

Оригинальная статья / Original article

УДК 553.3

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-4-50-66>

ОПЫТ МНОГОФАКТОРНОГО ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ ГОЛЮБИНСКО-ОЛЛАМИНСКОГО НЕФРИТОНОСНОГО ПОЛЯ (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

© А.П. Кочнев^а, Д.А. Краснов^б, Р.Н. Иванова^с

^{а-с}Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

РЕЗЮМЕ: При проведении поисково-оценочных и разведочно-эксплуатационных работ традиционный формационно-геотектонический метод прогнозирования малоэффективен – эти работы проводятся на небольших по размерам объектах, которые находятся в пределах одной геотектонической области на площади развития одной формации. В этих условиях необходимо привлечение косвенных поисковых признаков, отражающих вероятностный характер связи процессов минерогенеза с геологическими комплексами разного типа. Особенно это актуально для месторождений нефрита, которые в большинстве случаев относятся к малым и сверхмалым объектам с очень ограниченным количеством запасов. В данной статье изложен опыт локального многофакторного прогнозирования Голубинско-Олламинского нефритоносного поля. Показано, что применение традиционных методов прогнозирования с использованием минерогенических факторов первого рода малоэффективно. Для локального прогнозирования нефрита предложено использовать минерогенические факторы второго рода и косвенные поисковые признаки, которые не нашли отражения на исходных картах, но несут информацию о вероятности наличия или отсутствия залежей нефрита. Оценка их потенциальной нефритоносности дана с применением методов математической статистики. Минерогеническое районирование площади проведено путем составления многофакторной прогнозной карты с выделением на ней участков с разной степенью перспективности. Реализована следующая этапность локального прогнозирования: дан анализ геологического строения площади с выделением нефритоконтролирующих структурно-вещественных комплексов как минерогенических факторов второго рода; выделены косвенные поисковые признаки; дана оценка информативности разных контролирующих признаков и суммарной информативности участков сочетания признаков каждой категории факторов; составлены однофакторные прогнозные карты-схемы и многофакторная прогнозно-поисковая карта нефритоносности Голубинско-Олламинского поля. Предлагаемая методика прогнозирования даже на ограниченном объеме исходных геологических данных позволяет провести районирование территории по степени перспективности и выделить участки для постановки поисков нефрита.

Ключевые слова: нефрит, локальное многофакторное прогнозирование, информативность геологических признаков, Голубинско-Олламинское поле

Информация о статье: Дата поступления 6 ноября 2018 г.; дата принятия к печати 13 декабря 2018 г.; дата онлайн-размещения 28 декабря 2018 г.

^аКочнев Анатолий Петрович, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем Института недропользования, тел.: 8 (3952) 405687, e-mail: kochnev@istu.irk.ru

Anatoly P. Kochnev, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy), Professor of the Department of Applied Geology, Geophysics and Geoinformation Systems of the Institute of Subsurface Resource Management, tel.: 8 (3952) 405687, e-mail: kochnev@istu.irk.ru

^бКраснов Дмитрий Александрович, студент, тел.: 8 (3952) 405687, e-mail: dkrasnov88@mail.ru

Dmitriy A. Krasnov, Student, tel.: 8 (3952) 405687, e-mail: dkrasnov88@mail.ru

^сИванова Раиса Николаевна, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем Института недропользования, тел.: 8 (3952) 405687, e-mail: ivanova_rn@istu.edu

Raisa N. Ivanova, Cand. Sci. (Geology and Mineralogy), Associate Professor of the Department of Applied Geology, Geophysics and Geoinformation Systems of the Institute of Subsurface Resource Management, tel.: 8 (3952) 405687, e-mail: ivanova_rn@istu.edu

Для цитирования: Кочнев А.П., Краснов Д.А., Иванова Р.Н. Опыт многофакторного локального прогнозирования на примере Голубинско-Олламинского нефритиносного поля (Республика Бурятия). *Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых.* 2018;41(4):50–66. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-4-50-66.

EXPERIENCE OF MULTIFACTOR LOCAL FORECASTING ON EXAMPLE OF THE GOLUBINSKO-OLLAMINSKOE NEPHRITE FIELD (REPUBLIC OF BURYATIA)

© Anatoly P. Kochnev^a, Dmitry A. Krasnov^b, Raisa N. Ivanova^c

^{a–c}Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russian Federation

ABSTRACT: The traditional formation and geotectonic method of forecasting is ineffective when carrying out prospect evaluation survey and exploration development works as these works are carried out on small-sized objects located within the same geotectonic region on the development area of one formation. Under these conditions, it is necessary to attract indirect prospecting factors that reflect the probabilistic nature of the relationship between the minerogenesis processes and geological complexes of various types. This is especially true for nephrite deposits, which generally belong to small and ultra-small objects with a very limited amount of reserves. This paper presents the experience of local multifactorial forecasting of the Golyubinsko-Ollaminskoe nephrite field. The low efficiency of traditional forecasting methods using mineragenic factors of the first kind is shown. It is proposed to carry out local forecasting of nephrite using the mineragenic factors of the second kind and indirect prospecting factors, which are not reflected on the source maps but are informative on the probability of the presence or absence of nephrite deposits. Their potential nephrite content is evaluated using the methods of mathematical statistics. Mineragenic zoning of the area is performed by compiling a multifactor forecast map with the specification of areas with varying degrees of prospects. The following phasing of local forecasting is implemented: the geological structure of the area is analyzed and nephrite-controlling structural and material complexes are classified as mineragenic factors of the second kind; indirect search features are identified; assessment is given to the informative content of various controlling factors and total informativeness of the sections of the combination of features of each category of factors. Single-factor forecast maps and a multi-factor forecast search map of the Golyubinsko-Ollaminskoe field nephrite content is compiled. The proposed forecasting methods even on a limited amount of initial geological data allows area zoning according to the degree of prospects and identification of sites for nephrite search.

Keywords: nephrite, local multifactorial forecasting, informativeness of geological features, Golyubinsko-Ollaminskoe field

Information about the article: Received November 6, 2018; accepted for publication December 13, 2018; available online December 28, 2018.

For citation: Kochnev A.P., Krasnov D.A., Ivanova R.N. Experience of multifactor local forecasting on example of the Golubinsko-Ollaminskoe nephrite field (Republic of Buryatia). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektzii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits.* 2018;41(4):50–66 (In Russ.). DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-4-50-66.

Введение

Прогнозирование является обязательной составной частью любой стадии геолого-разведочного процесса, так как его результаты позволяют проводить проектирование поисковых и разведочных работ, а также выбирать оптималь-

ную методику их проведения. На ранних стадиях геологического изучения при геолого-съёмочных работах разного масштаба осуществляется региональное прогнозирование на геотектонической и формационной основе. При выполнении поисково-оценочных и разведочно-

эксплуатационных работ формационно-геотектонический подход недостаточен, так как условия их проведения ограничены малыми размерами объектов (перспективных участков, месторождений, отдельных залежей и т. д.), которые, как правило, находятся в одной геотектонической области на площади развития одной формации.

В таких условиях для производства поисковых работ необходимо привлечение косвенных поисковых признаков, которые отражают вероятностный характер связи процессов минерагенеза с геологическими комплексами разного типа. Использование этой группы признаков должно базироваться на основе современных методик локального прогнозирования, таких как мультифакторное моделирование, математическое моделирование, 3D-моделирование и т. п. Особенно это важно для небольших месторождений минерального сырья, в частности для месторождений нефрита, в большинстве случаев представляющих собой ультрамалые объекты, величина промышленных запасов которых очень ограничена. Для этих объектов часто практикуется совмещение работ разных стадий – от поисков до эксплуатации.

В предлагаемой статье авторы делятся опытом локального многофакторного прогнозирования в пределах Голубинско-Олламинского нефритиносного поля, для которого ранее был проведен анализ геологического строения и сформулированы базовые минерагенические факторы и признаки нефритиносности. При проведении таксонометрического анализа изучаемой территории установлено [1, 2], что Голубинско-Олламинское поле является составной частью Витимского нефритиносного района, имеющего в своем составе небольшое количество апокарбонатных месторождений и проявлений нефрита. Как было показано результатами предыдущих исследований [1], на данной площа-

ди известно два нефритовых месторождения этого промышленно-генетического типа – Голубинское и Нижне-Олламинское. На этой же территории выявлена крупная залежь Сергеевская и частично отработано более десяти других залежей светлого нефрита.

Большинство выявленных в районе месторождений апокарбонатного нефрита в данный момент энергично вырабатывается. С учетом последнего обстоятельства представляется очень своевременным поиск новых проявлений и залежей нефрита.

При этом следует использовать как прогнозную оценку перспективных территорий, так и современные многофакторные модели.

Для осуществления этой задачи прежде всего необходимо провести анализ геологического строения уже выявленных нефритовых месторождений и выделить их основные характерные особенности, установить геологическое положение и основные закономерности образования. Также необходимо определение пространственного размещения залежей нефрита внутри Витимского района.

На данном этапе исследования необходимо выбрать рациональную методику прогнозирования и составить многофакторную прогнозно-поисковую модель исследованной площади с учетом опыта и рекомендаций специалистов по поискам и разведке месторождений нефрита, таких как Р.С. Замалетдинов [3], А.Н. Сутурин, Н.В. Секерина [4], R.L. Shere [5], G.E. Harlow [6, 7], A.F. Cooper [8] и др.

Краткая геологическая характеристика района

Геология Голубинско-Олламинского района достаточно разнообразна. Изучение фондовых материалов геолого-съемочных, поисково-разведочных и эксплуатационных работ позволило установить наличие среди геологических

образований гранитоидов витимканского интрузивного комплекса, формирование которого происходило в каменноугольном периоде, и осадочно-метаморфических пород восточно-горбылокской свиты, возраст которой предположительно установлен как раннепротерозойский. Кроме того, на территории района широкое развитие получили разнообразные метасоматические образования.

В регионально-метаморфизованных парапородах эпидот-амфиболитовой и амфиболитовой фаций локально проявлен наложенный контактовый метаморфизм амфибол-роговиковой ступени с формированием зеленых хлоритизированных кварц-полевошпат-амфиболовых кристаллосланцев. При детальном изучении установлено, что они являются диафторитами [1].

Такой вывод был сделан на основании прослеживания участков перечисленных выше пород только в зоне, которая в пределах самих нефритовых залежей имеет значительное количество гидротермально-метасоматически измененных образований. Зоны проявления диавторитов имеют отчетливо выраженную тектоническую и гидротермально-метасоматическую переработку слагающих их пород. За пределами этих зон хлоритизация не наблюдается или проявлена значительно слабее.

Гранитоиды витимканского комплекса, занимающие практически пятьдесят процентов региона, представлены двумя фазами: плутонических и жильных пород. Первая – это преимущественно крупные неправильные массивы гранитоидов, в которых содержатся скиалиты – теневые фрагменты метаморфических пород, обогащенные темноцветными минералами. Вторая фаза – это в основном небольшие штокообразные тела биотитовых и лейкократовых мелко-среднезернистых гранитов и жильный комплекс пород. Вблизи разломов гра-

нитоиды витимканского комплекса претерпели процессы катаклаза и окварцевания.

В эндоконтактной зоне магматических образований хорошо наблюдаются ксенолиты вмещающих пород, имеющие резкие контакты по отношению к основной массе вмещающих пород с направлением падения в сторону последних. Граниты здесь, как правило, имеют мелкозернистую структуру, реже гнейсовидную текстуру. В этой же группе пород, по нашим данным [1], иногда встречаются гигантопорфировидные и пегматоидные структуры. Преобразованные граниты эндоконтактов обладают более светлой окраской, в которой отчетливо можно наблюдать зеленоватый оттенок. Эти породы по составу ближе к граносиенитам и сиенитам. Наиболее характерной минералогической особенностью для них является практически полное отсутствие кварца наряду с высоким содержанием альбита и присутствием карбоната, мусковита, сфена и апатита.

По данным А.Н. Сутурина, Р.С. Замалетдинова, Н.В. Секериной [4], зоны экзоконтактов несут следы интенсивного воздействия гранитоидов на вмещающие породы. Это проявлено в ороговении кристаллосланцев и гнейсов, мраморизации и скарнировании доломитов. Непосредственно на границах с магматическими образованиями гранитоидов метасоматиты имеют контрастный химический состав [2] и сложены доломитовыми мраморами и породами с большим количеством образований $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3$ – алюмосиликатов.

Метасоматиты зон скарнирования на контакте гранитов с мраморами – это эпидот-кальцит-тремолитовые скарны в виде маломощных от 20 до 50 см линз и жилообразных образований в тектонически ослабленных краевых частях ксенолитов мраморов или на небольшом удалении от контакта с гранитами.

Залежи нефрита приурочены в основном к пачкам доломитовых мраморов [3], часто перекристаллизованных, окварцованных и скарнированных, с широким развитием тремолита, диопсида, серпентина, кварца, изредка встречаются слюда и форстерит.

Проведение тектонического районирования показало [1], что изучаемый Витимский нефритоносный район представляет собой часть гигантского Байкало-Муйского мегаблока, который известен как сложное складчатое сооружение антиклинорной формы. Данный блок ограничен зонами глубинных разломов, и образование его структур связано с тектоническими процессами разного возраста в интервале времени от нижнего протерозоя до пермского периода. На территории нефритоносного района наблюдаются метаморфические породы восточногогорбылокской свиты, которые смяты в Аманак-Буромскую синклинали каледонского возраста. Эта структура фиксируется небольшими фрагментами ее крыла, имеющего падение в направлении на юго-восток под углами 40–50° и осложненного многочисленными разрывными нарушениями.

Гранитоиды витимканского комплекса, слагающего Ангаро-Витимский ареал-плутон, принадлежат к герцинскому структурному этажу, в пределах которого широко развиты разрывные нарушения разных систем и кинематических типов, определяющие сложную разломно-блоковую структуру территории [1, 4] и играющие важную контролируемую залежи нефрита роль.

В пределах Витимского района отчетливо наблюдается цепочечное распределение выявленных нефритовых месторождений и проявлений. По всей видимости, это связано с приуроченностью их к направлениям возможных латентных разрывных структур, контролируемых нефритовые объекты. Геолого-структурные особенности нефритонос-

ного поля изучены недостаточно полно. Выход парапород в виде разобщенных ксенолитов в поле гранитоидов затрудняет расшифровку складчатой структуры. Предполагается, что они являются фрагментами антиклинальной складки, к замку которой приурочены месторождения нефрита [4].

Непосредственно на площади исследования широко распространены разрывные нарушения, образующие сложную сеть [1, 4] с преобладанием разломов северо-восточного и северо-западного простирания, а оперяющие их субширотные зоны повышенной трещиноватости контролируют метасоматические образования постмагматического этапа становления гранитоидов, с которыми генетически связаны процессы образования нефрита.

На территории Голубинско-Олломинского поля выявлено несколько продуктивных скарновых зон мощностью от 2 до 2,5 м и протяженностью от 7 до 150 м.

Залежи нефрита в таких зонах имеют сложную жиллообразную форму с большим количеством ветвящихся апофиз. Значительно реже можно наблюдать гнезда, прожилки и линзы простые по морфологии. Залежи имеют элементы падения контактов в основном в северо-западном, иногда в юго-восточном направлении под углом от 45 до 80°. Наиболее промышленно значимые нефритовые залежи, как правило, имеют тектонический контакт со скарнами, в которых во многих случаях наблюдаются зеркала скольжения.

Выделяют три типа залежей нефрита по их геологической позиции: связанные с контактами гранитов и доломитовых мраморов; прослеживающиеся вдоль границ кристаллосланцев полевошпат-кварц-амфиболового состава и доломитовых мраморов; находящиеся непосредственно в теле мраморов и не имеющие заметной связи с гранитами и

кристаллосланцами. Самые длинные (до 100 м и более) нефритовые залежи относятся ко второму типу. Они имеют наиболее постоянные значения одного из важнейших параметров – мощность от 0,7 до 1,2 м. В то же время другие типы характеризуются хаотичным расположением выделений нефрита в кальцит-тремолитовом субстрате, которое создано брекчиевидным мозаичным строением нефритоносных скарных зон.

Методика и результаты исследования

Изложенные выше данные о геологическом строении Голюбинско-Олломинского нефритоносного поля и структурно-геологической позиции известных залежей нефрита позволяют определить первостепенные минерагенические факторы локализации и поисковые признаки проявлений апокарбонатного нефрита, хотя условия их формирования изучены еще недостаточно.

К прямым поисковым признакам нефритоносности относятся механические ореолы рассеяния, точки минерализации и установленные месторождения нефрита. Данные признаки отображают развитие образования нефрита в определенных геологических ситуациях [3–8].

Косвенные поисковые признаки и минерагенические факторы нефритоносности устанавливаются при расшифровке структурно-геологического положения залежей нефрита. Для изучаемого объекта – Голюбинско-Олломинского нефритоносного поля – нами было выделено четыре категории таких факторов и признаков: литолого-стратиграфические, магматические, минерально-парагенетические и структурно-тектонические [1]. Эти категории отражают большинство значимых особенностей геологии района и позволяют определить как условия формирования, так и все основные закономерности распре-

деления известных нефритовых месторождений.

Специальный анализ этих факторов позволяет дать их краткую формулировку:

– литолого-стратиграфический фактор демонстрирует пространственную и генетическую связь нефрита с доломитовыми мраморами восточно-горбылоской свиты, другие литологические разновидности пород свиты (кристаллосланцы, метапесчаники, метаэффузивы) являются неблагоприятными признаками нефритоносности;

– магматический фактор отражает связь расположения нефрита в доломитах из экзоконтактов гранитоидных тел и даек кислых пород витимканского комплекса;

– структурно-тектонический фактор выражен в контроле нефритовых залежей разломными структурами – все известные залежи распределяются вдоль разломов либо находятся в зонах, оперяющих основной разлом трещин в местах скрещивания зон разломов различных систем;

– минерально-парагенетический фактор обнаруживает парагенетическую связь нефрита с процессом метасоматоза в парапородах, наиболее часто нефритовые залежи приурочены к зонам скарирования мраморов, которые представлены кальцитом и тремолитом с примесью талька и серпентина, а также к зонам, в которых наблюдается развитие эпидота в кристаллосланцах и гранитах с образованием эпидот- и хлоритсодержащих пород зеленосланцевой фации.

Эти факторы первого рода могут быть использованы только на региональном уровне прогноза, когда проводится оконтуривание площади развития перспективных структурно-вещественных комплексов (гранитоидных магматических образований витимканского комплекса с ксенолитами карбонатов во-

сточно-горбылокской свиты), разрывных нарушений, контролирующих нефритовые тела и участки развития процессов метасоматоза, которые практически совпадают и охватывают большую часть потенциально нефритоносной территории района.

На локальном уровне прогнозирования, когда выделяются участки разной степени перспективности [9, 10], сопоставимые с конкретными залежами нефрита, на которых рационально выполнять детальные поисково-разведочные работы, данные признаки малоинформативны [1, 3, 4–8].

Для решения этой задачи предлагается использовать косвенные поисковые признаки и минерагенические факторы второго рода, отражающие свойства продуктивных структурно-вещественных комплексов и латентные проявления геологических процессов, которые могут нести определенную информацию о вероятности наличия или отсутствия залежей нефрита в рассматриваемом участке района. Эти признаки не нашли отражения на исходных картах, но могут быть выявлены путем специального анализа.

По нашим данным [1], в пределах литолого-стратиграфического фактора нефритоносности косвенными поисковыми признаками второго рода могут быть площади выхода отдельных стратиграфических пачек продуктивной восточно-горбылокской свиты. По составу пород это пачки кристаллосланцев, доломитовых мраморов, метапесчаников и метаэффузивов. Вместе с тем на используемой геологической карте района выходы этих пород можно наблюдать только в виде одиночных ксенолитов, причем они не расчленены по литолого-петрографическому составу, поэтому оценить степень их потенциальной нефритоносности невозможно.

Учитывая пространственно-генетические связи нефритовой минерализа-

ции с доломитовыми мраморами, их выходы можно считать положительным поисковым признаком этой группы факторов. Для дифференциации значительной по размерам площади выходов ксенолитов мраморов по степени перспективности на нефрит необходимо оценить концентрацию этих ксенолитов на площади исследования.

С этой целью составлена однофакторная прогнозная карта-схема (рис. 1), на которой отмечены известные проявления нефрита, а области с разной степенью концентрации мраморов (см. рис. 1, а) оконтурены изолиниями с выделением пяти категорий участков с разной плотностью: 0–0,2; 0,2–0,4; 0,4–0,6; 0,6–0,8; 0,8–1.

Авторами установлено [1], что косвенными поисковыми признаками второго рода при использовании магматического фактора нефритоносности могли бы быть площади выхода разных петрографических типов, фаз и фаций гранитоидов продуктивного витимканского комплекса. Но необходимо учесть тот факт, что по исходной карте района это сделать практически невозможно без проведения специального дополнительного геологического изучения, так как выходы пород данного магматического комплекса не расчленены по петрографическому составу. Можно лишь оценить концентрацию выходов нерасчлененных гранитоидов, для чего составлена однофакторная прогнозная карта-схема, на которой отмечены известные проявления нефрита, а области с разной степенью концентрации гранитоидов оконтурены изолиниями с выделением пяти категорий участков с разной плотностью концентрации гранитов: 0–0,2; 0,2–0,4; 0,4–0,6; 0,6–0,8; 0,8–1 (см. рис. 1, б).

Кроме того, в предыдущих исследованиях достаточно обоснованно было показано, что косвенными поисковыми признаками второго рода среди

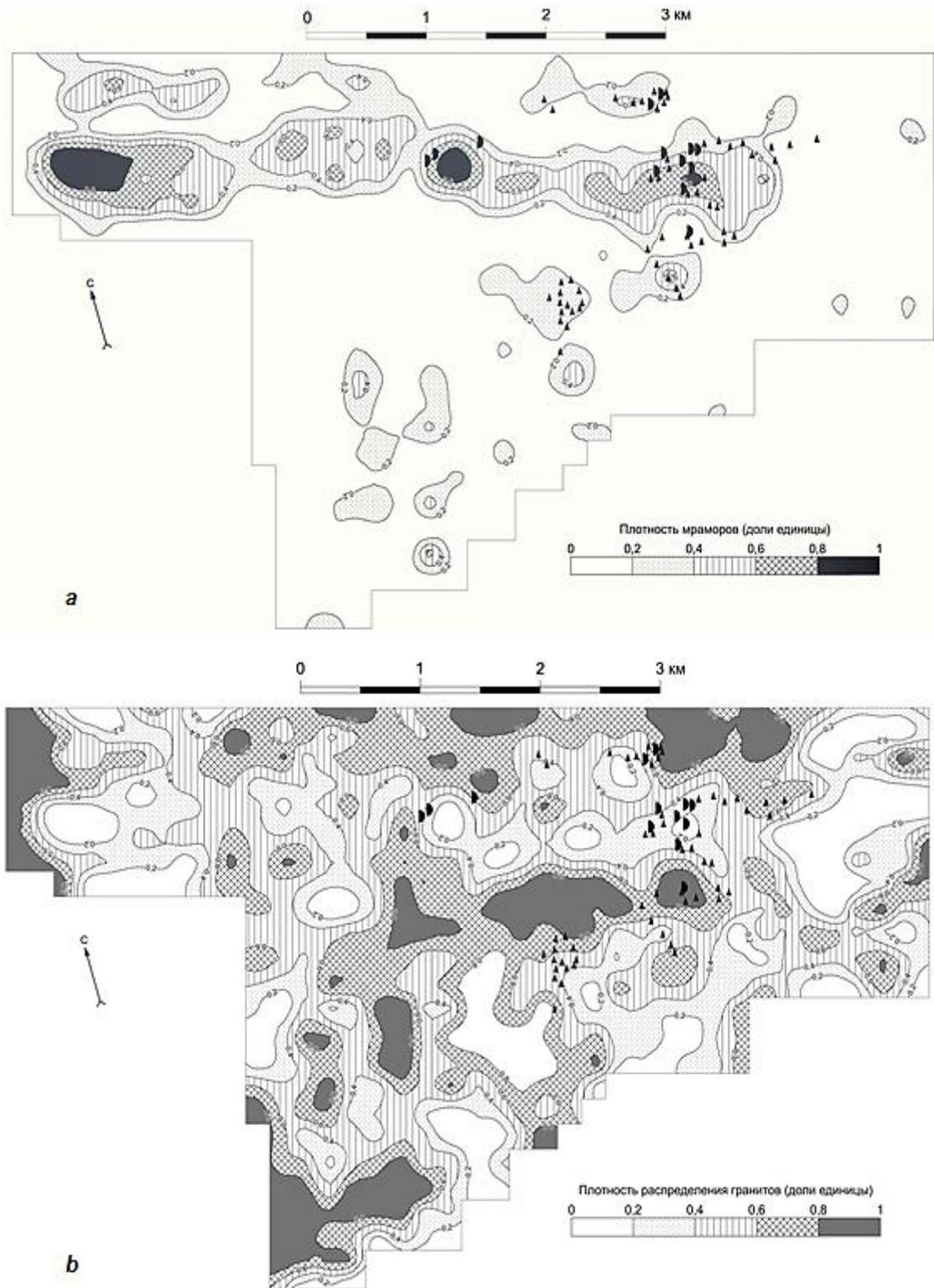


Рис. 1. Однофакторная прогнозная карта нефритонасности Голубинско-Олломинского поля на основе схемы плотности распределения горных пород:

a – мраморов; b – гранитов

Fig. 1. Unifactor forecast map of nephrite content of Golyubinsko-Allominskoe field based on the rock density distribution diagram:

a – marbles; b – granites

элементов структуры и тектоники могут быть участки развития разнообразных структурных образований разрывного и складчатого генезиса, например различные по ориентировке и кинематическому типу системы разрывных нарушений, замковые части и разные крылья складок и т. п. [1]. Однако по результатам анализа исходной карты района сделан вывод о том, что без целенаправленных работ доизучения геологического строения данной территории реально рассмотреть лишь разломную тектонику района, так как складчатые структуры предшествующими работами закартированы нечетко.

На исследуемой территории наблюдается сложная сеть разломов (рис. 2). Отчетливо выражены три системы разрывных нарушений: северо-восточная с азимутами простирания

в диапазоне от 50 до 60°, субширотная – 260–290° и северо-западная – 310–330°.

Как известно, контролирующая роль разломов выражается не только в непосредственной приуроченности рудопоявлений к поверхностям сместителей таких разломов, когда они являются рудовмещающими структурами, но и в концентрации их в оперяющих трещинах на определенном расстоянии от сместителя, то есть к определенной части области динамического влияния разломов, которые считаются рудоподводящими и рудораспределяющими структурами. При этом достаточно отчетливо проявляется приуроченность залежей нефрита к зоне интенсивного развития субширотных разломов и к участкам их сопряжения с разрывными нарушениями других систем.

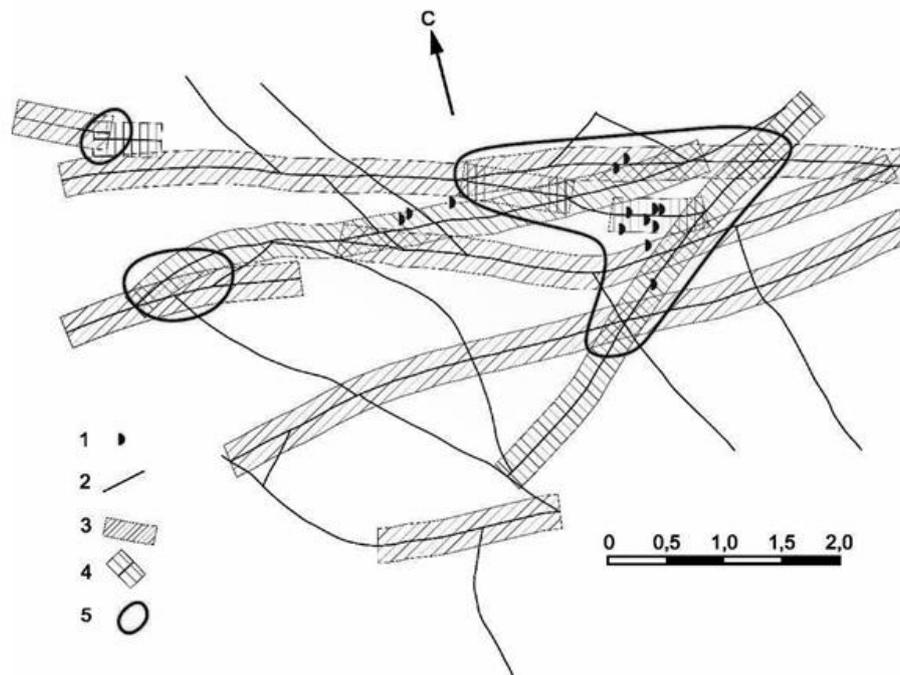


Рис. 2. Однофакторная прогнозная карта нефритонасности Голубинско-Олломинского поля, совмещенная с картой разломной тектоники:

1 – залежи нефрита; 2 – разрывные нарушения; 3, 4 – зоны динамического влияния основных разломов: 3 – северо-восточного простирания, 4 – субширотного простирания;
5 – потенциальные нефритонасные узлы

Fig. 2. Unifactor forecast map of the Golubinsko-Ollominskoe field nephrite content combined with the fault tectonics map:

1 – nephrite deposits; 2 – faults; 3, 4 – zones of main fault dynamic influences:
3 – northeastern strike, 4 – sublatitudinal strike; 5 – potential nephrite nodules

При анализе карты разломной тектоники (см. рис. 2) и неравномерности распределения залежей нефрита относительно разломов разных систем установлено, что все они находятся в пределах зоны динамического влияния разломов шириной до 300 м. Максимальная концентрация проявлений нефрита наблюдается в двух интервалах зоны динамического влияния разломов – в интервале от 200 до 300 м широтных и северо-восточных разломов и в интервале от 100 до 200 м зоны динамического влияния разломов участков сопряжения этих разломов с разрывными структурами других систем. Именно такие зоны влияния контролирующих разломов можно считать потенциально перспективными, то есть положительными поисковыми признаками нефритоносности.

Визуально достаточно отчетливо проявляется приуроченность залежей нефрита к зоне интенсивного развития субширотных разломов и к участкам их сопряжения с нарушениями других систем. Эта закономерность подтверждается при анализе морфологических особенностей залежей нефрита [4] и их структурной позиции. Главную роль в контроле расположения залежей нефрита имеют малые структурные формы – зоны сланцеватости и трещиноватости вмещающих пород.

По отношению к моменту формирования они подразделены на три категории: полосчатость и сланцеватость в парапородах, которые пересечены телами нефрита – дорудные, контакты нефритовых залежей – синрудные, а также не несущие какую-либо минерализацию трещины неотектонического происхождения в залежах нефрита – пострудные. Синрудные дислокации имеют в основном субширотную ориентировку с направлением падения на север под углами от 60 до 80°. Значительно реже наблюдаются трещины, имею-

щие северо-восточное простирание и направление падения на юго-восток под углами от 50 до 70°. Следовательно, контролирующими нефритовые залежи являются разрывные структуры северо-восточного и субширотного простирания.

Косвенными поисковыми признаками в пределах минерально-парагенетического фактора нефритоносности, по всей видимости, могут быть участки развития зон эпидотизации в гранитах и кристаллосланцах, тремолит-кальцитовых скарнов, оталькования и серпентинизации доломитовых мраморов и т. д., сформированные в результате процессов метасоматоза вмещающих пород. При этом нами учитывается тот факт, что при использовании существующих геологических карт подобные площади трудно выделить, так как минералы, имеющие парагенетическую связь с нефритом, наблюдаются лишь в разведанных залежах. Для остальной территории при геолого-стратиграфическом картировании результаты данных процессов не показаны или зафиксированы лишь в единичных точках [1]. Поэтому для обоснованного применения этой категории факторов требуется проведение минералогического картирования потенциально-перспективной площади.

Таким образом, в процессе локального прогнозирования составлены три однофакторные модели нефритоносности Голюбинско-Олломинского поля, которые служат основой для составления многофакторной прогнозно-поисковой модели территории: по концентрации доломитов и гранитоидов и по зонам динамического влияния рудо-контролирующих разломов (см. рис. 1, 2).

Получение многофакторной модели при качественном прогнозировании возможно путем традиционного наложения однофакторных моделей и выделения наиболее перспективных площадей в виде участков совмещения перспек-

тивных территорий по разным факторам. Однако более эффективным представляется [1, 4, 9–11] локальное количественное прогнозирование путем оценки информативности разных контролирующих признаков и расчета суммарной информативности участков сочетания разных признаков каждой группы факторов.

Однофакторные модели представляют собой отдельные слои, созданные с помощью современного программного обеспечения (CorelDRAW, AutoCAD, Photoshop и др.). При их создании используемые признаки нумеруются, при этом устанавливается масштаб оруденения по числу проявлений нефрита [1, 9].

Для составления таких моделей предварительно проводится разделение территории исследования (рис. 3) на элементарные участки (ЭУ) – небольшие участки площади, которые сопоставимы с изучаемыми объектами прогноза и шириной выхода или влияния нефритоконтролирующих признаков.

Для изометричных в плане объектов и при разной ориентировке контро-

лирующих элементов оптимальной является квадратная форма ЭУ. Размер ЭУ определяется прежде всего масштабом исследований, а также характером объекта и разнообразием геологических образований и структур, которые обуславливают сложность строения территории, но чаще всего при локальном прогнозе он принимается равным 1% исходной площади изучения [9, 11].

Площадь Голюбинско-Олломинского поля составляет 36 км², следовательно, площадь ЭУ будет равна 0,36 км², а сторона квадратного участка – 600 м. При масштабе прогнозирования 1:10000 размер ЭУ составит 6×6 см.

Размер нефритовых залежей составляет в среднем 30–50 м по простиранию (максимальная длина залежи – 150 м), следовательно, ЭУ размером 6×6 см для этого рудного поля излишне крупные – ширина выхода некоторых контролирующих признаков значительно меньше. С учетом этого для упрощения расчетов примем длину стороны ЭУ равной 200 м.

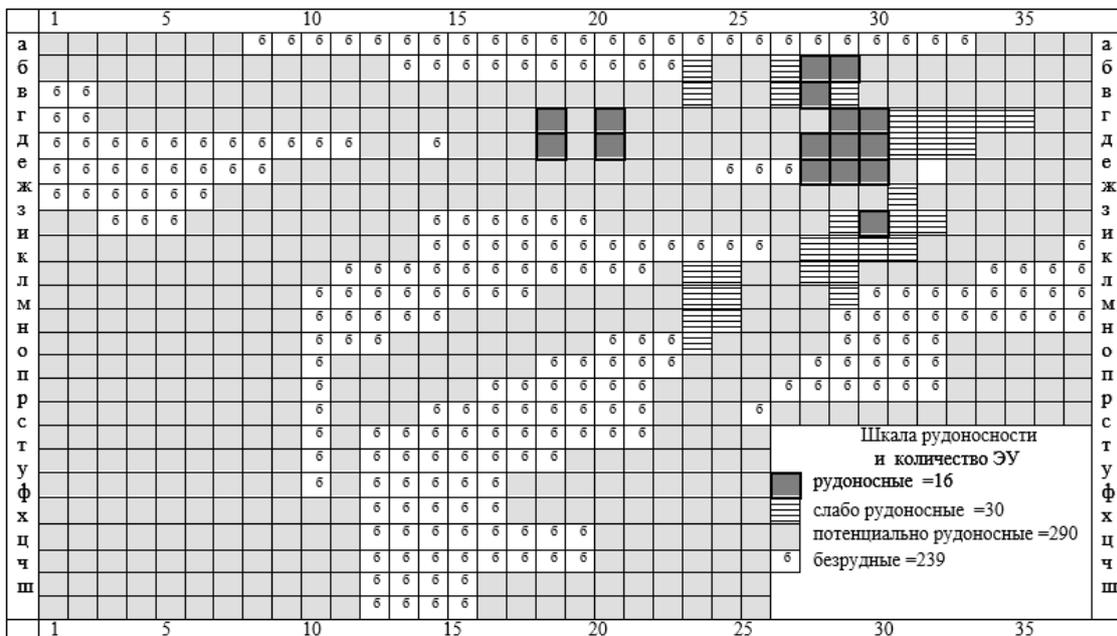


Рис. 3. Схема разграничения площади исследования на элементарные участки с оценкой их рудности

Fig. 3. Diagram of the study area zoning into elementary sites and evaluation of their ore content

На площади прогнозирования выделено 575 ЭУ, которые разделены на четыре категории: «рудоносные» (с залежами – 16 ЭУ); «потенциально-рудоносные» (с точками минерализации нефрита в глыбах – 30 ЭУ); «безрудные» (на площади развития отрицательных контролирующих признаков – 239 ЭУ); «потенциально-перспективные» (остальные 290 ЭУ).

Для всех выделенных участков регистрируются нефритоконтролирующие признаки, в пределы которых попадают центральные точки ЭУ. Далее проводится установление значимости каждого признака J_i и суммарная содержательность каждого ЭУ J_j в виде матрицы по форме табл. 1 и 2.

Таблица 1
Систематизация результатов анализа минерагенических факторов и рудоконтролирующих признаков

Table 1

Systematization of the analysis results of mineragenic factors and ore controls

Минерагенические факторы и рудоконтролирующие признаки			Количество ЭУ с пр. = m_i	Количество РЭУ = n_i	$J_i = \lg(12,5n_i/m_i)$					
					-1				0	
Литолого-стратиграфические факторы второго рода										
1	Плотность концентрации мраморов	0–0,2	381	11	-0,44					
2		0,2–0,4	110	22					0,4	
3		0,4–0,6	53	8					0,28	
4		0,6–0,8	20	3					0,27	
5		0,8–1	11	2					0,36	
Магматические факторы второго рода										
6	Плотность концентрации гранитов	0–0,2	64	2	-0,41					
7		0,2–0,4	81	6	-0,03					
8		0,4–0,6	161	14					0,04	
9		0,6–0,8	149	15					0,10	
10		0,8–1	119	9	-0,02					
Структурно-тектонические факторы второго рода										
11	Зоны динамического влияния, м	≥300	313	20	-0,1					
12		200–300	Северо-восточных разрывных структур	33	5					0,28
13			Широтных разрывных структур	91	9					0,1
14			Северо-западных разрывных структур	72	4	-0,16				
15		100–200	Зон сопряжения широтных и северо-восточных разломов	41	5					0,18
16			Зон сопряжения широтных и северо-западных разломов	16	3					0,37
17			Зон сопряжения северо-восточных и северо-западных разломов	11	2					0,36

Таблица 2

Расчет суммарной информативности элементарных участков

Table 2

Calculation of the total information content of elementary sites

Но- мер ЭУ	Литологические признаки						Магматические признаки				Структурно-тектонические признаки							Инф. $\sum J_i$
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
a1					0,36					-0,02	-0,1							0,24
в26	-0,44					-0,41							0,1					-0,75
в27		0,4						0,04							0,18			0,64
$\sum m_i$	381	110	53	20	11	64	81	161	149	119	313	33	91	72	41	16	11	
$\sum n_i$	11	22	8	3	2	2	6	14	15	9	20	5	9	4	5	3	2	
J_i	-0,44	0,4	0,28	0,27	0,36	-0,41	-0,03	0,04	0,1	-0,02	-0,1	0,28	0,1	-0,16	0,18	0,37	0,36	

Примечание. Цветом выделены положительные значения информативности признаков и ЭУ.
Note. Positive values of feature informativeness and elementary sites are highlighted.

Информативность признака J_{A_i/B_i} определяется по известной формуле Е.Б. Высокоостровской и Д.С. Зеленецкого [12]:

$$J_{A_i/B_i} = \lg[P(A_i/B_i)/P(A_i)], \quad (1)$$

где $P(A_i/B_i)$ – вероятность появления признака A_i в пределах рудоносных участков; $P(A_i)$ – вероятность появления признака A_i на всей исследованной территории.

При замене вероятностей частотами встречаемости признаков формула приобретает следующий вид:

$$J_i = \lg(M \cdot n_i / N \cdot m_i), \quad (2)$$

где J_i – информативность i -го нефритоконтролирующего признака; n_i – число «рудных» ЭУ на площади влияния i -го признака; m_i – число ЭУ в пределах площади выхода этого признака; M – общее число ЭУ на площади исследования (575 ЭУ); N – общее число «рудных» ЭУ на всей площади исследования (46 ЭУ).

Формула (2) может быть упрощена, поскольку на площади исследования параметры M и N – величины постоянные, их отношение можно заменить постоянным коэффициентом $K = M/N$, и тогда формула (2) примет вид

$$J_i = \lg(K \cdot n_i / m_i). \quad (3)$$

Следовательно, надежность расчета информативности признаков зависит от того, насколько полно площади их влияния (n_i и m_i) изучены детальными поисково-разведочными работами.

Для нашей площади $K = M/N = 575/46 = 12,5$. Формула (3) –

$$J_i = \lg(12,5 n_i / m_i).$$

Суммарная информативность ЭУ определяется как алгебраическая сумма информативностей всех геологических признаков, в контуры которых попадает данный ЭУ:

$$J_j = \sum J_i, \quad (4)$$

где j – номер ЭУ; i – индекс признака, в площадь влияния которого попадает этот ЭУ.

По результатам расчетов составлены графики распределения рудных и безрудных участков по значениям их суммарной информативности (рис. 4), которые позволяют определить граничное значение суммарной информативности 0,2, с одной стороны от нее располагаются преимущественно рудные, а с другой – безрудные участки.

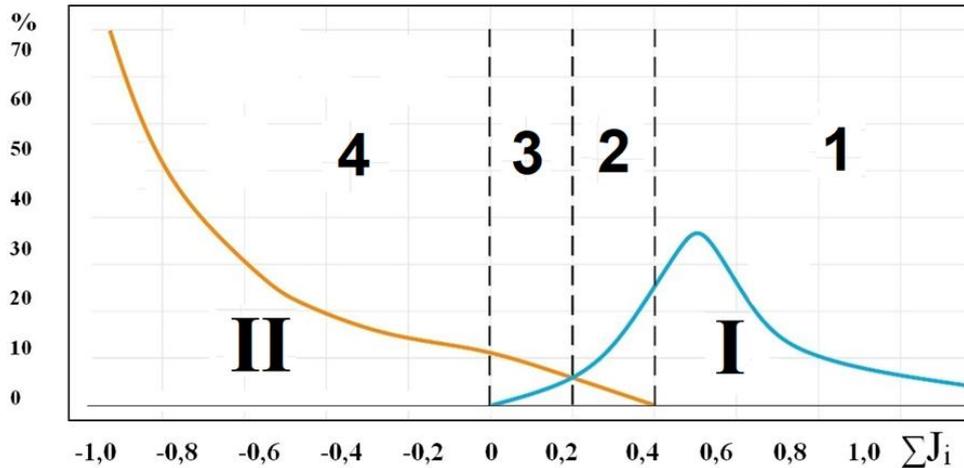


Рис. 4. Диаграммы расположения элементарных участков (I – рудных, II – безрудных) относительно их суммарной информативности
Арабские цифры – степень перспективности участков: 1 – участки с высокой перспективностью; 2 – участки со средней перспективностью; 3 – участки с низкой перспективностью; 4 – бесперспективные участки

Fig. 4. Location diagrams of elementary sites (I – ore, II – blank) regarding their total informativeness
Arabic numerals – prospect degree of sites: 1 – highly promising sites; 2 – sites with average prospects; 3 – sites with low prospects; 4 – unpromising sites

Граничное значение соответствует абсциссе точки пересечения кривых распределения рудных и безрудных ЭУ и разделяет кривые и прогнозируемую площадь на относительно перспективные и бесперспективные на нефрит части. В перспективной части кривых распределения могут быть выделены интервалы информативностей, соответствующие перспективности I, II и т. д. очереди.

Соответственно найденным значениям этих интервалов на карте, где в центрах ЭУ обозначена их суммарная информативность, проводятся линии равных перспектив. Составленная таким образом карта может быть отнесена к категории прогнозных (рис. 5). Она может служить основой для подсчета прогнозных ресурсов и выделения участков для постановки поисковых работ с поверхности и на глубине.

Как видно на рис. 5, первоочередные участки для поисков нефрита совпадают с областями пересечения разломов и их зон влияния, которые явля-

ются наиболее информативными признаками нефритоносности.

Заключение

Таким образом, проведенные исследования по локальному прогнозированию на основе использования косвенных поисковых признаков с количественной оценкой их информативности даже на ограниченном объеме исходных геологических данных позволили провести районирование изученной территории по степени перспективности и выделить участки для постановки первоочередных поисковых работ на нефрит.

Более детальное рассмотрение этого вопроса возможно при условии получения дополнительных геологических материалов. Для этого необходимо дополнительное изучение геологического строения территории нефритоносного Голубинско-Олломинского поля. В комплекс этих работ целесообразно включить изучение стратиграфии разреза перспективной свиты с целью детального стратиграфического расчленения, подробное изучения ее структурной

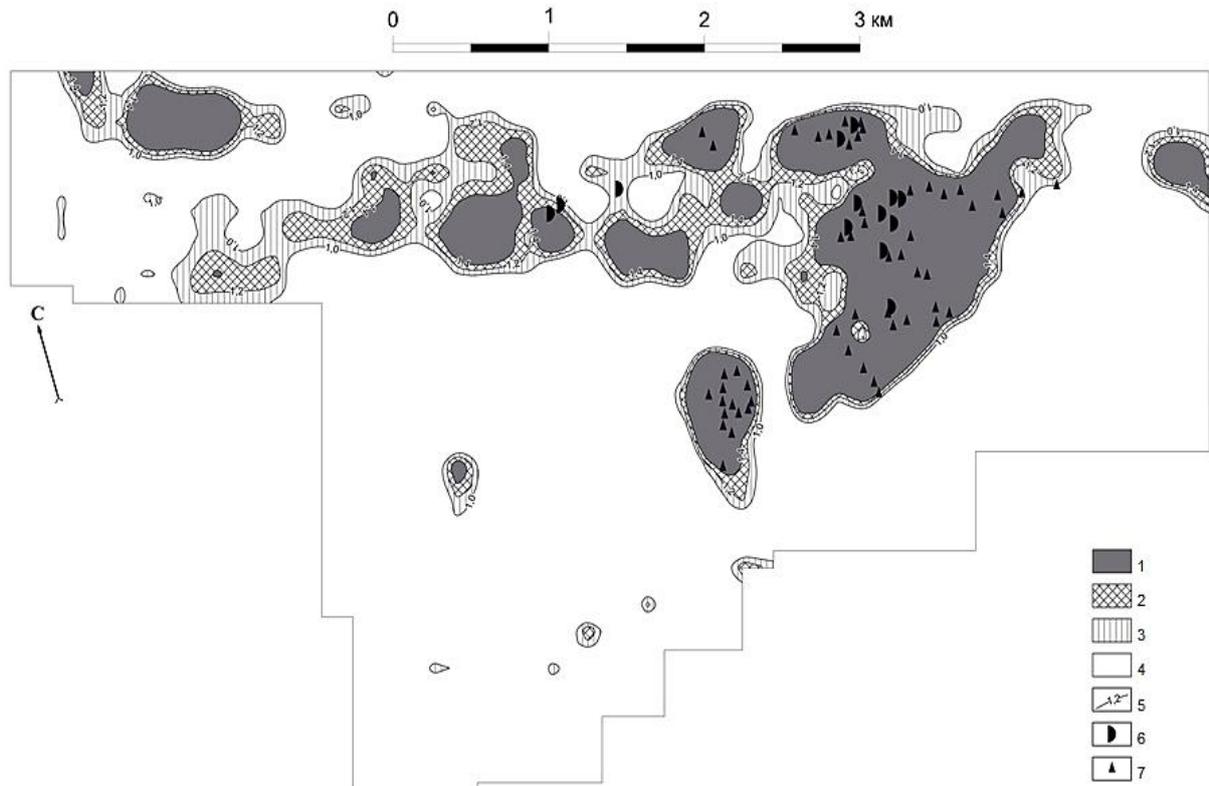


Рис. 5. Многофакторная прогнозная карта нефритоносности Голубинско-Олломинского поля:
1 – участки с высокой перспективностью на нефрит; 2 – участки со средней перспективностью на нефрит; 3 – участки с низкой перспективностью на нефрит; 4 – участки, неперспективные на нефрит; 5 – линии изоперспектив на нефрит; 6 – залежь нефрита; 7 – находки нефрита в делювии

Fig. 5. Multifactorial forecast map of nephrite mineralization of Golyubinsko-Ollominskoe field:
1 – areas highly promising for nephrite; 2 – areas with average prospect for nephrite;
3 – areas with low prospect for nephrite; 4 – areas unpromising for nephrite; 5 – line of nephrite isoprospectives; 6 – nephrite deposits; 7 – nephrite finds in deluvium

обстановки, проведение крупномасштабного картирования минералогии и петрографии всех выявленных метасо-

матических образований и ранее установленных фаций магматогенных комплексов территории.

Библиографический список

1. Кочнев А.П., Краснов Д.А. Факторы нефритоносности Голубинско-Олломинского нефритоносного поля (Республика Бурятия) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2017. Т. 40. № 1. С. 52–65.

2. Бурцева М.В., Рипп Г.С., Посохов В.Ф., Мурзинцева А.Е. Нефриты Восточной Сибири: геохимические особен-

ности и проблемы генезиса // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 3. С. 516–527.

3. Замалетдинов Р.С. Методика поисков и разведки месторождений нефрита // Разведка и охрана недр. 1975. № 7. С. 18–24.

4. Сутурин А.Н., Замалетдинов Р.С., Секерина Н.В. Месторождения нефритов / отв. ред. И.С. Ломоносов. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2015. 377 с.

5. Shere R.L. Geology of the Sagecreek nephrite deposit // Wyoming: Contri-

butions to Geology (University of Wyoming). 1972. Vol. 11. № 2. P. 83–86.

6. Harlow G.E., Sorensen S.S. Jade: Occurrence and metasomatic origin // Extended abstract from International Geological Congress 2000. 2001. P. 7–10.

7. Harlow G.E., Sorensen S.S. Jade (nephrite and jadeitite) and serpentinite: metasomatic connections // International Geology Review. 2005. Vol. 47. P. 113–146.

8. Cooper A.F. Nephrite and metagabbro in the Haast Schist at Muddy Creek, Northwest Otago, New Zealand // New Zealand Journal of Geology and Geophysics. 1995. Vol. 38. P. 325–332.

9. Кочнев А.П. Особенности локального прогнозирования твердых полезных ископаемых // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных

наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 1 (54). С. 33–44.

10. Кочнев А.П., Юренков Е.Г. Основы типизации прогнозно-поисковых моделей // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2014. № 1 (44). С. 74–80.

11. Бугаец А.Н., Дуденко Л.Н. Математические методы при прогнозировании месторождений полезных ископаемых. Л.: Недра, 1976. 270 с.

12. Высокоостровская Е.Б., Зеленецкий Д.С. О количественной оценке перспектив территории при поисках месторождений рудных полезных ископаемых // Советская геология. 1968. № 8. С. 58–71.

References

1. Kochnev A.P., Krasnov D.A. Nephrite-bearing factors of Golyubinskoe-Ollaminskoe nephrite-bearing field (Buryat Republic). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits], 2017, vol. 40, no. 1, pp. 52–65. (In Russian).

2. Burtseva M.V., Ripp G.S., Posokhov V.F., Murzintseva A.E. Nephritis of East Siberia: geochemical features and problems of genesis. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2015, vol. 56, no. 3, pp. 516–527. (In Russian).

3. Zamaletdinov R.S. Methods of nephrite deposit prospecting and exploration. *Razvedka i okhrana nedr* [Prospect and Protection of Mineral Resources], 1975, no. 7, pp. 18–24. (In Russian).

4. Sutorin A.N., Zamaletdinov R.S., Sekerina N.V. *Mestorozhdeniya nefritov* [Nephrite deposits]. Irkutsk: Irkutsk State University Publ., 2015, 377 p. (In Russian).

5. Shere R.L. Geology of the Sagecreek nephrite deposit. Wyoming: Contributions to Geology (University of Wyoming), 1972, vol. 11, no. 2, pp. 83–86.

6. Harlow G.E., Sorensen S.S. Jade: Occurrence and metasomatic origin. Extended abstract from International Geological Congress 2000, 2001, pp. 7–10.

7. Harlow G.E., Sorensen S.S. Jade (nephrite and jadeitite) and serpentinite: metasomatic connections. *International Geology Review*, 2005, vol. 47, pp. 113–146.

8. Cooper A.F. Nephrite and metagabbro in the Haast Schist at Muddy Creek, Northwest Otago, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 1995, vol. 38, pp. 325–332.

9. Kochnev A.P. Features of solid minerals local prediction. *Izvestiya Sibir-*

skogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2016, no. 1 (54), pp. 33–44. (In Russian).

10. Kochnev A.P., Yurenkov E.G. Fundamentals of forecasting and prospecting models typification. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenii* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian

Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits], 2014, no. 1 (44), pp. 74–80. (In Russian).

11. Bugaets A.N., Dudenko L.N. *Matematicheskie metody pri prognozirovanii mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Mathematical methods under prediction of mineral deposits]. Leningrad: Nedra Publ., 1976, 270 p. (In Russian).

12. Vysokoostrovskaya E.B., Zelenskii D.S. On quantitative assessment of the area prospects when searching for mineral deposits. *Sovetskaya geologiya* [Soviet Geology], 1968, no. 8, pp. 58–71. (In Russian).

Критерии авторства

Кочнев А.П., Краснов Д.А, Иванова Р.Н. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Kochnev A.P., Krasnov D.A, Ivanova R.N. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.