

## ПОВЕДЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КАК ОДИН ИЗ ИНДИКАТОРОВ СТРОЕНИЯ КОРЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ И СОСТАВА БОКСИТОВ (НА ПРИМЕРЕ ВИСЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КМА)

Е. Е. Белявцева, В. И. Сиротин

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 2 марта 2009 г.

**Аннотация.** В статье рассматривается поведение редкоземельных элементов в профиле глиноземной коры выветривания и в наиболее распространенных минералогических типах бокситов. Предварительный анализ позволяет сделать заключение: содержания REE подтверждают зональность коры выветривания и избирательно ведут себя в наиболее распространенных минералого-литологических типах бокситов.

**Ключевые слова:** кварц-серицитовые сланцы, зоны коры выветривания, бокситы, редкоземельные элементы (легкие, средние, тяжелые).

**Abstract.** In clause behavior REE in a profile of an aluminous weathering crust and in the most widespread mineralogical types of bauxites is considered. The preliminary analysis allows to make the conclusion that maintenances of REE confirm of ash value of a weathering crust and selectively behave in the most widespread mineral-litological types of bauxites.

**Key words:** quartz-sericite shale, weathering crust zone, bauxites, Rear Earth Elements (Light, Medium, Hard).

Открытые в Белгородском районе КМА в 1956 году бокситы всегда привлекали внимание многих геологов. Большинство исследователей (С. Г. Вишняков, С. И. Чайкин, А. П. Никитина, В. И. Сиротин, Б. Н. Одокий, В. Н. Клекль, И. А. Русинович и др.) рассматривает их как остаточные и переотложенные продукты палеозойской глиноземной коры выветривания, развитой на протерозойских породах. Глиноземная кора выветривания, с которой они связаны генетически, представляет уникальное образование как по полноте профиля, мощности и необычному составу ее пород, так и в отношении ее весьма древнего, палеозойского возраста. Кроме того, бокситы КМА представляют редкий и ценнейший объект для изучения взаимоотношений основных генетических (остаточных и переотложенных) типов, что имеет важнейшее теоретическое значение. В 90-е годы прошлого столетия детально было изучено Висловское месторождение, имеющее промышленное значение.

В последнее время для уточнения строения глиноземной коры выветривания и типизации бокситов КМА начали применять геохимические методы [1]. Определение REE проводилось на породном уровне методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry) в отделе научно-

производственных аналитических работ ИМГРЭ. Анализы выполнены с использованием квадрупольного масс-спектрометра PLASMA QUAD PQ2 + TURBO английской фирмы VG Instruments. Для редкоземельных элементов применяется разделение на легкие (La-Pr), средние (Nd-Dy) и тяжелые (Ho-Lu, Y) [2; 3]. Иттрий на основании близости геохимических свойств, валентности и ионного радиуса рассматривается совместно с тяжелыми лантаноидами. Для характеристики поведения лантаноидов рассмотрены графики распределения и диаграммы La-(Nd+Sm)-(Y+Dy), La-(Ce+Nd+Sm)-(Y+Dy). Графики распределения имеют высокую информативность, так как используют весь состав лантаноидов. Для снятия влияния различной распространенности в природе (правило Оддо-Гаркинса) составы редких земель нормируются на состав лантаноидов в глинах платформ, по Ю. А. Балашову (1976). Диаграммы La-(Nd+Sm)-(Y+Dy), La-(Ce+Nd+Sm)-(Y+Dy) [4; 5; 6], первоначально применяемые для определения климатических условий глауконитообразования, применены для бокситов. Высокую информативность для определения климатических условий бокситообразования показала диаграмма La-(Ce+Nd+Sm)-(Y+Dy)\*, а диаграмма La-(Nd+Sm)-(Y+Dy) зафиксировала поле переходного от гумидного к ариднему кли-

мату, что для бокситообразования является нонсенсом.

В юго-западной части КМА (Белгородская область) изучены бемитовый и гиббситовый типы профилей бокситоносной коры выветривания в пределах Вислового месторождения (Белгородский участок (скв. 2207, 2209, 2209А, 2232), Петропавловский участок (скв. 3553, 3563, 1505) и Игуменский участок (1579, 1263, 1577, 1271)) и, для сравнения, Обоянского участка, расположенного на юге Курской области (скв. 2514, 2525). Минералого-петрографическое описание дается кратко, фрагментарно, поскольку оно ранее выполнено во многих работах В. И. Сиротина, А. П. Никитиной и др. авторов. Главная цель такого описания – это привязка результатов геохимического опробования к зонам и типам бокситов. За основу описания бемитового профиля взят разрез по скважине 1263.

Материнским субстратом в профиле бокситоносной коры выветривания являются свежие (невыветрелые) темно-серые углисто-серицитовые сланцы (интервал 657,0–652,7 м, обр. 1263/1, глубина 657,0 м).

652,7–645,0 м – зона начального разложения (зона I). Характеризуется осветлением породы и одновременным равномерным окрашиванием, усиливающимся снизу вверх (обр. 1263/2, глубина 651,0 м, обр. 1263/3, глубина 645,7 м).

645,0–628,55 м – зона промежуточного разложения сланцев (зона II), представлена дресвянорыхлой до мучнистой гидрослюдисто-каолинитовой породой. До 637 м порода коричнево-бурая, постепенно осветляющаяся, выше (зона III) светло-серая со слабым красноватым оттенком (обр. 1263/4, глубина 639,0 м, обр. 1263/5, глубина 628,7 м).

628,55–587,0 м – подбокситовая плотная, с реликтовой сланцеватой текстурой порода. До глубины 599,0 м красная гематит-каолинит-шамозитовая, а выше – постепенно осветляющаяся, до зеленовато-светло-серой каолинит-шамозитовой, участками с микропятнистой текстурой за счет недоразвитых бобовин (обр. 1263/6, глубина 626,0 м, обр. 1263/7, глубина 612,0 м, обр. 1263/8, глубина 597,0 м, обр. 1263/9, глубина 591,1 м, обр. 1263/10, глубина 587,5 м).

587,0–584,85 м – гематит-бемит-шамозитовая порода, красно-бурая, грубо-полосчатая, местами с желтыми пятнами гидрогематита (обр. 1263/11, глубина 586,8 м, обр. 1263/12, глубина 585,0 м).

584,85–578,15 м – внизу (0,5 м) светло-бурая, пятнистая, плотная, тяжелая (за счет сидеритизации) бокситовая порода (обр. 1263/13, глубина

584,5 м). Выше, до конца интервала – боксит пористый, полосчатый, а в верхней половине – псевдобрекчиевый, пятнистый. Порода плотная, с неровным землистым или ступенчатым сколом (обр. 1263/14, глубина 584,2 м, обр. 1263/15, глубина 583,5 м, обр. 1263/16, глубина 582,2 м, обр. 1263/17, глубина 581,4 м, обр. 1263/18, глубина 580,0 м, обр. 1263/19, глубина 578,8 м, обр. 1263/20, глубина 578,2 м). Характерно, что в этом разрезе нет подзоны дебокситизации, а наложенные процессы сверху профиля проявлены весьма слабо, в боксите не видно наложенных процессов (обр. 1263/20).

578,15–577,6 м – внизу (0,3 м) мелкообломочная брекчия, состоящая из обломков каолинитизированных сланцев и гидрогематитовой руды на железисто-глинистом цементе. Вверх размер обломков уменьшается от 1 см до 1–2 мм, уменьшается и их количество, и порода постепенно сменяется красновато-темно-серой плотной, яшмовидно-шамозитовой, крепкой, монолитной (обр. 1263/21, глубина 578,15–577,6 м) – болотно-лагунные фации трансгрессирующего алексинского моря.

Выше серые до светло-серых органогенно-обломочные известняки алексинского возраста.

Поведение REE в разрезе скважины имеет следующие особенности распределения (см. далее рис. 1а).

Все макропористые бокситы, особенно губчатые, характеризуются спокойным поведением лантаноидов (всех: и LREE, и MREE, и HREE), но плотные псевдобобовые обозначают тенденцию к минимуму, то есть выносу.

Поведение REE в разрезе скв. 1271 (рис. 1б) характеризуется понижением их содержания от La до Nd–Sm, а затем плавным ростом, вплоть до Lu, Y.

В распределении REE в макропористых бокситах скв. 1577 (рис. 1г) отмечается несколько повышенное содержание LREE, а затем понижение и стабилизация в MREE и HREE.

В распределении REE в разрезе скв. 1579 (рис. 1д) отмечаются следующие особенности: вся троица LREE (La, Ce, Pr) ведет себя абсолютно идентично, синхронно, в зоне II–III обозначается некий минимум, то есть вынос LREE; в зоне IV незначительное накопление в макропористых псевдобобовых; а затем плавное уменьшение, причем заметный к обр. 1579/17. В поведении MREE (Nd, Pr, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy) картина идентична, но в обр. 1579/15/2 более резко выражен минимум. В распределении HREE картина идентична, но минимум в обр. 1579/15/2 выражен совершенно контрастно. Таким образом, наложенная шамозитизация при-

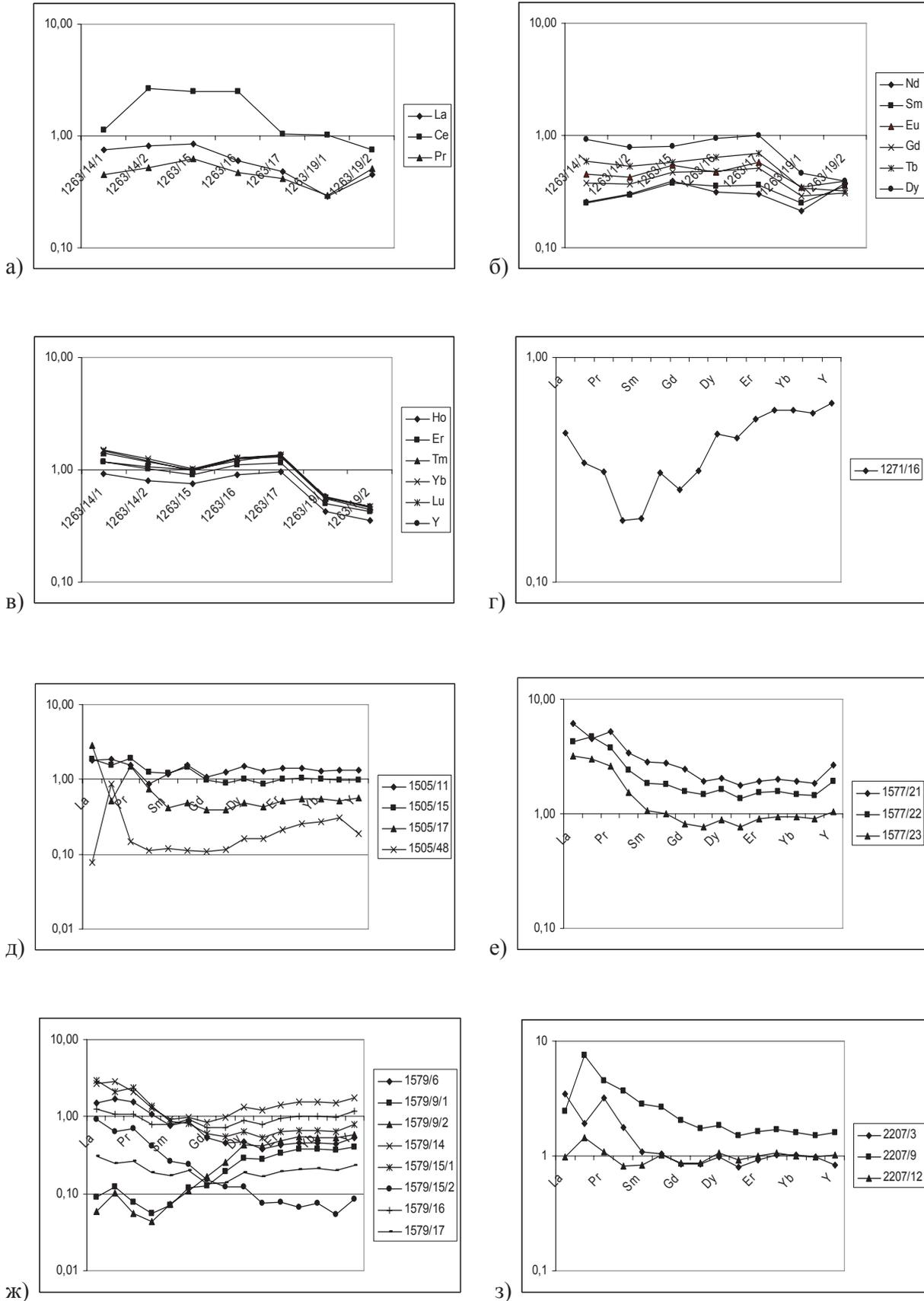


Рис 1. Спектры содержания REE в бокситах коры выветривания КМА: а) скв. 1263 (LREE); б) скв. 1263 (MREE); в) скв. 1263 (HREE); г) скв. 1271; д) скв. 1505; е) скв. 1577; ж) скв. 1579; з) скв. 2207

водит к выносу всех лантаноидов, но легких – слабо, средних – сильнее, тяжелых – резко. В бокситах, особенно макропористых, поведение REE стабильное, идентичное распределению на уровне исходных пород в зоне II.

В распределении REE по профилю скважин Белгородского участка 2207, 2209, 2209А, 2232 (рис. 1е, ж, з, л) отмечается различное поведение легких, средних и тяжелых лантаноидов. Наблюдается превышение легких и средних REE над тяжелыми.

В разрезе скважин Петропавловского участка (Висловское месторождение) 3553, 3563, 1505 (рис. 1м, н, в) – красные бесшамозитовые бокситы: снизу латериты, выше – осадочные, – но по составу совершенно идентичны, что свидетельствует о механическом (суспензионном) переотложении, поскольку протяженность транспорта ничтожно мала (это воронки силикатного карста). Поведение всех редких земель, кроме La и Ce, спокойное, ровное, что подтверждает механическое переотложение.

Разрез гиббситового профиля приводится по скв. 2514.

463,0–410,0 м – кварцит магнетит-мартитовый, серый, тонко-грубополосчатый, тонкозернистый, плотный, крепкий. Контакт с вышележащей породой отчетливый (обр. 2514/1, глубина 417,2 м, обр. 2514/2, глубина 413,8 м).

410,0–364,0 м – выветрелый кварцито-песчаник, малорудный, розовато-красный, сланцевато-полосчатый, тонкозернистый, интенсивно гидрогематизированный, рыхлый, с прослоями более крепких разностей. Кварц маршаллитизирован (обр. 2514/3, глубина 386,0 м, обр. 2514/4, глубина 372,0 м, обр. 2514/5, глубина 368,3 м).

364,0–359,0 м – зона I–II. Кварц-каолинит-гидрослюдистая порода буровато-красного цвета, сланцевая, средней плотности, некрепкая, микрочешуйчатая, с оолитоподобными образованиями сидерита; порода интенсивно гидрогематизирована (обр. 2514/6, глубина 363,0 м, обр. 2514/7, глубина 361,5 м, обр. 2514/8, глубина 360,0 м).

359,0–353,2 м – зона III. Каолинитовая порода от светло-коричневого до беловато-серого цвета с гидрослюдой, реликтивно-сланцеватая, пластинчато-щебенчатая, редко мучнистая, послойно ожелезненная, с оолитоподобными образованиями сидерита (обр. 2514/9, глубина 357,0 м, обр. 2514/10, глубина 356,0 м, обр. 2514/11, глубина 354,3 м).

353,2–349,9 м – зона IV. Боксит гиббситовый, темно-коричневый, ожелезненный, землистый, песчаниковидный, с четкими границами с ниже- и

вышележащими породами (обр. 2514/12, глубина 352,0 м, обр. 2514/13, глубина 350,7 м).

349,9–348,0 м – зона IV. Боксит гиббситовый, розовато-коричневый, плотный, средней крепости, пятнистой структуры, реликтовой сланцевой текстуры, выраженной крайне слабо. Пятна 0,5–2,0 мм в поперечнике округлой формы, сложены гиббситом и сцементированы гелеморфным веществом. В подошве интервала боксит пористый, песчаниковидный, красного цвета (обр. 2514/14, глубина 349,8 м, обр. 2514/15, глубина 348,8 м, обр. 2514/16, глубина 348,2 м).

348,0–346,6 м – зона IV. Аллит гиббсит-каолинитовый, плотный, крепкий, пятнистый, неотчетливо реликтивно-сланцеватый, светло-серый. Пятна, сложенные гиббсит-каолинитовым веществом, сцементированы гелем, который иногда образует участки до 1 см<sup>2</sup> (обр. 2514/17, глубина 347,8 м, обр. 2514/18, глубина 347,2 м, обр. 2514/19, глубина 346,8 м).

346,6–345,6 м – глина углистая, рыхлая, жирная, слабо песчаная, слюдястая, темно-серая до черной, в подошве уголь, выше по разрезу окраска постепенно осветляется (обр. 2514/20, глубина 346,4 м) (алексинский горизонт визейского возраста). Для поведения REE в данном разрезе (рис. 1и) характерно плавное увеличение содержания лантаноидов от легких к средним, а затем тяжелым. Наиболее низкие содержания всех REE отмечаются в магнетит-мартитовых кварцитах.

В распределении REE в скв. 2525 (рис. 1к) отмечается уменьшение содержания всех REE от легких к тяжелым, наиболее резко проявленное в шамозит-сидерит-мартитовых рудах.

На диаграмме La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) большая часть фигуративных точек бокситов КМА попадает в поле аридного генезиса. Причем часть точек тяготеет к вершине Y+Dy, часть сконцентрирована в центральной части диаграммы, и лишь небольшое количество – на границе раздела аридного и гумидного генезиса и в поле гумидного климата.

Диаграмма La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy) характеризует гумидные условия образования бокситов КМА. Причем отмечается тяготение большинства точек состава бокситов к вершине Ce+Nd+Sm.

Таким образом, предварительный анализ поведения лантаноидов в профиле латеритной коры выветривания и бокситах КМА дает основание для заключения: количественные данные содержания лантаноидов вполне можно использовать для подтверждения или уточнения зональности коры выветривания и типизации бокситов и степени их вторичного преобразования.

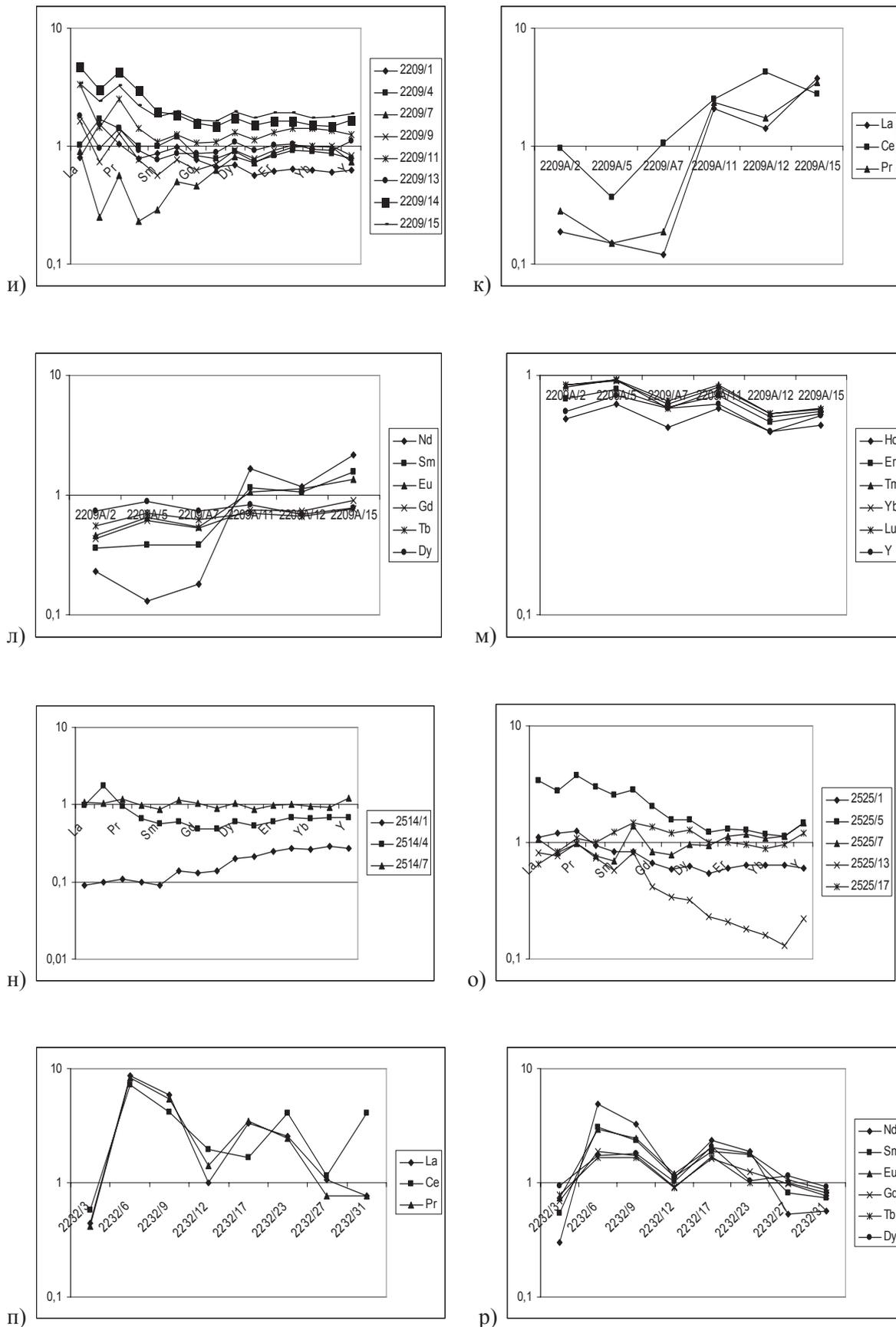


Рис 1. Продолжение: и) скв. 2209; к) скв. 2209А (LREE); л) скв. 2209А (MREE); м) скв. 2209А (HREE); н) скв. 2514; о) скв. 2525; п) скв. 2232 (LREE); р) скв. 2232 (MREE)

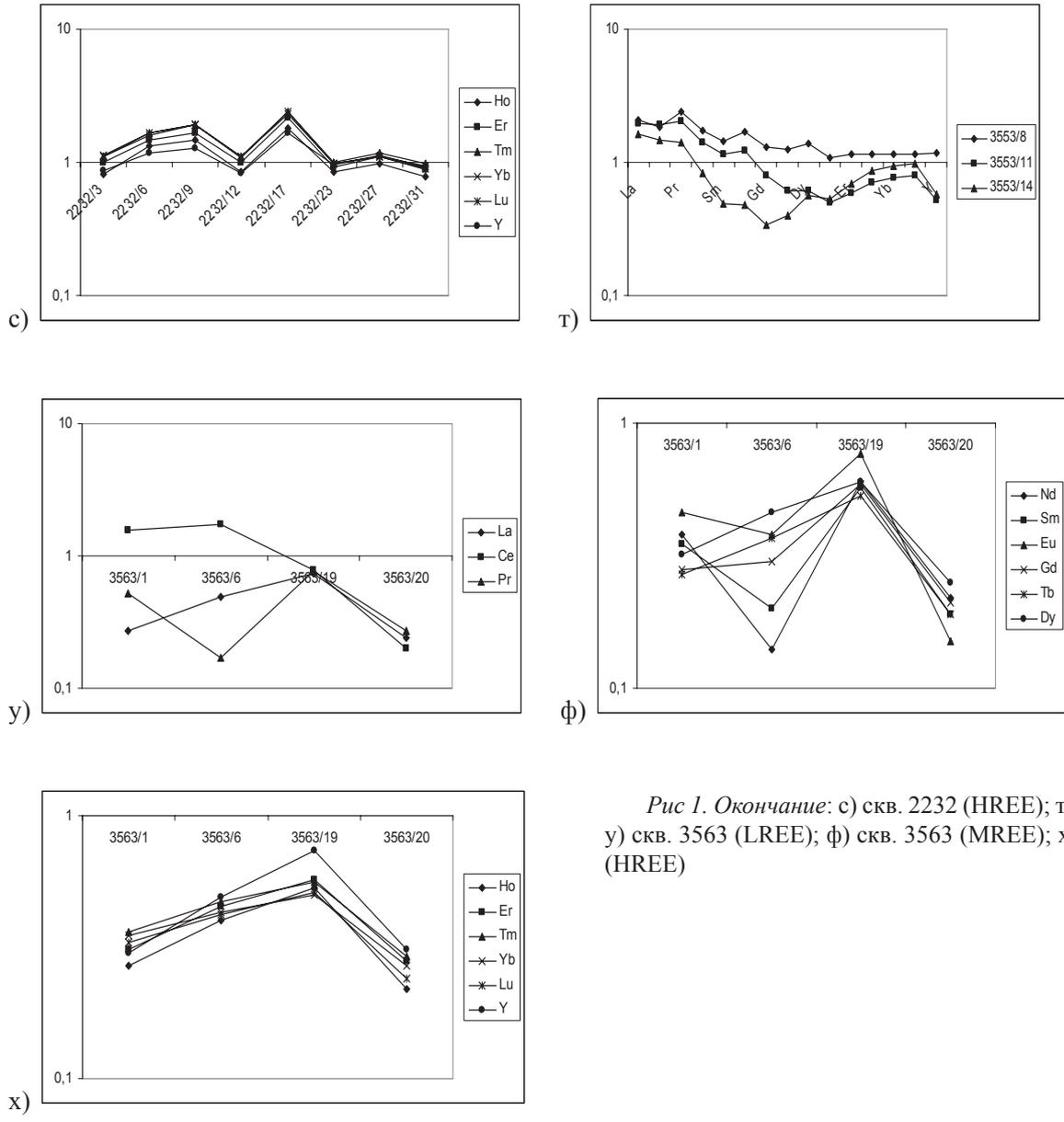


Рис 1. Окончание: с) скв. 2232 (HREE); т) скв. 3553; у) скв. 3563 (LREE); ф) скв. 3563 (MREE); х) скв. 3563 (HREE)

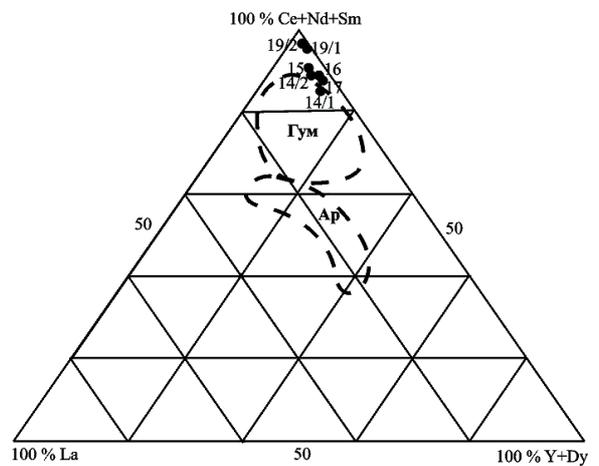
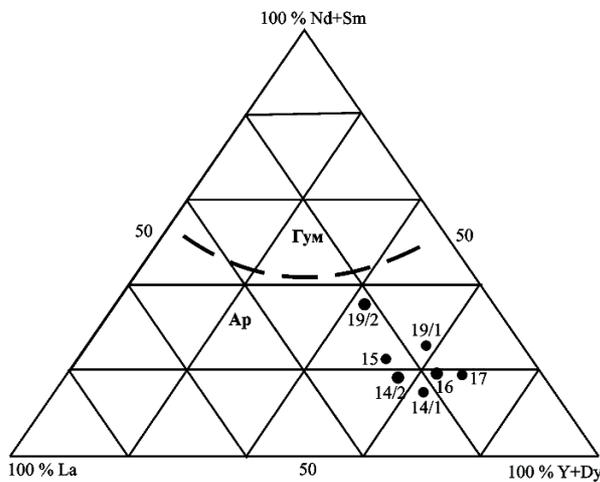
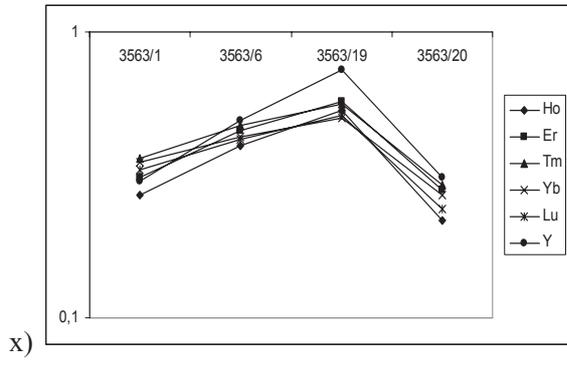


Рис. 2 Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 1263) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

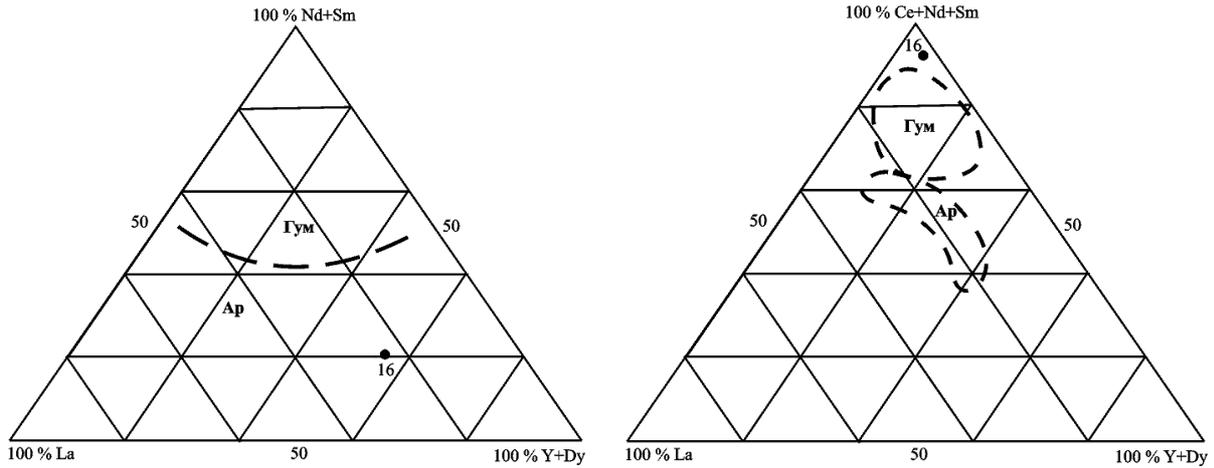


Рис. 3. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 1271) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

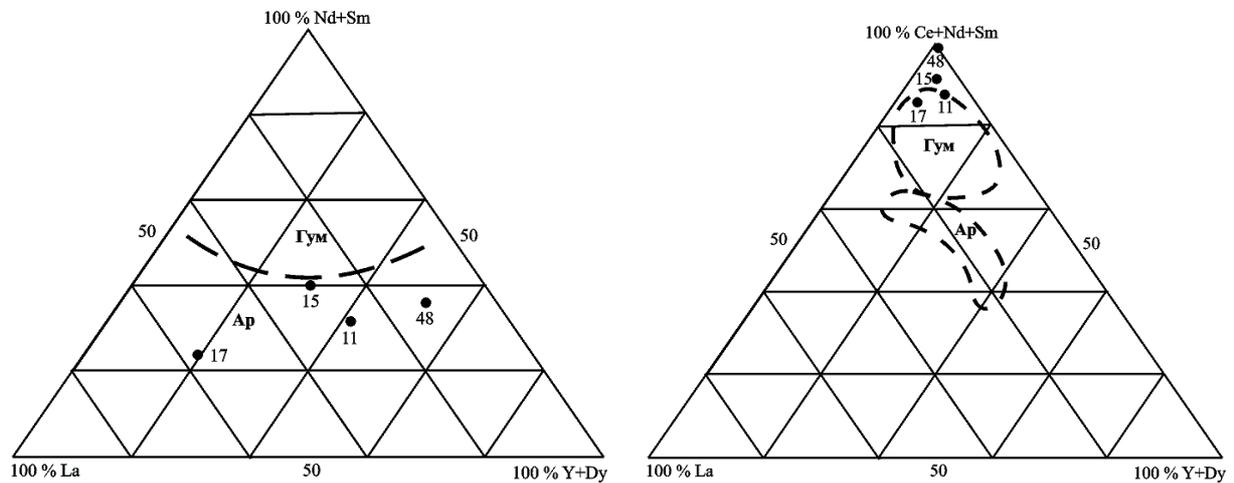


Рис. 4. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 1505) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

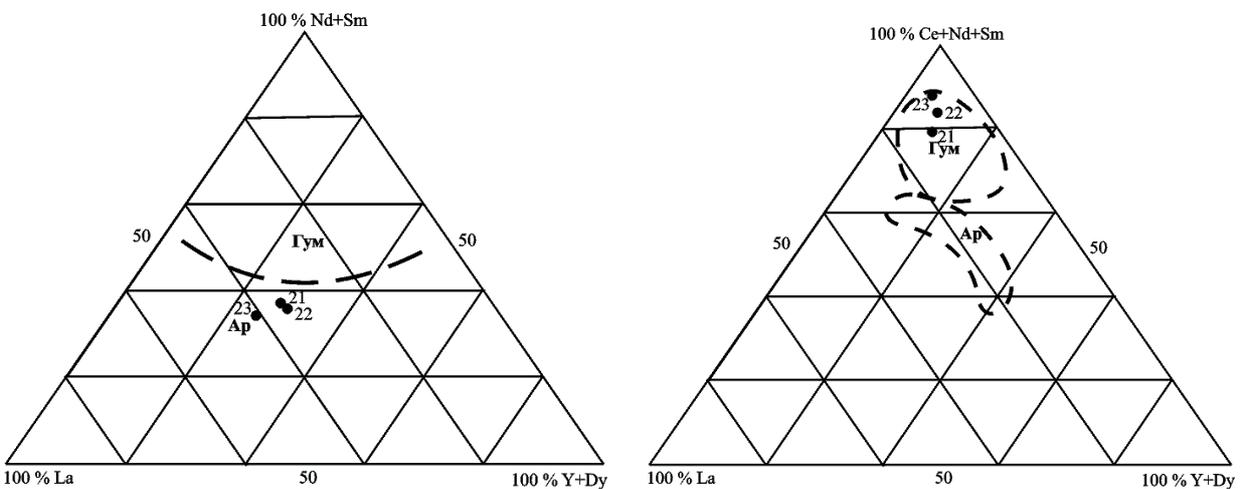


Рис. 5. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 1577) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

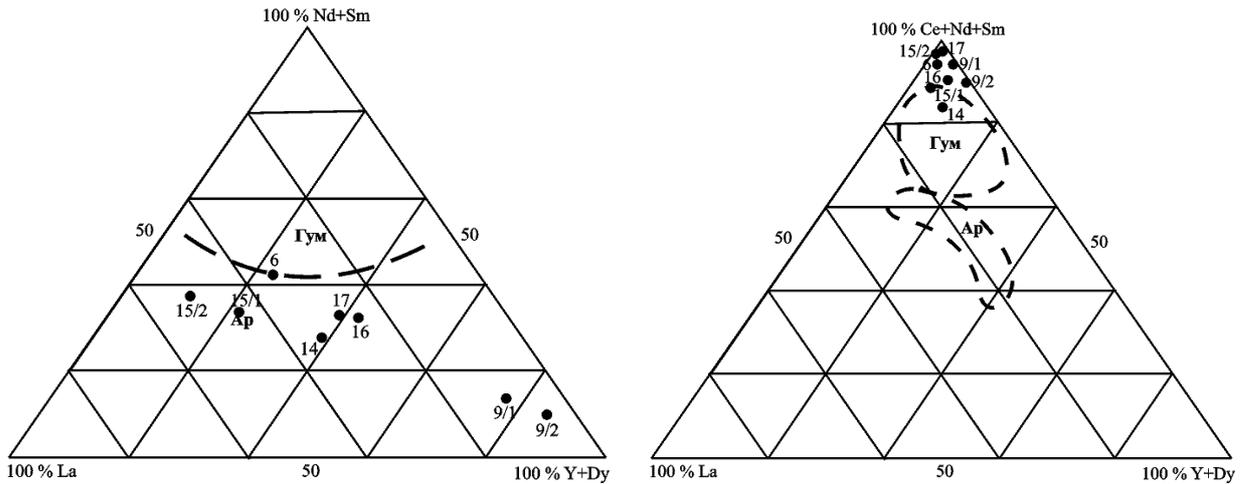


Рис. 6. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 1579) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

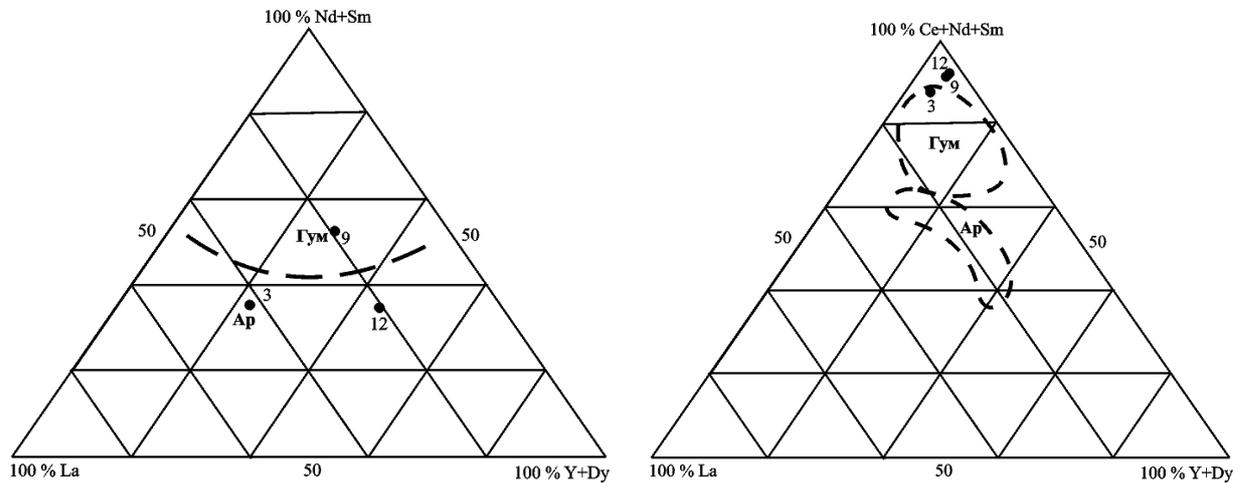


Рис. 7. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 2207) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

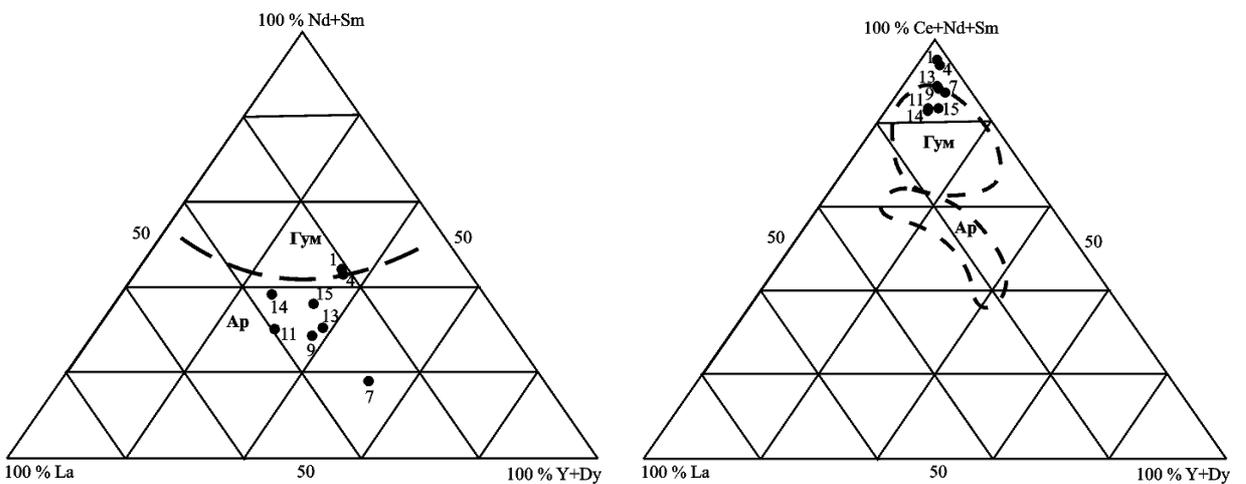


Рис. 8. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 2209) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

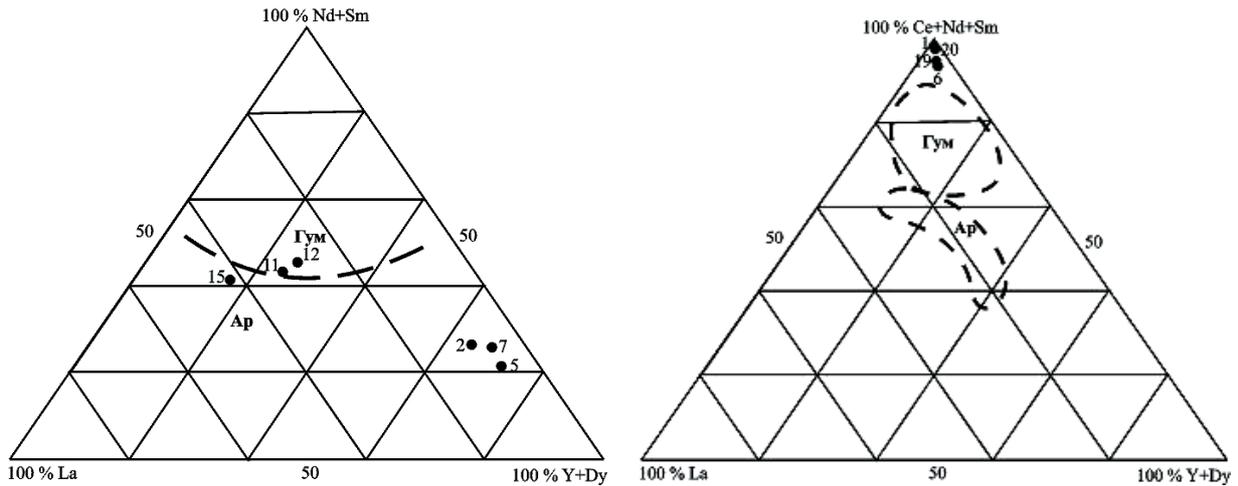


Рис. 9. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 2209А) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

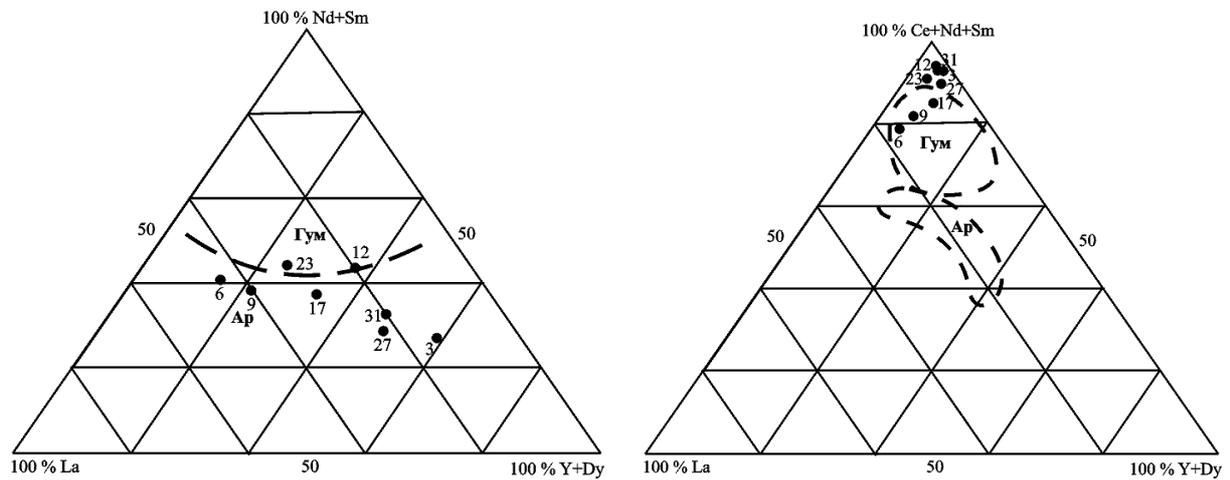


Рис. 10. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 2232) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

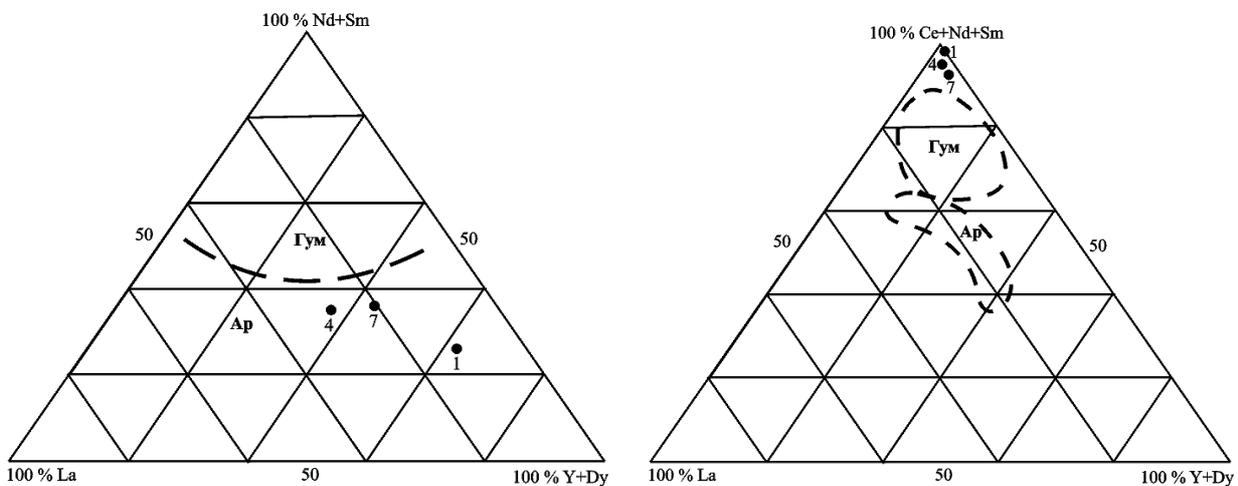


Рис. 11. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 2514) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

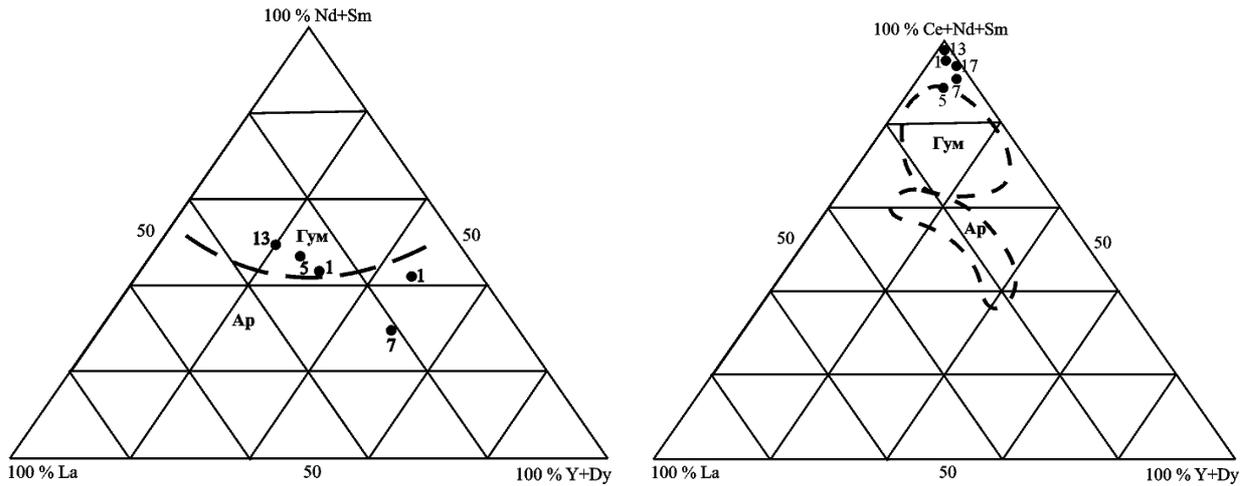


Рис. 12. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 2525) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

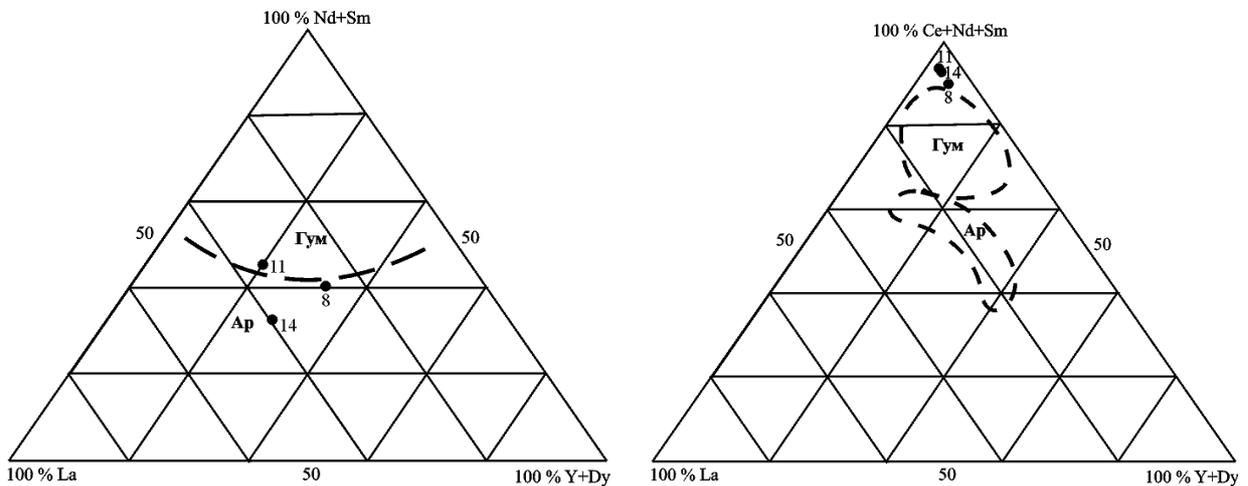


Рис. 13. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 3553) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

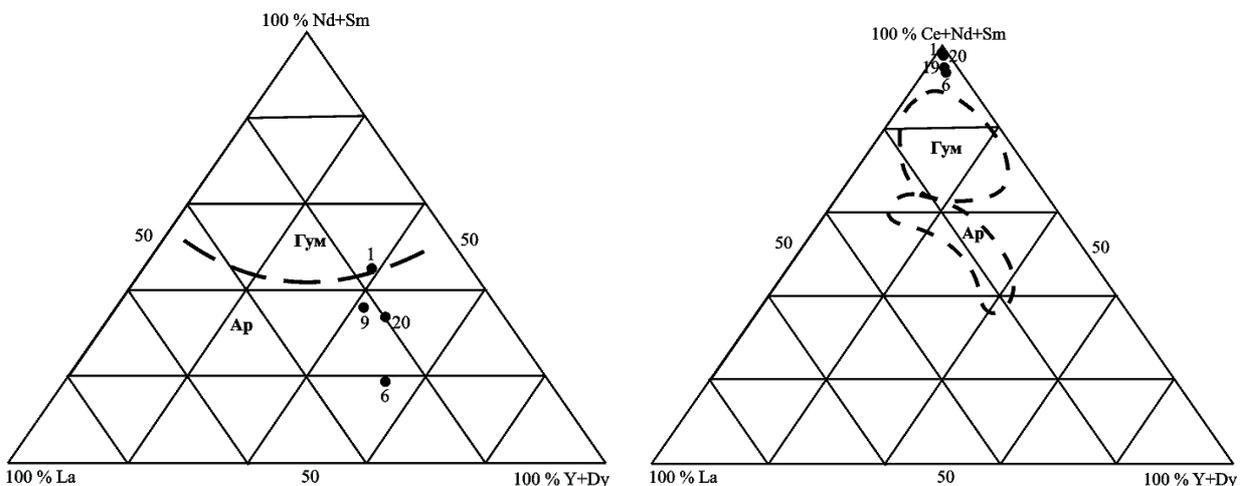


Рис. 14. Фигуративные точки бокситов КМА визейского возраста (скв. 3563) на диаграммах La – (Nd+Sm) – (Y+Dy) и La – (Ce+Nd+Sm) – (Y+Dy)

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сиротин В. И.* Редкие и редкоземельные элементы в корях выветривания курской серии КМА / В. И. Сиротин, В. А. Шатров, Г. В. Войцеховский, Г. Ю. Лобода // *Литология и полезные ископаемые.* – 2005. – № 3. – С. 250–266.

2. *Балашов Ю. А.* Геохимия редкоземельных элементов / Ю. А. Балашов. – М. : Наука, 1976. – 267 с.

3. *Венке Х.* Химия мантии и история аккреции Земли / Х. Венке, Г. Дрейбус, Э. Ягоутц // *Геохимия архея.* – М. : Мир, 1987. – С. 13–41.

*Е. Е. Белявцева, преподаватель, кафедры общей геологии и геодинамики, Воронежский государственный университет; тел.: (4732) 208-682; e-mail: BelyavcevaEE@yandex.ru*

*В. И. Сиротин, профессор, кафедры общей геологии и геодинамики, Воронежский государственный университет; тел.: (4732) 208-682; e-mail: ogg@geol.vsu.ru*

4. *Ронов А. Б.* Химический состав важнейших генетических типов глин / А. Б. Ронов, З. В. Хлебникова // *Геохимия.* – № 6. – 1967. – С. 449–469.

5. *Казаков Г. А.* Глаукониты как показатели климатических условий литогенеза / Г. А. Казаков, Ю. А. Балашов, Р. Х. Братишко // *Геохимия.* – № 5. – 1976. – С. 758–764.

6. *Казаков Г. А.* Глаукониты как показатели геохимических условий формирования осадочных пород / Г. А. Казаков // *Геохимия.* – № 12. – 1983. – С. 167–168.

*Е. Е. Belyavtceva, Teacher, Chair of General Geology and Geodynamics, Voronezh State University; tel.: (4732) 208-682; e-mail: BelyavcevaEE@yandex.ru*

*V. I. Sirotnin, Professor, Chair of General Geology and Geodynamics, Voronezh State University; tel.: (4732) 208-682; e-mail: ogg@geol.vsu.ru*