

УДК 519:549.27'28(571.51)

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ НА КИНГАШКОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

А.И. Чернышов, С.С. Тарима, М.А. Мишенина

Томский государственный университет

634050, Томск, просп. Ленина, 36, e-mail: aich@ggf.tsu.ru

На Кингашском мафит-ультрамафитовом массиве, вмещающем одноименное месторождение, в процессе применения математического анализа установлен статистический характер распределения Pt, Pd и Au по опробованным скважинам, а также построены трехмерные графики распределения этих металлов на различных уровнях среза. Не все скважины были опробованы однозначно как в количественном отношении, так и по глубине, что вызывает трудности в интерпретации результатов исследования.

Внутреннее строение и петрографический состав Кингашского массива

Кингашский массив являлся объектом изучения многих исследователей [1-4]. Он представля-

ет собой линзовидное тело С-З простирания, конкордантное структуре пород обрамления (рис. 1). Разрывное нарушение в осевой части массива, вероятно, является глубинным разломом, который был использован в качестве подводящего канала для внедрения коматиит-базальтовых расплавов в верхние этажи земной коры с последующим излиянием на ее поверхность.

Ультрамафитовая рудоносная часть разреза представлена, преимущественно, кумулятивными дунитами и их серпентинизированными разновидностями, в меньшей мере - верлитами и пикритами, которые не обнаруживают какой-либо стратификации, а распределяются хаотично [4]. Можно предположить, что образование ультрамафитового тела осуществлялось в магматической ка-

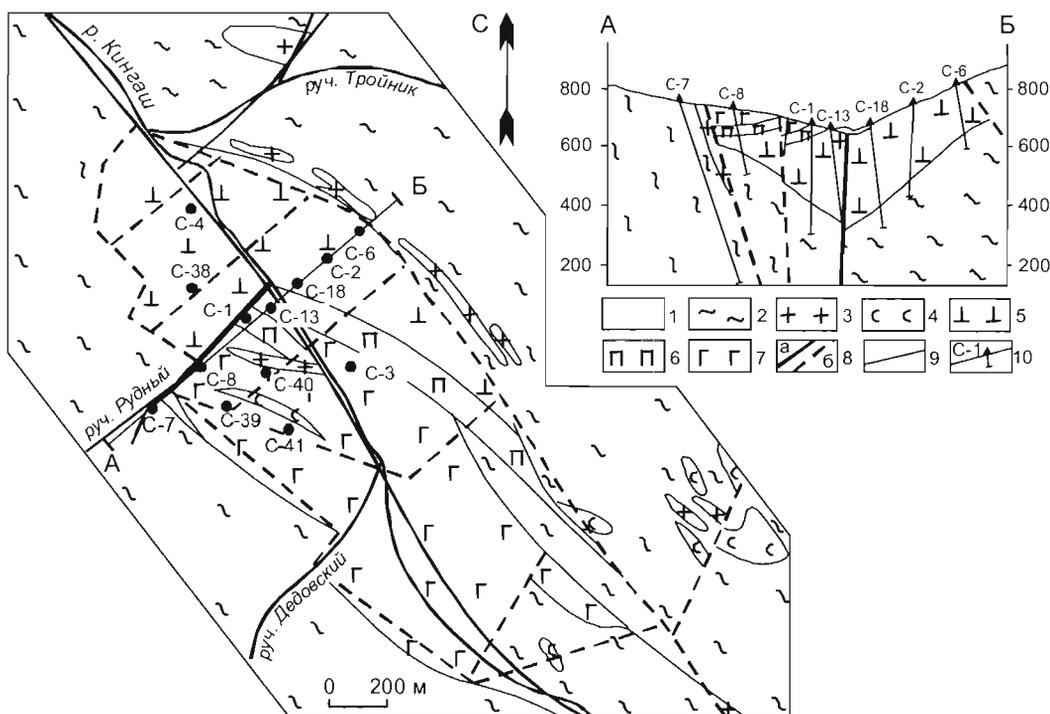


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Кингашского мафит-ультрамафитового массива (Составлена Н.А. Третьяковым, В.А. Прохоровой)

1 – четвертичные отложения; 2 – вмещающие породы: гнейсы, амфиболиты, мраморы; 3 – гранитоиды; 4 – серпентиниты; 5 – ультрамафиты; 6 – клинопироксениты; 7 – габброиды; 8 – тектонические нарушения: а) достоверные, б) предполагаемые; 9 – геологические границы; 10 – местоположение скважин и их номер

мере в условиях активной тектонической обстановки, когда режим сжатия периодически сменялся растяжением. В моменты растяжения, очевидно, происходило пульсационное внедрение в камеру по образовавшимся в ней ослабленным зонам неоднородных по составу ультраосновных расплавов, которые возникли в результате магматической дифференциации в более глубинном промежуточном магматическом очаге.

Габброиды, перекрывающие ультрамафиты, очевидно представляют более позднюю фазу внедрения. Они интенсивно метаморфизованы и по составу отвечают метагаббро, реже амфиболитам. Габброиды встречаются также в виде многочисленных даек в ультрамафитах, где они представлены амфиболизированными метабазами и амфиболитами.

Многочисленные дайковые и жильные тела гранитоидов были внедрены в ультрамафиты и габброиды с явным временным перерывом. Их формирование сопровождалось интенсивной серпентинизацией дунитов с образованием антигоритовых серпентинитов и, нередко, метасоматических образований, сложенных антигоритом, тремолитом, хлоритом, флогопитом и карбонатом.

Ультрамафиты представляют наибольший интерес в связи с их рудоносностью. Они постоянно обнаруживают кумулятивную структуру и подразделяются на следующие основные разновидности: дуниты, верлиты и амфиболовые пикриты, с преимущественным преобладанием первых. Кумулюсная фаза в них представлена оливинами, а интеркумулюсная – клинопироксеном, тремолитом, рудными минералами, реже в них отмечаются хлорит, брусит, флогопит и тонкозернистый полуизотропный антигорит. Между дунитами, верлитами и амфиболовыми пикритами наблюдаются постепенные переходы, обусловленные количественными вариациями кумулюсной и интеркумулюсной фаз, а также оливина, клинопироксена и тремолита. Формирование выделяемых разновидностей, очевидно, связано с дифференцированием коматиитовых расплавов в промежуточных магматических очагах в процессе отсадки оливина. В дальнейшем расщепленные порции кашеобразных расплавов, состоящих из кумулюсных зерен оливина и интеркумулюсной жидкости с различным количественным соотношением, внедрялись в близ поверхностные горизонты. При этом состав интеркумулюсной жидкости был очень неоднороден, что

находит отражение в разнообразии минералов интеркумулюсной фазы и их количественных соотношениях.

Первичные породы очень редко сохраняют свежий облик. Обычно они в различной степени серпентинизированы вплоть до образования серпентинитов. Серпентинизированные дуниты и аподунитовые серпентиниты, преимущественно lizardитового состава, являются наиболее распространенными породами в массиве. Они, очевидно, образовались в результате “мягкого”, автотасоматического процесса метаморфизма, поэтому в них хорошо сохраняется исходная кумулятивная микроструктура. Происходит интенсивное замещение первичных кумулятивных зерен оливина lizardитом до их полного псевдоморфного замещения. Аподунитовые серпентиниты, преимущественно антигоритового состава, также являются распространенными породами. Их образование, вероятно, обусловлено аллотасоматическими процессами, возможно связанными с внедрением гранитоидных тел. В результате ультрамафиты претерпели перекристаллизацию с образованием антигорита на месте lizardита. Этот процесс проявился очень неравномерно, о чем свидетельствуют значительные вариации в породах количественных соотношений lizardита и антигорита. Перекристаллизация способствовала редуцированию исходной кумулятивной структуры до ее полного уничтожения. В сохранившихся интерстициях возрастает роль хлорита, брусита, антигорита, в тесном срастании с рудными минералами. Для антигоритовых серпентинитов часто характерно присутствие карбонатов и хлорита.

По ультрамафитам развиты разнообразные метасоматические образования сложенные тремолитом, актинолитом, флогопитом, тальком, серпентином, хлоритом и кальцитом. По составу они могут быть как мономинеральными, так и сложены двумя и более минералами. Они часто приурочены к дайкам кислых пород.

Ультрамафиты Кингашского месторождения не являются однородными образованиями. Их структурно-минералогические особенности и вещественный состав отражают условия становления массива и последующего его метаморфогенного преобразования [5]. По структурным признакам, наличию кумулятивной структуры, массив ультрамафитов является субвулканическим телом, сформировавшимся на небольших глубинах.

Статистический характер распределения благородных металлов по скважинам

Статистический анализ содержания благородных металлов (БМ): Pt, Pd и Au проводился по 12 скважинам Кингашского месторождения (см. рис. 1). Для выявления закономерностей концентраций металлов были использованы оценки полиномов, которые отражают усредненный характер их распределений в зависимости от глубины опробования пород. По выборочным данным для каждой скважины были оценены коэффициенты полиномов шестого порядка и построены графики трендов распределений Pt, Pd, Au и сумм МПГ, которые отражают зависимости их насыщенностей от глубины отбора проб.

Полиномы построены из условия минимума суммы квадратов отклонений наблюдений от соответствующих линий тренда. На каждом из графиков приводятся уравнения полиномов и величины R^2 , определяющие близость выборочных данных построенной линии тренда. При этом, если величина R^2 приближается к нулю, то в этом случае тренд слабо или совсем не отражает присутствующую в наблюдениях зависимость. Если же R^2 стремится к единице с ростом наблюдений, то такая зависимость в имеющихся наблюдениях наиболее сильная и с большей достоверностью соответствует построенным трендам. Среди имеющихся данных присутствуют наблюдения, которые отличаются от общей тенденции разброса насыщенностей (например, в скважине 32 на глубине 140 м и в скважине 38 на глубине 231 м были отмечены высокие содержания Pt, соответственно 7,01 г/т и 3,62 г/т). И, как следствие, эти наблюдения сильно влияют на статистические характеристики (например, с учетом этих наблюдений изменяется среднее и дисперсия, причем не только по одной скважине, но и по всей их совокупности).

Для уменьшения воздействия аномальных наблюдений на общую картину распределения содержания БМ по всем скважинам проведено цензурирование имеющейся выборки. Из 352 наблюдений, распределенных по 12 скважинам, лишь 5 превышают уровень насыщенности 1,5 г/т по Pt, что составляет около 1,4% от общего объема выборки (3 наблюдения из 32 скважины и 2 - из 38 скважины). По Pd таких наблюдений 6 (2 из 32 скважины, 3 из 33 и 1 из 36). Цензурирование выборки проведено на уровне 1,5 г/т как для Pt, так и Pd, что позволило получить более отчетли-

вую картину распределения не отброшенных цензурированием наблюдений. Распределение наблюдений по Au не имеет таких контрастных выбросов, так как его содержания более равномерно распределены по выборке от 0,01 до 0,75 г/т. Поэтому цензура на наблюдения по Au не проводилась. Степень линейной связи между концентрациями БМ определяется коэффициентом корреляции.

При введенном цензурировании выборки общие статистические характеристики выборки претерпели следующие изменения:

Среднее значение насыщенности Pt снизилось с 0,32 до 0,30 г/т, в то время как дисперсия уменьшилась с 0,23 до 0,07 (т.е. почти в 4 раза).

Среднее значение насыщенности Pd снизилось с 0,38 до 0,36 г/т, в то время как дисперсия уменьшилась с 0,2 до 0,1 (т.е. почти в 2 раза).

Среднее значение совместной насыщенности Pt и Pd снизилось с 0,70 до 0,66 г/т, в то время как дисперсия снизилась с 0,75 до 0,3 (т.е. в 2,5 раза).

Оценка коэффициента корреляции между наблюдениями по Pd и Pt снизилась с 0,76 до 0,72.

Оценка коэффициента корреляции между наблюдениями по Au и Pt изменилась совсем незначительно с 0,50 до 0,49.

Оценка коэффициента корреляции между наблюдениями по Pd и Au снизилась с 0,56 до 0,46.

Среднее значение Au в наблюдениях 0,09 г/т при дисперсии 0,0087.

Ниже приводятся описания трендов распределения Pt, Pd и Au в шести скважинах Кингашского месторождения с большим числом наблюдений.

Скважина 18

Породы из скважины 18 опробованы в более широком диапазоне глубин 100–370 м, при этом основные статистические характеристики имеют большую точность, так как основаны на более представительной выборке, содержащей 52 наблюдения. Оценки трендов распределений металлов отображены на рисунке 2. Изученный петрографический состав пород в разрезе скважины дает возможность увязать его с содержанием платиноидов.

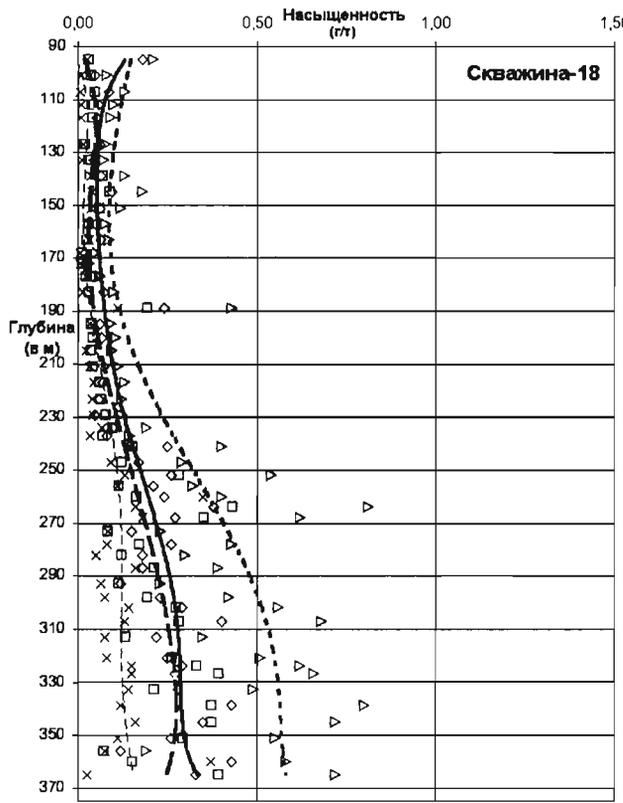
Платина. Среднее содержание Pt в измерениях данной скважины составляет 0,17 г/т, при этом оценка дисперсии по выборке равна 0,014. Поведение насыщенности было оценено с использованием полинома 6-ой степени (уравнение тренда выведено на графике) при величине дос-

товерности аппроксимации $R^2 = 0,6581$. Величина этого коэффициента отображает степень соответствия выбранной модели тренда истинному распределению Pt. На на глубине 100–200 м насыщенность пород Pt минимальная и изменяется от 0,05 до 0,1 г/т (см. рис. 2). С увеличением глубин в интервале 200–300 м наблюдается повышение насыщенности от 0,1 до 0,25 г/т. Ниже 300 м величина содержания остается максимально высокой для данной скважины и составляет 0,25 - 0,35 г/т. Повышение среднего содержания Pt с возрастанием глубины сопровождается увеличением разброса наблюдений вокруг среднего.

Палладий. Тренд Pd имеет аналогичный с Pt характер распределения. Имеющееся отличие выражается лишь незначительно меньшими его

средними для соответствующих диапазонов глубин концентрациями. Среднее содержание Pd - 0,14 г/т. В интервале глубин 90–200 м отмечается его минимальное содержание, а свыше 200 м проявляется тенденция его увеличения. Оценка дисперсии Pd 0,003.

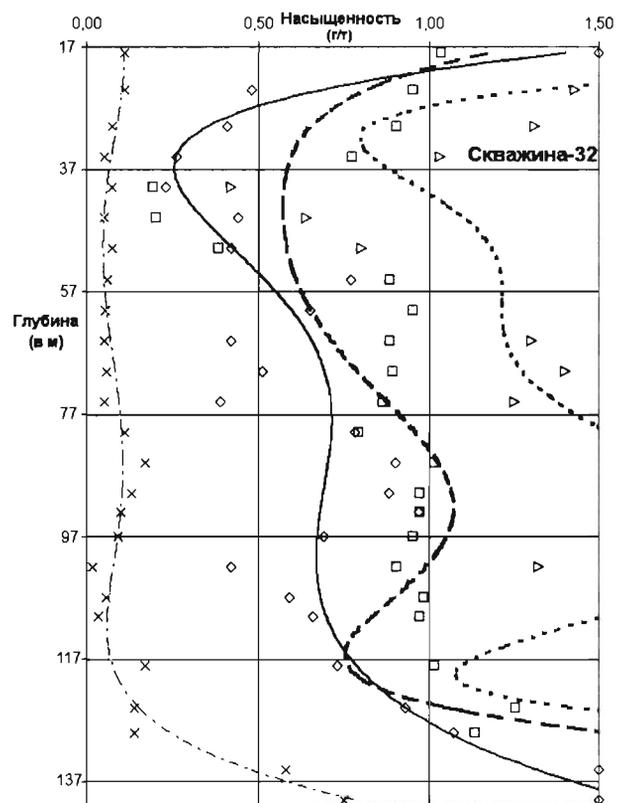
Платина и палладий. Наиболее отчетливо тенденция распределения Pt и Pd устанавливается на тренде их суммарного распределения. В данной скважине можно установить три интервала, характеризующих поведение МПГ. В верхних горизонтах скважины (от 90 до 190 м) отмечаются слабые концентрации БМ, которые равномерно распределены по данному интервалу. Этот интервал сложен свежими и серпентинизированными дунитами, характеризующимися малым количе-



Уравнения полиномиальных трендов

$Pt = 5E-14x^6 - 7E-11x^5 + 4E-08x^4 - 1E-05x^3 + 0,0017x^2 - 0,1411x + 4,7441 \quad R^2 = 0,6581$
 $Pd = -3E-14x^6 + 4E-11x^5 - 2E-08x^4 + 8E-06x^3 - 0,0013x^2 + 0,1114x - 3,7016 \quad R^2 = 0,5888$
 $Pt_Pd = 3E-14x^6 - 3E-11x^5 + 2E-08x^4 - 4E-06x^3 + 0,0004x^2 - 0,0297x + 1,0425 \quad R^2 = 0,6587$
 $Au = -3E-14x^6 + 4E-11x^5 - 3E-08x^4 + 9E-06x^3 - 0,0014x^2 + 0,1184x - 3,8699 \quad R^2 = 0,4088$

- ◇ Pt
- Pd
- △ Pt_Pd
- × Au
- платина
- - - палладий
- · - · - платина + палладий
- · · · золото



Уравнения полиномиальных трендов

$Pt = 2E-11x^6 - 1E-08x^5 + 3E-06x^4 - 0,0003x^3 + 0,0208x^2 - 0,6502x + 8,0059 \quad R^2 = 0,8108$
 $Pd = 9E-11x^6 - 4E-08x^5 + 6E-06x^4 - 0,0005x^3 + 0,0206x^2 - 0,4932x + 5,5135 \quad R^2 = 0,9579$
 $Pt_Pd = 4E-10x^6 - 2E-07x^5 + 3E-05x^4 - 0,0027x^3 + 0,1283x^2 - 3,0546x + 29,375 \quad R^2 = 0,9598$
 $Au = 2E-12x^6 + 8E-11x^5 - 1E-07x^4 + 2E-05x^3 - 0,0012x^2 + 0,0273x - 0,0968 \quad R^2 = 0,9315$

- ◇ Pt
- Pd
- △ Pt_Pd
- × Au
- платина
- - - палладий
- · - · - платина + палладий
- · · золото

Рис. 2. Тренды распределения содержаний благородных металлов в зависимости от глубины в скважинах 18 и 32

ством интеркумуляусной фазы (до 15%). Среди дунитов встречаются мелкие тела гранитоидов и амфиболитов. В интервале 190-300 м с увеличением глубины и последующей сменой пород: дуниты серпентинизированные (лизардитовые) → верлиты → дуниты серпентинизированные (лизардит-антигоритовые) → серпентиниты антигорит-лизардитового состава → серпентиниты лизардит-антигоритового состава, отмечается постоянный рост концентраций МПГ от 0,1 до 0,5 г/т. Для данного интервала характерна максимальная величина дисперсии равная 0,037. Ниже 300 м породы представлены в основном серпентинитами антигорит-лизардитового и антигоритового состава с прослоями метасоматитов, которые отличаются наиболее высокими содержаниями МПГ и более низкой, чем в предыдущем интервале их дисперсией равной 0,027.

Золото. В отличие от МПГ Au имеет более низкие содержания. Однако, как и для МПГ, на глубинах свыше 200 м отмечается тенденция к его увеличению. Среднее содержание Au – 0,08 г/т при оценке дисперсии равной 0,006.

Таким образом, тренды распределений БМ в скважине 18, очевидно, наиболее достоверно отражают корреляционные зависимости их содержаний от глубины и петрографического состава пород. Минимальные содержания благородных металлов устанавливаются в верхней части разреза скважины, сложенной, преимущественно, дунитами, серпентинизированными (лизардитовыми) дунитами и аподунитовыми серпентинитами лизардитового состава, возникших в процессе аутометасоматических процессов. Средняя часть разреза скважины (190-300 м) характеризуется, главным образом, возрастанием МПГ, что, вероятно, связано с аллосерпентинизацией, способствующей замещению лизардита антигоритом и образованию антигорит-лизардитовых и лизардит-антигоритовых серпентинитов. Нижние, наиболее обогащенные платиноидами, горизонты скважины (300-370 м) представлены антигорит-лизардитовыми, лизардит-антигоритовыми и антигоритовыми серпентинитами с повышенным содержанием интеркумуляусной фазы (до 30%) и образовавшимися по ним метасоматическими образованиями.

Характерна очень высокая положительная корреляция для данной скважины между Pt и Pd, и их слабое взаимодействие с Au.

Скважина 32

Замеры насыщенности БМ в скважине 32 выполнены в количестве 25 проб в диапазоне глу-

бин от 20 до 140 м и увязаны с петрографическим составом пород. Эта скважина представляет наибольший интерес в смысле исследуемых насыщенностей металлов. Поскольку даже после цензурирования до уровня 1,5 г/т нескольких наблюдений выборки по Pt и Pd средние значения металлов в данной скважине являются самыми высокими по сравнению с другими скважинами. Поведение насыщенностей металлов отражается соответствующими полиномиальными трендами на рис. 2. Высокие расчетные значения коэффициента R2 обусловлены высокой точностью отражения реальной зависимости насыщенностей металлов от глубины, построенными полиномиальными трендами.

Платина. До цензурирования имелось наблюдение, которое сильно влияло на среднее значение нецензурированной выборки равное 2,01 г/т, т.к. на глубине 140 м насыщенность была равна 7,01 г/т. При ограничении этого значения до 1,5 г/т, среднее значение Pt цензурированной выборки становится равным 0,72 г/т. Оценка дисперсии равна 0,13, что говорит о достаточно большом разбросе наблюдений вокруг среднего значения. Если не рассматривать аномально высокие содержания Pt, превышающие уровень 1,5 г/т (на глубинах 18, 135 и 140 м), и три самых низких 0,26, 0,23 и 0,39 г/т (соответственно на глубинах 35, 40 и 75 м), то изменение насыщенности происходит в диапазоне от 0,41 до 1,07 г/т.

Уменьшение насыщенности Pt наблюдается на глубине 37 м (0,25 г/т). Затем происходит постепенное увеличение насыщенности до 0,7 г/т на глубине 70 м. Такое содержание Pt остается стабильным до глубины 115 м. Далее с увеличением глубины отмечается резкое увеличение концентрации Pt, что объясняется наличием двух аномальных, хотя и цензурированных, наблюдений на глубинах 135 и 140 м.

Палладий. Тренд распределения Pd несколько отличается от аналогичного тренда Pt большей частотой колебаний полиномиальной зависимости относительно глубины. Среднее содержание Pd в данном интервале глубин скважины равно 1,13 г/т при относительно высокой оценке дисперсии равной 1,03. Выделяются два локальных минимума на глубинах 40 и 117 м, в которых содержания Pd соответственно составляют 0,6 и 0,75 г/т. Наличие аномальных наблюдений на глубинах 18, 135 и 140 м нашло отражение в резком изменении тренда в сторону увеличения концентрации. На глубине 95 м отмечается возрастание

содержания Pd до 1,05 г/т. Как и в случае с Pt, наблюдаем наличие большого разброса наблюдений вокруг среднего значения, при высоком среднем значении насыщенности.

Платина и палладий. Тренд совместного распределения Pt и Pd ярче определяет очень неравномерное распределение МПГ по разрезу скважины. Аномально высокие содержания МПГ (более 1,5 г/т) отмечаются на глубинах 18 и 135-140 м, отражением которых являются максимальные значения тренда на соответствующих глубинах. При этом верхние части разреза сложены антигоритовыми серпентинитами, в значительной степени карбонатизированными. Интервал 135-140 м (подошва ультрамафитового тела) представлен интенсивно перекристаллизованными серпентинитами антигоритового состава. Антигорит в них крупнопластинчатый, игольчатый и лучистый; среди зерен антигорита встречаются регенерированные зерна оливина. В породах отмечается повышенное количество рудных минералов. Кроме того, локальный максимум построенного тренда фиксируется на глубине 95 м, где устанавливаются аподунитовые серпентиниты лизардит-антигоритового состава, обогащенные рудными минералами. Локальные минимумы находятся на глубинах 35 м (амфиболиты) и 118 м (хлоритальковые породы) со значениями, соответственно, 0,8 и 1,1 г/т.

Золото. Почти на всем протяжении опробованного интервала скважины с 17 до 120 м наблюдается практически постоянное и невысокое содержание Au со слабыми вариациями вокруг его среднего значения равного 0,13 г/т. С глубиной свыше 120 м для Au, также как и для МПГ, отмечается тенденция к существенному накоплению металла до 0,75 г/т в перекристаллизованных антигоритовых серпентинитах.

Скважина 36

Данная скважина опробована большим количеством наблюдений в количестве 44 шт. в диапазоне глубин от 8 до 230 м. Породы вскрытые этой скважиной характеризуются более высокими и неравномерными содержаниями металлов по сравнению с большинством других исследованных скважин (рис. 3). Коэффициенты достоверности полиномиальных трендов R2 примерно близки друг другу, что говорит о подобном приближении к реальному поведению металлов.

Платина. Среднее содержание Pt для пород

данного разреза скважины составляет 0,41 г/т при высокой оценке дисперсии равной 0,080. Неравномерность распределений содержаний металла определяет следующую тенденцию в полиномиальном тренде. От 5 до 25 м отчетливо фиксируется существенное снижение концентрации от 0,4 до 0,2 г/т. Далее с глубиной (от 25 до 65 м) происходит увеличение насыщенности металлов до 0,35 г/т. Последующий интервал от 65 до 115 м отмечен примерно постоянной величиной концентрации, со слабой тенденцией к уменьшению. На глубинах от 115 до 180 м происходит существенный рост концентраций до 0,7 г/т. И в более низких горизонтах (до 230 м) насыщенность Pt остается примерно одинаковой и составляет 0,6 - 0,7 г/т.

Палладий. Среднее содержание Pd для пород данного разреза скважины равно 0,54 г/т при высокой оценке дисперсии 0,100. Поведение Pd в породах этой скважины является близким к распределению Pt лишь в верхних горизонтах глубин (до 125 м) и существенно отличается от него на больших глубинах, что наглядно видно на трендах их распределений. В самом верхнем горизонте от 5 до 25 м отмечается снижение Pd от 0,4 до 0,25 г/т. От 25 до 80 м наблюдается увеличение его содержания до 0,6 г/т. Далее с глубиной в значительном диапазоне от 80 до 190 м идет постепенное снижение до 0,4 г/т. И на глубинах свыше 190 м происходит резкое повышение концентраций до 1,3 г/т. Следует отметить, что для большей части разреза скважины характерны более высокие содержания Pd по сравнению с Pt. Однако в интервале глубин от 150 до 215 м отмечаются обратные их соотношения, что является отклонением от привычной связи концентраций Pt и Pd, наблюдаемых в разрезах большинства скважин данного месторождения.

Платина и палладий. Неравномерность распределения металлов на разных глубинах исследуемой скважины отчетливее отражается трендом их совместного распределения. В интервале от 5 до 25 м наблюдается смена лизардитовых серпентинитов дунитами серпентинизированными, которая сопровождается существенным снижением концентрации МПГ от 0,9 до 0,4 г/т. С увеличением глубины, в интервале 25-75 м, сложенном, главным образом, свежими и слабо серпентинизированными дунитами, отмечается возрастание насыщенности металлов до 0,9 г/т. Следующий интервал от 75 до 125 м представлен, преимущественно, аподунитовыми серпентинитами анти-

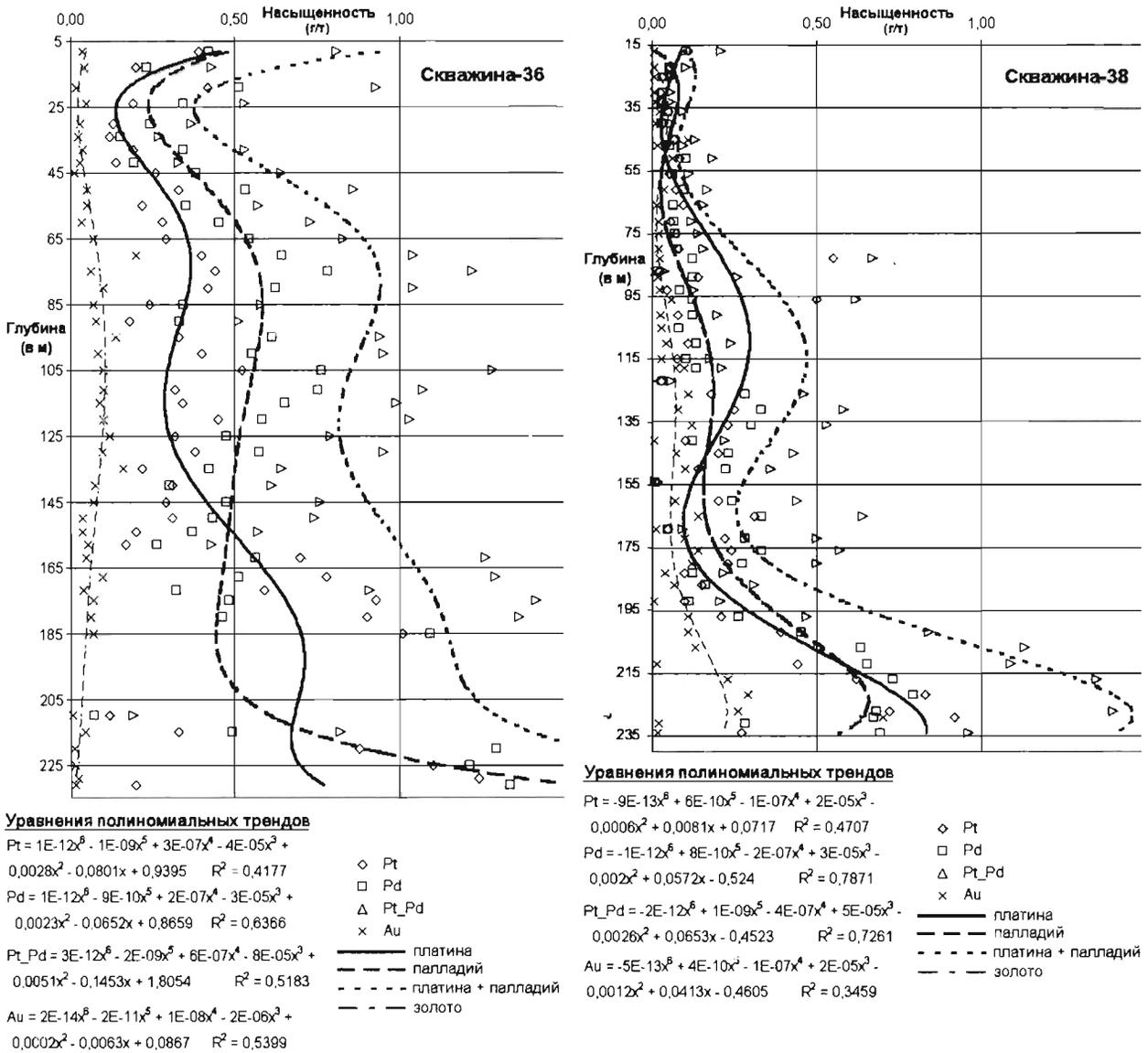


Рис. 3. Тренды распределения содержаний благородных металлов в зависимости от глубины в скважине 36, 38

горит-лизардитового состава, с тенденцией уменьшения интеркумулусной фазы, и характеризуется незначительным уменьшением до 0,8 г/т. Далее с возрастанием глубины (125-220 м) происходит постепенное возрастание концентраций МПГ. Этот интервал характеризуется последующей сменой пород: дуниты серпентинизированные (лизардитовые) → свежие дуниты → серпентиниты аподунитовые (антигорит-лизардитовые) → свежие дуниты → дуниты серпентинизированные (лизардитовые) → серпентиниты аподунитовые (антигорит-лизардитовые) → серпентиниты аподунитовые (лизардит-антигоритовые). С глубины 186 м наблюдаются подстилающие ультрамафи-

ты метаморфические породы различного состава. В начале отмечаются флогопит-хлоритовые породы, которые сменяются плагиогнейсами, а затем амфиболитами. На глубине 220-230 м выявляются метасоматические хлорит-актинолитовые породы и катаклазированные плагиогнейсы, в которых установлены аномально высокие содержания металлов 2,17, 2,31 и 2,78 г/т, что вызывает трудности для объяснения столь значительных их величин в породах, не являющихся их носителями.

Au в отличие от МПГ имеет более низкие и примерно равномерные по глубине концентрации. Среднее содержание Au в породах этой скважины равно 0,06 г/т при низкой оценке дисперсии 0,002.

Скважина 38

Данная скважина представлена наибольшим количеством замеров содержаний благородных металлов, представленных 53 наблюдениями в диапазоне глубин от 20 до 230 м. Тренды распределений исследуемых металлов для разреза скважины отражены на рисунке 3.

Платина. Среди всех значений концентраций Pt в двух случаях фиксируются аномальные значения свыше 1,5 г/т (105 м - 1,69 г/т и 231 м - 3,69 г/т) к которым применено цензурирование выборки на уровне 1,5. Заменяв эти значения на 1,5, среднее содержание насыщенности Pt опускается до 0,25 г/т при остающейся высокой оценке дисперсии равной 0,100.

Неравномерность распределения Pt в породах разреза скважины отражается в поведении её полиномиального тренда. Выделяется четыре интервала с различными тенденциями изменения концентраций. Верхний интервал (от 15 до 55 м) характеризуется минимальными содержаниями 0,03 - 0,11 г/т. Ниже от 55 до 110 м отмечается возрастание Pt до 0,30 г/т. Далее с глубиной (110 - 170 м) отмечается тенденция к уменьшению до 0,15 г/т. И нижняя часть разреза характеризуется значительным возрастанием Pt до уровня 0,8 г/т.

Палладий. Среднее содержание Pd для пород данного разреза скважины равно 0,21 г/т при оценке дисперсии 0,040. Несмотря на высокую степень корреляции МПГ для Pd в отличие от Pt не были отмечены аномально высокие его содержания. Поведение Pd в этой скважине является близким к распределению Pt. Но соотношения их в разрезе скважины изменяются. В интервалах: до 20 м, 50-145 м и ниже 215 м - содержание Pd меньше содержания Pt. А в интервалах: 20-50 м, 145-215 м отмечается их обратное соотношение. Неравномерность насыщенности Pd отражается в следующей последовательности изменения полиномиального тренда. От 15 до 75 м отмечаются минимальные значения содержаний Pd (0,3-0,1 г/т). С дальнейшим увеличением глубины с 75 до 115 м наблюдается тенденция к постепенному возрастанию концентрации металла до 0,2 г/т, которая остается практически постоянной до глубины 165 м. Ниже происходит резкое увеличение концентрации металла до 0,65 г/т.

Платина и палладий. Поведение совместного тренда МПГ в большей степени согласуется с трендом Pt, чем Pd. В интервале от 5 до 55 м в аподунитовых серпентинитах антигорит-лизарди-

тового состава содержание металлов минимальное и в среднем составляет 0,11 г/т при очень низкой оценке дисперсии равной 0,003. В диапазоне глубин от 55 до 115 м ультрамафиты представлены, главным образом, аподунитовыми лизардитовыми серпентинитами, в которых отмечается тенденция к увеличению роли интеркумулусной фазы и происходит возрастание концентраций платиноидов почти до 0,5 г/т (среднее содержание равно 0,34 и оценка дисперсии 0,17). Далее (от 115 до 165 м) среди аподунитовых лизардитовых серпентинитов наблюдаются серпентиниты лизардит-антигоритового и антигоритового состава, а также метасоматиты хлорит-антигорит-карбонатного и флогопитового состава, в которых отмечается снижение содержаний МПГ до 0,25 г/т (среднее содержание равно 0,36 и оценка дисперсии 0,04). В нижней части разреза (более 165 м) с глубиной аподунитовые лизардитовые серпентиниты сменяются серпентинизированными дунитами, а затем оливин-тремолитовыми породами с значительным увеличением роли интеркумулусной фазы от 30 до 55%. При этом устанавливается резкое возрастание МПГ до аномально высоких значений (4 г/т) в оливин-тремолитовых породах. Однако после проведения цензурирования аномально высокие значения были приведены к значениям, которые в меньшей степени отклоняются от остальных наблюдений. В результате цензурирования среднее значение для этого интервала равно 0,86 г/т при остающейся высокой оценке дисперсии 0,3.

Золото, в отличие от МПГ, имеет более низкие концентрации. Среднее содержание Au в породах этой скважины равно 0,07 г/т при малой оценке дисперсии равной 0,002. Отмечается тенденция к незначительному её возрастанию с глубиной до 0,29 г/т. Аномально высоким содержаниям МПГ на глубине 229-231 м в оливин-тремолитовых породах соответствуют и высокие концентрации Au до 0,7 г/т.

Трехмерных графики распределения благородных металлов на различных уровнях среза

Для выявления закономерностей распределения БМ (Pt, Pd, Pt + Pd и Au) на различных уровнях глубин были построены трехмерные графики, отражающие изменения насыщенностей каждого из рассматриваемых металлов относительно их средних значений по наблюдениям в ис-

следуемых скважинах. При этом глубина рассматривалась относительно высотных отметок скважины и графики соответствующие глубинам фактически повторяют рельеф местности на заданной глубине.

Сделать это оказалось возможным после формирования оценки совместной плотности распределения металлов относительно пространственных координат. Оценкой совместной плотности распределения явилась непараметрическая оценка плотности распределения металлов в объеме всего месторождения, построенная через их усредненные значения по всем выборочным наблюдениям ядра вида:

$$\left(1 - \left(\frac{x - x_i}{h}\right)^2\right) * \left(1 - \left(\frac{y - y_i}{h}\right)^2\right) * \left(1 - \left(\frac{z - z_i}{h}\right)^2\right)$$

где (x, y, z) – пространственные координаты некоторой точки в окрестности радиуса h вокруг наблюдения (x_i, y_i, z_i) . Таким образом, влияние наблюдения на близ лежащие точки сказывается в пространственной окрестности радиуса h постепенно уменьшая свое влияние с отдалением от наблюдения. Графики построены при $h = 50$ м и 200 м.

На графиках показаны изменения усредненных концентраций Pt в исследуемых скважинах и в окрестности 50 метров и 200 метров вокруг

них, где ещё сказывается влияние наблюдений данной скважины. Пятидесятиметровая и двухсотметровая величины окрестностей влияния наблюдений нами введены субъективно. При этом при 50 метрах взаимного влияния между наблюдениями скважин не происходит, а в случае 200-метровой окрестности такие влияния появляются, что и сказывается на построенных для таких случаев графиках.

Усреднение насыщенности по этой плотности позволяет определить функцию определения средних значений насыщенности в зависимости от пространственных координат. На рисунках выведены графики изменения насыщенностей относительно выборочного среднего значения металла по всей совокупности.

Наблюдения выборки компенсируют друг друга и потому изменения значений вокруг среднего невелико, однако такой механизм позволяет определить места превышения среднего уровня металла для всего исследуемого массива, т.е. для любой его пространственной точки.

Схема расположения анализируемых скважин и их условные координаты на площади Кингашского месторождения показаны на рисунке 4, которые послужили основой для формирования графиков распределения БМ (Pt, Pd, Pt + Pd и Au) на

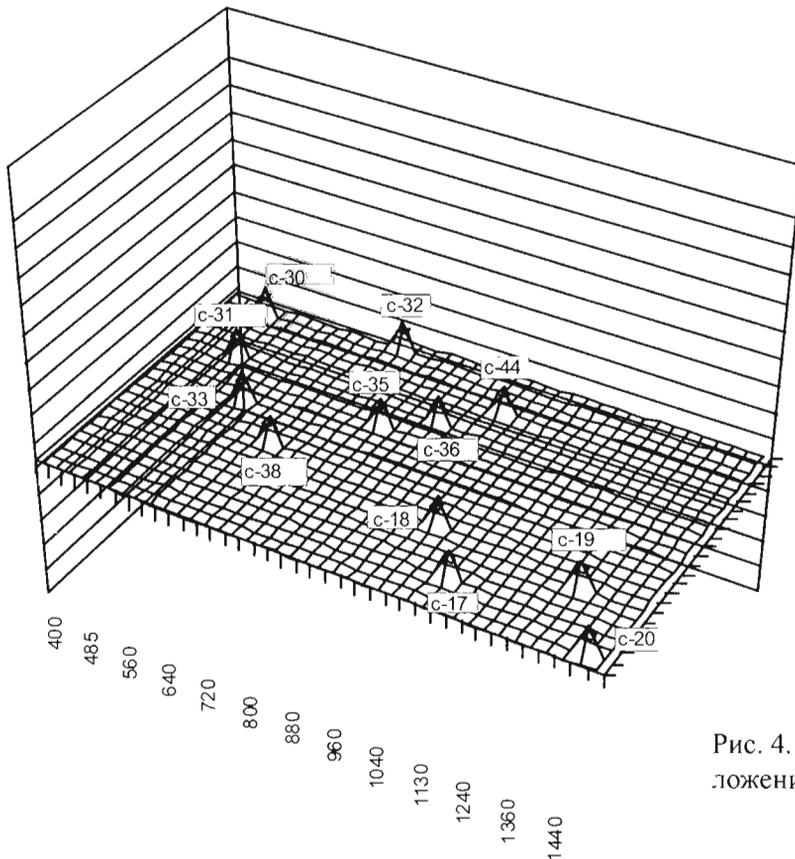


Рис. 4. Условная координатная сетка расположения анализируемых скважин

различных срезах глубин (50, 100, 150, 200, 250, 300 м). Ниже рассматриваются только графики и анализ совместного распределения Pt и Pd.

Графики совместного распределения Pt и Pd для различных глубин представлены на рисунке 5. Величина реперного значения принята равной

среднему значению содержания МПГ (0,658 г/т), установленного д.я. всего месторождения по наблюдениям в исследуемых скважинах. Представленные графики построены из расчета влияния наблюдений скважин в окрестности 200 метров. Такой радиус влияния наблюдений позволяет учи-

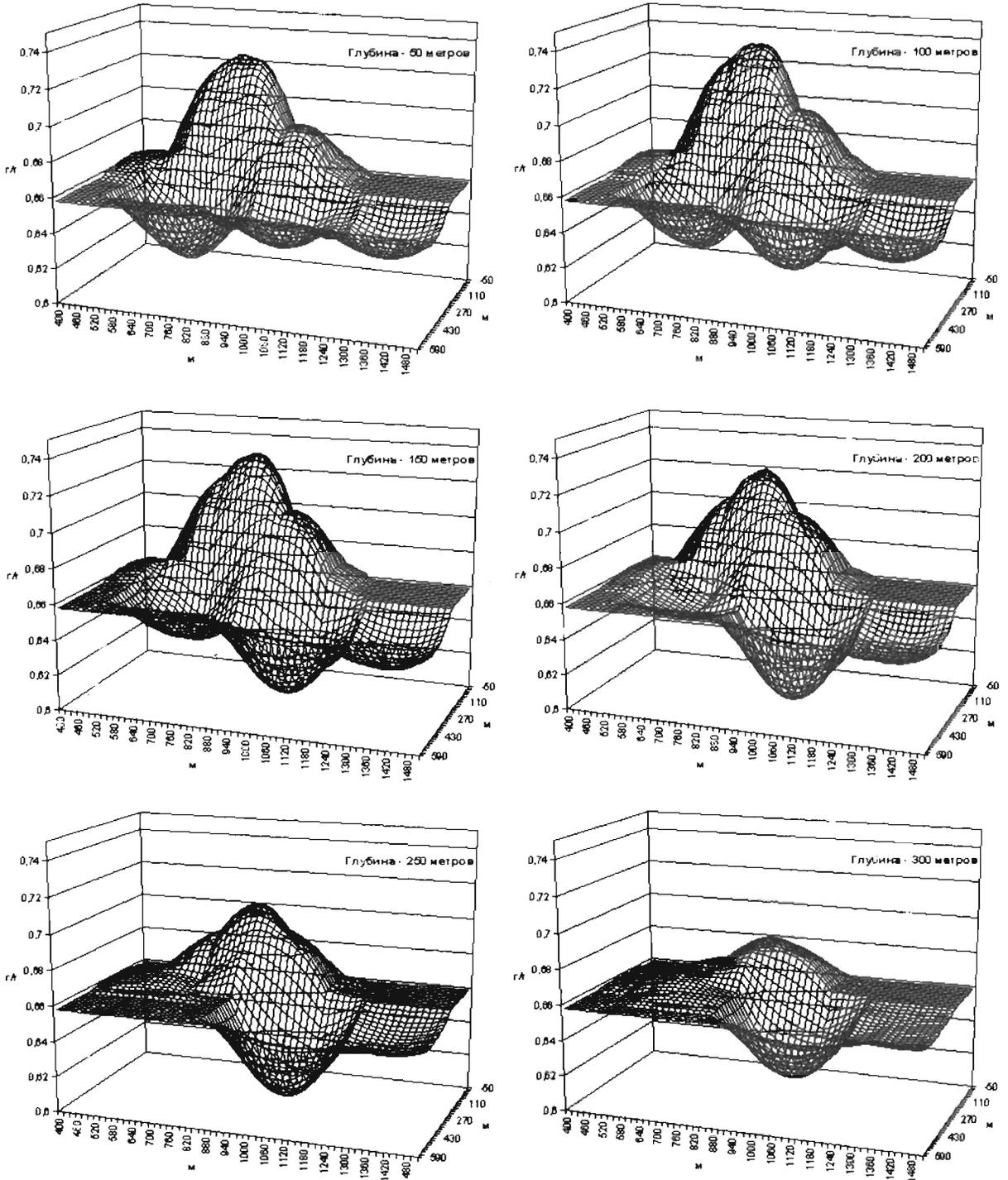


Рис. 5. Колебания усредненных содержаний платиноидов (платины и палладия) вокруг среднего (0,658 г/т) на срезах глубин 50 м, 100 м, 150 м, 200 м, 250 м, 300 м, в соответствии с построенной непараметрической оценкой распределения рассматриваемого металла по всему месторождению, при радиусе влияния наблюдений $h=200$ метров

тывать взаимовлияние не только наблюдений одной скважины, но и взаимовлияние соседних скважин друг на друга и получить картину возможного более инерционного изменения концентраций БМ в пределах месторождения.

Изменения концентраций МПГ на разных глубинах имеют близкий характер, хорошо отражающийся на соответствующих графиках. Можно выделить следующие отличительные тенденции. На графиках всех глубин отчетливо выделяется значительное превышение среднего уровня концентраций в районе скважин 32, 35, 36 и 44, приуроченных к центральной части месторождения и его северо-западному флангу. В этой части высокие содержания МПГ сопровождаются их незначительными вариациями, что наглядно отражается формой выпуклостей на графиках. С другой стороны в области влияния скважин 38, 18 и 19 (юго-восточный фланг месторождения) наблюдаются пониженные по сравнению со средним уровнем содержания МПГ, что отражено на графиках в виде вогнутостей. Следует отметить, что у скважины 38 с глубины 250 метров проявляется тенденция к возрастанию и незначительному превышению среднего значения содержаний МПГ.

Выводы

Статистический анализ показал, что содержания благородных металлов крайне неравномерное

как по разрезам исследуемых скважин, так и по площади месторождения, что, вероятно, определяется многими факторами. Анализ полученных данных позволил выявить основные тенденции изменения концентраций благородных металлов.

Наиболее высокие концентрации металлов выявляются в центральной части месторождения, и вероятно приурочены к подводющему каналу трещинного типа, фиксируемого региональным разломом. К юго-восточному и северо-восточному флангам месторождения насыщенность пород металлами уменьшается.

В свежих породах, главным образом дунитах, наибольшие концентрации платиноидов выявляются в разностях, в которых существенную роль играет интеркумулясная фаза и, соответственно, уменьшается количество кумулюсных зерен оливина. Очевидно, что платиноиды локализируются, преимущественно, в интерстициях.

Нередко процессы аллометасоматической антигоритовой серпентинизации способствуют перераспределению металлов, с обогащением локальных участков, вплоть до образования сливных руд.

Вероятно, что наряду с отмеченными факторами, оказывающими влияние на накопление и перераспределение благородных металлов, существуют и другие, не менее значимые, причины, которые предстоит выяснить.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов О.М. Геохимия и генезис нового сульфидно-никелевого месторождения в Восточной Сибири // Проблемы геологии Сибири. Т. 3. Томск, 1994. С. 65-66.
2. Еханин А.Г. Геология и рудоносность Кингашского базальт-коматиитового комплекса / Диссертация в виде научного доклада канд. геол.-мин. наук. Красноярск, 2000. 66 с.
3. Корнев Т.Я., Еханин А.Г. Эталон Кингашского базальт-коматиитового комплекса (Восточный Саян). Новосибирск, 1997. 89 с.
4. Чернышов А.И., Ножкин А.Д., Ступаков С.И., Балыкин П.А., Кузоватов Н.И., Резников И.Г., Третьяков Н.А.,

Прохорова В.А. Кингашский мафит-ультрамафитовый массив: геологическое положение, внутреннее строение, вещественный состав и петроструктурный анализ ультрамафитов (Восточный Саян) // Платина России. Проблемы развития, оценки, воспроизводства и комплексного использования минерально-сырьевой базы платиновых металлов. Сб. научн. Трудов. Т. V. М.:ООО «Геоинформмарк», 2004. С. 152-175.

5. Чернышов А.И., Ножкин А.Д., Мишенина М.А. Петро-геохимическая типизация ультрамафитов Канского блока (Восточный Саян) // Геохимия, 2010. № 2. С. 126-150.