

УДК 550.8.05+550.84

© Коллектив авторов, 2014

ОРЕОЛЫ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В КАРБОНАТНЫХ ПОРОДАХ, ВМЕЩАЮЩИХ ДАЙКОВО-ЖИЛЬНЫЕ КИМБЕРЛИТОВЫЕ ТЕЛА НАКЫНСКОГО ПОЛЯ ЯКУТИИ

П.А.Игнатов, А.М.Шмонов, К.В.Новиков (МГРИ-РГГРУ), С.Г.Кряжев (ФГУП «ЦНИГРИ»),
О.Е.Ковальчук (НИГП АК «АЛРОСА»), А.Н.Разумов (БГРЭ АК «АЛРОСА»)

Рассмотрены закономерности распространения углекислого газа вокруг кимберлитовых даек и жил Накынского кимберлитового поля Якутии. Фактические данные получены в результате опробования нижнепалеозойской карбонатной толщи из керна поисковых, оценочных и разведочных скважин. Полученные результаты позволяют рекомендовать разработанную методику для локального прогноза алмазоносных кимберлитов.

Ключевые слова: кимберлиты, коренные месторождения алмазов, газовые ореолы.

Игнатов Петр Алексеевич, petrignatov@gmail.com, Шмонов Алексей Михайлович, shmonov@mail.ru, Новиков Константин Валерьевич, novikovkv@gmail.com, Кряжев Сергей Гаврилович, s34@mail.ru, Ковальчук Олег Евгеньевич, KovalchukOE@alrosa.ru, Разумов Александр Николаевич, RazumovAN@alrosa.ru

THE OCCLUDED CARBON DIOXIDE AUREOLE OF THE DIKE-VEINS KIMBERLITES OF YAKUTIAN NAKYN KIMBERLITE FIELD

P.A.Ignatov, A.M.Shmonov, K.V.Novikov, S.G.Kryazhev, O.E.Koval'chyk, A.N.Razumov

The work shows the distribution regularities of the occluded carbon dioxide gas around kimberlite dikes and veins of Nakyn kimberlite field of Yakutian. The actual data was obtained from the assay of the lower Paleozoic carbonate stratum from the drill core of the prospecting, valuation and exploration drill holes. Obtained results allow this methodology to be used for the local forecast of diamondiferous kimberlites' morphology.

Key words: kimberlites, primary diamond deposits, occluded gas aureole.

Кимберлитовые тела формируются при активном участии газовой фазы, в первую очередь воды и углекислоты [5–7, 13]. Поэтому вокруг кимберлитовых тел, вероятно, существуют газогеохимические ореолы, которые можно использовать как один из эффективных поисковых критериев [10, 11]. Справедливость подобных представлений подтвердили исследования последних лет [3]. Во вмещающих кимберлиты карбонатных породах установлены газогеохимические аномалии углекислого газа с небольшой примесью метана и легких углеводородов. Авторами проанализированы морфология и внутреннее строение ореолов на примере ряда проявлений алмазоносных кимберлитов Накынского поля Якутии.

Накынское кимберлитовое поле Средне-Мархинского района Якутской алмазоносной провинции находится в центральной части Восточно-Сибирской платформы и относится к типу закрытых территорий для поисков коренных месторождений алмазов. Известные кимберлитовые тела не выражены в магнитом поле интенсивными локальными аномалиями, а слабая контрастность по петрофизическим свойствам и присутствие на поисковых территориях траппов и брекчий щелочных базитов затрудняют использование геофизических методов поисков. Ввиду наличия перекрывающих отложений применение шлихоминералогических методов ограничено, они используются при опробовании керна сква-

жин из базальных горизонтов, перекрывающих кимберлиты и вмещающие их толщи. Поэтому актуальна разработка новых дополнительных методов поисков коренных месторождений алмазов.

В осадочном чехле Накынского поля выделяются два структурных яруса — нижнепалеозойские морские терригенно-карбонатные породы, вмещающие кимберлиты, и перекрывающие их триас-юрские, юрские континентальные и морские угленосные, а также терригенные континентальные неоген-четвертичные образования [14]. Кроме продуктов кимберлитового магматизма, в Накынском поле развиты докимберлитовые траппы, посткимберлитовые брекчии и дайки базальтового состава [9, 12].

В настоящее время известны шесть кимберлитовых тел, которые представлены двумя трубками, дайкой и тремя отдельными телами жильного типа. Ботоубинская и Нюрбинская трубки находятся в промышленной отработке, дайка Майская разведывается, жильные тела Мархинское и Д-96 оценены. На участке рудопроявления Озерное, где Ботоубинской ГРЭ вскрыты кимберлитовые жилы, ведутся оценочные работы. Все выявленные кимберлитовые тела локализованы в зоне Диагонального рудоконтролирующего разлома.

Газогеохимические исследования проведены на Майском месторождении, рудопроявлении Озерное и поисковом участке Россыпной. Пробы отбирались из керна поисковых, разведочных или оце-

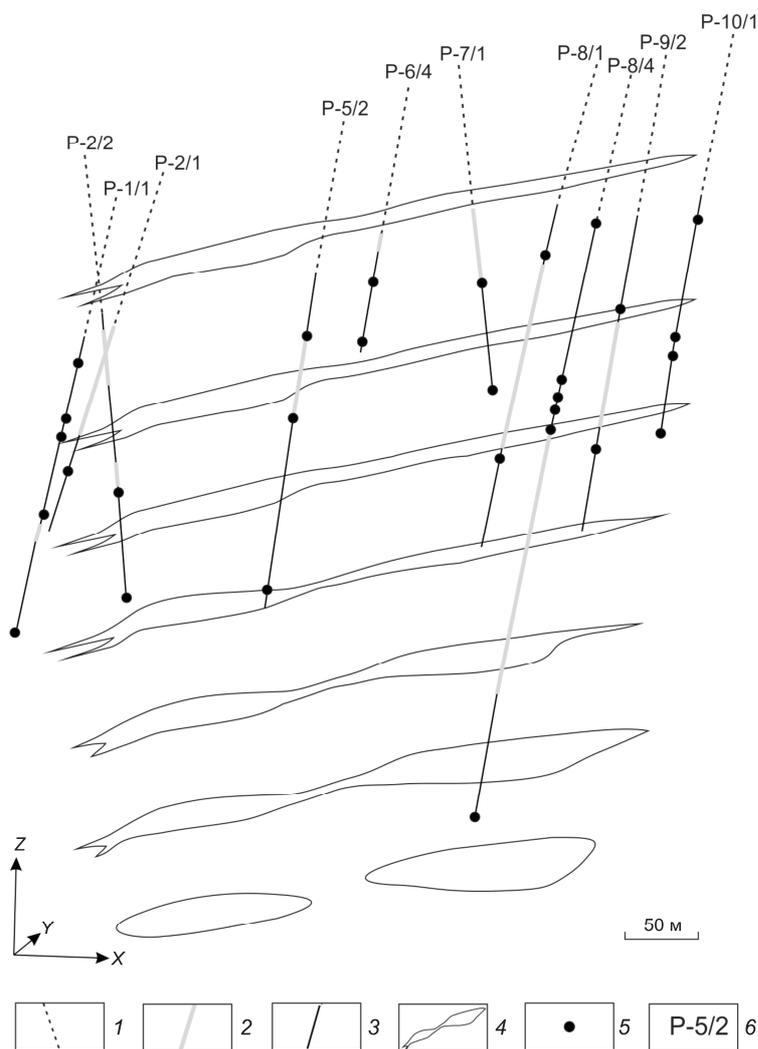


Рис. 1. Положение проб, отобранных для проведения газогеохимических исследований на Майском месторождении:

оси разведочных скважин, пройденных по: 1 — перекрывающим отложениям, 2 — кимберлитам, 3 — вмещающим нижнепалеозойским породам; 4 — условные контуры кимберлитов Майского месторождения по горизонтам (шаг 50 м, верхний горизонт 150 м); 5 — точки отбора проб; 6 — номера скважин

ночных скважин через 10–15 м. Изучались однотипные по составу и генезису однородные оолитовые известняки, оолитовые и массивные пелитоморфные доломиты, красноцветные доломитистые мергели или глинистые доломиты. Штуфы не имели видимых трещин, пор и каверн или каких-либо других нарушений сплошности осадочной породы. В породах не было видимой примеси органического вещества.

Состав газовой фазы определяли на хроматографе Agilent 6890 (США) в лаборатории ФГУП «ЦНИГРИ» (аналитик Ю.В.Васюта). Для одновре-

менного анализа углеводородов и углекислоты хроматограф снабжен делителем потока. Используются трехметровые металлические набивные колонки. Углеводородные газы (от CH_4 до C_5H_{12}) разделялись на колонке, заполненной модифицированной окисью алюминия, и определялись детектором FID. Содержания CO_2 и H_2O определялись детектором TCD на колонке, заполненной полисорбом. В качестве газа-носителя использовался гелий. Температура термостата колонок задавалась программно и изменялась от 50 до 170°C. Весь ход анализа, измерения и расчеты результатов осуществлены в автоматическом режиме управляющей программой прибора. Предварительная подготовка проб заключалась в дроблении и отсеивании фракции $-0,5+0,25$ мм, промывке и высушивании при 120°C. Дегазация и газохроматографический анализ проводились после ввода пробы в предварительно нагретый реактор.

Оптимальную температуру дегазации определяли путем ступенчатого нагревания параллельных навесок с отбором и анализом газовой фазы через каждые 50°C. Установлено, что выход газовой фазы плавно возрастает до 350°C, а затем увеличивается лавинообразно. Резкое повышение газоотдачи в интервале 350–450°C может быть связано с декрепитацией закрытых пор (вероятно, флюидных включений в породах). В пользу этого предположения свидетельствует и тот факт, что при анализе более тонких гранулометрических классов общее содержание газов снижается. С учетом

результатов опытно-методических работ для изучения особенностей строения газогеохимических ореолов в околокимберлитовом пространстве анализ выполняли при 450°C.

На Майском месторождении пробы взяты из керна ордовикских и верхнекембрийских пород наклонных разведочных скважин. Штуфы отобраны по всему периметру Майского тела кимберлитов, сеть опробования неравномерная. Всего проанализировано 29 образцов, в основном оолитовых известняков и доломитов. На рудопроявлении Озерное образцы также отбирались из керна ниж-

неордовикских оолитовых известняков и доломитов наклонных скважин. Сеть опробования относительно равномерная и более плотная по сравнению с таковой на Майском месторождении. Всего проанализировано 30 проб. На участке Россыпной штучные пробы отбирались из керна нижеордовикских оолитовых известняков и доломитов поисковых вертикальных скважин, охватывающих значительно большую площадь по сравнению с участками рудных объектов. Всего проанализировано 45 проб.

Газогеохимический анализ, как и другие геохимические работы, предусматривает определение фоновых значений на площадях без проявлений магматизма и тектонически не нарушенных. В Накынском поле установление фоновых концентраций CO_2 осложняется практически повсеместной тектонической нарушенностью нижнепалеозойских толщ [8]. Распространены силлы и дайки основного состава среднепалеозойской трапповой формации, с которыми связаны скарноиды. Встречаются тела эруптивных брекчий базитов и локально кимберлиты. Все магматические тела сопровождаются вторичной минерализацией. Таким образом, постмагматическая гидротермальная минерализация проявлена достаточно широко [1]. В этой связи надо предполагать и широкое распространение газовых ореолов.

Фоновые значения определялись в скважинах, находящихся на относительно большом удалении от известных разломов, магматических образований. В пробу отбирались породы с минимальными проявлениями гидротермальных процессов. Для этого выбран ряд скважин (25 шт.), пройденных на участке Россыпной. Среднее содержание CO_2 в породах из этих скважин составляет 42 мл/кг при дисперсии 62,4. Соответственно, в качестве минимально-аномального уровня принята концентрация CO_2 66 мл/кг. Напомним, что оценка уровня фона уточнялась на каждом конкретном участке, поскольку тектоническая нарушенность, проявления магматизма и гидротермальной деятельности в Накынском поле весьма неравномерные и специфические.

На Майском месторождении пробы взяты главным образом из верхних горизонтов, охватываю-

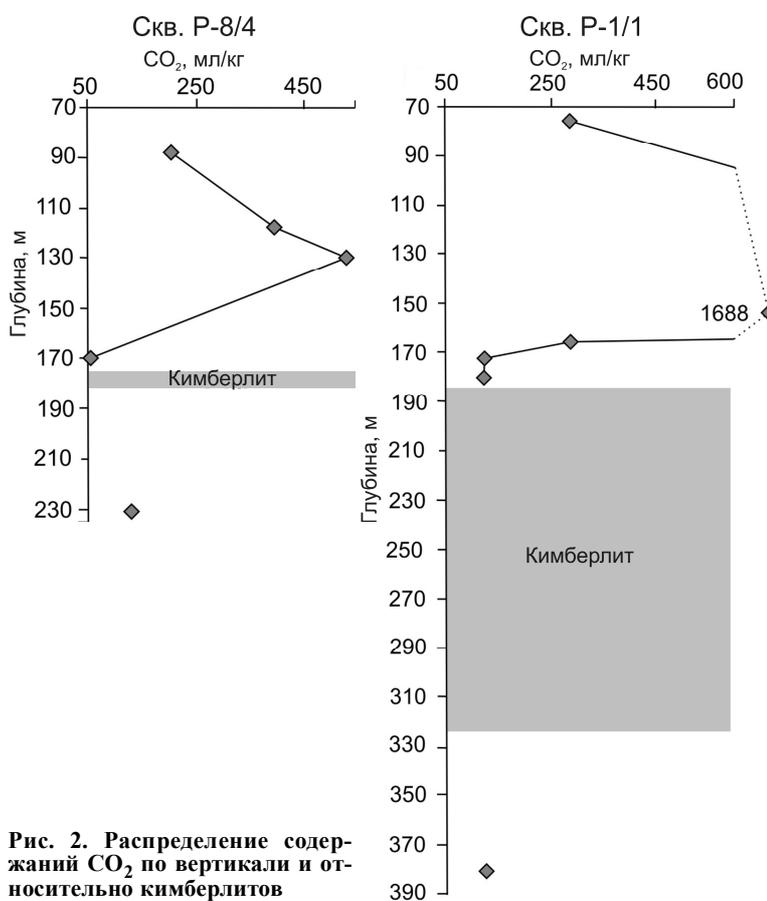


Рис. 2. Распределение содержания CO_2 по вертикали и относительно кимберлитов

щих интервал в 150 м и соответствующий глубинам 75–180 м; лишь одна проба отобрана с глубины 380 м (рис. 1). Минимальное значение CO_2 составило 49,5 мл/кг, максимальное — 1688,5 мл/кг.

Типичное распределение значений CO_2 по вертикали разведочных скважин P-1/1 и P-8/4 приведено на рис. 2. Скважины вскрыли вмещающие породы северо-западного (P-1/1) и северо-восточного (P-8/4) флангов дайкового тела кимберлитов (см. рис. 1). Максимальное расстояние от кимберлитов 26 м. В обоих разрезах повышенные содержания CO_2 наблюдаются на некотором удалении от кимберлитов. Низкие содержания газа в породах ближнего экзоконтакта, вероятнее всего, связаны с температурным фактором.

Трехмерное моделирование распределения CO_2 в околокимберлитовом пространстве выполнено с использованием горно-геологического программного обеспечения Geovia Suprac и его модуля Dynamic Shells. Выяснено следующее: морфология газогеохимической аномалии во вмещающих породах коррелируется с формой кимберлитовой дайки и рудовмещающими разломами, что показав-

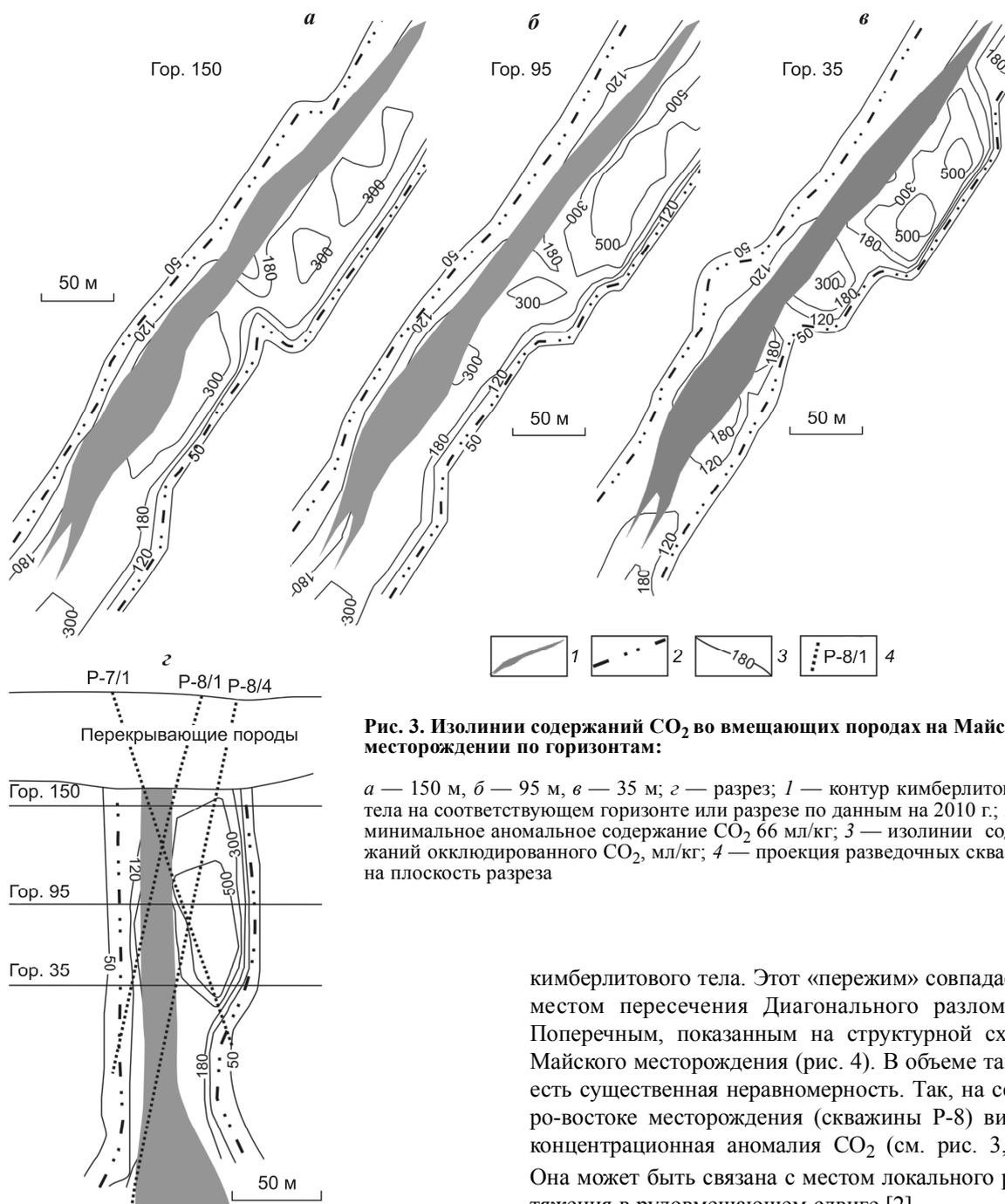


Рис. 3. Изолинии содержаний CO_2 во вмещающих породах на Майском месторождении по горизонтам:

a — 150 м, *б* — 95 м, *в* — 35 м; *г* — разрез; 1 — контур кимберлитового тела на соответствующем горизонте или разрезе по данным на 2010 г.; 2 — минимальное аномальное содержание CO_2 66 мл/кг; 3 — изолинии содержаний окклюдированного CO_2 , мл/кг; 4 — проекция разведочных скважин на плоскость разреза

но на погоризонтных планах и профиле, построенных по 3D модели (рис. 3). Газовый ореол Майского месторождения асимметричен, что выражено в смещении максимальных значений CO_2 к юго-востоку от кимберлитов. Это, вероятно, обусловлено раздувом кимберлитовой дайки на глубине.

Анализ распределения содержаний газа по всем уровням показывает наличие отчетливого локального уменьшения их примерно в середине

кимберлитового тела. Этот «пережим» совпадает с местом пересечения Диагонального разлома с Поперечным, показанным на структурной схеме Майского месторождения (рис. 4). В объеме также есть существенная неравномерность. Так, на северо-востоке месторождения (скважины Р-8) видна концентрационная аномалия CO_2 (см. рис. 3, *г*). Она может быть связана с местом локального растяжения в рудовмещающем сдвиге [2].

Расположение отобранных проб на участке рудопроявления Озерное дано на рис. 5. Здесь минимальное содержание CO_2 составило 42, максимальное — 200,9, среднее — 90,65 мл/кг.

На примерах наклонных скважин СР-39/8, СР-39/9, СР-39/13 и вертикальной СР-39/3-1 видно распределение углекислого газа во вмещающих породах по разрезу (рис. 6). Как и на Майском месторождении, здесь содержания CO_2 уменьшаются непосредственно в экзоконтакте кимберлитов, увеличиваются на небольшом удалении от контакта и

далее вновь уменьшаются до фоновых значений. Во всех разрезах в околокимберлитовом пространстве выявлены аномальные концентрации газа. Исключение составляет разрез по вертикальной скв. СР-39/3-1, которая прошла 30 м по кимберлиту и вскрыла первые метры экзоконтакта. Именно в этом разрезе концентрации CO₂ близки к фоновым значениям. Заметный минимум содержания газа отмечается в скв. СР-39/9 на глубине 150 м. Этот факт можно связать с преобладанием в этом месте признаков локального сжатия вмещающих карбонатных пород, проявленных в виде сутурных швов, микровзбросов и перекристаллизации.

Как и для Майского месторождения, для рудопроявления Озерное с помощью отмеченного выше программного обеспечения построена трехмерная модель содержаний CO₂ в околокимберлитовом пространстве. На ее основании показано распределение содержаний CO₂ по трем уровням на абсолютных отметках (сверху вниз) 125, 100 и 60 м (рис. 7).

Локальные концентрационные аномалии CO₂ линейного типа по результатам моделирования в целом согласуются с рудовмещающим Диагональным разломом. Тектонический шов этого нарушения откартирован по признакам сдвига, установленным по данным специальной документации ядра вертикальных и наклонных скважин. Швы Диагонального и поперечного к нему разломов показаны на структурной схеме рудопроявления (рис. 8). Подчеркнем, что на нижнем гипсометрическом уровне с абсолютной отметкой 60 м повышенные концентрации CO₂ выявлены на юго-западе рудовмещающего разлома, выше, на уровнях 100

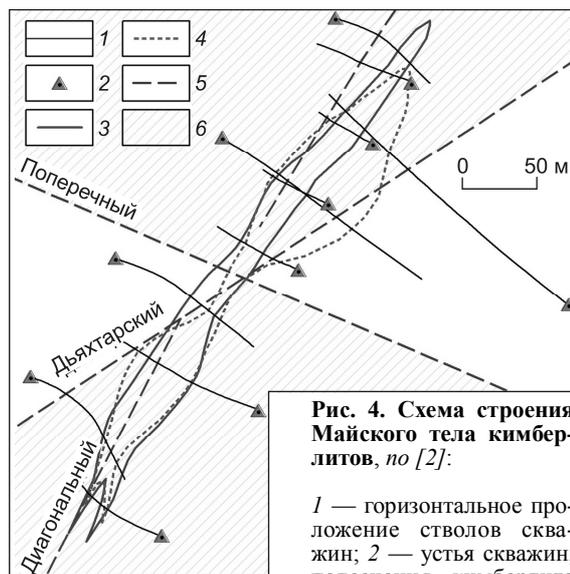


Рис. 4. Схема строения Майского тела кимберлитов, по [2]:

1 — горизонтальное положение стволов скважин; 2 — устья скважин; подсечения кимберлита на глубинах, м: 3 — 80,

4 — 280; 5 — проекции основных швов Дьяхтарского, Поперечного и Диагонального разломов; 6 — сектора растяжения

и 125 м, — на северо-востоке. Важно то, что оба концентрационных ореола CO₂ зафиксированы на флангах участка. Это дает основание для прогноза распространения кимберлитов по простиранию дайково-жильного проявления по газогеохимическим признакам. По структурным признакам такой прогноз сделан ранее [4].

Таким образом, распределение углекислого газа на участках рудопроявления Озерное и Майского месторождения в целом одинаковое. Отличия заключаются в более низких абсолютных значениях содержаний CO₂ и более низкой контрастности ореола на рудопроявлении Озерное по сравнению с месторождением Майское. Отмеченные отличия согласуются, прежде всего, с разными размерами кимберлитов. Майская кимберлитовая дайка во много раз по мощности превышает кимберлитовое тело участка рудопроявления

Озерное. Отличия заключаются в более низких абсолютных значениях содержаний CO₂ и более низкой контрастности ореола на рудопроявлении Озерное по сравнению с месторождением Майское. Отмеченные отличия согласуются, прежде всего, с разными размерами кимберлитов. Майская кимберлитовая дайка во много раз по мощности превышает кимберлитовое тело участка рудопроявления

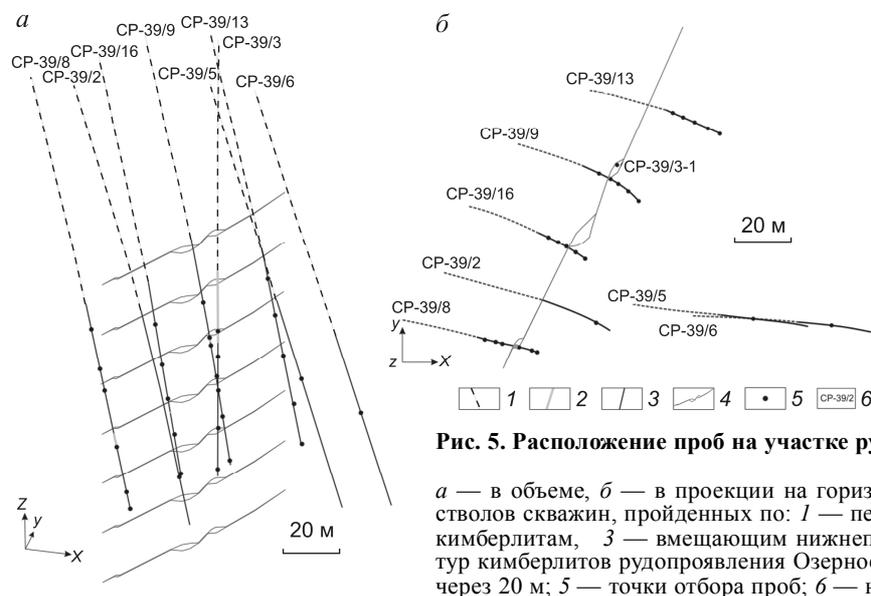


Рис. 5. Расположение проб на участке рудопроявления Озерное:

а — в объеме, б — в проекции на горизонтальную плоскость; проекция стволов скважин, пройденных по: 1 — перекрывающим отложениям, 2 — кимберлитам, 3 — вмещающим нижнепалеозойским породам; 4 — контур кимберлитов рудопроявления Озерное по разным уровням с сечением через 20 м; 5 — точки отбора проб; 6 — номера скважин

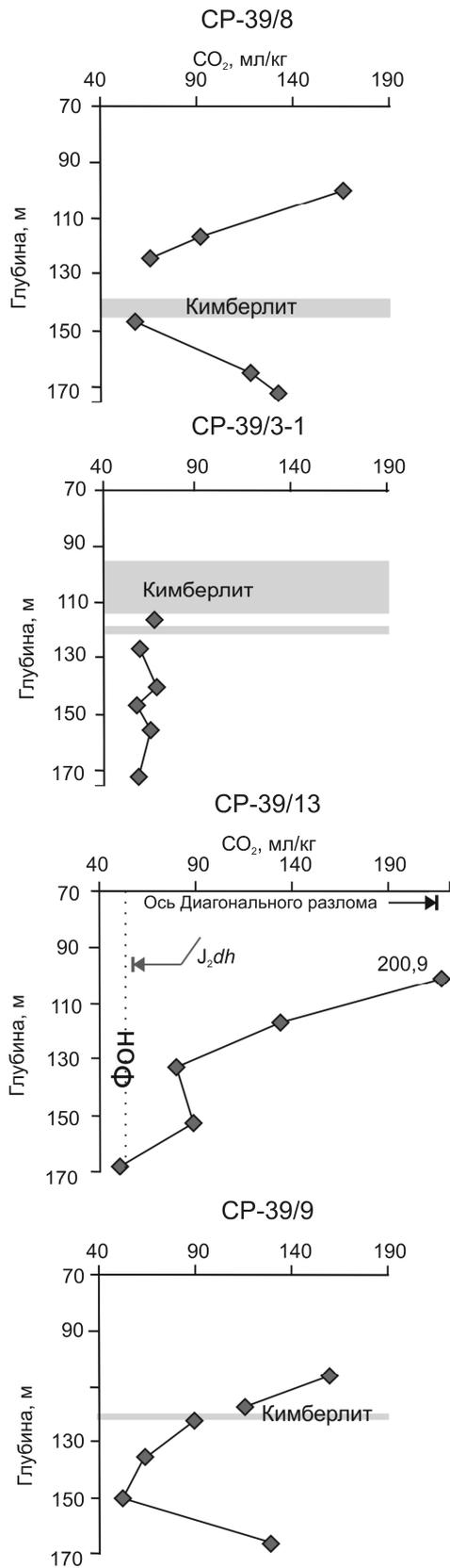


Рис. 6. Распределение содержаний CO₂ по скважинам

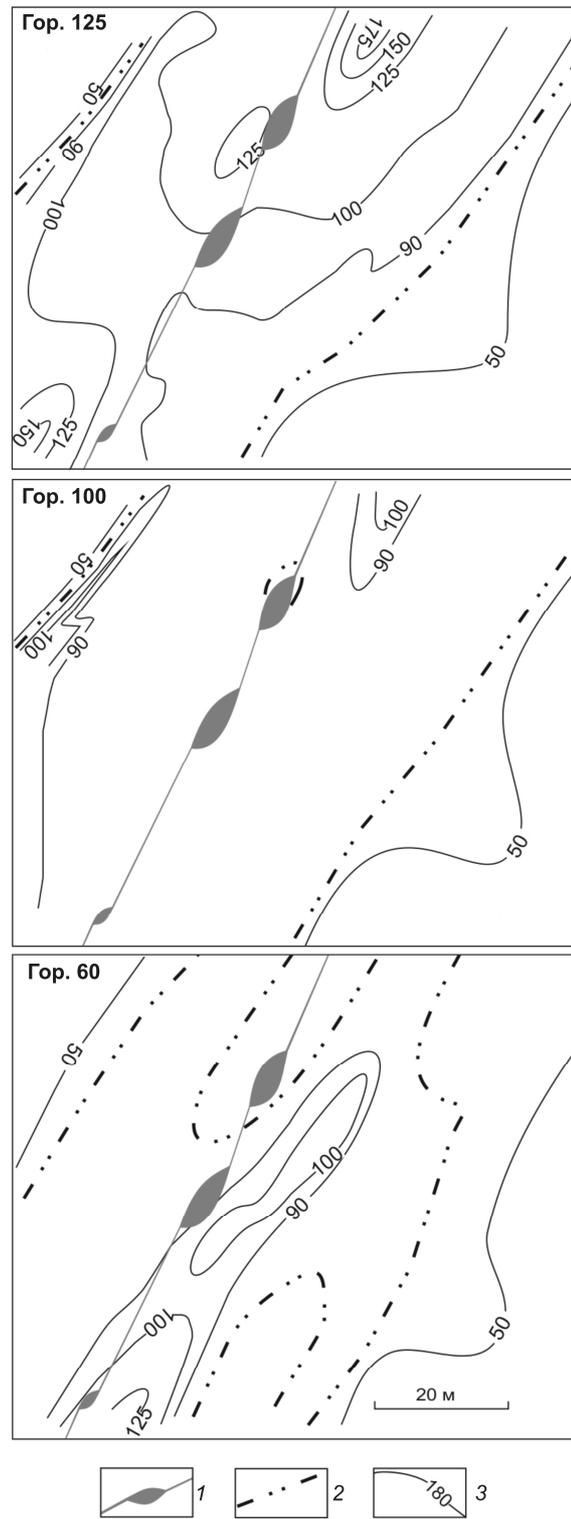


Рис. 7. Изолинии содержаний CO₂ на рудопроявлении Озерное по горизонтам:

1 — предполагаемая кимберлитовая жила и ее раздувы в проекции на горизонтальную плоскость; 2 — минимальное аномальное содержание CO₂ 66 мл/кг; 3 — изолинии содержаний окклюдированного CO₂, мл/кг

Озерное. О протяженности последнего говорит прежде временно, поскольку рудопроявление находится в стадии оценки.

Россыпной участок расположен в центральной части Накынского кимберлитового поля. На нем из-за редкой сети опробования и того, что опробовались лишь верхние 20 м палеозойской толщи не представляется возможным создание трехмерной модели распространения содержаний CO_2 . Большой разброс содержаний CO_2 в карбонатных породах на данном участке позволил выделить среди них, помимо фоновых, повышенные и аномальные. Пробы с аномально высокими концентрациями расположены в зонах Ботубинского и Дьяхтарского разломов, в которых локализованы дайки траппов и тела эруптивных брекчий базитов. Скважины, где в пробах отмечаются повышенные содержания углекислого газа, находятся в зоне Диагонального разлома или в местах со вскрытыми многочисленными гидротермальными прожилками кальцита и пирита. Напомним, фоновые значения (18–66 мг/г) характерны для участков, в которых не обнаружены проявления магматизма, тектонические нарушения и гидротермально преобразованные породы.

В результате проделанной работы получены первые данные по концентрационным ореолам углекислого газа вокруг кимберлитовой дайки Майского месторождения и кимберлитовых жил рудопроявления Озерное. Ширина ореолов и существенная разница в максимальных содержаниях соответствуют мощностям кимберлитовых тел. На обоих участках распределение содержаний CO_2 согласуется с рудовмещающими структурами и, прежде всего,

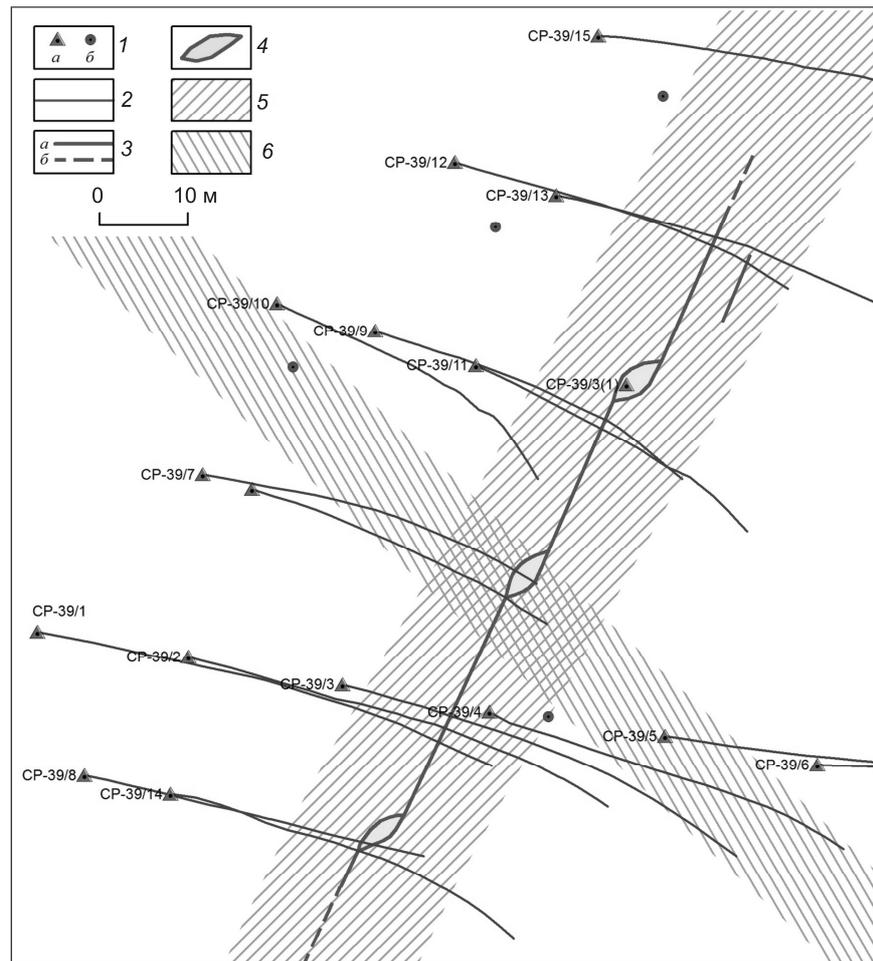


Рис. 8. Структурная позиция кимберлитов на северо-востоке участка Озерный:

1 — устья скважин (а — серии СР, б — прочих); 2 — горизонтальное проложение стволов наклонных скважин; предполагаемая модель строения кимберлитового тела; 3 — кимберлитовые жилы выделенные (а), предполагаемые (б), 4 — раздувы кимберлитов, выполненные сериями сближенных прожилков; зоны разломов: 5 — Диагонального, б — Поперечного

с Диагональным разломом. Строение ореолов сложное, прослеживается неравномерность концентраций CO_2 в плане и по разрезу. Содержания CO_2 снижаются на первых метрах экзоконтакта кимберлитов, что может быть связано с воздействием газа, нагретого до температуры $>450^\circ\text{C}$. Дальнейшее повышение содержаний CO_2 до максимальных значений и последующее снижение можно объяснить снижением температур углекислого газа на удалении от кимберлитового расплава. Неравномерность распределения газа по разрезу следует связать с присдвиговыми зонами локального сжатия и растяжения во время формирования кимберлитов.

На участке рудопоявления Озерное газовые ореолы фиксируются в северной и южной частях шва Диагонального разлома, вмещающего жилы кимберлитов, что дает дополнительное основание для прогноза кимберлитов по его простираению.

Аномальные и повышенные содержания CO_2 также установлены в зонах разломов, вмещающих дайки и эруптивные брекции основного состава и гидротермальную минерализацию. Вопрос специфичности ореолов, связанных с кимберлитами, требует дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Игнатов П.А., Бушков К.Ю., Толстов А.В., Яныгин Ю.Т.* Геологические и минералого-геохимические признаки структур, контролирующих алмазонасыщенные кимберлиты Накынского поля Якутии // Руды и металлы. 2006. № 4. С. 59–66.
2. *Игнатов П.А., Новиков К.В., Толстов А.В., Разумов А.Н.* Морфология кимберлитов Майского месторождения в Накынском поле Якутии по результатам компьютерного моделирования // Руды и металлы. 2009. № 4. С. 62–66.
3. *Игнатов П.А., Шмонов А.М., Новиков К.В., Ковальчук О.Е.* Закономерности распределения окклюзированных газов в нижнепалеозойских карбонатных породах, вмещающих кимберлиты Накынского поля Якутии // Докл. XI международной конференции «Новые идеи в науках о Земле». М., 2013. Т. 1 (Секция S-V). С. 332.
4. *Игнатов П.А., Новиков К.В., Шмонов А.М., Толстов А.В.* Структурная позиция жильных проявлений кимберлитов и базитов на участке Озерный Накынского поля // Мат-лы конференции «Молодые — наукам о Земле». М., 2012. С. 73.
5. *Карбонатиты и кимберлиты (взаимоотношения, минералогия, прогноз)* / А.А.Фролов, А.В.Лапин, А.В.Толстов и др. — М.: НИИ-Природа, 2005.
6. *Маршинцев В.К.* Кимберлитовые породы Якутии. — Якутск: ЯГУ, 1995.
7. *Милашев В.А., Третьякова Ю.В.* Режим и факторы образования кимберлитов. — СПб.: ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА», 2003.
8. *Особенности палеотектонического положения различных структурно-морфологических типов кимберлитовых тел Накынского поля* / П.А.Игнатов, К.Ю.Бушков, Я.И.Штейн и др. // Эффективность прогнозирования и поисков месторождений алмазов: прошлое, настоящее и будущее (алмазы-50). СПб., 2004. С. 151–154.
9. *Особенности магматических формаций из Накынского кимберлитового поля Якутской провинции* / М.Д.Томшин, А.С.Фомин, В.П.Корнилова и др. // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 12. С. 1678–1689.
10. *Особенности газового поля кимберлитовых трубок* / Л.С.Кондратов, Г.П.Кудрявцева, В.И.Старостин и др. // ДАН. 2005. Т. 404. № 6. С. 817–820.
11. *Попивняк И.В., Мязь Н.И.* О возможности применения метода декрепитации в практике поисков скрытых кимберлитовых тел // Минералогический сборник Львовского ГУ. 1979. № 32/2.
12. *Среднепалеозойский базитовый магматизм северо-западной части Вилуйского рифта: состав, источники, геодинамика* / А.И.Киселев, В.В.Ярмолюк, К.Н.Егоров и др. // Петрология. 2006. Т. 14. № 6. С. 626–648.
13. *Харькив А.Д., Зинчук Н.Н., Крючков А.И.* Коренные месторождения кимберлитов мира. — М.: Недра, 1998.
14. *Черный С.Д., Сафьянников Ю.В., Яныгин Ю.Т., Шаталов В.И.* Особенности прогнозирования и поисков месторождений алмазов в Средне-Мархинском алмазоносном районе (Якутская алмазоносная провинция) // Прогнозирование и поиски коренных алмазных месторождений. Симферополь — Судак, 1999. С. 212–216.