

12. Бернатонис В.К., Архипов В.С. Микроэлементный состав торфов // Поиски и разведка полезных ископаемых Сибири: Материалы научной конференции. – Томск: ТПУ, 2000. – С. 212-219.

13. Крештапова В.Н. Редкие, рассеянные и другие малые элементы в торфяных месторождениях Русской платформы // Изучение торфяного сырья и сапропеля. – М.: Недра, 1970. – С. 117-148.

MOBILE ELEMENTS IN PEAT OF CHISTOYE DEPOSIT

V.K. Bernatonis, V.S. Arkhipov, N.O. Tikhomirova
Tomsk Polytechnic University

It has been established the relationship between mobile forms of chemical elements extruded from the peat together with water at pressure 1 kgf/cm² and passing into water extract with further desorbtion by 0,5 N solution of NH₄Cl.

УДК 553.048.641(925.13-13)

АНАЛИЗ ПЛОТНОСТИ РАЗВЕДОЧНОЙ СЕТИ СЕЛИГДАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ АПАТИТА

Боярко Г.Ю.

Рассмотрены результаты исследований разведочной сети вариационным и автокорреляционным анализами, а также методом разрежения выработок. По данным вариационного анализа основных подсчетных параметров (содержание P₂O₅, коэффициент вариации) количество скважин, обеспечивающее минимальную надежность подсчета запасов в одном подсчетном блоке, должно быть 6-8. Максимальное расстояние закономерных изменений составляет в продольном направлении 103,1 м, в поперечном – 107,6 м. Сеть 100x100 м полностью находится в пределах минимальной площади автокорреляционного эллипсоида (103x107 м). Сеть 200x200 м относительно сети 100x100 м имеет погрешность аналогии подсчетных параметров 1,4–12,9%, линейных запасов P₂O₅ – 6,8–12,4%. Наиболее оптимальным методом оценки плотности разведочной сети для новых месторождений рекомендуется сгущение шага скважин только по одиночным ортогональным (поперечным и продольным) профилям с определением по ним минимального расстояния автокорреляции и относительной ошибки менее плотной сети при разрежении по этим профилям.

Селигдарское месторождение во время разведки не имело аналогов по геолого-структурным особенностям и вещественному составу. Соответственно, были не известны оптимальные размеры разведочной сети, исключено применение метода аналогии.

С целью обоснования представительности подсчетных параметров в состав разведочных работ включали опытно-методические работы для анализа плотности разведочной сети. На ранних этапах предварительной разведки производилось сгущение шага скважин до 100 м по опорным разрезам (продольному А-А и поперечному I^σ-I^σ) и при ее завершении в пределах экспериментального (эталонного) блока 100x100 м и частично 50x50 м (рис. 1).

Плотность разведочной сети оценивалась вариационным, автокорреляционным методами и способом разрежения сети.

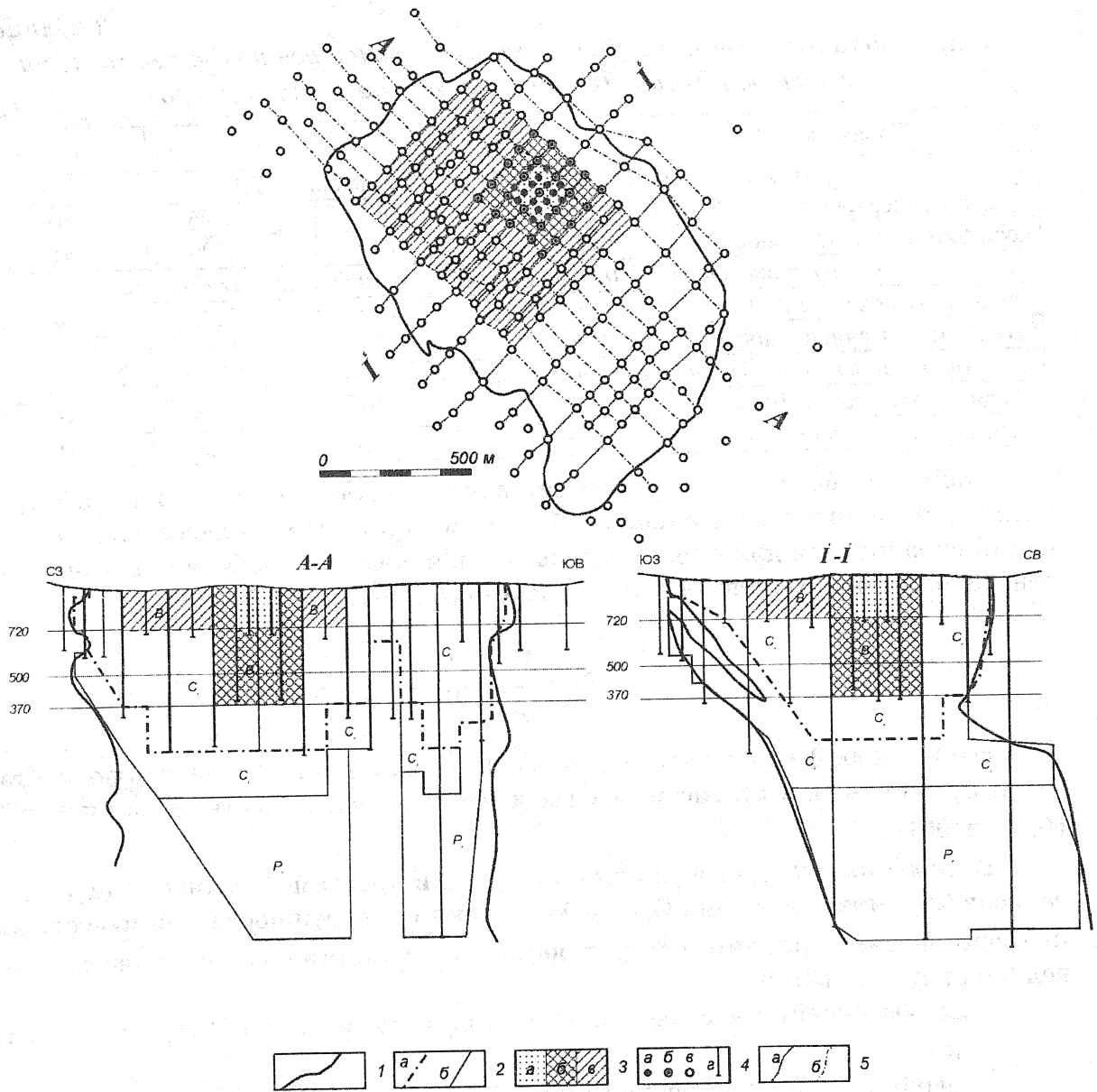


Рис. 1. План расположения и поперечное сечение блоков разрезания разведочной сети на Селигдарском месторождении апатита

1 – контуры рудного тела на поверхности докембрийского фундамента и на разрезе; 2 – контуры подсчетных блоков: а – категории В+С₁, б – категории С₂ и Р; 3 – контуры участков разрезания: а – блоков сети категории В 100х100 м в верхней части месторождения до отметки +720 м; б – экспериментального блока сети 100х100 м, пересекающего три слоя месторождения: от дневной поверхности до отметки +720 м, от +720 и до +500 м, от +500 м до +370 м; в – экспериментального блока сети 50х50 м в верхней части месторождения до отметки +720 м; 4 – скважины: а – экспериментального блока сети 50х50 м, б – экспериментального блока сети 100х100 м, в – остальные разведочные скважины, г – в проекции на разрезе; 5 – траектории расчета автокорреляционных функций: а – по поперечным профилям, б – по продольным профилям

Вариационный метод анализа. Достоверность разведочных данных в большой степени зависит от устойчивости подсчетных параметров в объеме месторождения. В таблице 1 приведены результаты статистической обработки этих признаков для трех горизонтов подсчета запасов. Большинство подсчетных параметров имеет коэффициент вариации 22–61% при ошибке среднего 3,5–14,6%.

Таблица 1

Статистические данные подсчетных параметров по Селигдарскому месторождению для трех слоев подсчета запасов

Параметры	N	\bar{C}	d	$V, \%$
<i>Слой от дневной поверхности до отметки +720 м</i>				
Среднее содержание $P_2O_5, \%$	156	6,59	1,96	30
Коэффициент рудоносности	159	0,706	0,292	41
<i>Слой от отметки +720 м до нижней кромки балансовых блоков</i>				
Среднее содержание $P_2O_5, \%$	84	6,47	2,20	34
Коэффициент рудоносности	86	0,770	0,280	35
<i>Слой от нижней кромки от нижней кромки балансовых блоков до отметки +370 м</i>				
Среднее содержание P_2O_5	60	5,19	1,95	38
Коэффициент рудоносности	63	0,710	0,294	41

Исходя из фактических значений изменчивости подсчетных параметров можно определить минимально необходимое количество разведочных пересечений скважинами для оценки блока. Решая обратную задачу Стьюдента [4] относительно количества объектов расчета (N), получаем

$$N = \frac{V^2}{P^2} \cdot t_{0,05},$$

где V – коэффициент вариации, %; P – заданная погрешность подсчета, %; $t_{0,05}$ – квантиль статистики Стьюдента при вероятности ошибки – 5% ($t_{0,05}=1,96$)

Таким образом, для выполнения условий требуемой точности подсчета запасов (не ниже категории C_1) – 20% заданной погрешности при известных коэффициентах вариации, следует обеспечить минимальное количество разведочных пересечений:

- для обеспечения достоверности среднего содержания P_2O_5 – 4–7 скважин;
- для обеспечения достоверности коэффициента рудоносности – 6–8 скважин;
- для надежности расчета мощности (длины пересечения блока) – 4–8 скважин;
- для обеспечения достоверности среднего содержания $MgO_{\text{общ}}$ – 2–6 скважин.

Эти условия выполнены при дальнейшей геометризации подсчетных блоков месторождения.

Автокорреляционный метод анализа. Используя автокорреляционную функцию распределения признака (подсчетного параметра) определяем степень его изменчивости в пространстве, устанавливаем расстояния, в пределах которых отмечаются закономерности изменений параметра [5]. Выявление предельных расстояний автокорреляции изучаемых признаков необходимо для обоснования количественной обработки результатов разведки, т.к. в пределах интервала нулевой корреляции правомерны интерполяция и ограниченная экстраполяция разведочных данных.

Автокорреляционные функции рассчитаны для основных подсчетных параметров (длина пересечений блока скважиной, сумма рудных интервалов, сумма метропроцента, коэффициент рудоносности, средние содержания P_2O_5 , SO_3 , $MgO_{общ}$, $MgO_{силик}$) по ортогональным направлениям разведки (продольный и поперечные профилям) на всех разведочных пересечениях, имеющих 7 скважин и более. Этому условию удовлетворяли 24 пересечения подсчетных блоков по 14 поперечным разрезам и 23 пересечения по 10 продольным разрезам. Расстояние нулевой (предельной) корреляции для продольных разрезов составляет 91–645 м, для поперечных 68–471 м (см. табл. 2). Размеры усредненного автокорреляционного эллипсоида 183x238 м, коэффициент его анизотропии 1,33 по отношению к продольным и поперечным осям месторождения. В пределах же минимального автокорреляционного эллипсоида 102x112 м полностью укладывается сеть 100x100 м, для которой правомерно выполненные интерполяции большинства подсчетных параметров.

Таблица 2

Расстояние нулевой автокорреляции распределения подсчетных параметров

Подсчетные параметры	Расстояние нулевой корреляции (м)					
	поперечные разрезы			продольные разрезы		
	минимум	максимум	среднее	минимум	максимум	среднее
Длина пересечений блока скважиной	117,9	281,7	188,0	106,0	305,2	188,0
Сумма рудных интервалов	123,8	271,9	189,8	120,4	463,6	260,0
Сумма метропроцента	134,1	273,7	198,2	77,1	475,9	284,0
Среднее содержание P_2O_5	103,1	326,6	224,4	115,3	441,1	237,1
Коэффициент рудоносности	105,0	247,4	175,2	107,6	352,9	229,5
Среднее содержание SO_3	72,7	224,2	131,3	110,6	277,6	227,6
Среднее содержание $MgO_{общ}$	68,2	319,2	204,4	93,9	402,7	246,8
Среднее содержание $MgO_{силик}$	92,6	201,9	149,4	168,6	288,6	228,2

Метод разрежения разведочной сети. Многовариантное последовательное разрежение исходной густой сети разведочных пересечений дает возможность выявить относительную изменчивость, погрешность определения подсчетных параметров в зависимости от плотности и формы правильных прямоугольных разведочных сетей [1, 2]. На Селигдарском месторождении, кроме разрежения в ортогональных направлениях, анализировались варианты диагональных и других направлений с образованием сетей различной геометрии (квадрат, прямоугольник, ромб), которые вписывались в исходную сеть.

За эталоны взяты: сеть 100x100 м группы подсчетных блоков категории В площадью 2,88 км²; сеть 100x100 м экспериментального блока площадью 0,16 км² и сеть 50x50 м в центре экспериментального блока площадью 0,04 км². Положения анализируемых блоков и направления разрежений показаны на рис. 1. Всего проанализировано 25 конфигураций разрежения сетей (103 варианта).

По блоку категории В анализировались погрешности аналогии длины пересечений скважиной блока, суммы длин рудных интервалов, суммы метропроцента P_2O_5 , среднего содержания P_2O_5 и $MgO_{общ}$, коэффициента рудоносности и линейных запасов P_2O_5 , в экспериментальном блоке еще и дополнительных параметров: средних содержаний основных петрогенных окислов

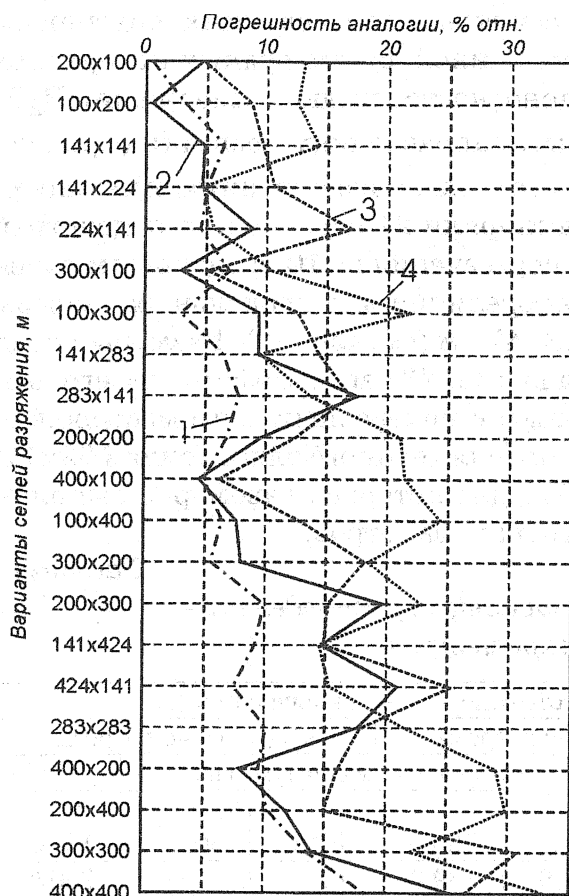


Рис. 2. Величина погрешности аналогии запасов P_2O_5 по вариантам разрежения разведочных сетей относительно сети 100×100 м

1–3 – для экспериментального блока на трех горизонтах: 1 – для слоя от дневной поверхности до отметки +720 м, 2 – для слоя от отметки +720 м до нижней кромки балансовых блоков (+500 м), 3 – для слоя от нижней кромки (+500 м) до отметки +370 м; 4 – для блоков категории В в слое от дневной поверхности до отметки +720 м

ний в зависимости от геометрии сетей разрежения отмечается меньшая погрешность при разрежении по северо-восточному азимуту для сетей 200×100 , 300×100 и 400×100 , что указывает на явную анизотропию в этом направлении.

Для верхнего слоя месторождения при разрежении эталонной сети 100×100 м до 300×300 м погрешность аналогии основных подсчетных параметров составляет 0,08–13,8%. Погрешности параметров при более редких сетях резко возрастают и составляют 15–30%. Сеть 200×200 м имеет погрешность аналогии анализируемых признаков 1,4–9,6%.

Для среднего и нижнего слоя месторождения наблюдается постепенное увеличение погрешности аналогии во сравнении с верхним, что обусловлено соответствующим усложнением геологического строения. Сеть 200×200 м относительно 100×100 м имеет погрешность подсчетных параметров: для среднего

рудной матрицы (Fe_2O_3 , CaO , CO_2 , не растворимого остатка, SO_3 и $MgO_{\text{сил}}$), в той или иной степени влияющих на технологический процесс. Погрешности аналогии основных подсчетных параметров – среднего содержания P_2O_5 и коэффициента рудоносности – по вариантам разрежения отображены на рис. 2.

По блокам категорий В учтены данные по 81 скважинам, пробуренных от дневной поверхности до гор, +720 и (150 м от дневной поверхности). При разрежении относительно эталонной сети 100×100 м вплоть до сети 400×400 м погрешность аналогии подсчетных параметров не превышает 10%. Сети же, 300×300 м и 400×400 м характеризуются погрешностью линейных запасов 10,4 и 13,5%, соответственно. Сеть 200×200 м, хотя и имеет низкую погрешность аналогии параметров (от 2,5 до 5,8%), но не обеспечивает полной расшифровки геологической структуры. Зависимости погрешности от конфигурации сетей разрежения (квадрат, прямоугольник, ромб) не наблюдается.

В экспериментальном блоке с сетью 100×100 м проанализированы данные по подсчетным параметрам для трех уровней подсчетных блоков (25 скважин): от дневной поверхности до горизонта +720 м; от горизонта +720 м до нижней кромки балансовых руд (горизонт +500 м) и ниже кромки балансовых руд до горизонта +370 м. Из закономерных изменений

слоя – 1,43–9,57%, для нижнего – 3,2–21,2%. При дальнейшем разрежении погрешность увеличивается и составляет, соответственно, 15–40 и 15–70%.

В экспериментальном блоке с сетью 50x50 м при разрежении 25 скважин до сети 100x100 м наблюдается погрешность аналогии подсчетных параметров, равная 17–20% (см. рис. 3). Дальнейшее разрежение увеличивает максимальную погрешность до 20–36%. В отличие от приведенных данных о независимости погрешностей подсчетных параметров от конфигураций сетей разрежения, для сети 50x50 м наблюдается снижение погрешности аналогии в вариантах 100x50, 70x70, 70x141, 141x144 м, и одновременно, увеличение для вариантов 50x100, 141x70, 212x70, 200x100 м.

Такой дисбаланс обусловлен высокочастотными гармониками периодического распределения признаков. Гармонический анализ распределения содержания P_2O_5 (методом быстрого разложения ряда Фурье) по горизонтальным (канавы) и вертикальным (скважины) направлениям выявил отдельные стационарные гармоники с периодичностью 15, 20, 25, 30 и 40 м. В то же время эти систематические гармоники не повторяются в сопредельных выработках, что свидетельствует о незначительной области распространения влияния конкретных гармоник. Их влияние на Селигдарском месторождении фиксируется лишь в малых объемах (при большой плотности сети опробования). По этой причине сеть 50x50 м для данного рудного тела является избыточно-мелкой, в таких случаях периодические микронеоднородности геологической среды вызывают увеличение погрешности аналогии подсчетных параметров.

В результате сопоставления данных анализа разведочной сети методом разрежения, который выполняли на Селигдарском месторождении трижды (по мере наращивания разведочных работ) выявлено, что величина погрешности аналогии довольно отчетливо зависит от дисперсии подсчетных параметров в данном объеме рудного тела (пропорционально), и количества участвующих в анализе скважин и количества вариантов разрежений (обратно пропорционально). При компенсации учета последних – в расчете с одинаковым количеством скважин и идентичной геометрией сети – независимо от шага скважин наблюдаются очень близкие значения погрешности аналогии при одних и тех же вариантах разрежения. Это еще раз свидетельствует об относительности оценки погрешности определения подсчетных параметров, полученных методом разрежения разведочной сети.

Общая погрешность подсчета запасов на Селигдарском месторождении ана-

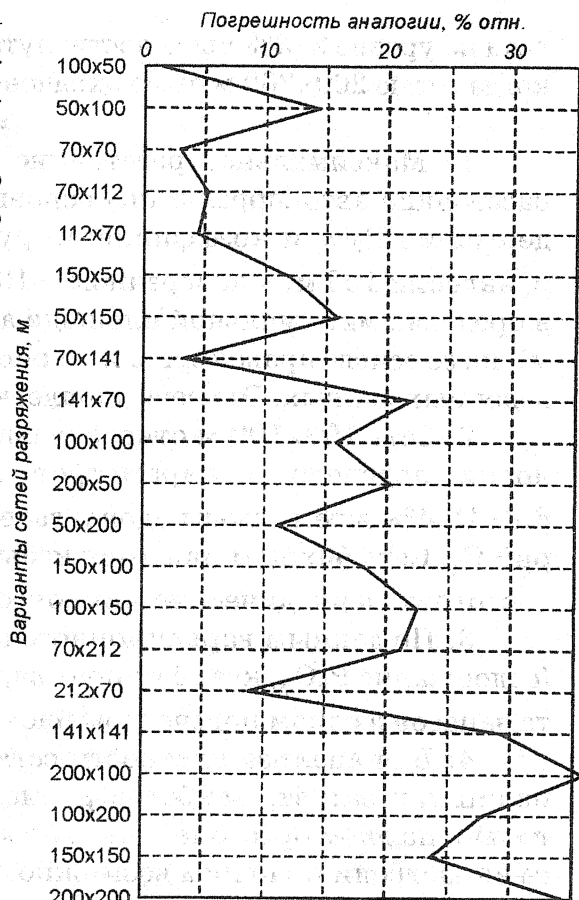


Рис. 3. Величина погрешности аналогии запасов P_2O_5 по вариантам разрежения разведочных сетей относительно сети 50x50 м, для экспериментального блока от дневной поверхности до отметки +720 м

тата на уровне 2–3% была достигнута уже на стадии предварительной разведки, когда сеть 200x200 м было охвачено свыше 50% объема рудного тела [3].

Выводы:

1. Максимальное расстояние закономерных изменений (минимальное расстояние автокорреляции) основных подсчетных параметров (среднего содержания P_2O_5 и коэффициента рудоносности) составляет в продольном направлении 103 м, в поперечном – 107 м. Сеть 100x100 м полностью находится в пределах минимальной площади автокорреляционного эллипсоида (103x107 м), на ее основе правомерны интерполяция и ограниченная экстраполяция разведочных данных. Эта сеть удовлетворяет требованиям категории В.

2. Сеть 100x100 м относительно сети 200x200 м имеет погрешность аналогии подсчетных параметров 1,4–12,9% линейных запасов P_2O_5 – 6,8–12,4% и тем самым удовлетворяет требованиям подсчета запасов категорий С₁. Сеть 50x50 м является избыточно мелкой, так как вскрывает высокочастотные периодические микронеоднородности геологической среды.

3. По данным вариационного анализа основных подсчетных параметров (содержание P_2O_5 , коэффициент вариации) минимальную надежность подсчета запасов в одном подсчетном блоке обеспечивает 6–8 скважин.

4. Для анализа плотности сети новых объектов разведки, во избежание излишних затрат, наиболее рационально увеличение плотности выработок только по двум ортогональным профилям вдоль осей предполагаемого эллипса анизотропии. По ним возможно определить минимальное расстояние автокорреляции подсчетных параметров этих направлений, а также разрядить шаг скважин по профилям с расчетом относительной ошибки менее плотных сетей. По данным профильного варианта анализа плотности сети, получаются те же результаты, что и по площадным полигонам сгущения выработок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Багацкий В.В. Анализ плотности разведочной сети. М.: Госгеолтехиздат, 1963. 149 с.
2. Бирюков В.И., Данилов М.П., Казаков Е.К. и др. Рациональная сеть предварительной разведки (методическое пособие). М.: Недра, 1978, 262 с.
3. Боярко Г.Ю. Оценка погрешности подсчета запасов Селигдарского месторождения апатита // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2001. № 6. С. 83–93.
4. Матерон М. Основы прикладной геостатистики. М.: Мир, 1968, 242 с.
5. Каждан А.Б. Методологические основы разведки полезных ископаемых. М.: Недра, 1974, 271 с.

ANALYSIS OF PROSPECTING NET DENSITY AT SELIGDARSK APATITE DEPOSIT

G.Yu. Boyarko

Results of research in survey network by variational and autocorrelative analyses and by method of working rarefaction are under consideration. On evidences derived from variational analysis of the main parameters (content of P_2O_5 , variational coefficient) quantity of bore holes provided minimal reliability

in calculation of reserves in one block should be 6 - 8. Maximal distance of regular longwise changes is 103.1 m, across ones - 107.6 m. The net 100x100 m is localised within minimal area of autocorrelative ellipsoid (103x107 m). Compared to the net 100x100 m, the net 200x200 m is characterised by analogous error of calculating parameters 1.4 - 12.9%, and linear reserves of P₂O₅ - 6.8 - 12.4%. The most optimal method proposed for assessment of survey network density for new deposits is to increase a quantity of bore holes only along separate orthogonal (longitudinal and cross) profiles with determination of minimal distances of autocorrelation and relative error of the net.

УДК 553.311

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ «СТРАТИФОРМНЫХ» ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В АРХЕЙСКОМ ФУНДАМЕНТЕ АЛДАНСКОГО ЩИТА

Ворошилов В.Г., Боярко Ю.Г.

Исследованы особенности аномальных геохимических полей золоторудных месторождений Кур и Притрассовое, расположенных в пределах Алданского щита. Выявленная геохимическая зональность свидетельствует о том, что золотое оруденение контролируется субширотными разрывными структурами. Полученные авторами данные позволяют считать, что золотое оруденение вероятнее всего связано с мезозойским этапом тектоно-магматической активизации.

Золоторудные месторождения уникального по запасам и концентрации оруденения Южно-Якутского металлогенического пояса в большинстве своем расположены в осадочном чехле Алданского щита и связаны с процессом его тектономагматической активизации в мезозойское время [1, 2, 6]. Менее определенно интерпретируется генезис золотой минерализации, залегающей непосредственно в архейских породах кристаллического фундамента и не имеющей видимой связи с мезозойским магматизмом. Достаточно достоверно мезозойский возраст оруденения, локализованного в архейском фундаменте, установлен для следующих рудных формаций:

- золото-урановая, в омоложенных тектонических швах – месторождения эльконского типа (месторождение Лунное, зона Южная и др.);
- золото-малосульфидно-кварцевая, в регионально развитых зеленосланцевых диафторитах Становой складчатой области (рудопроявление Скобельцинский и др.);
- золото-сульфидная и золото-малосульфидная формация месторождений лебединского типа, корневые фрагменты которых находятся и в архейских породах (залежь Мраморная и др.).

В последние годы в центральной части Алданского щита выявлены рудопроявления нового морфологического типа со «стратиформным» залеганием золотоносных тел [3].

В тектоническом отношении рассматриваемая площадь относится к Чара-Алданской металлогенической зоне, в пределах которой выделяется ряд рудных районов, связанных с ареалами мезозойского щелочного и субщелочного магматизма, представленными плутонами, штоками и силлами сиени-