, аномалии, применимость метода.

*A.I. Svtsev*<sup>1</sup>, *A.I. Kalinin*<sup>2</sup>

<sup>1</sup> M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of Oil and Gas Problems SB RAS

e-mail.ru: maraday@yandex.ru

## DIRECT GEOCHEMICAL STUDIES IN THE VILYUI SYNECLISE

*Abstract.* The article provides an analytical review of the results of direct geochemical studies of the Vilyui syncline, one of the promising areas for oil and gas in the east of the Siberian Platform. The work objective is to demonstrate the high efficiency of direct geochemical sampling for the search for oil and gas deposits in the conditions of a terrigenous section of the studied territory. It is shown that profile contrast anomalies were identified above productive structures. At the same time, a general increase of light hydrocarbon (LH) components from the flanks to its center and the confinedness of the most noticeable microconcentrations of heavy hydrocarbons (HH) to the periclinal sections of productive structures have been established. Также отмечается пятнистый характер профильных аномалий над продуктивными структурами. This phenomenon, apparently, indicates the predominant effect of filtration migration through various weakened zones from the source of hydrocarbons (deposits). The results of our own reconnaissance work carried out in 2016 on the southern

pericline of the Middle-Vilyui gas condensate deposit are presented. The verification work was carried out to evaluate the effectiveness of the equipment and research methods. Relatively high values of benzene and toluene were recorded above the zones of occurrence of deposits  $T_1$ -IIa and  $T_1$ -III. It is assumed that the maximum values of B/T can be confined to the zones of oil accumulations. Based on the conducted geochemical samplings and historical experience, it is concluded that in combination with other geological and geophysical methods, direct geochemical studies will increase the reliability of forecasting the prospects of oil and gas potential of poorly studied territories. A recommendation has been made for the use of geochemical samplings in adjacent territories with a similar geological section.

*Keywords:* Vilyui syncline, prospects of oil and gas content, direct geochemistry, Paleozoic, Mesozoic, terrigenous section, aromatic hydrocarbons, Middle-Vilyui field, anomalies, applicability of the method.

## **Введение**

В настоящее время в Республике Саха (Якутия) проводятся широкомасштабные геолого-разведочные работы, направленные на поиски и разведку месторождений нефти и газа. Так, за период с 2018-2023 гг. открыто более десяти новых месторождений, половина из которых относятся к крупным по величине запаса. Месторождения открыты в основном в непосредственной близости от нефтепровода ВС-ТО и газопровода «Сила Сибири». При этом, нужно заметить, в зоне влияния этих трубопроводов перспективы опосредования новых месторождений УВ далеко не исчерпаны.

В пределах Вилуйской синеклизы ПАО «Якутская топливно-энергетическая компания» (ПАО «ЯТЭК») после почти 40-летнего перерыва открыло крупные по запасам Хайлахское (2021) и им. Э. Туги (2022) газоконденсатные месторождения. На этой же территории ПАО «Газпром» приступило к геологоразведочным работам на 8 лицензионных участках, приобретенных в 2021-2023 гг. Всего на территории Вилуйской синеклизы к настоящему времени открыто 12 газовых и газоконденсатных месторождений.

Вместе с тем промышленное освоение ранее подготовленных месторождений и вновь открытых месторождений Вилуйской синеклизы сдерживается пропускной способностью нефтегазотранспортной инфраструктуры. Для обоснования увеличения пропускной способности нефтегазотранспортной инфраструктуры необходимо существенное (кратное) наращивание сырьевой базы – открытие крупных или гигантских месторождений.

В этой связи применение наиболее эффективных методов поиска месторождений нефти и газа является весьма актуальной задачей. Одним из эффективных и недорогих способов поиска месторождений углеводородов являются прямые геохимические методы исследования.

## **Краткий обзор прямых геохимических исследований**

Началом систематических исследований по прямым поискам УВ на территории Западной Якутии следует относить 1976 г, когда во Всесоюзном научно-исследовательском геологоразведочном нефтяном институте (ВНИГРИ) впервые была предложена методика принудительной дегазации русловых осадков. Это дало возможность проводить газогеохимические исследования по линейным профилям, ориентированным вдоль речных долин. Исследования русловых отложений по методике ВНИГРИ было начато на территории Лено-Вилуйской нефтегазоносной области, где целесообразность постановки работ по изучению донных газов обуславливалась на тот момент, прежде всего, высокой песчаностью пермских и мезозойских отложений и отсутствием надежных флюидоупоров в среднеюрско-меловых отложениях [1]. Дополнительным аргументом в пользу применения прямых методов указывалось преобладание песчаных русловых отложений, обедненных органическим веществом, что обуславливало ограниченные возможности генерации биохимического метана [2].

Для апробации методики в 1976 г М.С. Крайчиком и С.С. Филатовым были проведены опытно-методические исследования по изучению газов донных осадков р. Вилуй по маршруту от пос. Щёя до пос. Кысыл-Сыр. Детализация отбора проб газа (через 500 м) осуществлялась

на 3-х участках – Шеинском, Нюрбинском и Средневиллюйском. На протяжении первых двух участков, соответствующих пересечениям р. Виллой локальных структур и зон разломов, отмечались повышенные газопоказания по метану и наличие тяжелых углеводородов (ГУ). На Средневиллюйском участке аномальные содержания метана установлены в 70 % проб. Гомологи метана фиксировались в количестве 0,001-0,854 %. Величина отношения  $C_2$ /выс. составило 0,1-0,8. Аномальные значения УВ состава свободных и сорбированных газов возрастают от флангов к центру структуры. По данным изотопного анализа,  $\delta^{13}C$  находится в пределах  $-4,3 \pm 5,5$  ‰, отношение  $8Ne/4Ne$  составляет 0,6-1,2. Во вмещающих породах отмечены битумоиды миграционного типа.

Представленная методика ВНИГРИ была апробирована также в условиях соленасыщенного кембрийского разреза в 1978 г. на реке Улахан-Ботубуйа в районе Среднеботубинского нефтегазоконденсатного месторождения. Газы русловых осадков реки Улахан-Ботубуйа и ее притоков представляют собой азотно-метановые смеси. Выявлено отчетливое повышение содержания метана в газах на участке пересечения рекой Среднеботубинского месторождения. Внутри контура нефтегазоносности отмечаются максимальные (до 80-90 %) концентрации метана.

Положительные результаты опытно-методических работ обусловили проведение систематических газогеохимических исследований ВНИГРИ на территории Якутии в областях развития как терригенного верхнепалеозойско-мезозойского чехла, так и более древних, преимущественно карбонатных отложений палеозоя.

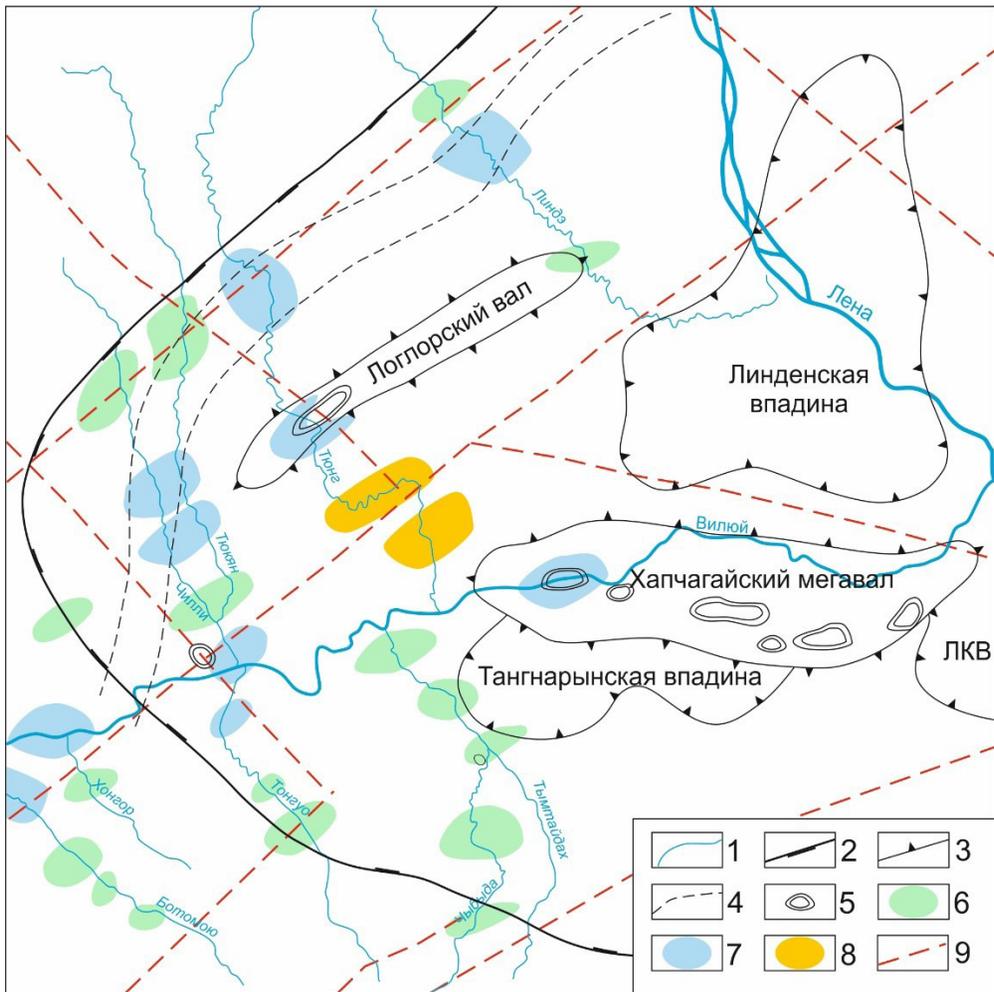
В 1977-1979 гг. проводились маршруты на территории северо-западного борта Виллюйской синеклизы, были систематически опробованы донные осадки левобережных притоков р. Виллой – Мархи, Тюкяна, Чилли, Тюнга, Линде. Выявлены углеводородные аномалии, приуроченные к зоне выклинивания доюрских отложений, к Малыкай-Логлорской полосе поднятий и другим структурам. Результаты газогеохимических исследований были использованы в комплексе геолого-геофизических материалов, послуживших основанием для решения МинГео РСФСР (1980) о необходимости форсирования нефтегазопроисковых работ в этом районе.

Аномалии, тяготеющие к зоне выклинивания, протягиваются от р. Мархи до р. Лена на протяжении более 300 км. Наиболее интенсивная аномалия шириной до 40 км, характеризующаяся обильными самопроизвольными газопроявлениями, была выявлена на р. Тюнг.

В районе юго-западного борта Виллюйской синеклизы и на территории Западно-Виллюйских структур I порядка исследованы долины р. Виллой и его притоков в междуречье Илин-Джели-Чыбыда (Сунтарский свод, Ыгыаттинская и Кемпендяйская впадины, Тюкян-Чыбыдинская моноклиналь). В устьевой части притока Виллой р. Тонгуо выявлены контрастные аномалии, к которым примыкает аномалийная зона в низовьях р. Тюкян. Перспективность этого участка, где были получены также интересные данные по материалам дистанционной съемки, впоследствии подтвердилась открытием газовой залежи на Нижнетюкянской площади [3].

На некоторые результаты дистанционной съёмки, проводившейся на территории Виллюйской синеклизы в тот же период силами ПГО «Аэрогеология», следует обратить особое внимание. На первом этапе работ в Якутии было проанализировано поле линеаментов западной части Хапчагайского мегавала. Кольцевые аномалии показателя искаженности поля линеаментов близко совпали с контурами некоторых газоносных структур, наиболее наглядно – с контуром Средневиллюйской структуры. На втором этапе был проведен анализ карты линеаментов одного из участков юго-западного борта Виллюйской синеклизы (Тюкян-Чыбыдинское междуречье). Здесь установлены кольцевые аномалии поля линеаментов, совпадающие с Нижнетюкянской структурой, где была получена газогеохимическая аномалия. Совпадение газогеохимических аномалий ВНИГРИ и кольцевых аномалий наблюдалось также на Северо-Быраканской и Южно-Быраканской кольцевых аномалиях (среднее течение р. Чыбыда).

Маршрутами 1988 г. выявлен еще ряд перспективных аномалий, приуроченных к зоне сочленения Кемпендяйской впадины и Сунтарского свода (долины рек Виллой, Тонгуо, Хонгор,



**Рис. 1.** Схема аномалийных геохимических зон Вилюйской синеклизы

Условные обозначения: 1 – гидросеть, 2 – граница Вилюйской гемисинеклизы, 3 – границы структур 1 порядка, 4 – зона выклинивания доюрских отложений, 5 – газоконденсатные месторождения, 6 – малоконтрастные, 7 – контрастные, 8 – высококонтрастные, 9 – основные разрывные нарушения осадочного чехла

**Fig. 1.** Scheme of anomalous geochemical zones of the Vilyui syneclyse

Symbols: 1 – hydraulic network, 2 – boundary of the Vilyui hemisyneclise, 3 – boundaries of structures of the 1st order, 4 – zone of wedging of pre-Jurassic deposits, 5 – gas condensate deposits, 6 – low-contrast, 7 – contrast, 8 – high contrast, 9 – main discontinuous violations of the sedimentary cover

Ботомою) и в пределах Кемпендяйской впадины по рекам Кемпендяй, Сергелях, Илинджели [3].

Над *Средневилюйской* структурой получены пятнистые профильные аномалии по метану и тяжелым углеводородам. Распределение основных газовых показателей (за исключением ТУ) говорит о тенденции возрастания аномальных значений по направлению от крыльев к своду. На западной периклинали структуры среднее содержание метана составляет 16,12 %, в сводовой части оно повышается до 33,28 %, а на восточной периклинали вновь снижается до 13,92 %. Содержание ТУ в пробах в общем также несколько повышается от периферии к центральной части структуры, однако, в пределах самого свода наблюдается некоторое уменьшение их концентрации. Средние величины ТУ снижаются от 0,026 % (западная периклинали) до 0,008 % в пределах свода и вновь возрастают (до 0,08 %) в восточной части структуры [2].

Таким образом, миграционный поток газообразных углеводородов, идущий от Средневилюйской залежи, выражен на поверхности метаном и гомологическим рядом  $C_2-C_5$ , причем более изотопно тяжелый метан и высшие гомологи (бутан и пентан) преобладают над крыльевыми частями структуры.

На *Среднетююкской* структуре наблюдается повышение концентраций метана к центру аномалии. Среднее содержание метана по профилю составляет 28,71 %. На участке профиля, пересекающего собственно продуктивную структуру, среднее содержание метана повышается до 37,9 %. Наряду с этим максимальные значения метана приурочены к краевым частям структуры, где обнаружены ТУ от 0,002 до 0,104 %. Приуроченность ТУ и более высоких концентраций метана только к краевым частям структуры может быть обусловлена относительно хорошими экранирующими свойствами мономской покрывки и отсутствием продуктивных горизонтов в вышележащих юрских отложениях.

Выявленная в низовьях р. Тююкян и устьевой части р. Тонгуо аномалийная зона по геохимическому профилю непосредственно сводовую часть *Нижнетююкской* структуры не пересекает. Максимальные значения метана приурочены к периклинальным частям структуры. Среднее содержание метана по профилю составило 45,42 %, в пределах структуры оно возрастает приблизительно до 50 %. Это может свидетельствовать о генетической связи аномалийной зоны с Нижнетююкской залежью. Этан и пропан фиксировались в мизерном количестве десятитысячных долей процента. Незначительное количество ТУ в поверхностных выходах связано, по всей видимости, с тем, что геохимический профиль не пересекает непосредственно Нижнетююкскую структуру.

На основании обзора результатов прямых геохимических исследований в Вилюйской синеклизе можно сделать следующие выводы:

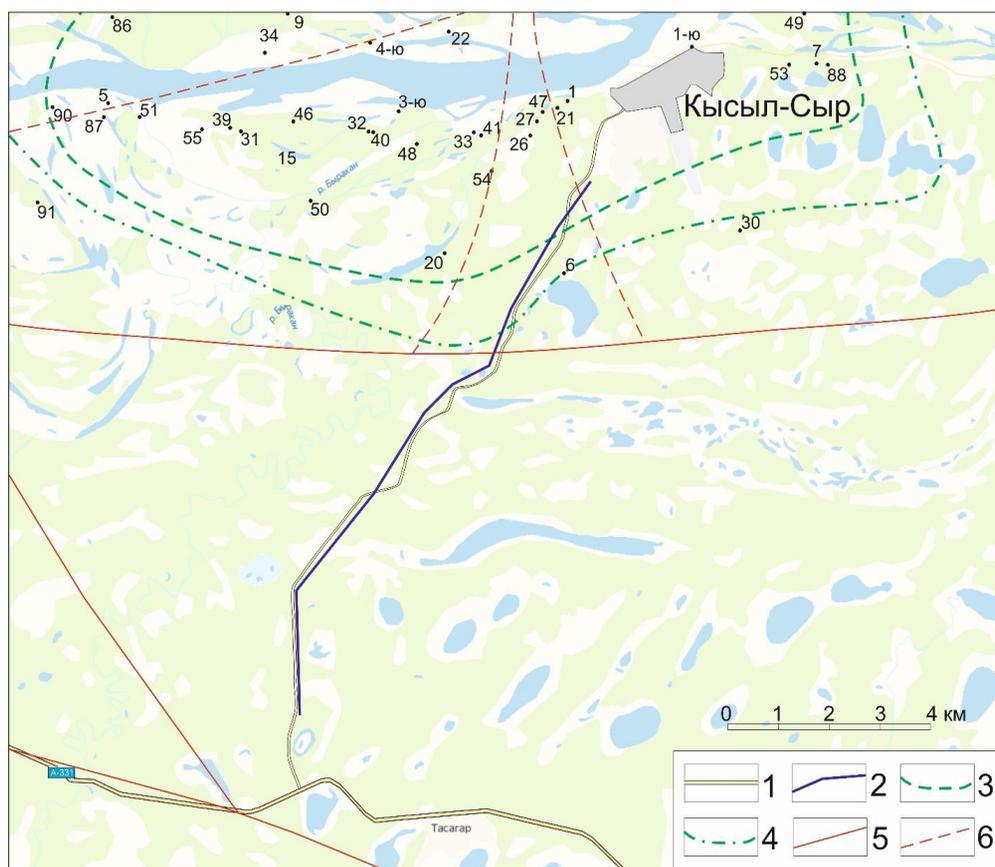
- над всеми продуктивными структурами получены профильные контрастные аномалии. Информативность аномалии во многом зависит от места пересечения профилем структуры;
- несмотря на неоднозначность характеристик рассмотренных аномалий типичными для них являются: общее нарастание легких УВ компонентов от флангов к ее центру, приуроченность наиболее ощутимых микроконцентраций ТУ к периклинальным участкам структуры.
- пятнистый характер профильных аномалий над продуктивными структурами, вероятно всего, свидетельствует о преобладающем эффекте фильтрационной миграции по различным ослабленным зонам от залежи.

#### **Геохимическое опробование контактной зоны Средневилюйского газоконденсатного месторождения**

Институт проблем нефти и газа развивает прямые геохимические исследования на перспективных на нефть и газ территориях центральной Якутии начиная с 2010 года. Полевые опробования осуществляются с использованием портативного газового хроматографа «Эхо-В-ФИД» [4]. Хроматограф «Эхо-В-ФИД» с фотоионизационным детектором обеспечивает определение содержания бензола-толуола-этилбензола-ксилола (БТЭК) в пробах, отобранных с применением искусственных концентраторов-сорбентов.

В 2016 году с целью оценки эффективности аппаратуры и методики исследования были проведены геохимические опробования на южной периклинали Средневилюйского газоконденсатного месторождения с охватом контактовой газовой зоны (рис. 2). Исследования проводились в конце сентября в начале октября. Местами верхний слой почвы уже начинал промерзать (5-10 см).

Разрез Средневилюйского месторождения характеризуется большим этажом газоносности. Промышленные притоки газа и газа с конденсатом получены из юрских, триасовых и пермских отложений в интервале глубин от 950 до 2950 метров. В этих отложениях выделены продуктивные горизонты:  $P_2-I$ ,  $T_1-I$ ,  $T_1-II$ ,  $T_1-III$ ,  $J_1-I$ ,  $J_3-I$ ,  $J_3-II$ , стратиграфическая принадлежность которых отображена в их индексации. Залежи, приуроченные к этим горизонтам, контролируются



**Рис. 2.** Профиль геохимического опробования на южной периклинали Средневилуйского ГКМ

Условные обозначения: 1 – автомобильные дороги, 2 – профиль опробования, 3 – газонасыщенная зона залежи Т<sub>1</sub>-III, 4 – газонасыщенная зона залежи Т<sub>1</sub>-IIa, 5 – достоверно установленные разрывные нарушения, 6 – предполагаемые разрывные нарушения

**Fig. 2.** The profile of geochemical testing on the southern pericline of the Middle-Vilyui GCF

Symbols: 1 – highways, 2 – sampling profile, 3 – gas-saturated zone of T<sub>1</sub>-III field, 4 – gas-saturated zone of T<sub>1</sub>-IIa field, 5 – reliably established rupture violations, 6 – suspected rupture violations

регионально выдержанными покрывками: аргиллитовыми толщами неджелинской, мономской, сунтарской и марыкчанской свит; или залегают непосредственно в этих покрывках (Т<sub>1</sub>-I, Т<sub>1</sub>-II, J<sub>3</sub>-I).

Наибольшими по размерам являются залежи Т<sub>1</sub>-II и Т<sub>1</sub>-III, с ними связаны основные запасы газа и конденсата. При этом на крайне южной периклинали газоводяные контакты имеют всего 2 залежи Т<sub>1</sub>-IIa и Т<sub>1</sub>-III. Продуктивный горизонт Т<sub>1</sub>-IIb имеет распространение только северной половине месторождения.

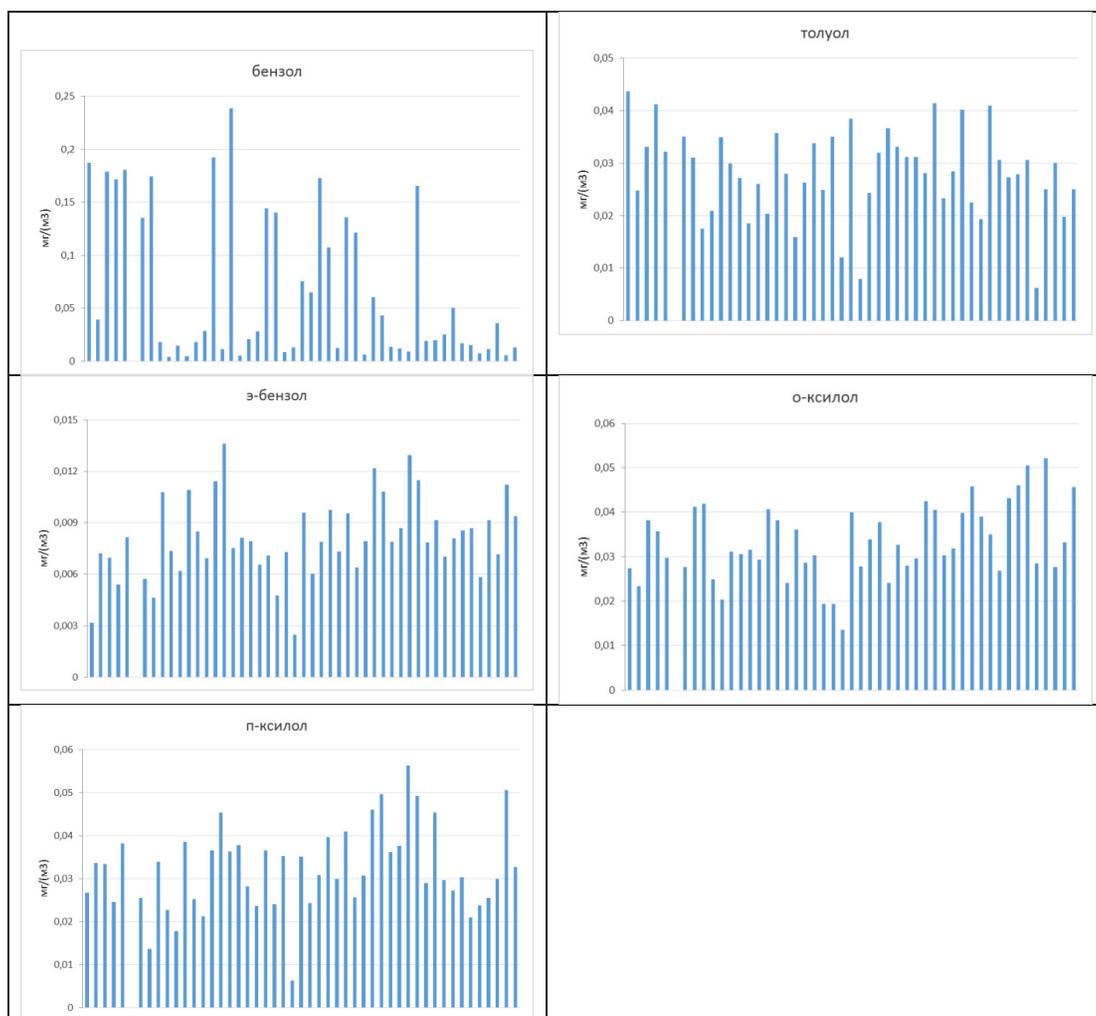
По площади месторождения мощность криолитозоны изменяется от 450 до 630 м при среднем значении 520 м. В центральной части площади она составляет 460-520 м, зафиксировано ее возрастание в северном, восточном и южном направлениях до 570-630 м [5, 6].

На рисунке 3. представлены величины концентраций ароматических веществ на южной периклинали Средневилуйского ГКМ.

Обращают на себя внимание относительно высокие значения бензола и толуола над зоной распространения залежей Т<sub>1</sub>-IIa и Т<sub>1</sub>-III. В районе достоверно установленного разрывного на-

рушения, пересекаемого профилем исследования, отмечаются максимальные значения бензола, э-бензола, п-ксилола.

В то же время графики распределения концентраций этил-бензола, о-ксилола и п-ксилола имеют 2 слабо выраженные зоны максимумов. Данное обстоятельство может быть обусловлено распределением отложений с улучшенными экранирующими свойствами, либо наличием залежей углеводородов. Наличие залежей на уровне неджелинской свиты нижнего триаса на данном участке недр обосновывается А.В. Погодаевым [7].



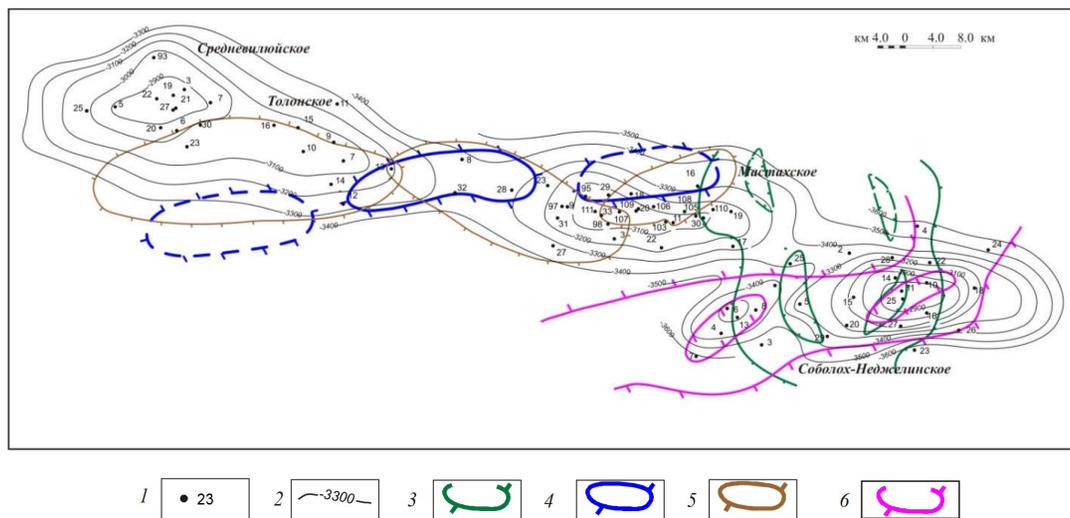
**Рис. 3.** Концентрации ароматических веществ на профиле, проведенном на южной периклинали Средневилюйского месторождения

**Fig. 3.** Concentrations of aromatic substances on the profile carried out on the southern pericline of the Middle-Vilyui field

Здесь на основе идентификации песчаных горизонтов и определению закономерностей площадного распространения коллектора для интервала залегания верхнепермских-нижнетриасовых отложений, выделено несколько перспективных участков, в пределах которых предполагается наличие залежей в аналогах продуктивного горизонта Т<sub>1</sub>-IV (рис. 4).

Приуроченность участков высоких концентраций аренов в приповерхностных отложениях к выявленным залежам нефти, а также к структурам, перспективным на обнаружение скоплений

УВ была отмечена в ходе анализа и систематизации материалов геохимических съемок на площадях юга Западной Сибири в Тюменской, Омской, Томской, Курганской областях и ХМАО [8].



**Рис. 4.** Сводная схема общих контуров продуктивного горизонта T<sub>1</sub>-IV неджелинской свиты Хапчagaiского мегавала [7]

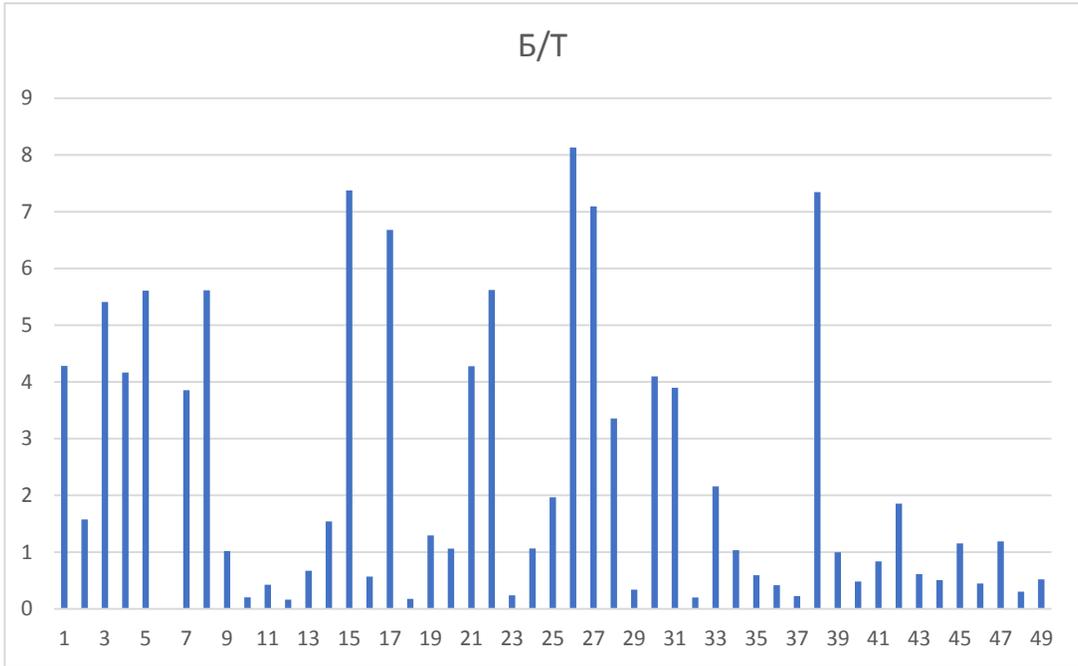
Условные обозначения: 1 – скважина; 2 – изогипсы подошвы неджелинской свиты; 3 -граница распространения песчаных тел горизонта T<sub>1</sub>-IVa; 4 – граница распространения песчаных тел горизонта T<sub>1</sub>-IVб (Толон-Мастах); 5 – граница распространения песчаных тел горизонта T<sub>1</sub>-IVв (Ср. Вилюй-Толон-Мастах); 6 – сводная граница распространения песчаных тел горизонта T<sub>1</sub>-IVб, T<sub>1</sub>-IVв на Соболох-Неджелинском ГКМ

**Fig. 4.** Summary diagram of the general contours of the productive horizon T<sub>1</sub>-IV of the Nedzhelinsky formation of the Khapchagai megawall [7]

Symbols: 1 – well; 2 – isohypses of the base of the Nedzhelinsky formation; 3 -the boundary of the distribution of sand bodies of the T<sub>1</sub>-IVa horizon; 4 – the boundary of the distribution of sand bodies of the T<sub>1</sub>-IVb horizon (Tolon-Mastakh); 5 – the boundary of the distribution of sand bodies of the T<sub>1</sub>-IVc horizon (Cf. Viluy-Tolon-Mastakh); 6 – the consolidated boundary of the distribution of sandy bodies of the T<sub>1</sub>-IVb, T<sub>1</sub>-IVc horizons at the Sobolokh-Nedzhelinsky GCF

Теоретическое обоснование связи распределений аренов в подпочвенных отложениях с нефтеносностью недр с применением моделей миграции была осуществлена Тимшановым Р.И. [9]. Источниками аренов, мигрирующих к дневной поверхности, являются залежи нефти и конденсата, битуминизированные отложения, рассеянное органическое вещество пород, где Б/Т\* << 1.

На рисунке 5 представлено соотношение Б/Т по профилю проведенном на южной периклинали Средневилюйского месторождения.

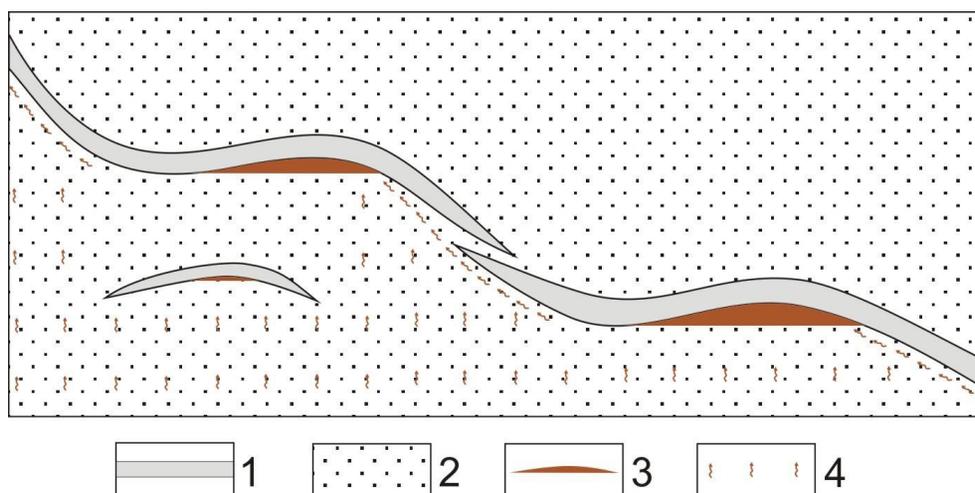


**Рис. 5.** Распределение параметра Б/Т вдоль Средневилуйского профиля

**Fig. 5.** Distribution of the B/T parameter along the Middle-Vilyuy profile

Обращает на себя внимание наличие нескольких зон максимальных показаний отношения Б/Т и общий высокий уровень показателей. Данные максимальные значения могут быть связаны с углеводородным насыщением, представленным незначительными по толщине нефтяными оторочками. А общий повышенный уровень показателей обусловлен газоконденсатным насыщением. Как известно, все месторождения Вилуйского газоносного района, где нефтематеринскими отложениями выступают пермские и юрские отложения содержат конденсат. Содержание конденсата колеблется на уровне 60-65 г/м<sup>3</sup>, что соответствует среднему показателю.

Незначительные по толщине нефтяные оторочки в ряде газоконденсатных месторождений Хапчгайского мегавала были установлены по результатам тематических исследований по хозяйственной работе с ПАО «ЯГЭК» в 2012 году авторским коллективом ИПНГ СО РАН [10]. При этом на основе анализа распределения нефтепроявлений в разрезах Средневилуйского и Толонского месторождений нами был предложен своеобразный литологический контроль скоплений жидких углеводородов [11]. Весьма вероятно, зафиксированные максимальные значения Б/Т приурочены к зонам нефтяного насыщения в литологических карманах на пути вертикальной миграции жидких углеводородов (рис. 6).



**Рис 6.** Принципиальная схема образования скоплений нефти [11]

Условные обозначения: 1 – непроницаемые породы, 2 – проницаемые породы, 3 – скопления нефти, 4 – направление миграции нефти

**Fig. 6.** Schematic diagram of the formation of oil accumulations [11]

Symbols: 1 – impermeable rocks, 2 – permeable rocks, 3 – accumulations of oil, 4 – direction of oil migration

Таким образом, исходя из имеющегося опыта проведенных газогеохимических исследований и полученных контрастных аномалийных зон в пределах известных месторождений можно сделать вывод: Установленная зависимость между газогеохимическими аномалиями и продуктивностью верхнепалеозойско-мезозойского комплекса отложений позволяет сделать вывод о применимости прямых газогеохимических методов на территории Центральной Якутии для прогноза нефтегазоносности.

### Заключение

Результаты экспериментальных прямых газогеохимических работ на газоконденсатных месторождениях Вилюйской синеклизы показывают высокий потенциал их применения при поисковых работах на нефть и газ. Несомненно, в комплексе с другими геолого-геофизическими методами прямые геохимические исследования позволят увеличить достоверность прогноза перспектив нефтегазоносности слабоизученных территорий.

Применение прямых геохимических опробований может быть эффективным и на территориях со схожим мезо-кайнозойским терригенным разрезом. К таким территориям можно отнести Предверхоанский и Лено-Анабарский прогибы и прилегающие к Вилюйской синеклизе участки Алданской антеклизы (Северный склон Якутского поднятия).

### Литература

1. Филатов, С.С. Гидрогеохимические исследования донных осадков континентальных водоемов Сибирской платформы с целью поисков нефти и газа / С.С. Филатов, Л.А. Грубов, М.С. Крайчик, В.П. Белоглазов, О.А. Бабошина. // Геохимические методы поисков месторождений нефти и газа. – Москва : Наука, 1983. – С.141-145. – Текст: непосредственный.
2. Лавров, Г.Д. Сравнительная оценка перспектив нефтегазоносности различных фациальных зон мезозойских прогибов востока Сибирской платформы / Г.Д. Лавров. – Ленинград : ВНИГРИ, 1976. – 419 с. – Текст: непосредственный.
3. Филатов, С.С. Поверхностные газогеохимические показатели при поисках зон нефтегазоаккумуляции в слабоизученных районах Западной Якутии / С.С. Филатов, Л.А. Грубов, В.С. Лебедев, И.В. Степаненко

// Комплексные геохимические нефтегазопромысловые исследования субаквальных площадей. – Ленинград : ВНИГРИ, 1985. – 113 с. – Текст: непосредственный.

4. Калинин, А.И. Результаты использования геохимического опробования при поисках нефти и газа с применением полевого экспрессного хроматографа «ЭХО-В-ФИД» / А.И. Калинин // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России. – Якутск, 2016. – С. 357-360. – Текст: непосредственный.

5. Семенов, В.П. Геотермические условия Вилуйской синеклизы / В.П. Семенов, М.Н. Железняк // Криосфера Земли. – 2013. – Т. XVII. – № 4. – С. 3-10. – Текст: непосредственный.

6. Железняк, М.Н. Геотемпературное поле и криолитозона Вилуйской синеклизы / М.Н. Железняк, В.П. Семенов: – Новосибирск : Издательство СО РАН, 2020. – 123 с. – Текст: непосредственный.

7. Погодаев, А.В. Гидрогеологические условия формирования и сохранности газоконденсатных залежей Хапчагайского мегавала Вилуйской синеклизы : 25.00.12 : автореферат диссертации на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук / Погодаев Александр Валентинович. – Якутск, 2019. – 24 с. – Текст: непосредственный.

8. Курчиков, А.Р. Результаты проведения геохимических нефтепоисковых исследований на юге Западной Сибири / А.Р. Курчиков, А.Ю. Белоносов, Р.И. Тимшанов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2012. – № 3. – С. 220-227. – Текст: непосредственный.

9. Тимшанов, Р.И. Особенности распределения бензола и толуола в подпочвенных глинах как поисковый критерий нефтеносности на юге Западной Сибири : 25.00.09 : автореферат диссертации на соискание степени кандидата геолого-минералогических наук / Тимшанов Рустам Ильясович – Новосибирск, 2014. – 16 с. – Текст: непосредственный.

10. Сафронов, А.Ф. Нефтеносность нижнемезозойских отложений Хапчагайского мегавала Вилуйской синеклизы / А.Ф. Сафронов, А.И. Сивцев, В.Б. Черненко // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. – № 8. – С. 1263-1269. – Текст: непосредственный.

11. Павлова, К.А. К проблеме уровней нефтепроявлений в пределах Средневилуйской структуры / К.А. Павлова, А.И. Калинин, А.И. Сивцев // Нефтегазовое дело: электрон. науч. журн. – 2013. – № 4. – С. 122-135. – Текст: непосредственный. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/PavlovaKA/PavlovaKA\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/PavlovaKA/PavlovaKA_1.pdf)

## References

1. Filatov, S.S. Hidrogeoximicheskie issledovaniya donny`x osadkov kontinental`ny`x vodoyomov Sibirskoj platformy` s cel`yu poiskov nefiti i gaza / S.S. Filatov, L.A. Grubov, M.S. Krajchik, V.P. Beloglazov, O.A. Baboshina // Geoximicheskie metody` poiskov mestorozhdenij nefiti i gaza. – Moskva : Nauka, 1983. – S. 141-145. – Tekst: neposredstvenny`j.

2. Lavrov, G.D. Sravnitel`naya ocenka perspektiv neftegazonosnosti razlichny`x facial`ny`x zon mezozojskix progibov vostoka Sibirskoj platformy` / G.D. Lavrov. – Leningrad : VNIGRI, 1976. – 419 s. – Tekst: neposredstvenny`j.

3. Filatov, S.S. Poverxnostny`e gazogeoximicheskie pokazateli pri poiskax zon neftegazonakopleniya v slaboizuchenny`x rajonax Zapadnoj Yakutii / S.S. Filatov, L.A. Grubov, V.S. Lebedev, I.V. Stepanenko // Kompleksny`e geoximicheskie neftegazoposkovy`e issledovaniya subakval`ny`x ploshhadej. – Leningrad : VNIGRI, 1985. – 113 s. – Tekst: neposredstvenny`j.

4. Kalinin, A.I. Rezul`taty` ispol`zovaniya geoximicheskogo opobovaniya pri poiskax nefiti i gaza s primeneniem polevogo e`kspressnogo xromatografa «E`XO-V-FID» / A.I. Kalinin // Geologiya i mineral`no-sy`r`evy`e resursy` Severo-Vostoka Rossii. – Yakutsk, 2016. – S. 357-360. – Tekst: neposredstvenny`j.

5. Semenov, V.P. Geotermicheskie usloviya Vilyujskoj sineklizy` / V.P. Semenov, M.N. Zheleznyak // Kriosfera Zemli. – 2013. – Т. XVII. – № 4. – С. 3-10. – Текст: непосредственный.

6. Zheleznyak, M.N. Geotemperaturnoe pole i kriolitozona Vilyujskoj sineklizy` / M.N. Zheleznyak, V.P. Semenov: – Novosibirsk : Izdatel`stvo SO RAN, 2020. – 123 s. – Текст: непосредственный.

7. Pogoadev, A.V. Hidrogeologicheskie usloviya formirovaniya i soxrannosti gazokondensatny`x zalezhej Xapchagajskogo megavala Vilyujskoj sineklizy` : 25.00.12 : avtoreferat dissertacii na soiskanie stepeni kandidata

geologo-mineralogicheskix nauk / Pogodaev Aleksandr Valentinovich. – Yakutsk, 2019. – 24 s. – Tekst: neposredstvenny`j.

8. Kurchikov, A.R. Rezul'taty` provedeniya geoximicheskix neftepoiskovy`x issledovanij na yuge Zapadnoj Sibiri / A.R. Kurchikov, A.Yu. Belonosov, R.I. Timshanov // Intere`kspo Geo-Sibir`. – 2012. – № 3. – S. 220-227. – Tekst: neposredstvenny`j.

9. Timshanov, R.I. Osobennosti raspredeleniya benzola i toluola v podpochvenny`x glinax kak poiskovy`j kriterij neftenosnosti na yuge Zapadnoj Sibiri : 25.00.09 : avtoreferat dissertacii na soiskanie stepeni kandidata geologo-mineralogicheskix nauk / Timshanov Rustam Il'yasovich – Novosibirsk, 2014. – 16 s. – Tekst: neposredstvenny`j.

10. Safronov, A.F. Neftenosnost` nizhnemezozojksix otlozhenij Xapchagajskogo megavala Vilyujskoj sineklizy` / A.F. Safronov, A.I. Sivcev, V.B. Chernenko // Geologiya i geofizika. – 2014. – T. 55. – № 8. – S. 1263-1269. – Tekst: neposredstvenny`j.

11. Pavlova, K.A. K probleme urovnej nefteproyavlenij v predelax Srednevilyujskoj struktury` / K.A. Pavlova, A.I. Kalinin, A.I. Sivcev // Neftegazovoe delo: e`lektron. nauch. zhurn. – 2013. – № 4. – S. 122-135. – Tekst: neposredstvenny`j. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/PavlovaKA/PavlovaKA\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/PavlovaKA/PavlovaKA_1.pdf)

#### Сведения об авторах

*СИБЦЕВ Алексей Иванович* – к.г.-м.н., доцент кафедры «Недропользование» геологоразведочного факультета СВФУ, e-mail: [maraday@yandex.ru](mailto:maraday@yandex.ru)

SIVTSEV Alexey Ivanovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor of the Department of «Subsoil Use» of the NEFU Geological Exploration Faculty, e-mail: [maraday@yandex.ru](mailto:maraday@yandex.ru)

*КАЛИНИН Александр Иосифович* – научный сотрудник ИПНГ СО РАН, e-mail: [alexklnn@mail.ru](mailto:alexklnn@mail.ru)

KALININ Alexander Iosifovich – Researcher at IPNG SB RAS, e-mail: [alexklnn@mail.ru](mailto:alexklnn@mail.ru)

*И.М. Хасанов, Т.И. Михалицына<sup>1</sup>, Л.А. Муравьев<sup>2</sup>, Д.В. Макарова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт

им. Н.А. Шило ДВО РАН, г. Магадан, Россия

<sup>2</sup>Институт Геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

e-mail: aumaglan@yandex.ru

e-mail: mihalitsina@neisri.ru

e-mail: mlev@mail.ru

e-mail: dianka.zeta.22@mail.ru

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ ТРАНСФОРМАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ РУДНЫХ СИСТЕМ ДАЙКОВОГО ТИПА В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЧАЙ-ЮРЬИНСКОГО ГЛУБИННОГО РАЗЛОМА

*Аннотация.* Выявление геофизических признаков перспективных территорий на уровне рудных полей, месторождений и рудных тел считается одним из важнейших аспектов геофизических исследований. Однако решение данных задач, особенно на уровне месторождений и рудных тел, часто представляется сложным и трудоемким. Проблема заключается в том, что горные породы на территории исследований могут иметь схожие физические свойства, что затрудняет разграничение рудоносных дайковых тел от вмещающих пород. При использовании статистических методов обработки геофизических данных удалось выявить геолого-геофизические признаки золотокварцевого оруденения дайкового типа в пределах рассматриваемого района и произвести прогноз золотого оруденения.

В данной работе представлены результаты обработки геофизических материалов с целью выявления характерных признаков золотокварцевых месторождений дайкового типа в Центральном-Колымском регионе (Магаданская область).

Геофизический комплекс исследований состоял из электропрофилеирования и магниторазведки. Для измерения геомагнитного поля использовались магнитометры ММПОС-2. Определение координат точек измерения осуществлялось с помощью приемника GPS, конструктивно связанного с магнитометром. Методикой работ предусматривалось введение вариаций геомагнитного поля. Учет вариации земного магнитного поля выполнялся с помощью программного обеспечения SURV. Работы методом электропрофилеирования проводились с помощью аппаратного комплекса: АИЭ-2 по методике срединного градиента в модификации вызванной поляризации (СГ-ВП) на частоте 0.3 Гц. Питающая линия АВ=800-900 м, приемная MN=10 м.

Представленный комплекс способен решать задачи прогноза золотого оруденения в зоне влияния Чай-Юрьинского разлома Яно-Колымской металлогенической системы. На основании интерпретации геофизических данных намечены поисковые геолого-геофизические признаки золотокварцевого оруденения в пределах рудного поля.

Один из перспективных методов интерпретации для определения поисковых признаков потенциальных рудных зон – это электроразведочные исследования методом вызванной поляризации.

*Ключевые слова:* вызванная поляризация, магниторазведка, трансформанты геофизических параметров, дайковый тип золотокварцевого оруденения, Чай-Юрьинский глубинный разлом.

*I.M. Khasanov, T.I. Mihalitsina<sup>1</sup>, L.A. Muravyev<sup>2</sup>, D.V. Makarova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>N.A. Shilo Northeast Interdisciplinary Research Institute, Magadan, Russia

<sup>2</sup>Institute of Geophysics Ural Branch of RAS, Yekaterinburg, Russia

e-mail: aumaglan@yandex.ru

e-mail: mihalitsina@neisri.ru

e-mail: mlev@mail.ru

e-mail: dianka.zeta.22@mail.ru

## USING THE METHODOLOGY OF TRANSFORMATION OF GEOPHYSICAL FIELDS IN THE STUDY OF DIKE-TYPE ORE SYSTEMS IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE CHAI-YURINSKY DEEP FAULT

*Abstract.* Identification of prospecting geophysical signs of promising areas at the level of ore nodes and fields, deposits and ore structures (ore-localizing structures) has always been one of the main contents of geophysical research. However, especially at the deposit – ore structures level, very often the solution of these tasks becomes very difficult and difficult to implement. The problem is that, in general, rocks in the research area are quite contrasting in their physical properties; however, ore-bearing dike bodies represented by beresitized diorite-porphyrates do not always confidently differ in their physical characteristics from the sandy, carbonaceous, sulfidized and shale sedimentary rocks that contain them. The use of approaches based on statistical processing techniques in the interpretation of geophysical data made it possible to establish geological and geophysical signs of gold-quartz mineralization of the dike type within the study area and thus predict gold mineralization.

The paper presents the results of processing geophysical materials in order to create a list of features characteristic of gold-quartz deposits of the dyke type in the Central-Kolyma region (Magadan Oblast).

The geophysical research complex consisted of electrical profiling and magnetic exploration. MMPOS-2 magnetometers were used to measure the geomagnetic field. The coordinates of the measurement points were determined using a GPS receiver structurally connected to a magnetometer. The methodology of the work provided for the introduction of variations of the geomagnetic field. The variation of the Earth's magnetic field was taken into account using the SURV software. The work by the electrical profiling method was carried out using an instrument complex: AIE-2 using the median gradient method in modification of induced polarization (SG-VP) at a frequency of 0.3 Hz. Supply line AB=800-900 m, receiving line MN=10 m.

The presented set of works is capable of solving the problems of forecasting gold mineralization in the zone of influence of the Chai-Yurinsky fault of the Yana-Kolyma metallogenic system. Based on the interpretation of the geophysical data, prospecting geological and geophysical signs of gold-quartz mineralization within the ore field are outlined.

One of the promising methodological methods of interpretation in determining the search signs of potentially ore zones is electrical exploration by the method of induced polarization.

*Keywords:* induced polarization, magnetic exploration, transformants of geophysical parameters, dike type of gold-quartz mineralization, Chai-Yurinsky deep fault.

### Введение

Систематическое геологическое изучение территории Чай-Урьинской площади начато в 30-х гг. XX века. Неизменный интерес к территории связан с наличием в долине р. Чай-Урья богатейшей россыпи золота, из которой добыто более 300 т металла, и надеждами на обнаружение ее коренных источников. Однако, в результате проведения разномасштабных поисковых и разведочных работ, как правило, носивших временный характер, за период 1960-2002 гг. не было установлено промышленно-значимых объектов, соизмеримых с масштабом уникальной Чай-Юрьинской россыпи. И лишь в результате поисковых и разведочных исследований последних лет (ООО БарГолд, ООО ЗДК) с участием авторов в центральной части Чай-Урьинской площади было выявлено золоторудное месторождение Шахтное и ряд рудопоявлений, объединенных в Урьинское рудное поле (далее Урьинское РП). Это повышает вероятность обнаружения в пределах рассматриваемой территории новых мелких объектов.

Цель настоящих исследований – изучение геофизических характеристик дайкового морфогенетического типа золотого оруденения, определения аномального эффекта от объектов рудной минерализации.

Результаты геофизических наблюдений были обработаны программным комплексом спектрально-корреляционного анализа данных КОСКАД [1] (блоки «Статистика», «Фильтрация») для выделения и уточнения взаимной зависимости геофизических параметров с рудной минерализацией.

### **Геологическая характеристика**

Участок 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). Эти структуры разделены глубинной Чай-Юрьинской зоной разломов, которая 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. Образование пропилит-березитовых метасоматитов и, соответственно, проявления золотокварцевого оруденения связаны с зонами тектонических нарушений.

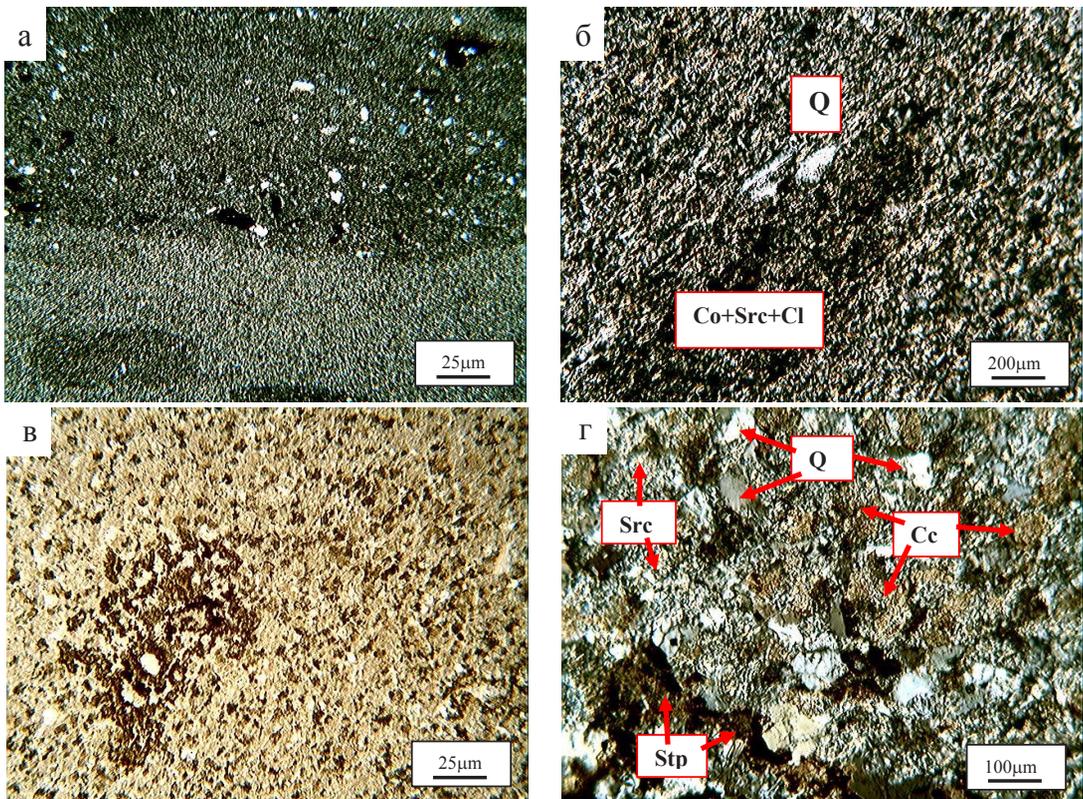
Территория Урьинского рудного поля, включающего в себя месторождение Шахтное, рудопроявления Верхний и Нижний Власыч, сложена морскими терригенными, вулканогенно-терригенными породами от триаса до средней юры. Литологически породы сходны друг с другом, отличаясь типом переслаивания песчаников, алевролитов и сланцев, мощностями отдельных прослоев, текстурой. Для юрских отложений отличительными особенностями являются 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.

Установлено наличие литолого-магматических факторов локализации оруденения. Литологический контроль оруденения в пределах поля выражается в приуроченности золотого оруденения к кварцевым прожилково-жилльным зонам, локализованным преимущественно в дайках. Наиболее богатым является оруденение с содержанием кварцевого материала свыше 10 % и с включением сульфидной минерализации (~2-5 %). При неоднократных тектонических процессах тела даек преобразуются и становятся более проницаемыми для гидротермальных растворов в сопоставлении с относительно однородными существенно алевро-глинистыми вмещающими породами. В условиях продвижения фронта гидротермальных растворов это могло привести к интенсивному рудоотложению (окварцеванию и сульфидизации) в благоприятной среде.

Магматический фактор контроля оруденения выражен тем, что более хрупкие, относительно вмещающей алевро-глинистой толщи, штоки и крутопадающие дайки интрузивных пород являются, в первую очередь, рудоподводящими каналами. В трудах Ю.А. Билибина (1961) [2] отмечается, что дайковые породы как более компетентные в песчано-сланцевой толще являются природными коллекторами для основного количества золотой минерализации Центральной Колымы.

*Урьинское рудное поле.* В пределах Урьинского РП вмещающие породы динамометаморфизованы в условиях регионального метаморфизма (начальная ступень зеленосланцевой фации – хлорит-серицитовая и стильпномелановая субфации и более высокотемпературная эпидот-амфиболитовая фация). Контактный метаморфизм, обусловленный внедрением интрузивных массивов, выделяется полями ороговикованных пород, которые фиксируют нескрытые интрузии. Измененные осадочные породы (рис. 1) характеризуются наличием пятнистых образований зачаточного кордиерита, замещенного тонкочешуйчатыми агрегатами хлорита и серицита с включением рассеянной сыпи титанистых минералов.

Рудовмещающие мелкозернистые кварцевые диорит-порфиры полностью преобразованы в лепидогранобластовый карбонат-серицит-кварцевый агрегат с размером гранобластов до 0,15 мм (рис. 1в) (усредненный состав: Q50 % + Src25 % + Cc25 % ± Stp ± УВ). Встречаются неправильные желтовато-бурые выделения тонкочешуйчатого стильпномелана, придающие пятнистость породе (рис. 1 в, г). Возможно, часть из них расположена на участках преобразования исходных темноцветных минералов. Также, стильпномелан окаймляет микротрещины, мощностью до 0,07 мм, выполненные на разных участках кварцем, серицитом или карбонатом (рис. 1 г).



**Рис. 1.** Урьинское рудное поле: ороговикованный пятнистый сланец (1) шлиф, а, б с анализатором; карбонат-серицит кварцевый метасоматит по кварцевому диорит-порфиру (2) шлиф, а – без анализатора, б – с анализатором

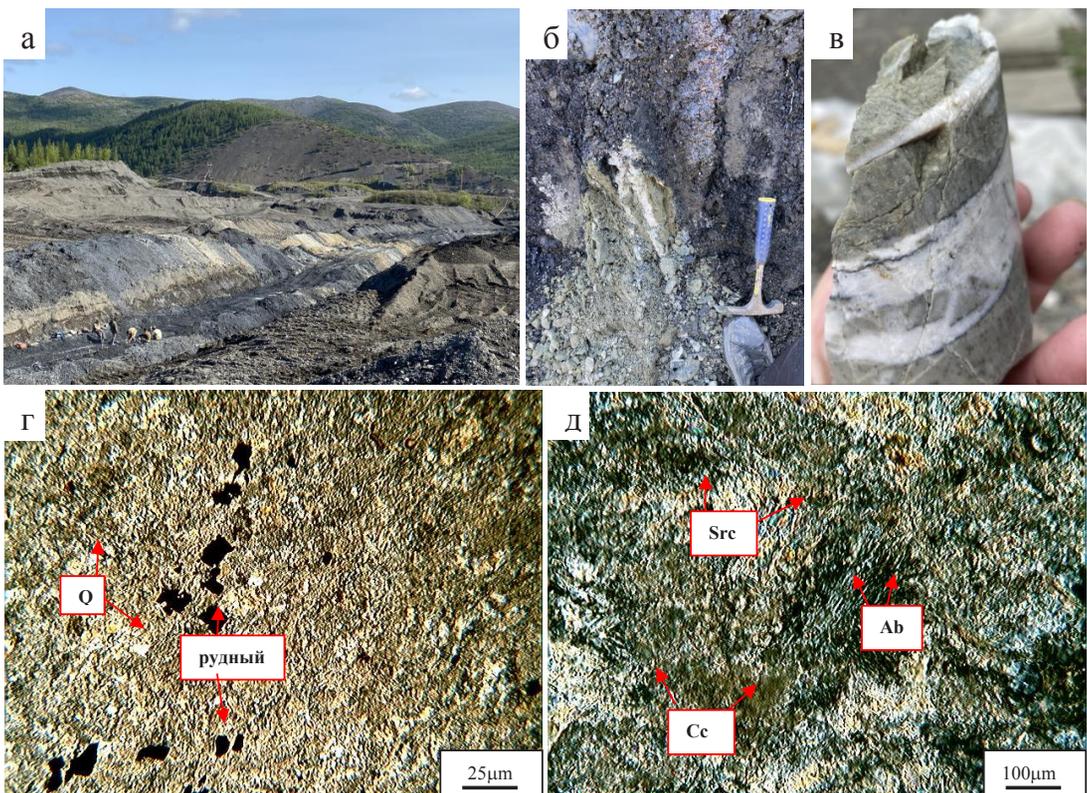
**Fig. 1.** Urinskoe ore field: horny spotted shale (1) shale, a – lens 2.5, b – lens 20, with analyzer; carbonate-sericite quartz metasomatite on quartz-diorite-porphyrity (2) a – lens 2.5, b – lens 10; a – without analyzer, b – with the analyzer

Динамометаморфические преобразования, связанные с зонами стрессового воздействия, широко проявленные на площади, выражаются в пластической деформации обломков и образовании микролепидогранобластовых структур. Отмечается перераспределение углеродистого вещества и локализация его в плоскости сланцеватости в ассоциации с ильменитом, лейкоксеном, сульфидами железа (пирротин), интенсивном развитии хлорит-серицитовых агрегатов, вплоть до полного замещения ими породы. Участками, в дислоцированных породах отмечается площадное развитие мелкозернистого эпидота в ассоциации с тонкочешуйчатым хлоритом.

На регионально-метаморфические преобразования наложены метасоматические изменения, представленные березитизацией (окварцеванием, серицитизацией, карбонатизацией) с форми-

рованием прожилков сульфидно-кварцевого, хлорит-карбонат-кварцевого, карбонат-кварцевого, альбит-карбонат-кварцевого состава

Ниже рассмотрен один из объектов Урьинского рудного поля (РП) – *месторождение Шахтное*. Месторождение представлено несколькими субпараллельно расположенными окварцованными и березитизированными дайками диорит-порфиров позднеюрского возраста, пересекающимися мощной тектонической зоной (рис. 2). Общее простирание даек северо-западное, примерно, совпадающее с простиранием осадочных пород. Мощность свиты в центральной части до 80 м, на фланговых частях от 20 до 40 м, протяженность до 2000 м. Вмещающие породы представлены интенсивно дислоцированными верхнетриасовыми углеродистыми алевросланцами. Зоны дробления и смятия крутопадающие, по мощности достигают первые сотни метров. Рудовмещающие породы значительно преобразованы гидротермально-метасоматическими процессами от слабо- до полнопроявленных березитов. Первичный состав даек устанавливается по реликтовым структурам, а сами дайки сложены вторичными минералами. Золотоносность даек обусловлена развитием в них наложенной жильно-прожилково-вкрапленной продуктивной минерализации (см. рис. 2). Кварцевые прожилки (от 1,5-2,0 мм до 5 мм) и маломощные жилы (от 10 до 40 см) образуют лестнично-штокверковые системы, локализованные в основном в дайках, а на контактах с вмещающими породами они резко выклиниваются и затухают.



**Рис. 2.** Месторождение Шахтное: а) общий вид; б) тектониты, вмещающие дайку кварцевых диорит-порфиров; в) березитизированная дайка кварцевых диорит-порфиров; г, д) кварц-альбит-карбонат-серицитовый метасоматит с рудной минерализацией, микрофотографии шлифа с анализатором

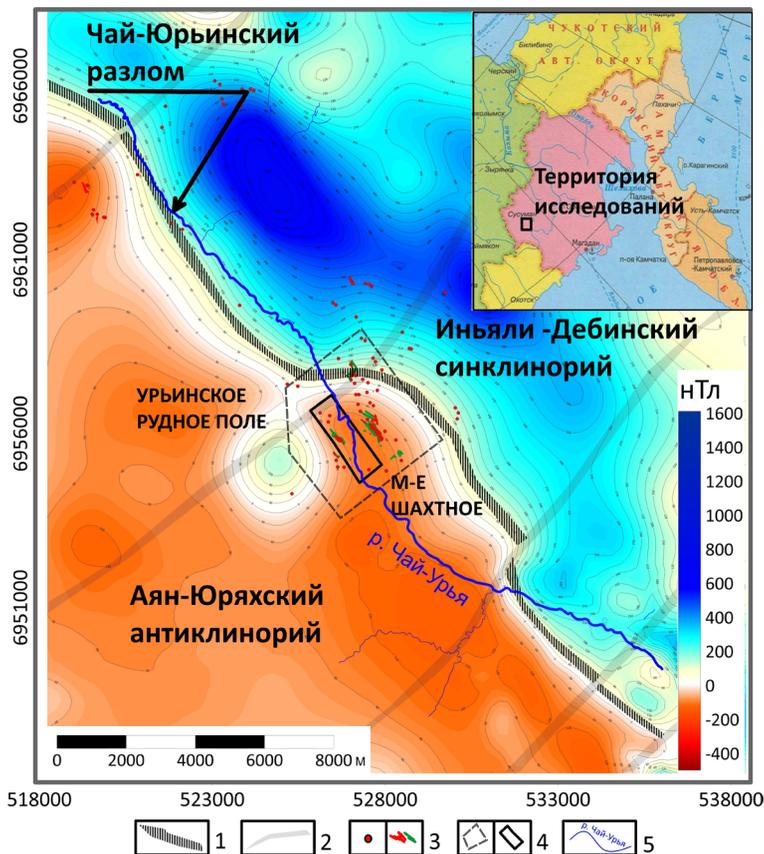
**Fig. 2.** The Shakhtnoye deposit: a) general view; b) tectonites containing a dike of quartz-diorite-porphyrites; c) beresitized dike of quartz-diorite-porphyrites. Quartz-albite-carbonate-sericite metasomatite with ore mineralization (fully manifested beresite), shliff – g, d – with analyzer

Месторождение Шахтное относится к малосульфидной золото кварцевой формации. Золото встречается как в свободном состоянии, так и в виде тонкой вкрапленности в сульфидах. Кроме золота рудная минерализация представлена пиритом, пирротином, арсенопиритом, галенитом, халькопиритом.

**Результаты работ и их обсуждения**

Структура геомагнитного поля в пределах Урьинского РП характеризуется значительными положительными аномалиями на северо-востоке и отрицательными на юго-западе. Исследуемая территория охватывает фрагмент Чай-Юрьинского глубинного разлома северо-западного простирания. На карте магнитного поля этот разлом отчетливо виден как зона интенсивного градиента, разделяющая спокойное слабо отрицательное поле, характерное для брахиморфной складчатости Аян-Юряхского антиклинория, и напряженное знакопеременное магнитное поле, связанное с линейно дислоцированными формациями Иньяли-Дебинского синклинория (рис. 3).

Основные рудопроявления и мелкие месторождения располагаются в зоне влияния Чай-Юрьинского разлома и приурочены к узлам пересечения его с поперечными разрывными нарушениями. Одним из таких участков является Урьинское рудное поле вмещающее месторождение Шахтное (см. рис. 3).

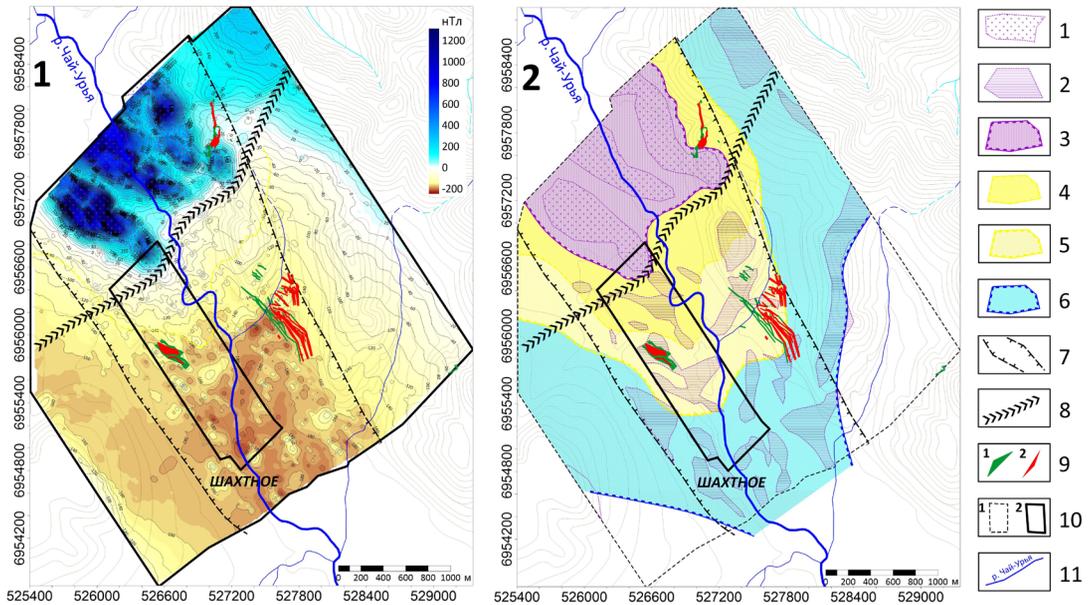


**Рис. 3.** Геомагнитное поле Чай-Юрьинской площади: 1 – зона Чай-Юрьинского глубинного разлома; 2 – скрытые разломы северо-восточного простирания; 3 – точки рудной минерализации (а) и зоны кварцевой прожилкования (б); 4 – площади магниторазведочных (Урьинское РП) работ (а) и электроразведочных (месторождение Шахтное) исследований (б); 5 – гидросеть

**Fig. 3.** The geomagnetic field of the Chai-Yurinsky area: 1 – the Chai-Yurinsky deep fault zone; 2 – hidden faults of the north-eastern strike; 3 – points of ore mineralization (a) and quartz veining zones (b); 4 – areas of magnetic exploration (Urinskoye ore field) works (a) and electrical exploration (Shakhtnoye deposit) research (b); 5 – Hydro grid

Территория Урьинского рудного поля покрыта наземной магнитной съемкой масштаба 1:10 000 (рис. 4). Основным структурным элементом является зона Чай-Юрьинского глубинного разлома. Она фиксируется полосой повышенной концентрации локальных аномалий магнитного поля разного знака, мощностью 1,5-2 км (рис. 4, 4-2). В границах очерченной зоны разлома расположены основные месторождения и рудопроявления рудного поля.

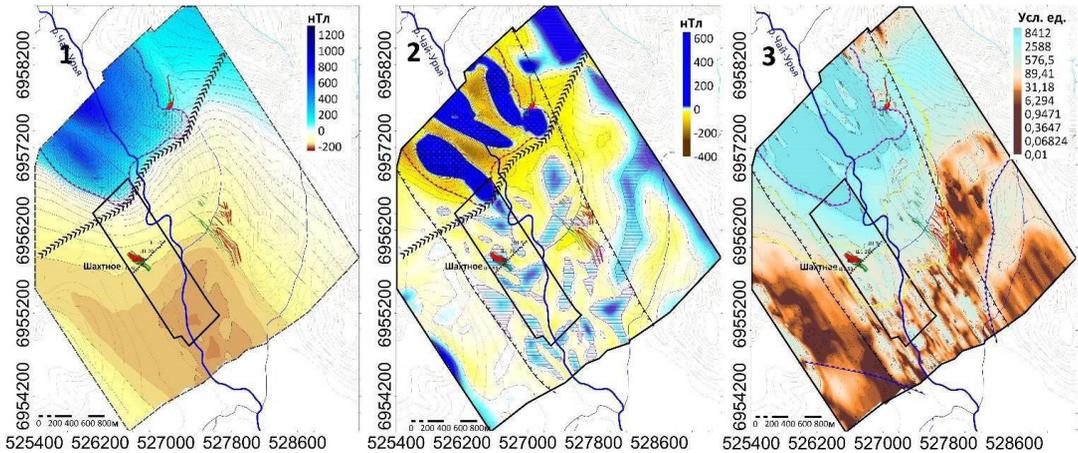
Локальные низкоамплитудные положительные аномалии интенсивностью от 2 до 30 нТл связаны с телами даек среднего состава, как эродированными, так и не выходящими на поверхность (рис. 4, 5-2).



**Рис. 4.** План изолиний аномального магнитного поля (1), схема интерпретации магниторазведочных данных территории Урьинского рудного поля. Условные обозначения: 1) малые дайкообразные интрузивные тела не вскрытые эрозией; 2) дайки среднего состава, частично вскрытые эрозией; 3) ореол ороговикованных пород; 4) ореол дислокационно-метаморфизованных милонитизированных березитов; 5) ореол березитизированных пород; 6) ореол практически не изменённых пород; 7) зона Чай-Юрьинского глубинного разлома; 8) скрытый поперечный разлом; 9) рудоносные дайки и зоны прожилково-жильного окварцевания; 10) площади магниторазведочных (Урьинское рудное поле) работ (1) и электроразведочных (месторождение Шахтное) исследований (2); 11) гидросеть

**Fig. 4.** Plan of isolines of the anomalous magnetic field (1), scheme of interpretation of magnetic exploration data of the territory of the Uryinsky ore field. Symbols: 1) Small dike-like intrusive bodies not exposed by erosion; 2) Dikes of medium composition, partially exposed by erosion; 3) The halo of horny rocks. 4) Halo of contact-altered rocks. 5) Halo of beresitized rocks; 6) Halo of practically unchanged rocks (dynamo metamorphically only); 7) The Chai-Yurinsky deep fault zone; 8) Hidden transverse fault; 9) Ore-bearing dykes and zones of vein-vein calcification; 10) Areas of magnetic exploration (Uryinskoe ore field) works (1) and electrical exploration (Shakhtnoye deposit) studies (2); 11) Hydro grid

В пределах северо-западной части исследуемого фрагмента Чай-Юрьинского разлома прогнозируются нескрытые малые (200-400м) интрузивные тела, фиксирующиеся локальными высокоамплитудными положительными аномалиями магнитного поля интенсивностью от 30 до 300 нТл, с развитием ореолов ороговикования, которые определяются областью положительного магнитного поля напряженностью от 40 до 1300 нТл. и ареалом значений дисперсии аномального магнитного поля свыше 10 000 усл. ед (рис. 1, 4, 5).



**Рис. 5.** Планы изолиний региональной (1), локальной (2) составляющей и дисперсии (3) магнитного поля Уринского рудного поля

**Fig. 5.** Plans of isolines of the regional (1), local (2) component and dispersion (3) of the magnetic field of the Urinskoe ore field

Геологическое строение остальной части исследуемой территории представляет собой зону перехода между различными областями изменений в экзоконтактовой части интрузивных образований. Гидротермально-метасоматически измененные породы представлены дислокационно-метаморфизованными милонитизированными березитами (характерная минерализация – кварц, альбит, карбонат, серицит, пирит ( $\pm$ пирротин), арсенопирит, самородное золото) и характеризуются областью отрицательного магнитного поля напряженностью от -5 до -100 нТл. (см. рис. 2, 4). Значения дисперсии аномального магнитного поля находятся в диапазоне от 1 000 до 10 000 усл. ед. Для данной зоны характерна сильная рассланцованность метасоматически измененных кварцевых диорит-порфиритов, осадочные породы преобразованы в тектониты (первичная структура полностью утрачена).

По мере удаления от контактовой зоны наблюдается затухание процессов милонитизации и катаклаза. В различной степени березитизированные породы характеризуются массивной текстурой, в осадочных породах сохраняется первичная структура. Данные отложения фиксируются областью отрицательного магнитного поля напряженностью от -120 до -200 нТл и значениями дисперсии аномального магнитного поля в диапазоне от 100 до 1 000 усл. ед. Во всех типах пород отмечается рассеянная сыпь лейкоксена.

Геологическая среда, слабо затронутая контактовым метаморфизмом, занимает юго-восточную часть территории исследований. Она характеризуется отрицательными значениями магнитного поля в широком диапазоне от 0 до -200 нТл и значениями дисперсии аномального магнитного поля в диапазоне от 10 до 100 усл. ед. (рис. 3, 4).

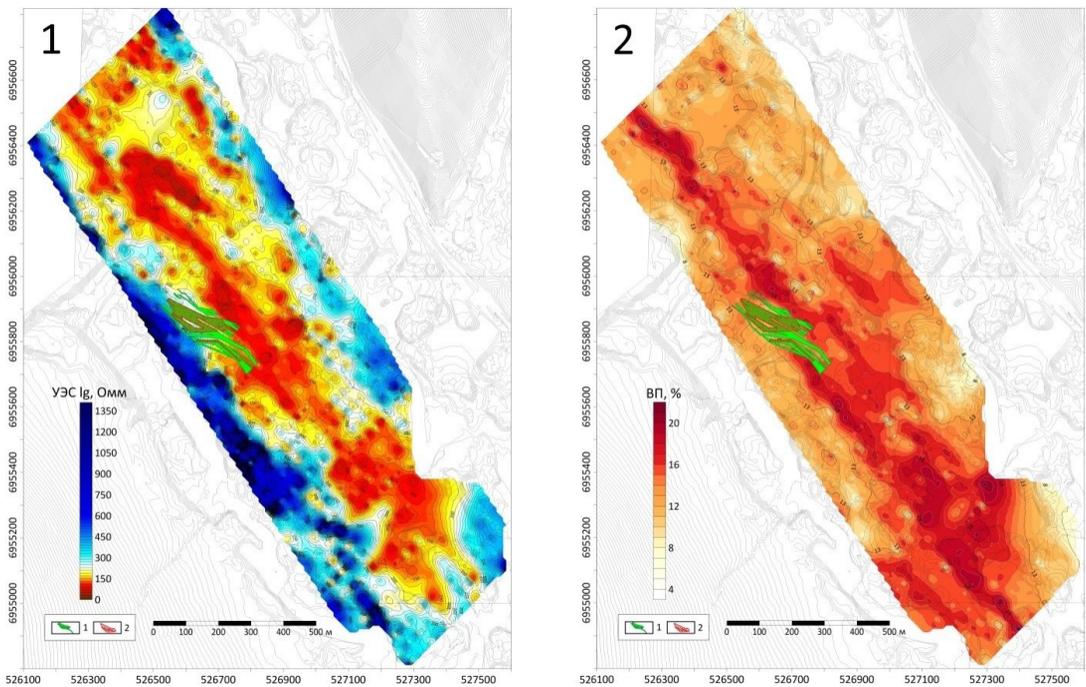
Промышленно значимые рудные объекты расположены в пределах зоны развития динамометаморфизованных березитов с наложенной сульфидно-жильной минерализацией. Наиболее представительным объектом дайкового типа золотого оруденения на площади является рассмотренное выше месторождение Шахтное.

В пределах границ месторождения наземными геофизическими исследованиями (методом срединного градиента – СГ-ВП) было изучено строение прогнозируемых рудных зон.

По геологическим данным объектами поиска являются рудоносные зоны, представляющие собой систему сближенных даек, насыщенных рудной кварц-сульфидной минерализацией (не менее 10 %) как прожилкового, так и прожилково-вкрапленного типа. Связаны они с разрывными нарушениями преимущественно северо-западного простирания. Отмечается, что процессы

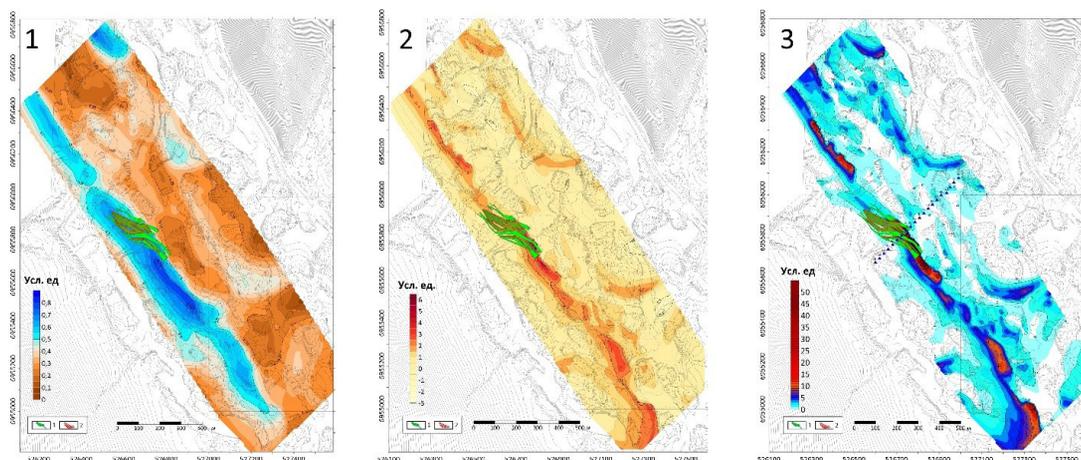
окварцевания, как правило, приводят к увеличению удельного электрического сопротивления и снижению вызванной поляризации, а высокие концентрации сульфидов ведут к росту параметра вызванной поляризации, тогда как разрывные нарушения снижают удельное электрическое сопротивление. Эти «разнонаправленные» процессы, характерные для формирования рудоносных зон, приводят к сложным геофизическим полям, которые не позволяют их однозначно интерпретировать.

Так, рудоносные дайки сопровождаются зонами градиентов УЭС и ВП, их слабое прослеживание позволяет установить лишь основные аномалообразующие эффекты, определяющие положение потенциально рудомещающих объектов, но не самих рудоносных зон (рис. 6). Применение в обработке статистических характеристик дает возможность достаточно уверенно по аномалиям эксцесса, асимметрии и регрессии выявлять потенциально рудоносные зоны (рис. 7). По указанным геофизическим признакам потенциально рудоносная зона, локализованная в дайках, уверенно прослеживается по простиранию к северо-западу и юго-востоку.



**Рис. 6.** План изолиний удельного электрического сопротивления (1), план изолиний вызванной поляризации (2) месторождения Шахтное. Условные обозначения: 1) рудоносные дайки; 2) зоны прожилково-жильного окварцевания

**Fig. 6.** Plan of isolines of electrical resistivity (1), plan of isolines of induced polarization (2) of the Shakhnoye deposit. Symbols: 1) ore-bearing dykes; 2) zones of vein-vein calcification



**Рис. 7.** Планы изолиний регрессии (1), асимметрии (2) и эксцесса (3), удельного сопротивления территории месторождения Шахтное. Условные обозначения: 1) рудоносные дайки; 2) зоны прожилково-жильного окварцевания;

**Fig. 7.** Plans of regression isolines (1), asymmetry (2) and kurtosis (3), resistivity of the territory of the Shakhtnoye deposit. Symbols: 1) ore-bearing dykes 2) zones of vein-vein calcification

### Заключение

Исходя из вышеизложенных особенностей геолого-геофизической модели геологической среды Урьинского рудного поля и месторождения Шахтное представляется возможным выделение совокупности геофизических факторов (признаков), контролирующих размещение золотокварцевого оруденения, к которым относятся следующие.

*На уровне рудного поля.* Геологическая среда рудного поля приурочена к экзоконтактовой части и характеризуется зональным строением; отмечается областью отрицательного магнитного поля напряженностью от -5 до -200 нТл. и значениями дисперсии аномального магнитного поля в диапазоне от 100 до 10 000 усл. ед. Она насыщена потенциально рудолокализирующими дайковыми телами, которые фиксируются локальными низкоамплитудными положительными аномалиями магнитного поля интенсивностью от 2 до 30 нТл.

*На уровне месторождения.* Рудоносные зоны – дайки приурочены к зонам градиента удельного электрического сопротивления и вызванной поляризации. Рой рудоносных даек уверенно фиксируется аномалиями трансформант параметра УЭС – эксцесса, асимметрии и регрессии.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность руководству ООО «Золотодобывающая Корпорация» за возможность проведения полевых работ на исследуемой площади.

### Литература

1. Никитин, А.А Петров А.В. Теоретические основы обработки геофизической информации: учебное пособие / А.А Никитин, А.В. Петров. – Москва : Издательство. – 2008. – 112 стр. – Текст : непосредственный.
2. Билибин, Ю.А. Избранные труды [Текст] : [В 4 т.] / [Вступ. статья В. И. Серпухова] ; Акад. наук СССР. – Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1958-1963. – 4 т.; 27 см. – 518 с. – Текст : непосредственный.

### Referenses

1. Nikitin, A.A Petrov A.V. Teoreticheskie osnovy obrabotki geofizicheskoy informacii: uchebnoe posobie / A.A Nikitin, A.V. Petrov. – Moskva : Izdatel'stvo. – 2008. – 112 str. – Tekst : neposredstvennyj.
2. Bilibin, Ju.A. Izbrannyye trudy [Tekst] : [V 4 t.] / [Vstup. stat'ja V. I. Serpuhova] ; Akad. nauk SSSR. – Moskva : Izd-vo Akad. nauk SSSR, 1958-1963. – 4 t.; 27 sm. – 518 s. – Tekst : neposredstvennyj.

**Сведения об авторах**

*ХАСАНОВ Ибрагим Мубаракovich* – к.г.-м.н., в.н.с., Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, e-mail: aumaglan@yandex.ru

*KHASANOV Ibragim Mubarakovich* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, N.A. Shilo Northeast Interdisciplinary Research Institute, FEB RAS, e-mail: aumaglan@yandex.ru

*МИХАЛИЦЫНА Татьяна Ивановна* – к.г.-м.н., с.н.с., Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, e-mail: mihalitsina@neisri.ru

*MIKHALITSYNA Tatyana Ivanovna* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, N.A. Shilo Northeast Interdisciplinary Research Institute, FEB RAS, e-mail: mihalitsina@neisri.ru

*МУРАВЬЕВ Лев Анатольевич* – к.т.н., зав. лаб. региональной геофизики, Институт Геофизики УрО РАН, e-mail: mlev@mail.ru

*MURAVYEV Lev Anatolevich*, Candidate of Engineering Sciences, Head of the Laboratory of Regional Geophysics, Institute of Geophysics Ural Branch of RAS, e-mail: mlev@mail.ru

*МАКАРОВА Диана Владимировна*, ст. инженер, ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, e-mail: dianka.zeta.22@mail.ru

*MAKAROVA Diana Vladimirovna*, Senior Engineer, N.A. Shilo Northeast Interdisciplinary Research Institute, FEB RAS, e-mail: dianka.zeta.22@mail.ru

*Н.Г. Шепелёв*

Гидроспецгеология, г. Москва, Россия

e-mail: shepelevnik@mail.ru

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ В ПРАВОВОМ АСПЕКТЕ

*Аннотация.* Приведен краткий обзор целевого назначения, направлений, задач, современного состояния региональных геологических работ по твердым полезным ископаемым. Обобщены результаты выполнения работ, рассмотрены основные направления регионального изучения недр на среднесрочную перспективу для повышения геологической изученности, решения федеральных и региональных задач по изучению, оценки состояния, управлению государственным фондом недр в части ресурсов твердых полезных ископаемых, планированию поисковых работ на базе стратегических документов. Представлены нововведения законодательства о недрах, вступающие в силу с 01 сентября 2024 года, касающиеся регионального геологического изучения недр.

*Ключевые слова:* Региональные геологические работы, сводное и обзорное, мелко- и среднemasштабное картографирование, масштаб 1:1 000 000, 1:200 000, твердые полезные ископаемые (ТПИ), углеводородное сырье (УВС).

*N.G. Shepelev*

Hydrospetsgeology, Moscow, Russia

e-mail: shepelevnik@mail.ru

## THE CURRENT STATE AND PROSPECTS OF GEOLOGICAL MAPPING OF THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION: THE LEGAL ASPECT

*Abstract.* A brief overview of the purpose, directions, tasks, and current state of regional geological work on solid minerals is given. The results of the work are summarized, the main directions of the regional study of the subsoil for the medium term are considered in order to increase geological knowledge, solve federal and regional tasks for the study, assessment of the state, management of the state fund of the subsoil in terms of solid mineral resources, planning prospecting based on strategic documents. The innovations of the legislation on subsoil, which come into force on September 01, 2024, concerning the regional geological study of the subsoil, are presented.

*Keywords:* regional geological work, summary and survey, small- and medium-scale mapping, scale 1:1 000 000, 1:200 000, solid minerals (SM), hydrocarbon raw materials (HM).

### Введение

В соответствии с действующей Государственной программой Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов» [1] и Стратегией развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г. [2] целевым назначением государственного геологического картографирования определено создание геологических информационных ресурсов как геолого-картографической основы решения федеральных и региональных задач по изучению и оценке состояния, использования и управления государственным фондом недр и, прежде всего, для воспроизводства минерально-сырьевой базы полезных ископаемых.

Вместе с тем, в данных стратегических документах отмечается, что объемы регионального геологического изучения недр территории Российской Федерации недостаточны. Исходя из

этого проведение геологического изучения недр посредством региональных и прогнозно-минералогических исследований является весьма актуальным. Несмотря на сокращение бюджетного финансирования работ по геологическому изучению недр и прогнозированию месторождений полезных ископаемых, направленных на формирование поискового задела, при отсутствии возможности проведения региональных исследований за счет частных инвестиций.

На Международной выставке-форуме «Россия» Федеральное агентство по недропользованию при поддержке Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации провело отраслевое мероприятие, которое состоялось в начале апреля 2024 года в г. Москва. В рамках пленарной сессии «Недропользование для стабильного будущего: эпоха возрождения» участники мероприятия обсудили развитие минерально-сырьевой базы, а также ключевые вопросы в части интенсификации региональных работ, построения прогнозно-геологических моделей и привлечения к региональным работам компаний-недропользователей, имеющих высокий потенциал применения новейших технологий геологического изучения недр.

Региональные геологические исследования должны быть направлены на воссоздание и наполнение фонда объектов поискового задела по наиболее важным и дефицитным видам полезных ископаемых.

### **Краткий обзор текущего состояния геологического картографирования**

В соответствии со статьей 36.1 Закона «О недрах» [3] в Российской Федерации осуществляется государственное геологическое изучение недр, в задачи которого входят геологическое картирование территории Российской Федерации и ее континентального шельфа, поиски и оценка месторождений полезных ископаемых в соответствии с государственными программами, сбор и хранение информации о недрах, состоянии минерально-сырьевой базы и другие виды геологического изучения недр.

В настоящее время региональное геологическое изучение недр, осуществляется государственными бюджетными или автономными учреждениями, находящимися в ведении федерального органа управления государственным фондом недр (Роснедра), на основании государственного задания.

В соответствии с Государственной программой Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов» показателем регионального геологического изучения недр, обеспечивающего формирование поискового задела для наращивания минерально-сырьевой базы в условиях базового сценария развития экономики, выступает состояние изученности территории Российской Федерации с помощью государственной геологической съемки территории масштаба 1:1000000 и ее перспективных районов масштаба 1:200000.

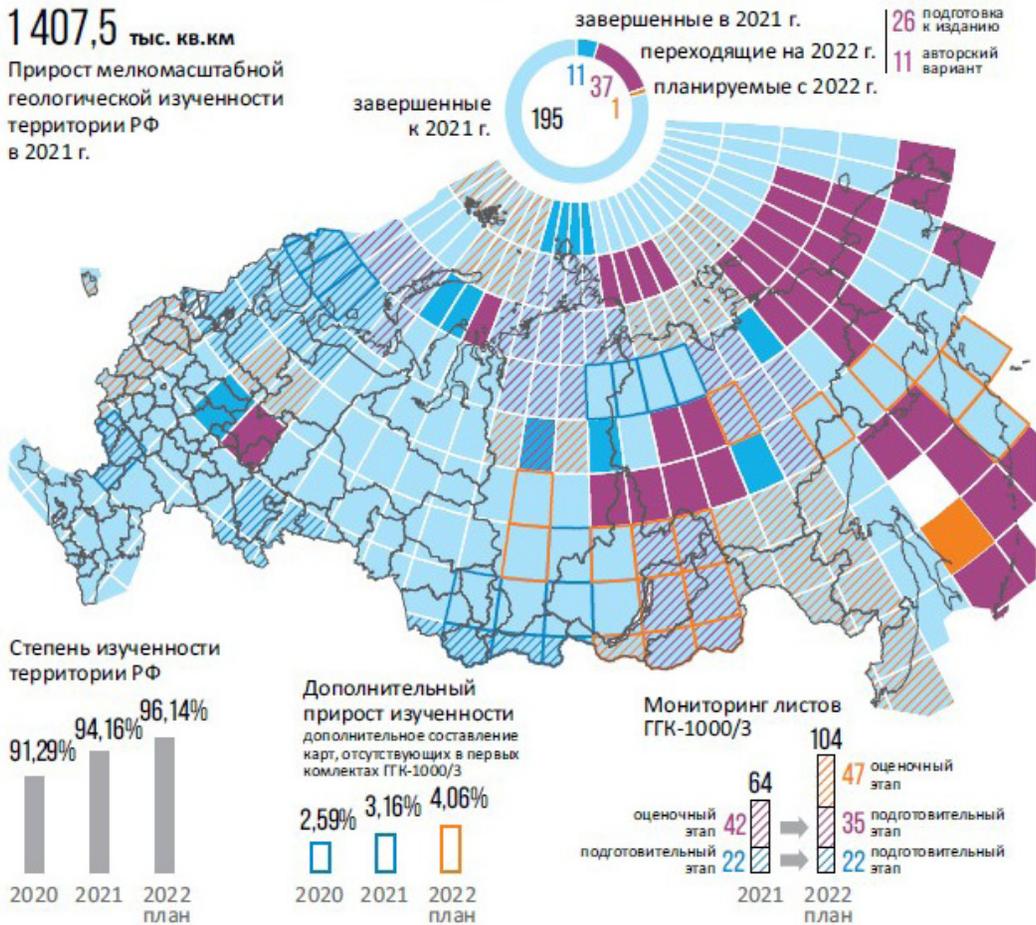
Региональные геологические работы включают сводное и обзорное картографирование, мелко- и среднемасштабные геологические съёмки. На них затрачивается ежегодно около 40 % от общего объёма финансирования работ по региональному геологическому изучению недр [4, 5].

В настоящее время по сводному и обзорному геологическому картографированию продолжается актуализация базовых карт Российской Федерации масштаба 1:2500000 – геологической, четвертичных отложений, прогнозно-минералогической и др. Также в этом направлении завершается составление новых цифровых карт закономерностей размещения и прогноза дефицитных видов полезных ископаемых территории России в масштабе 1:2500000 – на марганец, хром, цирконий, бериллий, титан, литий, редкие земли иттриевой группы. Разрабатываются рекомендации по геологическому доизучению масштаба 1:200000 на первоочередных номенклатурных листах. Вводится в работу состав сводных карт закономерностей размещения и прогноза на дефицитные виды сырья – ниобий, тантал, бокситы, вольфрам.

Для оперативного управления фондом недр, проведения геологического изучения недр, применения в образовательном процессе, повышения инвестиционной привлекательности на сайтах Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) и Всероссийского научно-

исследовательского геологического института им. А. П. Карпинского в 2022 году создан и открыт новый информационный ресурс, который благодаря Интернет-публикации ГИС-Атласа «Недра России» (<https://vsegei.ru/ru/gisatlas/>) стал доступным для многомиллионной аудитории пользователей.

В ходе работ по геологическому картографированию масштаба 1:1000000 обеспечивается прирост мелкомасштабной геологической изученности территории Российской Федерации и ее континентального шельфа в объеме 1407 тыс. км<sup>2</sup> ежегодно (рис. 1).



**Рис. 1.** Прирост мелкомасштабной геологической изученности территории Российской Федерации (листы 1:1000000 (3 поколение)) [4]

**Fig. 1.** Increase in small-scale geological study of the territory of the Russian Federation (sheets 1:1000000 (3rd generation)) [4]

Основной объем прогнозных задач выполняется на Дальнем Востоке и в Арктической зоне; локализованы площади, перспективные на обнаружение месторождений различных полезных ископаемых; даны рекомендации по постановке среднимасштабных геолого-съёмочных работ.

По геохимическому картографированию масштаба 1:1000000 работы проводились по созданию бесшовной геохимической карты. В результате был обеспечен прирост мелкомасштабной геохимической изученности территории Российской Федерации в объеме 222,6 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 2).

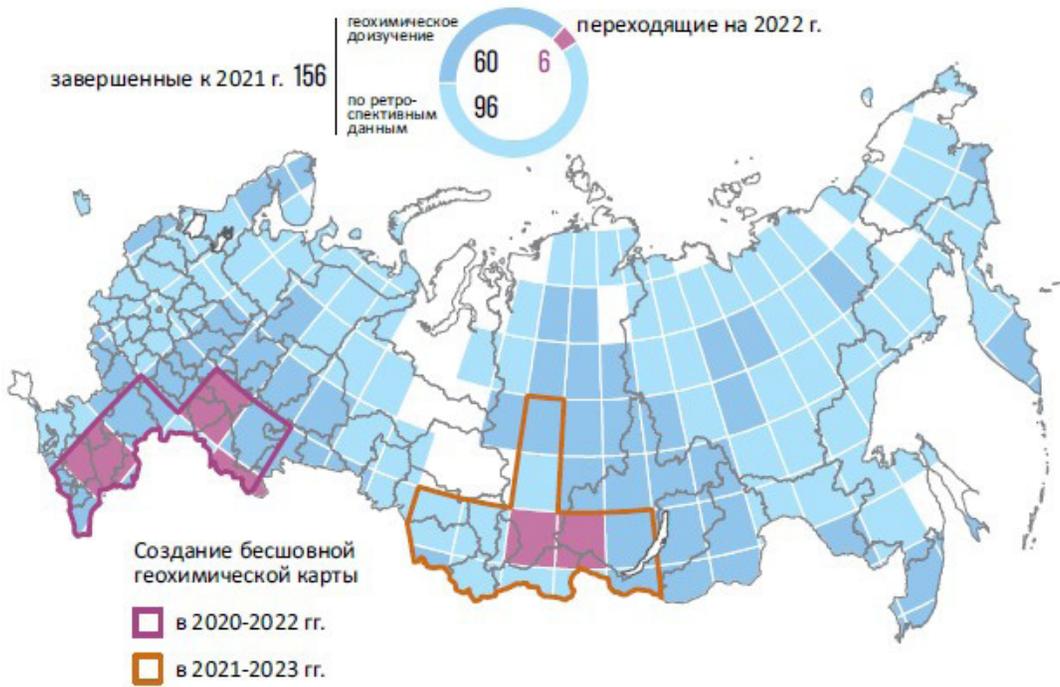


Рис. 2. Прирост геохимической изученности территории Российской Федерации масштаба 1:1000000 [4]

Fig. 2. The increase in geochemical knowledge of the territory of the Russian Federation on a scale of 1:1000000 [4]

Основой планирования первоочередных региональных геолого-съёмочных работ масштаба 1:200000 являются прогнозно-минералогическая и прогнозно-геохимическая карты.

Работами по геологическому картографированию масштаба 1:200000 прирост среднемасштабной геологической изученности территории Российской Федерации и её континентально-го шельфа ежегодно составляет 77 тыс. км<sup>2</sup> (рис. 3) [4].

Эти работы были направлены на геологическое изучение территорий, воспроизводство минерально-сырьевой базы, воспроизводство основных полезных ископаемых на Северо-Западе России, Северном Кавказе, Урале, в Сибири, Забайкалье, на Дальнем Востоке, в Арктической зоне страны и стратегических дефицитных видов минерального сырья на территории Дальневосточного федерального округа.

Опережающие геохимические работы масштаба 1:200000 проведены в пределах Дальневосточного ФО, где выделены аномалии геохимического поля, перспективные на золото, серебро, полиметаллические руды. Обеспечен прирост среднемасштабной геологической изученности территории Российской Федерации в объеме 12067,9 км<sup>2</sup> (рис. 4). Работы направлены на создание геохимических основ и воспроизводство минерально-сырьевой базы стратегических и дефицитных видов минерального сырья на территории Дальневосточного ФО.

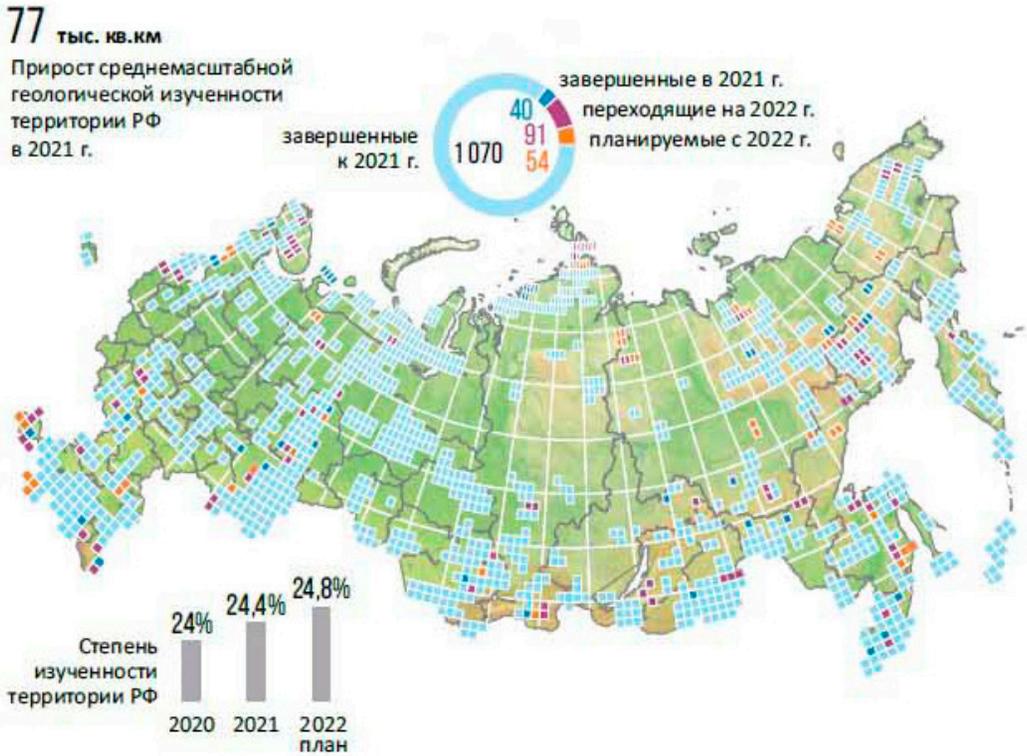


Рис. 3. Прирост среднемасштабной геологической изученности территории Российской Федерации масштаба 1:200000 [4]

Fig. 3. The increase in the average-scale geological study of the territory of the Russian Federation on a scale of 1:200000 [4]



Рис. 4. Прирост геохимической изученности территории Российской Федерации масштаба 1:200000 [4]

Fig. 4. The increase in geochemical knowledge of the territory of the Russian Federation on a scale of 1:200000 [4]

По итогам региональных геолого-съёмочных работ на территории Российской Федерации выявляются перспективные площади для постановки более детальных работ. Более 90 % объектов ориентировано на поиски благородных и цветных металлов [4].

В Сибири и на Дальнем Востоке все вновь вводимые площади в части минерагении ориентированы на изучение приоритетных видов стратегического минерального сырья, которые в значительных объёмах завозятся из-за рубежа и являются особо важными для отечественной промышленности. Результаты региональных геологических работ оформляются в виде паспортов учета перспективных участков недр и поставленных на учет, используются при дальнейшем планировании поисковых работ за счет средств федерального бюджета по дефицитным видам стратегического минерального сырья.

По результатам региональных работ выявлено порядка 40 перспективных участков недр для поисковых работ (рис. 5). Более 35 % площадей ориентировано на поиски благородных, 28 % – цветных, 10 % – черных и легирующих металлов, 8 % – редких, 2 % – на уран, в т.ч. по результатам работ впервые прогнозируются рудные узлы с оценкой ресурсов по категории  $P_3$ .



Рис. 5. Перспективные площади для постановки поисковых работ, выявленные в ходе региональных геологических исследований [4]

Fig. 5. Promising areas for prospecting identified during regional geological surveys [4]

Приоритетными являются стратегические высоколиквидные виды твердых полезных ископаемых, в том числе в пределах территорий опережающего развития Российской Федерации (в Арктической зоне и на Дальнем Востоке), с учетом стратегий социально-экономического развития субъектов Российской Федерации, с целью создания минерально-сырьевой базы, необходимой для формирования новых и развития действующих минерально-сырьевых центров.

В целом результаты данных работ вызывают практический интерес недропользователей как к выделенным по результатам региональных работ перспективным площадям, так и к текущим региональным объектам, выполняемым за счет государственных средств.

#### Правовой аспект

При участии автора 18-19 апреля 2024 года на площадке Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского прошло Всероссийское совещание

«Перспективы развития регионального геологического изучения недр территории Российской Федерации с привлечением собственных средств недропользователей: цели, задачи, ожидаемые результаты». Основной акцент уделялся вопросам регионального изучения на твердые полезные ископаемые и углеводородное сырье.

На всероссийском совещании приняло участие более 200 специалистов из более чем 60 организаций всех регионов страны, включая 30 компаний-недропользователей: Газпром, Роснефть, Лукойл, Новатэк, Алроса, Полиметалл, Нордголд, Мангазея Майнинг, УК Полюс, Норильский никель, Русолово, УГМК, АГД Даймондс, Русская медная компания, Тюменнефтегаз, СУЭК, Иркутская нефтяная компания и другие.

Широко обсуждались проблемы государственного геологического картографирования с целью повышения геологической изученности территории страны и создания надежных основ недропользования. До недавнего времени региональное геологическое изучение недр являлось исключительно прерогативой государства и осуществлялось по государственным заданиям подведомственными учреждениями. В прошлом году были разработаны изменения в закон «О недрах», которыми закреплено право на участие недропользователей в региональном изучении недр.

Два дня заседаний показали важность выстраивания диалога между недропользователями и государственными структурами. Успешно прошли дискуссии по сложным и актуальным вопросам взаимодействия в рамках изменений закона «О недрах», обсуждались предложения и потребности двух сторон, были намечены возможные пути взаимодействия при формировании перечня участков недр для регионального изучения недр, осуществляемого за счет государства и собственных средств компаний-недропользователей, а также решения сложных задач информационного взаимодействия и достижения поисковой эффективности.

Во второй день работы обсуждались обязательные отраслевые требования к стадийности геологоразведочных работ, роль недропользователей в возобновлении крупномасштабных региональных геолого-съёмочных работ масштаба 1:50 000 и крупнее, которые перестали вестись государством с середины 90-х годов прошлого века.

Значимым результатом совещания можно считать тот факт, что недропользователи в целом подтвердили свою заинтересованность участия в региональном геологическом изучении недр. Оставшиеся же вопросы в ближайшее время будут обозначены в Резолюции совещания и послужат предметом дальнейшего регулирования нововведений.

Необходимо отметить, что в декабре 2023 года принят Федеральный закон № 656-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах», касательно регионального геологического изучения недр, новеллы которого в соответствии со статьей 2 вступают в силу с 1 сентября 2024 года [6].

Непосредственно в данный закон внесены изменения в часть первую статьи 3 «Полномочия федеральных органов государственной власти в сфере регулирования отношений недропользования», в часть пятую статьи 7 «Участки недр, предоставляемые в пользование», в статью 9 «Пользователи недр», в часть вторую статьи 10 «Сроки пользования участками недр», в пункт 4 части первой статьи 10.1 «Предоставление права пользования участками недр», в статью 22 «Основные права и обязанности пользователя недр» и в часть четырнадцатую статьи 27 «Геологическая информация о недрах».

Для реализации данного закона Минприроды России, совместно с Роснедрами и подведомственными учреждениями, были разработаны нормативные акты (Порядок предоставления права пользования недрами для регионального геологического изучения недр; Порядок совместного осуществления пользования недрами подведомственными учреждениями Роснедр и пользователями недр; Порядок подготовки перечня участков недр для регионального геологического изучения недр; Порядок заключения соглашения между пользователями недр об одновременном осуществлении пользования недрами в границах геологического отвода),

размещенные для проведения общественного обсуждения, историю движения которых, можно посмотреть на сайте <https://regulation.gov.ru/>.

В соответствии со Стратегией развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года, формирование минерально-сырьевой базы действующих и перспективных минерально-сырьевых центров должно создавать стимулы для развития геологоразведочного и добычного производств с использованием различных механизмов государственного и частного финансирования.

С учетом вышеприведенных норм закона, по мнению автора, будет регламентирован порядок проведения регионального геологического изучения недр с точки зрения требований к рациональному использованию и охране недр. Вводится механизм проведения юридическими лицами (компаниями-недропользователями) работ по региональному геологическому изучению недр, имеющих опыт и достаточные финансы в сфере геологического изучения недр.

На текущий день созданы условия для функционирования в Российской Федерации юниорных компаний. Действует заявительный порядок лицензирования участков недр, ведется цифровизация геологоразведочных работ, инвесторы допускаются на этап регионального геологического изучения недр.

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 30 августа 2022 года N 2473-р утвержден перечень основных видов стратегического минерального сырья; постановлением Правительства Российской Федерации от 18 декабря 2021 года N 2358 [7, 8] внесены изменения в государственную программу Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов». В данных документах отмечено, что в России минерально-сырьевая база дефицитных полезных ископаемых (йод, литий, бром, рений, редкие земли иттриевой группы и др.) обладает низким качеством. Но, в то же время, качество некоторых месторождений дефицитных полезных ископаемых сопоставимы с эксплуатируемыми за рубежом месторождениями, что повышает актуальность разработки и стимулирования их освоения.

На этом основании перспективы развития взаимоотношений государственных учреждений, крупных компаний и юниорных геологоразведочных компаний, с учетом нововведений в законодательстве о недрах, возможны посредством различных финансовых инструментов на договорных условиях за счет инвестиций разного уровня, кредитования и других специальных режимов.

Также предусматривается методическое сопровождение и технологическое обеспечение региональных геологических исследований и поисковых работ на взаимовыгодных условиях, при этом имеется запрос компаний для разработки механизмов минимизации времени на выполнение работ и рисков расходования финансовых средств на ранних этапах геологического изучения недр.

### **Заключение**

Представляется, что острый дефицит прогнозных ресурсов высоких категорий и перспективных участков для постановки оценочных работ связан как с недостаточными объемами финансирования геологоразведочных работ ранних стадий, так и с отсутствием новых геологических идей, технологических разработок и технических средств, позволяющих прогнозировать, искать и находить рудопроявления, месторождения, не выходящие на поверхность и нетрадиционных геолого-промышленных типов. В этой связи весьма актуальным становится вопрос формирования перечня регионального геологического изучения недр, который будет включать объекты, финансируемые за счет средств федерального бюджета, за счет недропользователей и совместное финансирование работ.

Ожидается, что при введении новых механизмов правового регулирования будет:

- первенство заявки на предоставления права пользования участками недр на значительные по площади региональные работы, исключая возможность предоставления прав пользования участками недр иным лицам;

- снижение рисков не подтверждения перспективных участков недр, снижение финансовых затрат на локализацию потенциальных рудных объектов;
- обеспечение оперативного получения детальной геологической информации для обоснования инвестиционных проектов по потенциальным рудным объектам;
- возможность по результатам региональных геологических работ иметь преимущество при получении права геологического изучения недр на поисково-оценочные стадии;

Благодаря нововведениям в законодательстве о недрах повышается геологическая изученность территории Российской Федерации за счет повышения инвестиционной привлекательности и притока внебюджетных инвестиций в геологоразведочные работы.

### Литература

1. Постановление Правительства РФ от 15.04.2014 № 322 (ред. от 18.12.2021) «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов». – URL : <http://government.ru/docs/all/91468/> (дата обращения : 10.04.24). – Текст : электронный.
2. Распоряжение Правительства РФ от 22.12.2018 № 2914-р «Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года». – URL : <https://docs.cntd.ru/document/552051127/> (дата обращения : 10.04.24). – Текст : электронный.
3. Закон Российской Федерации от 21.02.1992 № 2395-1 «О недрах». URL : <https://docs.cntd.ru/document/9003403> (дата обращения : 10.04.24). – Текст : электронный.
4. Информационно-аналитические материалы «Итоги работы Федерального агентства по недропользованию» в 2021 году и планы на 2022 год. – URL : <https://www.rosnedra.gov.ru/category/3/3?mm=812&ml=271> (дата обращения : 10.04.24). – Текст : электронный.
5. Информационно-аналитические материалы «Итоги работы Федерального агентства по недропользованию» в 2018 году и планы на 2019 год. – URL : <https://www.rosnedra.gov.ru/category/3/6?mm=812&ml=271> (дата обращения : 10.04.24). – Текст : электронный.
6. Федеральный закон № 656-ФЗ «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах». – URL : <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202312250055> (дата обращения : 10.04.24). – Текст : электронный.
7. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 30.08.2022 № 2473-р «Об утверждении Перечня основных видов стратегического минерального сырья». URL : <https://docs.cntd.ru/document/351621866> (дата обращения : 10.04.24). – Текст : электронный.
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.12.2021 № 2358 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Воспроизводство и использование природных ресурсов» и признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации». URL : <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202112230039> (дата обращения : 10.04.24). – Текст : электронный.

### References

1. Resolution of the Government of the Russian Federation dated 04/15/2014 No. 322 (as amended on 12/18/2021) “On Approval of the State Program of the Russian Federation “Reproduction and Use of Natural resources”. – URL : <http://government.ru/docs/all/91468/> / (date of access : 04/10/24). – Text : electronic.
2. Decree of the Government of the Russian Federation dated 12/22/2018 No. 2914-r “On approval of the Strategy for the Development of the mineral resource base of the Russian Federation until 2035”. – URL : <https://docs.cntd.ru/document/552051127/> / (date of access : 04/10/24). – Text : electronic.
3. The Law of the Russian Federation dated 02/21/1992 No. 2395-1 “On Subsoil”. URL : <https://docs.cntd.ru/document/9003403> (date of access : 04/10/24). – Text : electronic.

4. Information and analytical materials “Results of the work of the Federal Agency for Subsoil Use” in 2021 and plans for 2022. – URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/category/3/3?mm=812&ml=271> (date of access : 04/10/24). – Text : electronic.

5. Information and analytical materials “Results of the work of the Federal Agency for Subsoil Use” in 2018 and plans for 2019. – URL: <https://www.rosnedra.gov.ru/category/3/6?mm=812&ml=271> (date of access : 04/10/24). – Text : electronic.

6. Federal Law No. 656-FZ “On Amendments to the Law of the Russian Federation “On Subsoil”. – URL : <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202312250055> (date of access : 04/10/24). – Text : electronic.

7. Decree of the Government of the Russian Federation No. 2473-r dated 30.08.2022 “On approval of the List of main types of strategic mineral raw materials”. URL : <https://docs.cntd.ru/document/351621866> (date of access : 04/10/24). – Text : electronic.

8. Resolution of the Government of the Russian Federation dated 12/18/2021 No. 2358 “On Amendments to the State Program of the Russian Federation “Reproduction and Use of Natural Resources” and Invalidation of Certain Acts and Certain Provisions of Certain Acts of the Government of the Russian Federation”. URL : <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202112230039> (date of access : 04/10/24). – Text : electronic.

#### Сведения об авторе

*ШЕПЕЛЁВ Никита Геннадиевич* – заместитель начальника Управления региональных геологических работ ФГБУ «Гидроспецгеология», e-mail: [shepelevnik@mail.ru](mailto:shepelevnik@mail.ru).

*SHEPELEV Nikita Gennadievich* – Deputy Head of the Department of Regional Geological Works of the Federal State Budgetary Institution “Hydrospetsgeology”, e-mail: [shepelevnik@mail.ru](mailto:shepelevnik@mail.ru).

# ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 551.515.13(571.56)

DOI 10.25587/2587-8751-2024-2-46-53

Ю.И. Игнатъева<sup>1</sup>, Н.И. Тананаев<sup>1,2</sup><sup>1</sup> СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия<sup>2</sup> КамГУ им. Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

## ПОВТОРЯЕМОСТЬ ЦИКЛОНОВ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ) В ЛЕТНИЕ МЕСЯЦЫ

*Аннотация.* Внетропические циклоны над территорией Республики Саха (Якутия) приносят дожди и снижают вероятность лесных пожаров, однако могут стать причиной дождевых паводков, вызванных интенсивными осадками. В данной работе рассматривается повторяемость циклонов над территорией РС (Я) в летний период за период 1950–2022 г. Повторяемость циклонов оценивалась как количество находений центра циклона над территорией РС (Я) или отдельным субрегионом в стандартный метеорологический срок. Источником данных послужила база данных центров внетропических циклонов Университета Манитобы (Канада), основанная на данных реанализа по данным реанализа ERA5. Циклональная погода над территорией РС (Я) держится в течение 27.5 суток. Наибольшее количество циклональных событий отмечается в Северо-Восточном и Северо-Западном районах, наименьшее – в Южном и Центральном районах. В разрезе месяцев, циклоны наиболее активны в июне во всех районах, кроме Южного, где июльская активность циклонов определяется более благоприятными условиями атмосферной блокировки зонального переноса, что способствует выходу южных циклонов на территорию РС (Я). В повторяемости циклонов нет выраженного тренда, за исключением отдельных районов и месяцев: Западный район, июнь, возрастание; РС (Я) в целом, август, убывание. Установлен абсолютный минимум количества циклональных событий, приходящийся на 2019–2021 гг., который, как мы считаем, стал одной из основных причин наблюдавшегося в эти годы максимума горимости лесов на территории РС (Я) и минимального стока р. Лена в 2019 г. Анализ циркуляционных условий возникновения таких минимумов позволит оценить риск повторения аналогичных ситуаций в климате будущего.

*Ключевые слова:* Республика Саха (Якутия), атмосферная циркуляция, циклональная активность, шторм-треки, летний сезон, наводнения, лесные пожары.

Y.I. Ignatyeva<sup>1</sup>, N.I. Tananaev<sup>1,2</sup><sup>1</sup> M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia<sup>2</sup> Vitus Bering Kamchatka State University, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

e-mail: tanni@s-vfu.ru

## RECURRENCE OF CYCLONIC EVENTS OVER THE SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA) IN SUMMER MONTHS

*Abstract.* Extratropical cyclones over the Sakha Republic (Yakutia) bring rains and reduce the probability of forest fires, but can cause fast rainflood events caused by heavy precipitation. In this study, recurrence of cyclonic events over the Sakha Republic (Yakutia) in summer months between 1950 and 2022 is considered. Recurrence of cyclonic events was defined as the count of cyclone centers over Yakutia or subregions at a standard time

of observations. Extratropical cyclone centers database from University of Manitoba (Canada) based on ERA5 reanalysis was used in this study. Cyclonic weather over the territory of the Sakha Republic (Yakutia) persists for 27.5 days on average. The largest count of cyclonic events is noted in the North-Eastern and North-Western sub-regions, while the smallest is in the Southern and Central sub-regions. Across summer months, cyclones are most active in June in all regions except for the Southern sub-region. Here, increased July cyclonic activity is determined by conditions favorable for atmospheric blocking, limited zonal transport promoting the northward intrusion of southern cyclones. There is no pronounced trend in the frequency of occurrence of cyclones except for some regions and months: Western Area, June, increasing; the Sakha Republic (Yakutia), August, decreasing. An absolute minimum in the number of cyclonic events was established for 2019-2021, which, as we believe, was one of the main reasons for the maximum of forest fire activity in the Sakha Republic (Yakutia) observed in these years, along with the Lena River extremely low flows of 2019. An analysis of the circulation conditions leading to such extremes will make it possible to assess the risk of recurrence of similar situations under the future climate.

*Keywords:* Sakha Republic (Yakutia), atmospheric circulation, cyclonic activity, storm-tracks, summer season, rain floods, forest fires.

## **Введение**

Внетропические циклоны Северного полушария – крупные барические образования, определяющие погодные условия на значительных территориях [1]. Циклоны и связанный с ними тип погоды приносят осадки и более прохладный воздух, однако связанные с прохождением фронтов интенсивные дожди, могут привести к быстрым дождевым наводнениям в горной местности. В центральной Якутии, в районе города Якутск, экстремальные осадки летнего периода связаны с приходом южных циклонов [2]. С другой стороны, длительное отсутствие циклонов создает предпосылки для повышения уровня лесопожарной опасности. Республика Саха (Якутия) пострадала от интенсивных лесных пожаров 2020-2021 гг., и уровень риска лесных пожаров остается в регионе высоким. Понимание метеорологических предпосылок возникновения лесных пожаров необходимо для более эффективного предупреждения пожаров и успешной борьбы с ними.

Повторяемость циклонов анализируют традиционно по данным синоптических карт, однако сбор и автоматическая обработка таких карт, особенно архивных, создают сложности. Альтернативным подходом выступает использование данных климатических реанализов, применимость которых для территории Сибири ранее уже рассматривалась в литературе [3]. Также разработано большое количество алгоритмов автоматизированной обработки данных реанализов для отслеживания траекторий циклонов (шторм-трекинга), которые достаточно достоверно определяют пути смещения циклонов [4].

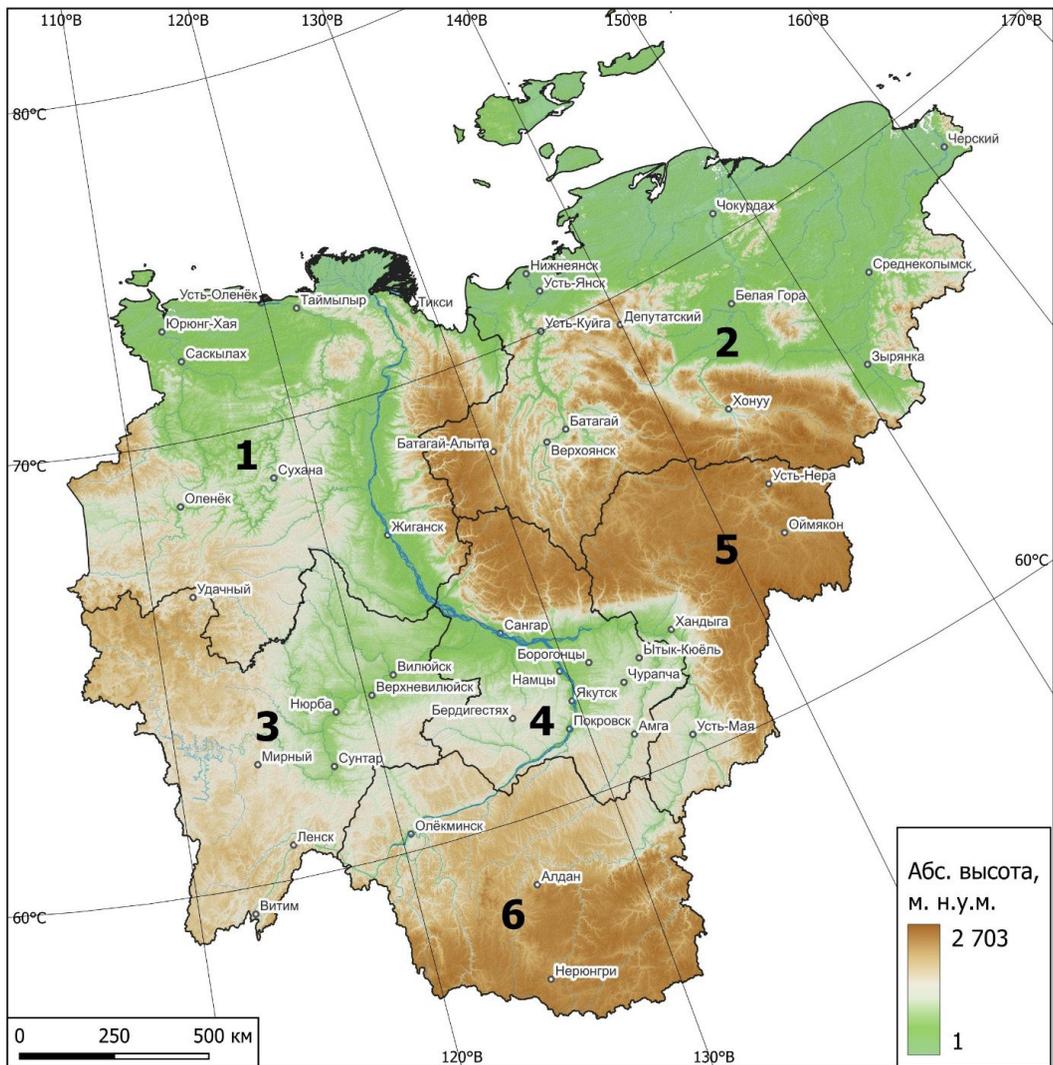
Данная статья рассматривает повторяемость летних циклонов над территорией Республики Саха (Якутия) в летние месяцы. В работе рассмотрено пространственное распределение циклонических событий между субрегионами РС (Я), для каждого летнего месяца и летнего сезона в целом. Исследованы тенденции изменения количества циклонов во времени в разрезе месяцев и районов, показана связь циклонической активности с экстремальными гидрометеорологическими условиями начала XXI в.

## **Материалы и методы исследования**

Повторяемость циклонов, в контексте данной работы, определяется через частоту циклонических событий. Циклоническое событие – нахождение над территорией Республики Саха (Якутии) центра циклона, т.е. области низкого давления с замкнутыми изобарами, в один из стандартных сроков метеорологических наблюдений, т.е. каждые три часа, начиная с 00ч UTC (всемирного скоординированного времени). Таким образом, одному циклону может соответствовать несколько циклонических событий.

Координаты центров циклонов были получены из находящейся в открытом доступе базы данных «Northern Hemisphere Extratropical Cyclone Tracks from ERA5», созданной в

Университете Манитобы, Канада [5]. Перед анализом данные фильтровались: по координатам, пространственная маска соответствовала территории РС (Я); по значению приведенного радиуса циклона, меньшему 15 км, для отсека артефактов. Геопространственная статистика рассчитывалась в QGIS 3.28.3 [6], другие статистические расчеты сделаны в программе RStudio v. 4.2.3, графическом интерфейсе пользователя языка R [7]. Тренд-анализ выполнен с использованием непараметрического теста Манна-Кендалла с блочным бутстрапом, чтобы избежать эффекта нулевых значений на уровень значимости теста. Районирование РС (Я) для целей подсчета циклональных событий основано на административно-территориальном делении республики (рис. 1), выделены шесть районов: Северо-Западный, Северо-Восточный, Западный, Центральный, Восточный и Южный. Новосибирские острова, как административно относящиеся к Булунскому улусу (району), входят в Северо-Западный район.



**Рис. 1.** Районирование территории Республики Саха (Якутия) для целей подсчета циклональных событий. Цифрами обозначены районы: 1) Северо-Западный; 2) Северо-Восточный; 3) Западный; 4) Центральный; 5) Восточный; 6) Южный

**Fig. 1.** The Sakha Republic (Yakutia) sub-regions used in cyclonic events count. Sub-regions are numbered and referred to in the main text as follows: 1) North-Western; 2) North-Eastern; 3) Western; 4) Central; 5) Eastern; 6) Southern

### Результаты

*Пространственный анализ.* Всего за период с 1950 по 2022 г. над территорией Республики Саха (Якутия) в летний период наблюдалось 16 088 циклональных событий (см. определение в разделе «Материалы и методы исследования»), или в среднем 220 событий в год (табл. 1). Каждое событие соответствует стандартному сроку, следовательно, циклональная погода в течение летнего сезона отмечалась в течение не менее 27.5 суток. Данная цифра не слишком информативна, поскольку эпизоды циклональной погоды могли сопутствовать циклонам, чьи центры не проходили над Якутии, в том числе по территории Красноярского края, акватории арктических морей. С другой стороны, над Якутией возможно одновременное прохождение нескольких циклонов. По совокупности этих причин данную цифру нужно считать условным приближением и использовать только для сравнения разных лет или более длительных временных интервалов.

Таблица 1 – Суммарное количество летних циклональных событий над территорией Республики Саха (Якутия) в разбивке по месяцам и районам, за период с 1950 по 2022 г

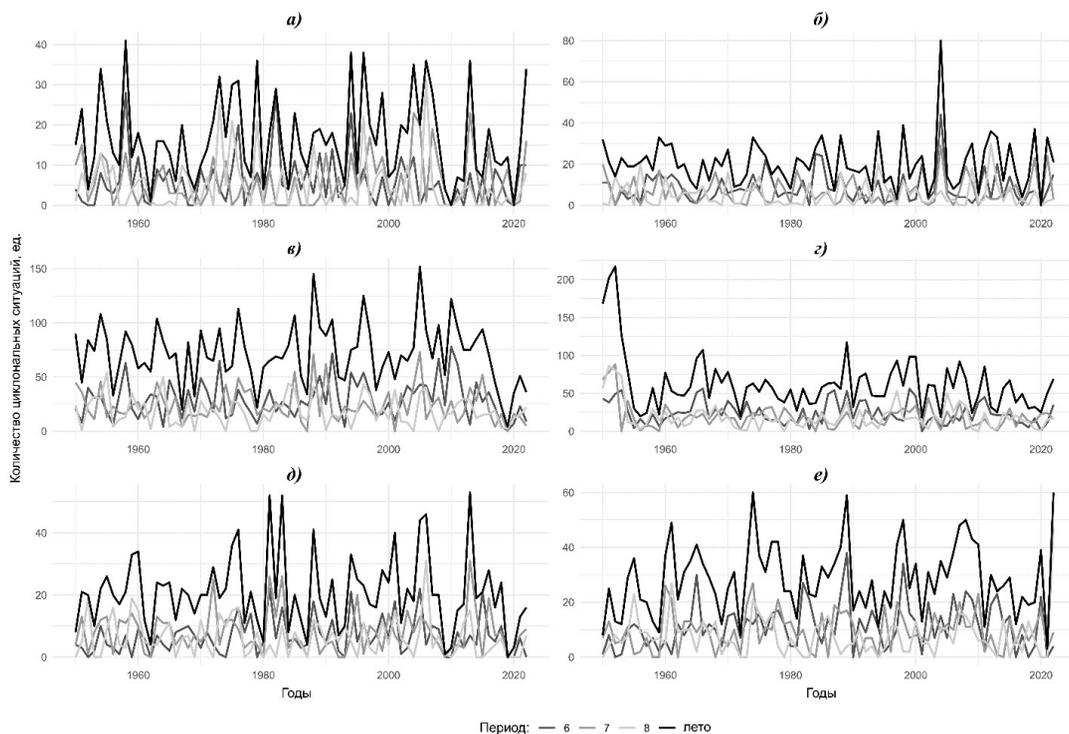
	Июнь	Июль	Август	Итого
Восточный	616	489	385	1490
Западный	829	691	562	2082
Северо-Восточный	2125	1734	1368	5227
Северо-Западный	1758	1407	1388	4553
Центральный	438	429	348	1255
Южный	487	583	451	1521
ИТОГО	6253	5333	4502	16088

Суммарная повторяемость циклонов наибольшая в северных районах Республики Саха (Якутия) – Северо-Восточном и Северо-Западном (табл. 1); остальные районы по этому показателю отстают в несколько раз. Меньше всего присутствуют циклоны в южных и центральных районах Якутии. Действительно, в летний период активность внетропических циклонов связана с полярным фронтом, с барическими образованиями, зарождающимися на нем и смещающимися вдоль него, в рассматриваемом секторе Арктики – по северным районам Красноярского края и Якутии. Одновременно, в Северо-Восточном районе в летний период, как представляется, действует локальная область орографического циклогенеза, на подветренной стороне субмеридиональной части Верхоянского хребта в пределах Янского плоскогорья, с юга ограниченная субширотной частью Верхоянского хребта, а с востока – массивом Черского. По этой причине именно в Северо-Восточном районе отмечаются летние (июнь-июль) максимумы количества циклональных событий; по мере затухания интенсивности переноса, к августу, снижается и активность локального циклогенеза.

Наибольшее количество циклональных событий отмечается в июне во всех районах, кроме Южного, где максимум наблюдается в июле (см. табл. 1). В июне, как представляется, на территории Якутии наиболее активен зональный перенос. В то же время в Южном районе основная циклоническая активность связана с т.н. «выходом южных циклонов» из Забайкалья и Монголии. Максимум активности циклонов в Южном районе наблюдается в июле, когда складываются наиболее благоприятные условия для появления атмосферных блокировок, нарушающих зональный перенос и способствующих развитию меридионального переноса. В августе циклональная активность затухает, в наибольшей степени – в Восточном районе, куда перестают заходить циклоны, проходившие через центральную Якутию с юга или запада.

*Временная изменчивость.* Повторяемость циклонов в Республике Саха (Якутия) изменяется во времени – как для каждого летнего месяца, так и для сезона в целом (рис. 2), потому преимущественно графики имеют пилообразную форму. Нередки случаи, когда количество

циклонических событий за отдельный месяц, либо в целом за сезон, оставалось нулевым или близким к нулю.



**Рис. 2.** Изменение количества циклональных событий на территории Республики Саха (Якутия) за период с 1950 по 2022 г., по районам: а) Центральный; б) Восточный; в) Северо-Восточный; г) Северо-Западный; д) Южный; е) Западный

**Fig. 2** Variation of cyclonic events count over the Sakha Republic (Yakutia) between 1950 and 2022, by subregions: a) Central; б) Eastern; в) North-Eastern; г) North-Western; д) Southern; е) Western

В *Центральном районе* (см. рис. 2, а) чаще всего циклональные события не отмечались в июле (1980-е гг.) и августе (после 2000 г.). В двух случаях, в 2010 и 2020 гг., циклональные события над этим районом не отмечались в течение всего летнего периода; предыдущий период низкой циклональной активности относится к 1960-м гг. В *Восточном районе* (см. рис. 2, б) обращает на себя внимание всплеск циклональной активности в 2004 г., в остальном же количество циклональных событий остается незначительным. В 2020 г., единственный раз за весь период, циклональные события над этим районом не отмечались в течение всего летнего периода. Визуальная оценка указывает также на увеличение дисперсии ряда сезонной повторяемости циклонов ориентировочно после середины 1980-ых гг.; тесты Барлетта и Левена ( $p < 0.01$ ) подтверждают эту гипотезу. В *Северо-Восточном районе* (см. рис. 2, в) регулярно в период с 1950 по 2022 г. отмечается отсутствие циклональных событий в августе, изредка – в июле. Абсолютный минимум числа циклональных событий (4) приходится на 2019 г., когда, напротив, три из четырех циклональных событий были отмечены в августе, и ни одного – в июле. На этом фоне отметим визуальную тенденцию к увеличению повторяемости циклонов, также с середины 1980-ых гг. до середины 2010-ых гг. В *Северо-Западном районе* (см. рис. 2, г) абсолютный максимум циклональной активности приходится на начало 1950-ых гг., что может как отражать реальность (например, более активный западный перенос), так и быть артефактом модели ERA5 или алгоритма трекинга циклонов. Исключая этот период,

количество циклональных событий в основном не испытывает направленных изменений. В Южном районе (см. рис. 2, д), как и в центре республики, количество циклональных событий невелико, часто снижается до нуля в августе, и регулярно достигает минимумов: в начале 1960-ых гг., в 1980-ых и начале 1990-ых гг., и затем два экстремальных периода: 2009-2010 гг. и 2019-2020 гг. В Западном районе (см. рис. 2, е) отсутствие циклональных событий может наблюдаться во все месяцы лета. Несмотря на значительную вариабельность, на графике можно отметить период увеличения количества летних циклональных событий (до середины 1980-ых гг.) и его снижения – после этого времени, и период наиболее низких значений – с начала 2010-ых гг., с абсолютным минимумом в 2021 г.

Повторяемость циклонов над территорией Республики Саха (Якутия) не испытывает направленных изменений в период между 1950 и 2022 г. (Табл. 2), за несколькими исключениями. В Западном районе до 2017 г. увеличивается количество циклональных событий июня; включение в климатический ряд периода 2018-2022 гг. выводит этот тренд в незначимые. В целом по Республике Саха (Якутия) уменьшается количество циклональных событий в августе, и значимый вклад в этот тренд внес именно минимум 2019-2021 гг.

Таблица 2 – Тренды в количестве циклональных ситуаций над территорией РС (Я), в разбивке по месяцам и районам (*p*-значения непараметрического теста Манна-Кендалла); в числителе – за период с 1950 по 2022 г., в знаменателе – за период с 1950 по 2017 г

*Жирным выделены значимые тренды, в скобках приведена интенсивность тренда, единиц за 10 лет*

	Июнь	Июль	Август	Итого
Восточный	<u>0.41</u> 0.37	<u>0.65</u> 0.38	<u>0.74</u> 0.91	<u>0.43</u> 0.30
Западный	<u>0.14</u> <b>0.01 (2.1)</b>	<u>0.55</u> 0.47	<u>0.46</u> 0.42	<u>0.36</u> 0.24
Северо-Восточный	<u>0.71</u> 0.07	<u>0.28</u> 0.91	<u>0.53</u> 0.91	<u>0.54</u> 0.41
Северо-Западный	<u>0.05 (-1.6)</u> 0.17	<u>0.52</u> 0.43	<u>0.22</u> 0.46	<u>0.14</u> 0.36
Центральный	<u>0.93</u> 0.84	<u>0.81</u> 0.85	<u>0.16</u> 0.20	<u>0.76</u> 0.98
Южный	<u>0.44</u> 0.10	<u>0.41</u> 0.58	<u>0.19</u> 0.46	<u>0.51</u> 0.89
РС (Я)	<u>0.90</u> 0.21	<u>0.58</u> 0.88	<u>0.03 (-1.7)</u> 0.11	<u>0.14</u> 0.71

Уменьшение числа циклональных событий в июне в Северо-Западной Якутии (см. табл. 2) связано исключительно с их максимумом в начале периода, и потому считается артефактом.

### Обсуждение

*Лесные пожары.* Лесные пожары происходят в Республике Саха (Якутия) регулярно, на территории центральной Якутии их периодичность составляет примерно 16-17 лет [8]. В последние чуть больше 20 лет к периодам с высокой пожарной активностью относят 2000-2003, 2008-2012 и 2017-2020 гг. [9], а также выдающийся пожарный максимум 2021 г. Предыдущие исследования сходятся во мнении, что горимость лесов контролируется климатическими условиями (точнее, метеопараметрами – температурой воздуха, осадками). Мы идем дальше этих выводов, чтобы показать, что метеорологические условия, приводящие к пожарам, определяются условиями атмосферной циркуляции конкретного года. Периодам с высокой пожарной активностью соответствуют минимумы количества циклональных ситуаций: в центральной Якутии – в 2000-2001 гг., 2009-2012 гг., 2020 г.; в южной Якутии – в 2009-2010 гг. и в 2019-2020 гг.; в западной Якутии – в 2021 г.; в остальных районах – в 2020 г. Основные факторы, определяющие

высокую горимость лесов, связаны с антициклональным типом погоды, поэтому неудивительно, что именно отсутствие циклонов в южной и центральной Якутии, особенно в течение нескольких лет подряд, определяет вероятность и интенсивность пожаров. В последующие годы, при восстановлении циклональной активности, возникновение крайне интенсивных пожаров связано с ветрами, возникающими при прохождении циклонов на фоне неблагоприятной лесопожарной обстановки. Требуется дополнительные исследования, чтобы объяснить, куда смещаются траектории циклонов в периоды «циклональных минимумов», какие погодные паттерны предшествуют этим минимумам, и каковы возможности прогноза таких ситуаций.

*Маловодье на реках бассейна р. Лена.* Как отмечено выше, недавний минимум циклональной активности в южной Якутии пришелся на 2019 г., когда в среднем и нижнем течении р. Лена наблюдалась экстремально низкая межень. На фоне проливных дождей, вызвавших наводнения в Иркутской области и на юге Дальнего Востока, в верхней части бассейна Лены сформировался значительный дефицит осадков, что вылилось в продолжительное стояние уровней воды ниже отметок опасного гидрометеорологического явления на основных гидрологических постах на р. Лена: г. Ленск (42 дня), г. Якутск (44 дня), пос. Сангар (10 дней), пос. Жиганск (39 дней). Предыдущее маловодье 2015 г. также было связано с отсутствием циклонов в южной части республики; оно наблюдалось на всех гидрологических постах на р. Лена от г.п. Пеледуй до г.п. Жиганск. Очевидно, что для более полного анализа роли атмосферной циркуляции в формировании низких межени на Лене необходим анализ циклональной активности и над территорией соседних регионов: Иркутской области, Республики Бурятия.

### **Заключение**

Повторяемость летних циклонов оказывает влияние на лесопожарную обстановку и условия судоходства на реках Республики Саха (Якутия), в том числе на реке Лена – основной транспортной артерии региона. Наша работа показала, что повторяемость циклонов наибольшая в северных районах республики, в связи с циклогенезом на полярном фронте, а также локальным циклогенезом на Янском нагорье; наименьшая их повторяемость – в южных и центральных районах. Преобладают июньские циклоны, однако в южной Якутии максимум циклональных событий приходится на июль, когда наиболее велика вероятность нарушения зональной циркуляции. Общее количество циклонов по районам со временем остается неизменным, увеличиваясь только в Западном районе в июне. Анализ циркуляционных паттернов, приводящих к прекращению прохождения циклонов над территорией Якутии, и их вероятная повторяемость в климате будущего остаются актуальными современными задачами в данном направлении исследований.

*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 2024 г.

### **Литература**

1. Хромов, С. П. Метеорология и климатология : учебник. – 7-е изд. / С. П. Хромов, М. А. Петросянц. – М.: Изд-во Моск. ун-та : Наука, 2006. – 582 с.
2. Климат Якутска / под редакцией Ц. А. Швер, С. А. Изюменко. Л.: Гидрометеоздат, 1982. – 246 с.
3. Поднебесных, Н. В. Крупномасштабная атмосферная циркуляция над Сибирью в конце XX – начале XXI веков: сравнение данных, полученных на основе приземных синоптических карт и реанализа / Н. В. Поднебесных, И. И. Ипполитов // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2019. – Т. 2. – С. 34–44.
4. Neu, U. IMILAST: a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms / U. Neu, M. G. Akperov, N. Bellenbaum, R. Benestad [et al.] // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2013. – Vol. 94, No. 4. – P. 529-547.

5. Hemisphere Extratropical Cyclone Tracks from ERA-5 [Data set]. 2020. CanWIN. DOI: 10.34992/ebnw-s681.
6. QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. – URL : <http://qgis.osgeo.org> (дата обращения: 12.05.2023). – Электронная программа : электронный.
7. RStudio: Integrated Development for R, v.1.2.5042. 2020. RStudio, Inc., Boston, MA, USA. – URL: <http://www.rstudio.com/>. – Электронная программа : электронная.
8. Николаев, А. Н. Дендрохронологические исследования пожаров на территории стационара «Нелегер» в Центральной Якутии / А. Н. Николаев, А. П. Исаев, Л. П. Габышева // Наука и образование. – 2012. – № 4. – С. 40-44.
9. Петров, М. И. Влияние климатических условий на лесные пожары в Центральной Якутии / М. И. Петров, А. Н. Федоров // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 248-260.

### References

1. Hromov, S. P. Meteorologija i klimatologija : uchebnik. – 7-e izd. / S. P. Hromov, M. A. Petrosjanc. – М.: Izd-vo Mosk. un-ta : Nauka, 2006. – 582 s.
2. Klimat Jakutska / pod redakcij C. A. Shver, S. A. Izjumenko. L.: Gidrometeoizdat, 1982. – 246 s.
3. Podnebesnyh, N. V. Krupnomasshtabnaja atmosfernaja cirkulacija nad Sibir’ju v konce HH – nachale HHI vekov: sravnenie dannyh, poluchennyh na osnove prizemnyh sinopticheskikh kart i reanaliza / N. V. Podnebesnyh, I. I. Ippolitov // Fundamental’naja i prikladnaja klimatologija. – 2019. – Т. 2. – С. 34–44.
4. Neu, U. IMILAST: a community effort to intercompare extratropical cyclone detection and tracking algorithms / U. Neu, M. G. Akperov, N. Bellenbaum, R. Benestad [et al.] // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2013. – Vol. 94, No. 4. – P. 529-547.
5. Hemisphere Extratropical Cyclone Tracks from ERA-5 [Data set]. 2020. CanWIN. DOI: 10.34992/ebnw-s681.
6. QGIS Development Team, 2023. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. – URL : <http://qgis.osgeo.org> (data obrashhenija: 12.05.2023).
7. RStudio: Integrated Development for R, v.1.2.5042. 2020. RStudio, Inc., Boston, MA, USA. – URL: <http://www.rstudio.com/>.
8. Nikolaev, A. N. Dendrochronologicheskie issledovanija pozharov na territorii stacionara «Neleger» v Central’noj Jakutii / A. N. Nikolaev, A. P. Isaev, L. P. Gabysheva // Nauka i obrazovanie. – 2012. – № 4. – С. 40-44.
9. Petrov, M. I. Vlijanie klimaticeskikh uslovij na lesnye pozhary v Central’noj Jakutii / M. I. Petrov, A. N. Fedorov // Prirodnye resursy Arktiki i Subarkтики. – 2023. – Т. 28, № 2. – С. 248-260.

### Сведения об авторах

*ИГНАТЬЕВА Юлиана Ивановна* – инженер-исследователь, лаборатория по изучению климата и экосистем северных регионов, СВФУ им. М.К. Аммосова

*IGNATYIEVA Yuliana Ivanovna* – research engineer, Climate and Northern Regions Ecosystems Research Lab, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ТАНАНАЕВ Никита Иванович* – к.г.н., доцент, заведующий лабораторией, СВФУ им. М.К. Аммосова; ведущий научный сотрудник, Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, e-mail: [tanni@s-vfu.ru](mailto:tanni@s-vfu.ru).

*TANANAIEV Nikita Ivanovich* – Candidate of Geographical Sciences (Hydrology), Head, Climate and Northern Regions Ecosystems Research Lab, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University; Leading Researcher, Vitus Bering Kamchatka State University, e-mail: [tanni@s-vfu.ru](mailto:tanni@s-vfu.ru)

*В.А. Карамзин, И.В. Ядрихинский, Л.А. Пестрякова*

СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

e-mail: yadroid@mail.ru

## **СНИЖЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРОМЫШЛЕННО-ОСВАИВАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ РАННЕГО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНЫХ И АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ)**

*Аннотация.* В рамках системы раннего предупреждения и технологических опасностях особое значение приобретает необходимость уведомления, а также определения, оценки и представления необходимой информации об источниках потенциальной опасности. Поскольку между стихийными бедствиями и технологическими катастрофами могут быть причинно-следственные связи, с этим высказываются все более серьезные опасения относительно того, что имеющаяся база знаний не позволяет своевременно предупреждать о возникновении многих опасностей или принимать меры по оказанию помощи.

Любая система раннего предупреждения имеет целью снижения риска как меры возможного эколого-экономического ущерба. Такое снижение, как правило, достигается непрерывным изучением информации о состоянии функционирования природно-технической системы. Отсюда возникает задача систематического сбора, накопления, обработки и анализа информации. Система непрерывного наблюдения, контроля и анализа за экологической обстановкой для последующего диагностирования и прогноза состояния объектов природы реализуется в рамках мониторинга, выступающего на трех уровнях – глобальном (планетарном), региональном и локальном.

Республика Саха (Якутия) является самым крупным регионом Российской Федерации с высококонцентрированным природно-ресурсным потенциалом, обеспечивающим полномасштабные проекты народнохозяйственного развития межрегионального и федерального значений. Якутия, площадь которой составляет 20 % от территории России, в геотехническом отношении представляет собой гигантский природный анклав, административные границы которого пересекают многие географически неоднородные экосистемы семи сопредельных территорий (административно независимых субъектов владения). В статье рассмотрены и раскрыты основные направления системы раннего предупреждения по предотвращению социоприродного риска применительно к Якутии, учитывая её природно-территориальную уникальность.

*Ключевые слова:* Якутия, экологическая безопасность, природно-техническая система, техносферная безопасность, промышленная экология, экологический риск, техногенный риск, экологический мониторинг, геотехнический мониторинг, социоприродный риск.

*V.A. Karamzin, I.V. Yadrikhinskiy, L.A. Pestryakova*

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

e-mail: yadroid@mail.ru

## **REDUCTION OF ENVIRONMENTAL RISK OF INDUSTRIALLY DEVELOPED TERRITORY THROUGH THE EARLY WARNING SYSTEM: THE CASE OF NORTHERN AND ARCTIC TERRITORIES OF THE RUSSIAN FEDERATION**

*Abstract.* Within early warning and technological hazards, the need to notify, and to identify, assess and provide the necessary information about the sources of potential hazards is of particular importance. Since there may be causal links between natural and technological disasters, there are increasing concerns that the available knowledge base does not allow for timely warning or relief measures for many hazards.

Any early warning system aims to reduce risk as a measure of potential environmental and economic damage. Such reduction, as a rule, is achieved by continuous study of information on the state of functioning of the natural-technical system. Hence the task of systematic collection, accumulation, processing and analysis of information arises. The system of continuous observation, control and analysis of the environmental situation for subsequent diagnosis and forecasting of the state of natural objects is realized within the framework of monitoring, which is performed at three levels – global (planetary), regional and local.

The Sakha Republic (Yakutia) is the largest region of the Russian Federation with a highly concentrated natural-resource potential, providing full-scale projects of national economic development of interregional and federal significance. Yakutia, the area of which is 20 % of Russia's territory, is a giant natural enclave in geotechnical terms, the administrative boundaries of which cross many geographically heterogeneous ecosystems of seven neighboring territories (administratively independent subjects of ownership). The article considers and reveals the main directions of the early warning system to prevent socio-natural risk as applied to Yakutia, taking into account its natural-territorial uniqueness.

*Keywords:* Yakutia, environmental safety, natural-technical system, technosphere safety, industrial ecology, environmental risk, technogenic risk, environmental monitoring, geotechnical monitoring, socio-natural risk.

### **Введение**

Уникальность Якутии связана также с тем, что более 40 % её территории расположено за Северным полярным кругом, а протяженность морской линии в составе арктического побережья составляет около 4,5 тыс. км. Тем не менее, регион содержит значительные участки антропогенно-трансформированной природной среды, что существенно повышает ответственность в сохранении устойчивой экологической ёмкости территории в условиях интенсивного хозяйственного развития Якутии и непрерывных трансграничных процессах, происходящих на всех сопредельных административно-территориальных образованиях.

Указанная проблема связана с необходимостью своевременной оценки многомерных экологических рисков ПТК Якутии через систему раннего (опережающего) предупреждения возможных экстремальных последствий для всей жизнеобеспечивающей среды региона.

### **Основная часть**

Обзор существующих международных программ в области раннего предупреждения (чрезвычайных ситуаций) в рамках системы ООН показывает, что не все возможные экологические риски на локальном, региональном и глобальном уровнях учитываются (а значит, и предотвращаются) [1]. Понятие раннего предупреждения экологического риска, как возможной экологически экстремальной ситуации, включает в себя три основных фактора. Первый фактор – технический, обеспечивающий возможность с помощью инструментальных средств измерений, контроля и диагностики, определять потенциальную опасность, угрожающую жизнеобеспечивающим компонентам экотопа и биоценоза. Второй фактор состоит в способности точно определять время и возможный масштаб угрозы популяциям биосферы и населению, или иными словами, дать оценку социоприродного риска в натуральных и стоимостных показателях. Третий фактор характеризует способность своевременной передачи информации о возможных экологически экстремальных и чрезвычайных последствиях службам оперативного реагирования для принятия мер по предотвращению негативных последствий.

Функции раннего предупреждения осуществляется различными профессиональными и специализированными службами. Если соответствующая служба в регионе способна решать только узкопрофильные вопросы (в рамках своей компетенции), а не комплекс задач по трём выше-названным факторам, то эффективность системы раннего предупреждения снижается. Поэтому каждый этап процесса предупреждения должен осуществляться комплексно, точно и своевременно, при полном понимании связи между профильными специалистами (квалификация, ведомственная ответственность и др.). Критерием успеха раннего предупреждения является хорошо организованная совместная работа различных участников межведомственной группы,

состоящей из представителей: природоохранных ведомств, академических и образовательных учреждений, специальных производственно-технологических подразделений отраслевых организаций, административных органов управления, средств массовой информации.

В отличие от природных стихийных бедствий (пожары, наводнения, оползни, и др.), которые носят, как правило, перманентный характер, техногенные опасности, в основном, пока относятся к трудно прогнозируемым, поскольку любая система раннего предупреждения имеет целью исключение социоприродного риска, связанного с долговременным экологическим и экономическим ущербом [2].

Эффективность раннего предупреждения оценивается двумя целеполагающими количественными критериями:

1. Предотвращенный экологический ущерб, который определяется расчетно-аналитическими методами на основе накопленной ретроспективной информации по данным отраслевого и общерегионального геотехнического мониторинга. Возможные составляющие предотвращенного ущерба могут рассматриваться и дифференцированно по отдельным составляющим экотопы и биоценоза. Но, возможна также оценка групповых и комплексных показателей;

2. Вероятный вариант и масштаб охвата экологической реконструкцией территории, подвергаемой антропогенной трансформации, исходя из количественных оценок возможной остаточной экологической ёмкости (при наличии и отсутствии системы раннего предупреждения).

Определение таких критериев должно учитывать: во-первых, разнообразие условий промышленного освоения территории по геолого-минералогическим, природно-климатическим, ландшафтно-географическим, биопопуляционным и другим факторам; во-вторых, разнохарактерность и взаимообусловленность техногенных нагрузок и воздействий на окружающую среду различных объектов, сооружаемых и эксплуатируемых в различных участках региона.

Система раннего предупреждения по предотвращению социоприродного риска применительно к Якутии, учитывая её природно-территориальную уникальность, требует разработки универсальной зональной классификации промышленного освоения территории по масштабам и опасностям воздействия на окружающую природную среду. Такая классификация реализуется по трём конкретным направлениям.

*Первое направление* – определение факторов техногенного воздействия на компоненты окружающей среды в процессе промышленного освоения территории. На этом этапе обосновывается номенклатурный состав техногенных факторов –  $\sum_{i=1}^n T_i$ , а также интенсивность их воздействий, оцениваемая коэффициентами экологической весомости  $v_{3i}$ . Уровень техногенного воздействия, характеризующий потенциальную экологическую опасность, может быть выражен в единичном и комплексном виде [3].

Такая градация оправдана для отдельного вида воздействия (например, механического, химического, теплового, биологического и т.п.) по единичному показателю  $U_i$ , и для суммарного воздействия в целом

$$U\left(\sum_{i=1}^n T_i\right)$$

по комплексному показателю:

$$U\left[\sum_{i=1}^n T_i (v_{3i})\right]$$

В этом случае расчётные соотношения по определению значений  $U_i$  и  $U$  имеют вид:

$$U_i = \frac{N[T_i(v_{3i})]}{S}$$

$$U = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{S}$$

где  $N[T_i(v_{Эi})]$  – величина  $T_i$ -го показателя конкретного вида воздействия, выраженная в системе единиц физических величин;  $S$  – размер участка территории, подвергаемого техногенному воздействию.

Количественная оценка уровня техногенного воздействия объекта строительства требует предварительного анализа, позволяющего определять значения  $N(T_i)$  и  $v_{Эi}$ .

В качестве примера, в таблице даны приближённые значения коэффициентов экологической весомости  $v_{Эi}$ , установленные опытным путём специалистами РАО Роснефтегазстрой по результатам и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта нефти и газа (см. табл.).

Таблица – Коэффициенты экологической весомости для нефтегазотранспортных систем

Виды техногенного воздействия объектов трубопроводного транспорта нефти и газа		Линейная часть магистрального трубопровода		Объекты наземного строительства	
		Нефтепровод	Газопровод	НПС; КС	Гражданские объекты
МЕХАНИЧЕСКОЕ					
$(v_{Эi})_M$	кратковременные	0,05	0,35	0,02	0,01
	долгосрочные	0,10	0,18	0,08	0,03
ТЕПЛОВЫЕ					
$(v_{Эi})_T$	кратковременные	0,30	0,25	0,05	0,04
	долгосрочные	0,35	0,35	0,17	0,12
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ					
$(v_{Эi})_Э$	кратковременные	0,05	0,15	0,12	0,09
	долгосрочные	0,25	0,32	0,20	0,20
БИОХИМИЧЕСКИЕ					
$(v_{Эi})_Б$	кратковременные	0,40	0,15	0,10	0,08
	долгосрочные	0,54	0,23	0,30	0,23

*Второе направление* – установление признаков и показателей антропогенной трансформации природного ландшафта в зонах промышленного освоения территории. В этом случае показатели также могут быть представлены в единичной и комплексной форме. При заданной номенклатуре таких показателей  $\sum_{i=1}^n a_i$  целесообразно в качестве обобщённого критерия антропогенного изменения природного ландшафта использовать размер (желательно в трёхмерном измерении) зоны трансформации  $R_3(r_3) = f_3(x, y, z)$ , где  $f_3$  – функция техногенного воздействия, определяющая реакцию окружающей среды в радиусе действия техногенного фактора  $R_3$ . Учитывая длительный (во времени,  $t$ ) характер взаимодействия промышленного объекта с окружающей средой, имеем

$$\begin{cases} U_t = \frac{\sum_{i=1}^n (U_i)t}{S_i} \\ R_3 \left[ r_3 \left( \sum_{i=1}^n a_i \right) \right] = f_3(x, y, z, t) \end{cases}$$

*Третье направление* – исследование особенностей природных ландшафтов, определяющих выбор экологической модели прогноза уровня опасности трансформирования окружающей среды под действием техногенных нагрузок. Существующие нормативно-технические требования на стадии проектирования и промышленного освоения конкретной территории, к сожалению, недостаточно аргументировано отражают зональный принцип классификации природных зон по степени их технофильности [4]. Это обстоятельство существенным образом ограничивает возможности снижения экологических рисков путём системы раннего предупреждения. Классификация таких зон на территории промышленного освоения Якутии включает следующие группы ландшафтов:

1. Ландшафты, обладающие высокими рекреационными показателями ( $L1$ ). Сохранность их должна обеспечиваться инженерным обустройством и биологической реконструкцией; постоянным восстановлением растительных сообществ; локализацией очагов повышенной техногенной нагрузки на почвенно-растительный покров; инженерно-геологической защитой многолетнемерзлых грунтов;

2. Ландшафты, содержащие в своих недрах месторождения полезных ископаемых ( $L2$ ). Обеспечение сохранности таких ландшафтов предъявляет повышенные требования к эксплуатационной надёжности сооружаемых промышленных объектов;

3. Сельскохозяйственные и лесные ландшафты, которые используются для получения сельхозпродукции ( $L3$ ). Их охрана обеспечивается рациональным, технологически и экологически грамотным использованием;

4. Ландшафты, которые малопригодны для сельского хозяйства или рекреационных зон, не содержат востребованных полезных ископаемых ( $L4$ ). Такие ландшафты предпочтительные для вспомогательного промышленного и гражданского строительства.

Для природно-территориального комплекса Якутии также экологически целесообразна регионально-специфическая градация основных районов строительства по географическим областям [5]:

- арктические тундры ( $R1$ );
- тундровые ландшафты ( $R2$ );
- северо-таёжные ( $R3$ );
- северо-таёжные низменные равнины ( $R4$ );
- тундрово-таёжное нагорье ( $R5$ );
- таёжное среднегорье ( $R6$ );
- возможные другие разновидности ( $R7$ ).

Каждая эколого-географическая ландшафтная группа ( $RL$  – группа), соответствующая конкретной зоне промышленного освоения территории, однозначно определяет допустимый уровень техногенного воздействия (техногенных нагрузок, изменений, ограничений)  $U_t^*$  и критические границы  $[(RL)_{\Sigma}]_{кр}$  антропогенной трансформации природной среды:

$$(R_i L_i) \rightarrow \Phi [U_t^*; R_{\Sigma T}]$$

### Заключение

Разработан принцип классификации природных зон сопредельных территорий по степени их технофильности, обеспечивающий необходимое условие снижения экологических рисков промышленно-осваиваемых территорий путём системы раннего предупреждения на территории Якутии и частично сопредельных территориях.

### Литература

1. Власюк, Т.А. Исследование стационарных состояний формирования и развития природных зон / Т.А. Власюк. – Текст : непосредственный // Транспорт: Наука, Техника, Управление. Научный информационный сборник, 2007. – № 5. – С. 47-51.

2. Ефимов, В.М. Геотехнический мониторинг в криолитозоне как условие обеспечения инженерно-экологической безопасности промышленного освоения территории / В.М. Ефимов, И.В. Ядрихинский, О.И. Молдаванов. – Текст : непосредственный // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации. Материалы Пятнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскательских организаций. 2019. – С. 259-267.

3. Мазур, И.И. Курс инженерной экологии. 2-е издание, испр. И доп / И.И. Мазур, О.И. Молдаванов. М., Высшая школа, 2001. – 510 с. ISBN: 5-06-004188-3. – Текст : непосредственный.

4. Экологическая защита социоприродной среды на промышленно-осваиваемых территориях: (Методологические основы экологической безопасности) / И. В. Ядрихинский, Д. А. Филатова, Т. Р. Егорова [и др.]. – Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2023. – 432 с. – ISBN 978-5-7513-3467-3. – Текст : непосредственный.

5. Ядрихинский, И. В. О значении фундаментальных исследований в решении глобальных экологических проблем / И. В. Ядрихинский. – Текст : непосредственный // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 4-2(106). – С. 30-35. – DOI 10.23670/IRJ.2021.106.4.030.

### References

1. Vlasjuk, T.A. Issledovanie stacionarnyh sostojanij formirovanija i razvitija prirodnyh zon / T.A. Vlasjuk. – Текст : непосредственный // Transport: Nauka, Tehnika, Upravlenie. Nauchnyj informacionnyj sbornik, 2007. – № 5. – С. 47-51.

2. Efimov, V.M. Geotekhnicheskij monitoring v kriolitozone kak uslovie obespechenija inzhenerno-jekologicheskoy bezopasnosti promyshlennogo osvoenija territorii / V.M. Efimov, I.V. Jadrinhinskij, O.I. Moldavanov. – Текст : непосредственный // Perspektivy razvitija inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federacii. Materialy Pjtnadcatoj Obssherossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii izyskatel'skih organizacij. 2019. – С. 259-267.

3. Mazur, I.I. Kurs inzhenernoj jekologii. 2-e izdanie, ispr. I dop / I.I. Mazur, O.I. Moldavanov. M., Vysshaja shkola, 2001. – 510 s. ISBN: 5-06-004188-3. – Текст : neposredstvennyj.

4. Jekologicheskaja zashhita socioprirodnoj sredy na promyshlennno-osvaivaemyh territorijah: (Metodologicheskie osnovy jekologicheskoy bezopasnosti) / I. V. Jadrinhinskij, D. A. Filatova, T. R. Egorova [i dr.]. – Jakutsk: Severo-Vostochnyj federal'nyj universitet imeni M.K. Ammosova, 2023. – 432 s. – ISBN 978-5-7513-3467-3. – Текст : neposredstvennyj.

5. Jadrinhinskij, I. V. O znachenii fundamental'nyh issledovanij v reshenii global'nyh jekologicheskikh problem / I. V. Jadrinhinskij. – Текст : непосредственный // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. – 2021. – № 4-2(106). – С. 30-35. – DOI 10.23670/IRJ.2021.106.4.030.

### Сведения об авторах

*КАРАМЗИН Владимир Алексеевич* – аспирант Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: kramzivil@mail.ru

*KARAMZIN Vladimir Alekseevich* – postgraduate student, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: kramzivil@mail.ru

*ЯДРИХИНСКИЙ Иван Васильевич* – к.г.н., доцент экологического отделения Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: yadroid@mail.ru

*YADRIKHINSKY Ivan Vasilyevich* – Candidat of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: yadroid@mail.ru

*ПЕСТРЯКОВА Людмила Агафьевна* – д.г.н., профессор, г.н.с. Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: lapest@mail.ru

*PESTRYAKOVA Lyudmila Agafyevna* – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: lapest@mail.ru

*К.А. Обутов, Ю.Г. Данилов*

СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

e-mail: obutov-kirill@mail.ru

e-mail: dan57sakha@mail.ru

## **АВТОМАТИЗАЦИЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ РЕЧНЫХ БАССЕЙНОВ МАЛЫХ РЕК НА ПРИМЕРЕ ХАНГАЛАССКОГО РАЙОНА РС (Я)**

*Аннотация.* В настоящее время слабая развитость и закрытость геоинформационных систем (ГИС), привязанных к речным бассейнам в России, может затруднять работу важных оперативных служб природоохранного и гидрометеорологического наблюдения. Важно отметить, что упрощение и ускорение выделения бассейнов рек, посредством открытого программного обеспечения, может позволить значительно оптимизировать работу исследователей, особенно в условиях, когда важно оперативно реагировать на наводнения и паводки в сжатые сроки. Целью данной работы является автоматизация процессов выделения водосборных бассейнов рек, что может помочь при исследовании обширных территорий Дальнего Востока, а также способствовать созданию эффективных систем прогнозирования и мониторинга. В исследовании представлен автоматизированный подход к идентификации водосборных бассейнов, базирующийся на использовании геопространственных данных и алгоритмов обработки информации. Представленный метод демонстрирует эффективное выделение границ водосборных бассейнов, что позволяет упростить процесс исследования и повысить точность полученных данных. Исследование проводилось на примере Хангаласского района РС (Я). Данные цифровой модели рельефа корректировались (проецирование в местную систему координат и приведение значений пикселей к одинаковому размеру, выделение необходимой области), а затем использовались для быстрого, посредством разработанного авторами алгоритма, выделения водосборных бассейнов. Алгоритм представляет собой модуль для QGIS, который по очереди использует инструменты QGIS и GDAL (“Fill sinks”, “Flow accumulation”, “Upslope area” и др.), что значительно ускоряет процесс создания материалов для дальнейших исследований. Результаты исследования подчеркивают доступность получения информации о геосистемах речных бассейнов как о целостных системах и выдвигают перспективу улучшения ГИС-процессов, связанных с водными ресурсами, для более эффективного мониторинга экосистем и принятия решений в области природоохраны.

*Ключевые слова.* ГИС, автоматизация выделения, автоматизация определения, водосборные бассейны, границы бассейнов, Республика Саха (Якутия), GDAL, QGIS, SAGA GIS.

*К.А. Obutov, Yu.G. Danilov*

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

e-mail: obutov-kirill@mail.ru

e-mail: dan57sakha@mail.ru

## **AUTOMATION OF DETERMINING THE BOUNDARIES OF RIVER BASINS OF SMALL RIVERS: THE CASE OF KHANGALASSKY DISTRICT, SAKHA REPUBLIC (YAKUTIA)**

*Abstract.* Currently, the absence of a GIS system linked to river basins in Russia may complicate the work of important operational environmental and hydrometeorological surveillance services. It is important to note that simplifying and accelerating the allocation of river basins through open source software can significantly optimize the work of researchers, especially in conditions where it is important to respond promptly to floods and floods in a short time. The purpose of this work is to automate the allocation of river catchment areas, which can help in the study of vast territories of the Far East, as well as contribute to the creation of effective forecasting and monitoring systems. The study presents an automated approach to the identification of watersheds based on the

use of geospatial data and information processing algorithms. The presented method demonstrates the effective allocation of watershed boundaries, which makes it possible to simplify the research process and increase the accuracy of the data obtained. The study was conducted within the boundaries of Khangalassky district of the SR(Ya). The data obtained using digital terrain models were corrected, and then used for rapid allocation of watersheds by means of an algorithm developed by the authors. The algorithm is a module for QGIS, which uses the QGIS and GDAL tools in turn, which significantly speeds up the process of creating materials for further research. The results of the study emphasize the accessibility of obtaining information about the geosystems of river basins as integral systems and put forward the prospect of improving GIS processes related to water resources for more effective monitoring of ecosystems and decision-making in the field of environmental protection.

*Keywords:* GIS, automation of allocation, automation of definition, catchment basins, basin boundaries, Sakha Republic (Yakutia), GDAL, QGIS, SAGA GIS.

## **Введение**

Речной бассейн для пространственной оценки территорий суши умеренного пояса Земли является наиболее доступной и эффективной единицей оценки геосистем. Показано, что бассейны рек, озер и морей – самые распространенные на поверхности суши природные комплексы высокой степени целостности, с четкими границами-водоразделами, обладающие мощным интегрирующим фактором – водным потоком [1]. Во многих российских научных работах [1, 2, 3] исследователи сходятся во мнении, что бассейн является многомерной и самостоятельной системой, обладающей рядом особенностей и закономерностей: уникальность, иерархичность, устойчивость, саморегулирование. А также историчность – речной бассейн представляет собой результат исторического развития территории и слагающих ее элементов: почв, рек, материнской породы и биоты. И такая совокупность данных выделяет главную особенность – универсальность, бассейновые системы могут служить базовой единицей при пространственной организации земной поверхности, так как всю поверхность Земли можно представить совокупностью бассейновых систем разного масштаба [3] обладающих при этом объективными границами – водоразделами.

Благодаря этому, бассейновая концепция природопользования дает возможность получать нетрадиционные результаты на «стыках» наук и позволяет использовать бассейны как топологическую единицу при последовательном переходе от локального к региональному и национальному уровням исследования [4]. И так как бассейновая концепция укоренилась и используется во многих исследованиях [4, 5, 6], и завязана на работе с большим количеством речных сетей, в том числе малых, детальное построение каждого отдельного бассейна может занимать довольно много времени. Следующим логичным шагом может являться упрощение и ускорение выделения этих самых бассейнов. Что является актуальной задачей природопользования, так как данный момент в России нет доступной ГИС (за исключением HydroSheds), привязанной к речным бассейнам. Что затрудняет налаживание необходимой инфраструктуры оперативного прогнозирования и реагирования в следствие все более регулярно случающихся наводнений и паводков на Дальнем Востоке России.

Целью данной работы является автоматизация части процессов при построении водосборных бассейнов рек на примере рек второго и третьего порядков р. Лена в Хангаласском районе Якутии.

## **Материалы и методы исследования**

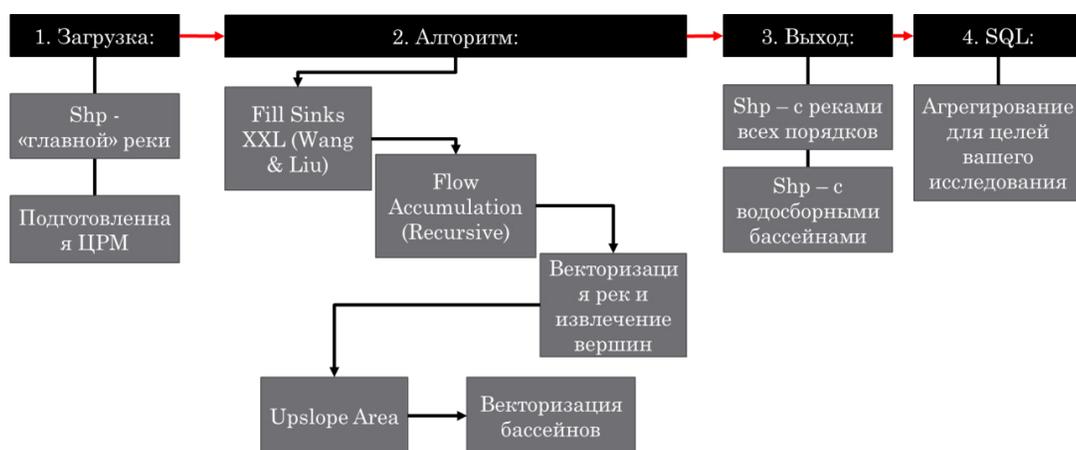
В качестве исследовательского региона был выбран Хангаласский район Республики Саха Якутия. Этот регион был выбран вследствие слабой географической изученности бассейнов малых рек и большой изменчивости климатических и разнообразию орографических условий.

На данный момент существует множество цифровых моделей рельефа (далее – ЦМР), но многие из них имеют различные недостатки: будь то ограниченный набор данных, в связи с тем, что материалов для территории, располагающейся севернее 60° С.Ш. меньше, до различ-

ных искажений в равнинных регионах, где ошибки высот превышали изменчивость топографии [7]. Итого из доступных для исследования моделей, имеющих в открытом доступе, остаются лишь ArcticDEM [8], SRTM3 v2.1 и AW3D-30m v1, в которых устранены основные компоненты ошибок из существующих ЦМР (NASA SRTM3 DEM, JAXA AW3D DEM, Viewfinder Panoramas' DEM) [7], имеют охват выше 60 С.Ш. и достаточное разрешение.

После подбора исходных данных, но перед основной работой происходит корректировка полученных ЦМР с помощью программного обеспечения QGIS, а именно инструмента Resampling для установления одинакового разрешения растров (если они получены из разных источников), а также для проецирования их в местную систему координат.

Затем авторами был применен модуль, написанный для данной работы для QGIS, который позволяет массово и быстро выделять бассейны рек второго и третьего порядков. Его суть заключается в использовании инструментов, которые есть в QGIS и GDAL, но в автоматическом режиме. Алгоритм работы модуля (рис. 1) заключается в том, что оператор добавляет ЦМР и векторный файл реки Лена, а затем модуль поочередно выполняет различные встроенные в QGIS, SAGA GIS и GDAL инструменты для выделения водосборных бассейнов рек.



**Рис. 1.** Алгоритм работы модуля для выделения речных бассейнов. (Красные линии показывают переход между «шагами», черные – взаимодействия внутри «шагов»)

**Fig. 1** The algorithm of the module for the allocation of river basins.

(The red lines symbolize the transition between the “steps”, the black lines represent the interactions within the “steps”)

Сначала это заполнение локальных понижений [9] и выделение потока речной сети (рис. 2), затем построение вершин, которые будут служить створом для выделения порядка рек и после этого построение речного бассейна. Изначально бассейны рек представлены в растровом формате, поэтому данные векторизуются и как итог получается два векторных слоя: с речной сетью (в атрибутах, которой прописан порядок рек) и речные бассейны.

Заключаящим этапом была корректировка полученных векторных файлов – удаление некорректных полигонов, лежащих вне речной системы Лены

Результаты построения границ бассейнов рек в автоматическом режиме представляется в виде векторного слоя полигональных объектов (бассейнов рек и включенных межприточных пространств, если такие имеются). Также особенностью работы является высокая зависимость от исходных данных, так иногда при заполнении понижений карстовые провалы воспринимались за водные объекты, что создавало несколько обманчивую картину наличия речных систем там, где они отсутствуют. К тому же в связи с особенностью автоматизации выделения

```
def fill_sinks(input_raster, output_raster):
    input_dataset = gdal.Open(input_raster, gdalconst.GA_ReadOnly)
    input_band = input_dataset.GetRasterBand(1)
    nodata = input_band.GetNoDataValue()

    # Чтение данных в массив NumPy
    data = input_band.ReadAsArray()
    data_copy = data.copy()

    # Заполнение впадин (Fill Sinks)
    for i in range(1, data.shape[0] - 1):
        for j in range(1, data.shape[1] - 1):
            if data[i, j] == nodata:
                data_copy[i, j] = np.nan
    filled_data = fill(data_copy)

    # Запись результатов в новый растровый файл
    driver = gdal.GetDriverByName('GTiff')
    output_dataset = driver.Create(output_raster, input_dataset.RasterXSize, input_dataset.RasterYSize, 1, gdalconst.GDT_Float32)
    output_dataset.SetGeoTransform(input_dataset.GetGeoTransform())
    output_dataset.SetProjection(input_dataset.GetProjection())
```

**Рис. 2.** Пример функции заполнения понижений  
**Fig. 2** An example of the function of filling depressions

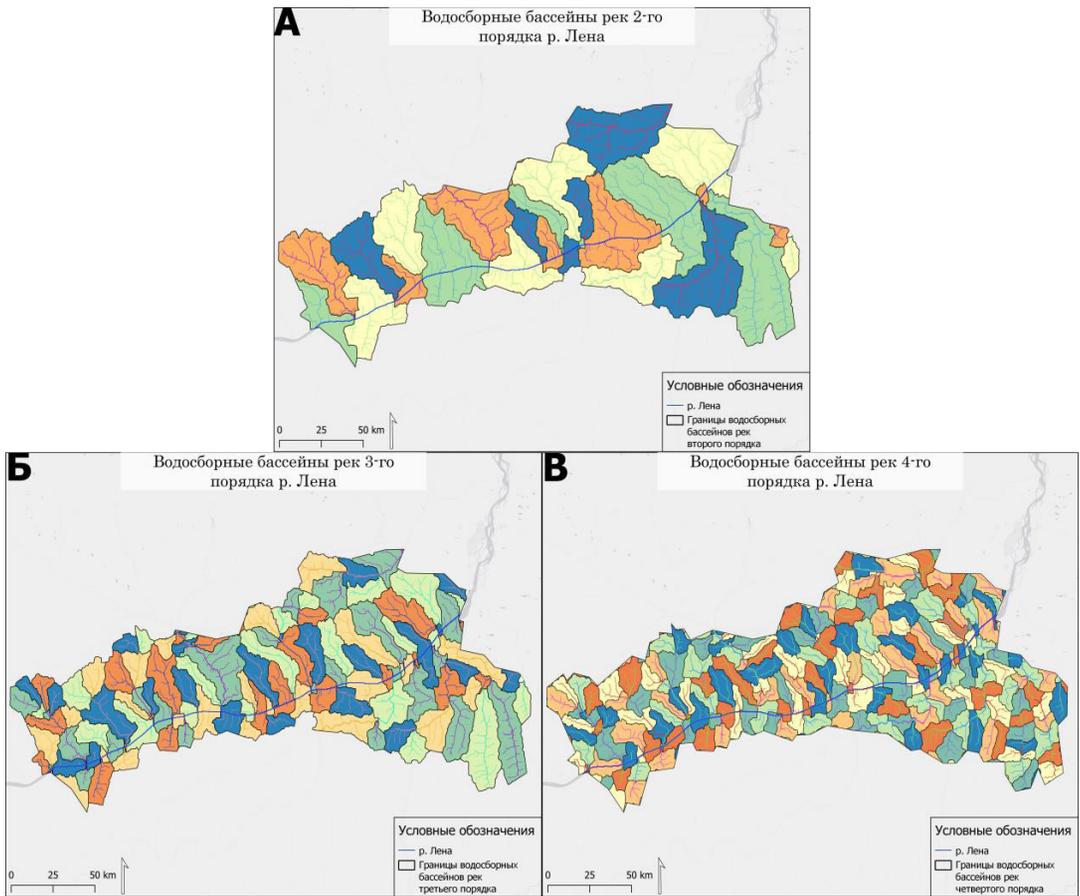
речных створов (которое необходимо для правильного определения иерархического порядка реки), иногда происходило ошибочное присвоение места в порядке, эта проблема на данном уровне исследования решается путем быстрого осмотра атрибутивной таблицы на наличие аномалий и последующее исправление их.

### Результаты исследования

Результатом работы алгоритма является набор векторных данных, с помощью которого были созданы карты малых речных бассейнов (рис. 3), а также созданная на их основе база данных. Это позволяет довольно быстро собрать необходимый материал для изучения особенностей бассейновых геосистем, их формирования и саморегулирования, а также проводить тематическое и комплексное картографирование бассейнов с достаточно высокой степенью пространственной детальности и экономией времени.

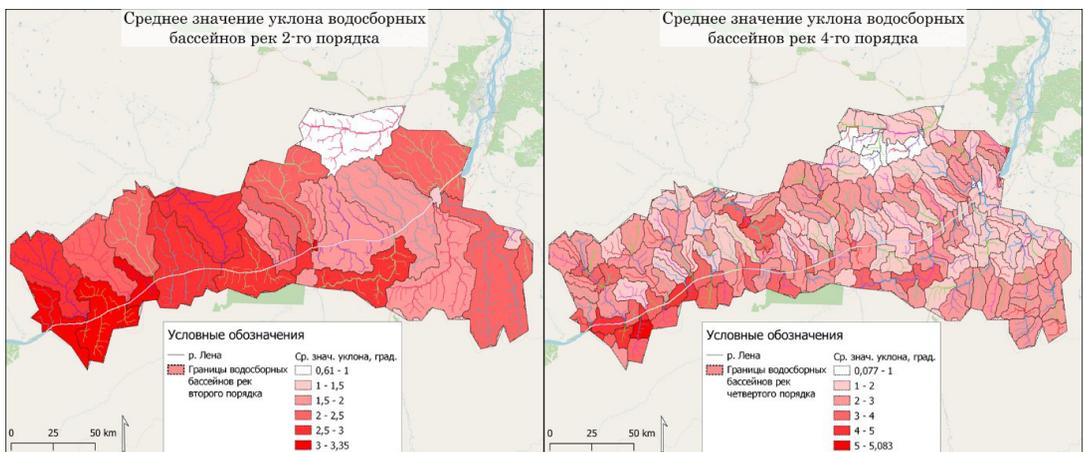
На основе полученных можно рассчитать различные морфометрические характеристики, например, средний уклон бассейнов рек второго и четвертого порядков (рис. 4) и построенные на этой же основе таблица и диаграмма (рис. 5).

Как видно из рис. 4, 5 в районе исследования доминирует покатый тип рельефа, занимая больше половины площади района, средний уклон составляет  $\sim 2^\circ$ , а наиболее высокий уклон наблюдается на правом берегу Лены выше по течению. Приведенные методы и данные могут быть использованы в дальнейших исследованиях и расчетах.



**Рис. 3.** Карта водосборных бассейнов рек 2-го (А), 3-го (Б), 4-го (В) порядков р. Лена (Различными цветами выделены речные системы)

**Fig. 3** Map of catchment basins of rivers of the 2nd (A), 3rd (B), 4th (C) orders of the Lena River (River systems are highlighted in different colors)



**Рис. 4.** Среднее значение уклона водосборных бассейнов рек 2-го (слева) и 4-го (справа) порядков р. Лена в Хангаласском районе

**Fig. 4** The average slope of the catchment basins of the rivers of the 2nd (left) and 4th (right) orders of the Lena River in Khangalassky district



Рис. 5. Доля типа уклона от общей площади водосбора р. Лена в Хангаласском районе

Fig. 5 The proportion of the slope type from the total catchment area of the Lena River in Khangalassky district

### Заключение

В данном исследовании авторами проведена предварительная обработка исходных данных, коррекция ЦМР. Построены границы водосборных бассейнов на всю территорию исследования в автоматическом режиме. Создана карта бассейновых геосистем малых рек, соответствующая локальному уровню генерализации.

Предложенный в данной работе алгоритм позволяет автоматизировать построение и расчет характеристик водосборных бассейнов для более быстрой агрегации данных. Это, в свою очередь, позволяет значительно экономить время при выполнении следующих задач: подготовка растровых и векторных данных, разбиение крупного водосбора на меньшие бассейны, вычисление геоморфологических характеристик.

### Литература

1. Корытный, Л.М. Бассейновая концепция: от гидрологии к природопользованию / Л.М. Корытный. – Текст: непосредственный // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 5-16. – DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(5-16). – EDN YSKUWF.
2. Антипов, А.Н. Сибирская школа ландшафтной гидрологии. Географо-гидрологические исследования / А.Н. Антипов, Л.М. Корытный – Текст: непосредственный // Вопросы географии. – 2012. – № 133. – С. 32-47. – EDN TLYUWX.

3. Шишкин, А.С. Бассейновый принцип организации ландшафтных структур / А.С. Шишкин, Т.А. Буренина, Т.В. Пономарева, Д.Ю. Ефимов. – Текст: непосредственный // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски : Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Красноярск, 26–31 августа 2019 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Научный совет РАН по проблемам леса, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Сибирский федеральный университет, Международный институт прикладного системного анализа, Международная ассоциация исследователей бореальных лесов. – Красноярск: Институт леса СО РАН, 2019. – С. 524-528. – EDN EPBDDR.
4. Плотникова, А.С. Выделение границ водосборных бассейнов рек на локальном пространственном уровне / А.С. Плотникова, А.О. Харитонова. – Текст: непосредственный // Вопросы лесной науки. – 2018. – Т. 1, № 1. – С. 1-10. – DOI 10.31509/2658-607X-2018-1-1-1-10. – EDN VRHPKX.
5. Ермолаев, О.П. Картографическая модель бассейновых геосистем малых рек водосбора реки Лены / О.П. Ермолаев, К.А. Мальцев, С.С. Мухарамова [и др.]. – Текст: электронный // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. – 2018. – Т. 160, № 1. – С. 126-144. – EDN XUGKPR.
6. Балдаков, Н.А., Кудишин А. В. Автоматизация расчета характеристик водосборного бассейна для решения задач моделирования поверхностного стока / Н.А. Балдаков, А.В. Кудишин. – Текст: электронный // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2019. – Т. 4, № 1. – С. 83-89. – DOI 10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89. – EDN JNEMGJ.
7. Yamazaki, D. A high accuracy map of global terrain elevations / D. Yamazaki, D. Ikeshima, R. Tawatari, T. Yamaguchi, F. O’Loughlin, J.C. Neal, C.C. Sampson, S. Kanae, P.D. Bates. Text : original // Geophysical Research Letters. 2017. Vol. 44, Is. 11. P. 5844–5853. DOI: 10.1002/2017GL072874.
8. Porter Claire “ArcticDEM, Version 4.1” / Claire Porter [et al.]. – Text : electronic // Harvard Dataverse, V1, 2023, DOI : 10.7910/DVN/3VDC4W, [20.04.2024]
9. Wang, L. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling / L. Wang, H. Liu. – Text : electronic // International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20, No. 2: 193-213.

## References

1. Korytnyj, L.M. Bassejnovaja koncepcija: ot gidrologii k prirodopol’zovaniju / L.M. Korytnyj. – Текст: непосредственный // География и природные ресурсы. – 2017. – № 2. – С. 5-16. – DOI 10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(5-16). – EDN YSKUWF.
2. Antipov, A.N. Sibirskaja shkola landshaftnoj gidrologii. Geografo-gidrologicheskie issledovanija / A.N. Antipov, L.M. Korytnyj – Текст: непосредственный // Вопросы географии. – 2012. – № 133. – С. 32-47. – EDN TLYUWX.
3. Shishikin, A.S. Bassejnovyj princip organizacii landshaftnyh struktur / A.S. Shishikin, T.A. Burenina, T.V. Ponomareva, D.Ju. Efimov. – Текст: непосредственный // Лесные экосистемы бореальной зоны: биоразнообразие, биоэкономика, экологические риски : Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Красноярск, 26–31 августа 2019 года / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН, Научный совет РАН по проблемам леса, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, Сибирский федеральный университет, Международный институт прикладного системного анализа, Международная ассоциация исследователей бореальных лесов. – Красноярск: Институт леса СО РАН, 2019. – С. 524-528. – EDN EPBDDR.
4. Plotnikova, A.S. Vydelenie granic vodosbornyh bassejnov rek na lokal’nom prostranstvennom уровне / A.S. Plotnikova, A.O. Haritonova. – Текст: непосредственный // Вопросы лесной науки. – 2018. – Т. 1, № 1. – С. 1-10. – DOI 10.31509/2658-607X-2018-1-1-1-10. – EDN VRHPKX.

5. Ermolaev, O.P. Kartograficheskaja model' bassejnovyh geosistem malyh rek vodosbora reki Leny / O.P. Ermolaev, K.A. Mal'cev, S.S. Muharamova [i dr.]. – Tekst: jelektronnyj // Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Serija: Estestvennye nauki. – 2018. – T. 160, № 1. – S. 126-144. – EDN XUGKPR.

6. Baldakov, N.A., Kudishin A. V. Avtomatizacija rascheta harakteristik vodosbornogo bassejna dlja reshenija zadach modelirovanija poverhnostnogo stoka / N.A. Baldakov, A.V. Kudishin. – Tekst: jelektronnyj // Interjekspo Geo-Sibir'. – 2019. – T. 4, № 1. – S. 83-89. – DOI 10.33764/2618-981X-2019-4-1-83-89. – EDN JNEMGJ.

7. Yamazaki, D. A high accuracy map of global terrain elevations / D. Yamazaki, D. Ikeshima, R. Tawatari, T. Yamaguchi, F. O'Loughlin, J.C. Neal, C.C. Sampson, S. Kanae, P.D. Bates. Text : original // Geophysical Research Letters. 2017. Vol. 44, Is. 11. P. 5844–5853. DOI: 10.1002/2017GL072874.

8. Porter Claire “ArcticDEM, Version 4.1” / Claire Porter [et al.]. – Text : electronic // Harvard Dataverse, V1, 2023, DOI : 10.7910/DVN/3VDC4W, [20.04.2024]

Wang, L. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling / L. Wang, H. Liu. – Text : electronic // International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20, No. 2: 193-213.

#### Сведения об авторах

*ОБУТОВ Кирилл Андреевич* – аспирант Эколого-географического отделения Института естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: obutovkirill@gmail.com

*OBUTOV Kirill Andreevich* – postgraduate student, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: obutovkirill@gmail.com

*ДАНИЛОВ Юрий Георгиевич* – к.г.н., заместитель ректора СВФУ по вопросам устойчивого развития арктических территорий, профессор эколого-географического отделения ИЕН СВФУ, доцент, e-mail: dan57sakha@mail.ru

*DANILOV Yuri Georgievich* – Candidate of Geographical Sciences, Deputy Rector for Sustainable Development of the Arctic Territories, Associate Professor, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: dan57sakha@mail.ru

*И.В. Ядрихинский, Д.Н. Попова, В.А. Карамзин, Е.А. Сивцева, Н.В. Эверстов,  
С.Н. Левина, П.В. Давыдова, А.А. Эверстова, А.В. Егоров*

СВФУ им. М.К. Аммосова, г. Якутск, Россия

e-mail: yadroid@mail.ru

## ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА БИОГЕОЦЕНОЗА В ГРАНИЦАХ АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПРОМЫШЛЕННО ОСВАИВАЕМОЙ ТЕРРИТОРИИ

*Аннотация.* В настоящее время перед научным сообществом стоит задача выявления и минимизации негативного воздействия на природную среду и связанные с ней экологические риски, обусловленных с влиянием на экосистемы, в особенности – антропогенных факторов связанных с ней экологические риски. Определяющая роль в оценке экологического риска заключается в определении вероятности возникновения эффектов различной природы в экосистемах в результате влияния техногенных факторов и принятии мер по предотвращению их негативного воздействия. Целью представленного теоретического исследования было изучение и анализ принципа общесистемной методологии количественной оценки качества биогеоценоза в границах антропогенного влияния на устойчивость промышленно осваиваемой территории. Рассмотренный принцип может дать предпосылки для внесения изменений в нормы природопользования в России.

*Ключевые слова:* геоэкология, биогеоценоз, антропогенное влияние, геоэкологическое равновесие, техносферная безопасность, биосфера, экосистема, промышленная экология, экология Якутии, социоприродный риск.

*I.V. Yadrikhinskiy, D.N. Popova, E.A. Sivtseva, N.V. Everstov,  
S.N. Levina, P.V. Davydova, A.A. Everstova, A.V. Egorov*

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

e-mail: yadroid@mail.ru

## ASSESSMENT OF BIOGEOCENOSIS QUALITY WITHIN THE BOUNDARIES OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON THE SUSTAINABILITY OF AN INDUSTRIALLY DEVELOPED TERRITORY

*Abstract.* Currently, the scientific community faces the task of identifying and minimizing the negative impact on the natural environment and related environmental risks caused by the impact on ecosystems, especially anthropogenic factors related environmental risks. The determining role in the assessment of environmental risk is to determine the probability of occurrence of effects of different nature in ecosystems because of anthropogenic factors and to take measures to prevent their negative impact. The purpose of the presented theoretical study was to study and analyze the principle of system-wide methodology of quantitative assessment of biogeocenosis quality within the boundaries of anthropogenic influence on the sustainability of industrially developed territory. The considered principle can provide prerequisites for making changes in the norms of nature management in Russia.

*Keywords:* biogeocenosis, anthropogenic influence, geo-ecological balance, technosphere safety, biosphere, ecosystem, industrial ecology, ecology of Yakutia, socio-natural risk.

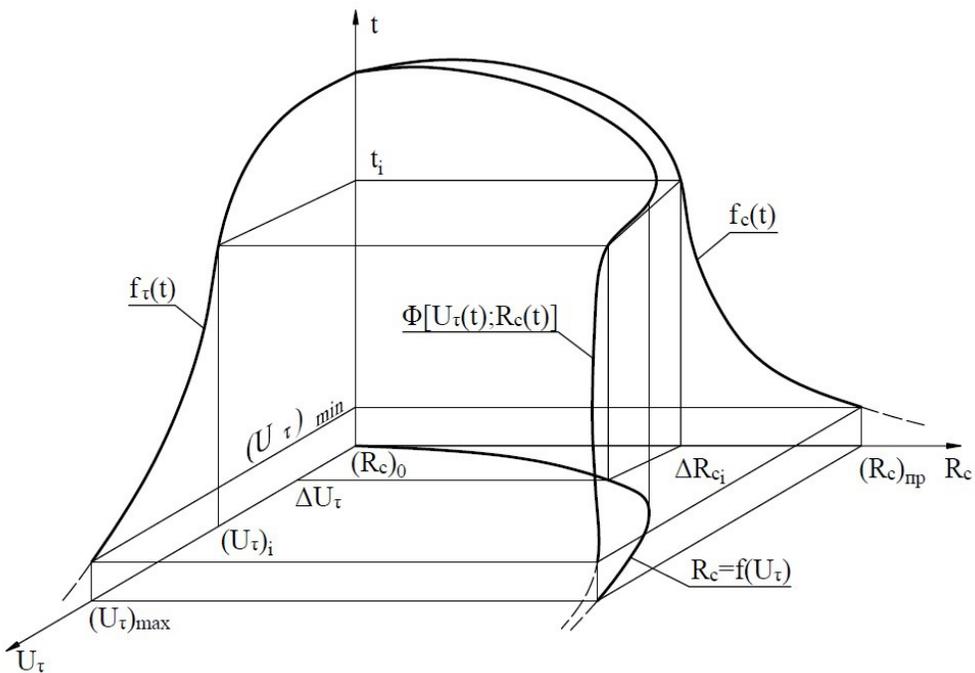
### Введение

Основные принципы природопользования как системы количественной и качественной оценки биогеоценоза (экосистемы) в условиях усиливающегося интенсивного антропогенного

освоения сопредельных территорий, играют ключевую роль в минимизации социоприродных рисков по всем отраслевым уровням промышленного техногенеза. Проблема эффективного недро-, и природопользования – важнейшая задача экологической безопасности на региональном и федеральном уровнях. Природные ресурсы – источник благополучия народа и страны, и основа модернизации принципов промышленного освоения природно-технических систем. Повышение эффективности использования природных ресурсов должна стать общей основной задачей науки, менеджмента, инженерии, предпринимательства, да и всего экономически активного населения страны.

**Основная часть**

Установление точных количественных связей между комплексным показателем уровня техногенного воздействия на экосистему территории  $U_T$  и величиной социоприродного риска  $R_C$ , обусловленного негативной трансформацией компонентов биогеоценоза, является важным условием экологически безопасного природопользования любой территории [1], включая в Республике Саха (Якутия) и её сопредельных территориях. Изменение показателей состояния природно-технической геосистемы в масштабах любой осваиваемой территории носит функциональный характер –  $U_T = f_T(t), R_C = f_C(t)$ . На основе таких функциональных характеристик, устанавливаемых по результатам комплексного регионального мониторинга, может быть построена аналитическая модель, которая позволит устанавливать взаимосвязь между  $U_T(t)$  и  $R_C(t)$  в виде функционала  $\Phi[f_T(t), R_C = f_C(t)]$ . На рис. 1. представлена геометрическая интерпретация кривой изменения данного функционала, имеющего своими проекциями на плоскость  $(U_T - t)$  кривую изменения координаты комплексного показателя техногенного влияния на биогеоценоз территории  $f_T(t)$ ; на плоскость  $(R_C - t)$  кривую изменения координаты социоприродного риска. Проекция на плоскость  $(U_T - R_C)$  отражает непосредственно количественную связь между  $U_T$  и  $R_C$ .



**Рис. 1.** Геометрическая интерпретация функциональной взаимосвязи комплексных показателей техногенеза  $U_T(t)$  и социоприродного риска  $R_C(t)$  в составе промышленно осваиваемых территорий  
**Fig. 1.** Geometric interpretation of the functional relationship of complex indicators of technogenesis  $U_T(t)$  and socio-natural risk  $R_C(t)$  in the composition of industrially developed territories

В общем функционал  $\Phi[U_T(t); R_C(t)]$  может быть определён по двум любым его составляющим (формула 1.1) или в неявном виде (формула 1.2):

$$\left. \begin{aligned} R_C &= f_1(t) \\ U_T &= f_2(t) \\ R_C &= f_3(U_T) \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

$$\left. \begin{aligned} \Phi_1[R_C, t] &= 0 \\ \Phi_2[U_T, t] &= 0 \\ \Phi_3[R_C, U_T] &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

Полный дифференциал функции  $R_C = f(U_T, t)$ , выраженный через две другие обобщённые координаты, имеют вид (формула 2)

$$dR_C = \frac{\partial R_C}{\partial U_T} dU_T + \frac{\partial R_C}{\partial t} dt \quad (2)$$

Рассмотренные функциональные характеристики в их геометрической интерпретации, позволяют воспользоваться теорией линейных уравнений в частных производных и дать математическое описание по всем производным исследуемого функционала. Пределы интегрирования в расчётных уравнениях выбирают исходя из квалиметрической оценки экологической эффективности конкретной территории (имея ввиду показатели экологической ёмкости, устойчивости баланса или величины социоприродного риска), а также масштаба техногенной нагрузки (формула 3):

$$\left. \begin{aligned} (R_C)_0 &\rightarrow \Delta R_{C_i} \rightarrow (R_C)_{np} \\ R_{C_0}(U_{T_0}) &\rightarrow \Delta R_{C_i}(\Delta U_{T_i}) \rightarrow R_{C_{np}}(U_T)_{np} \\ e_0(U_{t_0}) &\rightarrow e_i(U_T)_i \rightarrow e_{np}(U_T)_{np} \\ (U_T)_{min} &\rightarrow \Delta U_{T_i} \rightarrow (U_T)_{max} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Условие (1) характеризует условие эффективности природопользования, по комплексным показателям качества биогеоценоза исследуемой территории определяет геоэкологическое равновесие с точки зрения предельно допустимых норм жизнеобеспечивающим показателям биосферы региона [2,3]. Понятие предельно допустимой нормы требует глубокого обоснования исходя из квалиметрической оценки:

- локального экологически негативного воздействия, характеризуемого интенсивностью  $m_e$  местных потерь конкретного вида;
- возможности развития необратимых состояний экологического равновесия;
- потенциальных экологических резервов (оцениваемых экологической ёмкостью территории) в рассматриваемом временном интервале взаимодействия  $\Delta t$  техногенного объекта с окружающей средой.

По отдельным реализованным промышленно-хозяйственным объектам Республики Саха (Якутия) масштабы техногенного воздействия на компоненты экотопа и биоценоза стали превышать их защитный потенциал [4]. Это обусловлено, прежде всего, непрерывным накоплением загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, воде, почве. В результате окружающая среда необратимо и опасно меняет свои количественные и качественные показатели не только в локальном, но и региональном масштабе. Аналогичная ситуация прослеживается практически на всех сопредельных территориях Якутии, что свидетельствует о необходимости совместных научно скоординированных решений по реализации экологически допустимых норм природопользования [5,6].

Методические задачи по определению возможных переходов рассматриваемых экосистем от начального состояния к предельному под депрессивным техногенным воздействием решаются с использованием теории вероятностей, а при наличии регулярного геотехнического мониторинга с привлечением методов математической статистики. Это открывает более широкие методологические возможности использования аппарата теорий случайных функций, стационарных и нестационарных случайных процессов.

Характер распределения антропогенных изменений к моменту времени  $t$  сопровождается закономерным накоплением природных ресурсов  $\Delta g$  (связанных с их потреблением), а также снижением в этой связи экологической емкости  $\Delta e$  и негативной трансформацией природных ландшафтов как жизнеобеспечивающих мест обитания популяций биоценозов. С этой точки зрения небезразличен механизм формирования антропогенных изменений в существующих природно-технических геосистемах природно-территориального комплекса Якутии. В аналитическом представлении такое формирование не противоречит схеме накапливающихся изменений (формула 4):

$$\left. \begin{aligned} G_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^n g_i \\ E(G_{\Sigma} &= e(g_1) + e(g_2) + \dots + e(g_i) + \dots + e(g_n)) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где  $g_1, g_2, \dots, g_n$  – локальные антропогенные изменения, трансформированные в жизнеобеспечивающие механизмы компонентов биоценоза путём прямого суммарного техногенного воздействия  $G_{\Sigma}$ .

Физический смысл экологической безопасности состоит в последовательном суммировании времён перехода природно-технической геосистемы от начального равновесного состояния через промежуточные условно равновесные состояния к предельному (формула 5), т.е.

$$t_{np} \left[ \sum_{i=1}^n t_{e(g_i)} \right] = t_{e(g_1)} + t_{e(g_2)} + \dots + t_{e(g_n)} \quad (5)$$

Причём процесс накопления антропогенных изменений в реальной экосистеме, в общем случае протекает с различной интенсивностью такого накопления (формула 6)

$$\frac{dE(G)}{dt} \neq const \quad (6)$$

При этом любому интервалу времени  $\Delta t$  соответствует приращение антропогенных изменений в экосистеме  $E(G_{\Sigma})$  и вероятности ( $P$ ) того, что такое накопление произойдёт в рассматриваемом интервале  $\Delta t$ . Поэтому имеем последовательность взаимного соответствия  $\Delta t \rightarrow \Delta E(G_{\Sigma}) \rightarrow \Delta P$  для устойчиво функционирующей экосистемы.

Таким образом, фактическое изменение вероятного состояния экосистемы по критерию происходящих в ней депрессивных антропогенных процессов, характеризуется закономерно связанными приращениями (формула 7):

$$\left. \begin{aligned} \Delta P &= P(t + \Delta t) - P(t) \\ \Delta E(G_{\Sigma}) &= E(t + \Delta t) - E(t) \\ \Delta G(\sum_{i=1}^n g_i) &= G(t + \Delta t) - G(t) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Обозначив интенсивность накопления антропогенных изменений  $\Delta E$  через  $v_e$  с учётом противоположной монотонности характеристик (экологически активного действия и противодействия) – процессов изменения  $P(t)$ ,  $E(t)$  на интервале  $\Delta t$ , получим общий вид уравнения вероятного равновесного (по устойчивости экологического баланса) состояния рассматриваемой экосистемы (формула 8.1):

$$\Delta P(t) = -v_e \odot \Delta E(t) \quad (8.1)$$

где  $v_e$  – коэффициент, зависящий от интенсивности накопления антропогенных изменений в экосистеме, и определяемый по результатам функционального мониторинга (формула 8.2)

$$v_e = f \left[ \frac{dE(G_{\Sigma})}{dt} \right] \quad (8.2)$$

Функциональный мониторинг, основанный на инструментальных методах измерений, контроля и диагностики позволяет осуществлять количественную оценку состояния доминирующих факторов техногенного влияния на компоненты биогеоценоза, а также оценивать интенсивность депрессивных процессов в направлении экологически значимых градиентов.

### Заключение

Рассмотренный принцип общесистемной методологии количественной оценки качества биогеоценоза в границах антропогенного влияния на устойчивость промышленно осваиваемой территории, создаёт аргументированные теоретические предпосылки для межрегиональной унификации норм природопользования в Республике Саха (Якутия) и её сопредельных территориях.

### Литература

1. Мазур, И.И. Курс инженерной экологии. 2-е издание, испр. и доп / И.И. Мазур, О.И. Молдаванов. М.: Высшая школа, 2001, – 510 с. ISBN: 5-06-004188-3
2. Одум, Ю. Экология: в 2 т. / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. – Т.1. – 328 с.
3. Сукачев, В. Н. Биогеоценоз как выражение взаимодействия живой и неживой природы на поверхности Земли: соотношение понятий «биогеоценоз», «экосистема», «географический ландшафт» и «фацция» / В. Н. Сукачев // Основы лесной биогеоценологии / под ред. Н. В. Дылиса. – М.: Наука, 1964. – С. 5 – 49. 2.
4. Филатова, Д. А. Эколого-экономический рейтинг как индикатор устойчивого развития в регионах России / Д. А. Филатова // Экология и техносферная безопасность: Сборник докладов I Всероссийской молодежной научно-практической конференции, Тула, 27 июня 2022 года / Тульский государственный университет. – Тула: Издательство «Инновационные технологии», 2022. – С. 18-23.
5. Экологическая защита социоприродной среды на промышленно-осваиваемых территориях: (Методологические основы экологической безопасности) / И. В. Ядрихинский, Д. А. Филатова,

Т. Р. Егорова [и др.]. – Якутск: Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, 2023. – 432 с. – ISBN 978-5-7513-3467-3.

6. Ядрихинский, И. В. О значении фундаментальных исследований в решении глобальных экологических проблем / И. В. Ядрихинский // Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 4-2(106). – С. 30-35. – DOI 10.23670/IRJ.2021.106.4.030.

### References

1. Mazur I.I. Kurs inzhenernoj jekologii. 2-e izdanie, ispr. i dop / I.I. Mazur, O.I. Moldavanov. M., Vysshaja shkola, 2001, – 510 s. ISBN: 5-06-004188-3

2. Odum. Ju. Jekologija: v 2 t. / Ju. Odum. – M.:Mir, 1986. – Т.1. – 328 s.

3. Sukachev V. N. Biogeocenozy kak vyrazhenie vzaimodejstvija zhivoj i nezhivoj prirody na poverhnosti Zemli: sootnoshenie ponjatij “biogeocenozy”, “jekosistema”, “geograficheskij landshaft” i “facija” / V. N. Sukachev // Osnovy lesnoj biogeocenoologii / pod red. N. V. Dylisa. – M.: Nauka, 1964. – S. 5 – 49. 2.

4. Filatova, D. A. Jekologo-jekonomicheskij rejting kak indikator ustojchivogo razvitiya v regionah Rossii / D. A. Filatova // Jekologija i tehnosfernaja bezopasnost’: Sbornik dokladov I Vserossijskoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoj konferencii, Tula, 27 ijunya 2022 goda / Tul’skij gosudarstvennyj universitet. – Tula: Izdatel’stvo “Innovacionnye tehnologii”, 2022. – S. 18-23.

5. Jekologicheskaja zashhita socioprirodnoj sredy na promyshlennno-osvaivaemyh territorijah: (Metodologicheskie osnovy jekologicheskoy bezopasnosti) / I. V. Jadrinhinskij, D. A. Filatova, T. R. Egorova [i dr.]. – Yakutsk: Severo-Vostochnyj federal’nyj universitet imeni M.K. Ammosova, 2023. – 432 s. – ISBN 978-5-7513-3467-3.

6. Jadrinhinskij, I. V. O znachenii fundamental’nyh issledovanij v reshenii global’nyh jekologicheskikh problem / I. V. Jadrinhinskij // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel’skij zhurnal. – 2021. – № 4-2(106). – С. 30-35. – DOI 10.23670/IRJ.2021.106.4.030.

### Сведения об авторах

*ЯДРИХИНСКИЙ Иван Васильевич* – к.г.н., доцент Эколого-географического отделения СВФУ, Институт естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, e-mail: yadroid@mail.ru

*YADRIKHINSKY Ivan Vasilyevich* – Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, e-mail: yadroid@mail.ru

*ПОПОВА Диана Николаевна* – ст. преп. Эколого-географического отделения, Институт естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова

*POPOVA Diana Nikolaevna* – Senior lecturer, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*СИВЦЕВА Евдокия Афанасьевна* – ст. преп. Эколого-географического отделения, Институт естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова

*SIVTSEVA Evdokia Afanasyevna* – Senior lecturer, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ЭВЕРСТОВ Николай Владимирович* – аспирант Эколого-географического отделения, Институт Естественных наук СВФУ им. М.К. Аммосова, специалист группы по экологической безопасности АО ХК «Якутуголь»

*EVERSTOV Nikolay Vladimirovich* – postgraduate student, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University, specialist of the Environmental Safety Group of JSC HC Yakutugol

*ЛЕВИНА Сардана Николаевна* – к.г.н., с.н.с. лаборатории по изучению экологического состояния Арктики (БиоМ), ст. преп. Эколого-географического отделения СВФУ им. М.К. Аммосова

*LEVINA Sardana Nikolaevna* – Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, Laboratory for the Study of the Ecological State of the Arctic (BIOME), Senior Lecturer, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ДАВЫДОВА Парасковья Васильевна*, н.с. лаборатории по изучению экологического состояния Арктики (БиоМ) Эколого-географического отделения СВФУ им. М.К. Аммосова.

*DAVYDOVA Paraskovya Vasilyevna* – Researcher at the Laboratory for the Study of the Ecological State of the Arctic (BIOME), Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ЭВЕРСТОВА Анна Афанасьевна* – аспирант, лаборант 1 категории Эколого-географического отделения СВФУ им. М.К. Аммосова.

*EVERSTOVA Anna Afanasyevna* – postgraduate student, laboratory assistant of the 1st category, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

*ЕГОРОВ Айтал Вячеславович* – магистрант, лаборант 1 категории Эколого-географического отделения СВФУ им. М.К. Аммосова.

*EGOROV Aital Vyacheslavovich* – Master's student, laboratory assistant of the 1st category, Department of Ecology and Geography, Institute of Natural Sciences, M.K. Ammosov North-Eastern Federal University

**ТРЕБОВАНИЯ,  
К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ, ПУБЛИКУЕМЫХ  
В НАУЧНОМ РЕЦЕНЗИРУЕМОМ  
ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК СВФУ ИМЕНИ М.К. АММОСОВА»**

К публикации принимаются научные статьи от авторов из всех регионов России:

- преподавателей вузов,
- докторантов,
- аспирантов,
- магистрантов,
- а также других лиц, занимающихся научными исследованиями.

**Требования к содержанию статей**

Научные направления:

В серию «Науки о Земле», электронной версии журнала «Вестник СВФУ им. М.К. Аммосова», принимаются статьи, соответствующие Номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются научные степени:

25.00.00	НАУКИ О ЗЕМЛЕ	
25.00.11	Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения	Геолого-минералогические Технические
25.00.14	Технологии и техника геологоразведочных работ	Технические
25.00.23	Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов	Географические Геолого-минералогические
25.00.24	Экономическая, социальная, политическая и рекреационная география	Географические
25.00.36	Геоэкология (по отраслям)	Геолого-минералогические Географические Технические

УДК проставляется в научной библиотеке.

**Аннотация:** Композиционно построена по принципу IRMAD (Introduction, Methods, Results and Discussion): Актуальность, цели и задачи исследования. Как проводилось исследование, какие методы использовались. Основные выводы, результаты исследования; каковы перспективы исследования, направления дальнейшей работы. Объем аннотации не менее 100 слов. Разделы «Хроника» и «Юбилей» предоставляются без аннотаций.

**Ключевые слова:** не менее 10 слов/словосочетаний, они должны быть лаконичными, отражать содержание и специфику рукописи.

**Структура статьи:**

**Введение** – постановка рассматриваемого вопроса, краткий обзор научной литературы по теме (ссылки на источники), критика недостатков и преимущества предлагаемого подхода. Обязательна четкая постановка цели работы.

**Основная часть** работы должна быть озаглавлена, исходя из содержания, разбита на разделы. Разделы должны иметь содержательные названия. Введение, разделы и заключение не номеруются.

**Заключение** – приводятся основные выводы по содержательной части работы. Следует избегать простого перечисления предоставленного в статье материала.

**Литература** приводится под заголовком «Литература». Дополнительно дублируется латиницей по системе Библиотеки Конгресса США (LC), сайт для транслитерации: <http://translit.ru>. Все источники перечисляются по порядку упоминания ссылок в тексте. Для периодических изданий необходимо указать фамилию автора, инициалы, название статьи, название журнала, год издания, том, номер или выпуск, начальную и конечную страницу работы.

Сведения об авторе(-ах) на русском и английском языках даются на отдельной странице:

Ф.И.О. полностью, ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), место работы, должность, почтовый адрес с ИНДЕКСОМ (для пересылки авторского экземпляра иногородним), e-mail, контактный тел. (для мобильной связи с редакцией);

**Объем статьи:** включая иллюстративный материал и «Литературу», до 24 страниц, хроника и юбилей 1-2 страницы.

#### Требования к техническому оформлению

- Редактор MS Word, формат А-4, ориентация – книжная, поля – верхн. 2,0 см; нижн. 3,0 см; левое и правое 2,5 см; абзацный отступ – 1,25 см; интервал – полуторный; кегль основного текста – 14, кегль аннотации – 12, шрифт - Times New Roman.

- Сокращения – только общепринятые (и в тексте и таблицах). Все аббревиатуры и сокращения должны быть расшифрованы при первом их употреблении в тексте. Все таблицы должны иметь заголовки и сквозную нумерацию в пределах статьи, обозначаемую арабскими цифрами (например, таблица 1), в тексте ссылки нужно писать сокращенно (табл. 1). Текст таблицы должен быть напечатан через два интервала. В работах биологического цикла в заголовке и в тексте таблицы даются только латинские названия видов, родов и семейств. Комментарий к таблице должен быть размещен непосредственно под таблицей.

- Формулы должны иметь сквозную нумерацию. Номер пишется в конце строки арабскими цифрами в круглых скобках. Между формулами, выделенными в отдельную строку, и текстом, а также между строками формул следует оставлять пробелы не менее 1,5-2 см.

- Иллюстративный материал (графики, карты, схемы, фотографии) именуется рисунком, имеет сквозную порядковую нумерацию арабскими цифрами и пишется сокращенно (например, рис. 1). Допускаются цветные изображения (графики, диаграммы). Размер рисунка – не менее 40x50 мм и не более 120x170 мм. К рисунку прилагается подрисовочный текст, в который содержит указания размерности приведенных на рисунке величин.

- Ссылки в тексте пишутся в виде номера арабской цифрой, взятой в квадратную скобку.

#### Предоставление статей в редакцию

Сначала предоставляется электронный вариант статьи (рисунки в формате tiff с разрешением не менее 300 dpi) по электронной почте: [vestnik\\_geo@mail.ru](mailto:vestnik_geo@mail.ru).

После устранения всех замечаний в редакцию направляется печатный вариант статьи в двух экземплярах. 2-й печатный экземпляр – без указания имени автора (для слепого рецензирования). Адрес редакции: 677027, г.Якутск, ул. Кулаковского, 42, ГУК, каб. 401,

Если автор – аспирант, или магистрант, то необходим отзыв руководителя.

При положительной рецензии рукописи публикуются в порядке их поступления в течении 3-6 месяцев.

Окончательное решение о публикации статьи принимает редколлегия.

Плата за публикацию рукописей не взимается.

Статьи, присланные без соблюдения изложенных выше требований, не подлежат рассмотрению.

**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**

**№ 2(34) 2024**

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

Подписано в печать 24.06.2024. Формат 70x108/16.  
Дата выхода в свет 24.06.24.