

Установка МАКЕТ АНИ : отклик детекторов, регистрация и достоверность отбора полезных событий

Сохоян^{1*} С.О.

¹Отдел Космических Лучей, Ереванский Физический Институт, Ереван 375036,
Армения

Введение

Основные результаты исследования широких атмосферных ливней (ШАЛ) на установке МАКЕТ АНИ [1], опубликованные в течение последних 2-3х лет, носили сугубо предварительный характер. Это было обусловлено недостоверным учетом функции отклика детекторов установки, вклада μ -ов, γ -квантов и т.д. по причине отсутствия к тому времени банка моделированных событий, а также отсутствием детальных исследований корреляций показаний индивидуальных детекторов с измеряемыми параметрами ливня.

Отсутствие банка М-К событий привело также к затруднению в определении эффективных площадей регистрации ШАЛ с различными N_e . Эти площади определялись эмпирически, а именно: прослеживалось сохранение формы N_e -спектров (интенсивности, наклоны до и после излома, а также положение точки излома) с увеличением допустимых расстояний оси ливня от центра установки. При этом определялись "эффективные" площади регистрации ливней для конкретных интервалов N_e .

Скудость банка экспериментальных данных не позволяла также исследовать зависимости "эффективных" площадей регистрации от возраста и зенитного угла падения ШАЛ [2], [3], [4].

Всё это привело к тому, что выработанные критерии отбора "полезных" событий не обеспечивали как эффективную отбраковку показаний индивидуальных ("плохих") детекторов, так и достоверность построенных для различных интервалов зенитных углов θ спектров по числу частиц ШАЛ, являющихся основным предметом изучения исследовательской группы МАКЕТ АНИ.

К настоящему времени автором данной работы разработана методика определения эффективных площадей регистрации для установки МАКЕТ АНИ, которая в ближайшее время будет апробирована на банке моделированных посредством программы CORSIKA событий.

Приводимые же ниже исследования были проведены в условиях использованных до настоящего времени предварительных критериев отбора полезных событий, а целями работы являются:

- исследование функции пространственного распределения (ФПР) частиц ШАЛ при различных N_e ;

- исследование поведения "невязок" $\frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}} = \frac{\rho_i^{exp}(R) - \rho_{NKG}(R)}{\rho_{NKG}(R)}$

Здесь: i - номер детектора, R - расстояние от оси ливня, ρ_i^{exp} - плотность по числу частиц при данном R по показаниям i -ого детектора в каждом индивидуальном событии, $\rho_{NKG}(R)$ - плотность по числу частиц, ожидаемая на расстоянии R по NKG - фиту [5].

*corresponding author e-mail: serg@crdlx5.yerphi.am

- проверка на зенитно - азимутальную изотропию при различных R для каждого детектора МАКЕТ АНИ;
- определение пределов области насыщения по числу частиц для каждого детектора;
- исследование корреляций показаний индивидуальных детектора с измеряемыми параметрами ШАЛ;
- выработка критериев отбора "полезных" событий.

1 Функции пространственного распределения

1.1 Условия построения и критерии отбора событий -Интервал зенитных углов $\theta = 0^\circ \div 45^\circ$ равномерно бинируется по $\Delta \sec \theta$ на 5 бинов ($\approx 60 \text{ гсм}^{-2}/\text{бин}$ вещества поглотителя), и ФПР строятся для каждого из этих бинов.

-Эффективные площади регистрации рассматриваются как функции N_e (аналогично процедуре построения N_e - спектров).

-ФПР строятся для каждого бина по N_e в интервале $5 \leq \log(N_e) \leq 8$ с шагом $\Delta \log(N_e) = 0.1$ (аналогично N_e - спектрам).

Отметим, что поисковыми параметрами ливня при NKG - фите являются: возраст s , координаты оси ливня X_o, Y_o , зенитный θ и азимутальный ϕ углы падения ШАЛ.

Предварительный отбор событий :

1. Возраст ливня:

a) $0.3 < s < 1.2$.

б) Ошибки определения возраста по результатам фитирования NKG - функцией экспериментально измеряемых каждым детектором плотностей: $\Delta s < 0.2$.

2. Ошибки определения координат оси ливня при NKG - фите.

Если X_o, Y_o - координаты оси ливня, то : $|\Delta X_o| < 2.5m, |\Delta Y_o| < 2.5m$.

3. $\chi^2 < 6$ для NKG - фита.

4. Одночастичные фоновые спектры:

а) положение максимума для каждого детектора изменяется в пределах $4 < n_{max} < 8$ кодов амплитудно-цифрового преобразователя(АЦП);

б) наклоны линейных (в логарифмическом масштабе) областей фоновых спектров $25 < n_{code} < 40$ изменяются в пределах $3.35 < \gamma < 3.65$.

5. Данные от детектора с максимальным показанием (в кодах АЦП) в NKG - фите данного события не участвуют.

1.2 Ф П Р и невязки $\frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}}$ Поскольку далее по тексту приводится множество иллюстраций касательно характеристик каждого детектора, то здесь необходимо вкратце описать нумерацию детекторов и их расположение в пределах установки. Отметим также, что в качестве детекторов электромагнитной компоненты ШАЛ используются пластические сцинтилляторы 2-х размеров: $1 \times 1 m^2$ и $0.3 \times 0.3 m^2$. Обозначим :

($|X_{max}|, |Y_{max}|$) - максимальное расстояние детекторов данной группы от начала координат вдоль осей oX и oY соответственно.

Ковёр установки.

а)Большие детекторы $N1 \div 19$ - установлены вокруг ионизационного калориметра(ИК) $20 \times 40 m^2$, расположенного в центре здания МАКЕТ-а ($|X_{max}| = 22m, |Y_{max}| = 9m$).

б)Большие детекторы $N40 \div 49$ - расположены вдоль оси oX ИК ($|X_{max}| = 17m, |Y_{max}| = 0m$).

в) Малые детекторы $N50 \div 73$ - установлены по периметру ИК. ($|X_{max}| = 18m, |Y_{max}| = 2m$).

Периферия.

г) Ближняя периферия - большие детекторы $N20 \div 39$ - расположены вокруг здания МАКЕТ-а

($|X_{max}| = 50m, |Y_{max}| = 33m$).

д) Дальняя периферия 1 - большие детекторы $N74 \div 77$ - расположены на крыше гостиницы станции ($|X_{max}| = 67m, |Y_{max}| = 12m$).

е) Дальняя периферия 2 - большие детекторы $N78 \div 92$ - расположены на крыше "Dark house" ($|X_{max}| = 91m, |Y_{max}| = 60m$).

В свете исследуемых в данной работе задач очень полезной является информация о предельных расстояниях от осей ливней (R_{min}, R_{max}), "просматриваемых" ковром и каждой периферией в отдельности, приведенная в Табл 1. Как видно из этой таблицы, значения R_{min} и R_{max} для ковра и ближней периферии не изменяются с зенитным углом θ и расстояния от осей ливней для них находятся в пределах $0m \leq R \leq 45m$ для ковра и $0m \leq R \leq 55m$ для ближней периферии.

Дальние же периферии уже чувствительны к θ : с ростом углов R_{min} падет на $\approx 10 \div 15m$.

На Рис.1 показаны ФПР (умноженные на R^2), построенные для 30 -ти интервалов N_e . Ширина бина по R равна 5 м. События с $R \leq 2m$ исключены.

Кривые соответствуют NKG - фитам, полученным использованием экспериментальных $s(N_e)$ - зависимостей.

Из Рис.1 очевидны следующие особенности в поведении построенных ФПР:

1. В области $5 < Log(N_e) \leq 5.4$ наблюдается систематическая заниженность экспериментальных $\rho(R)$ по сравнению с NKG - фитом для $15m \leq R \leq 75m$.

2. В области $R > 75m$ и $5.3 < Log(N_e) \leq 6.4$ экспериментальные $\rho(R)$ превышают NKG - фит.

3. В области $35m \leq R \leq 50m$ наблюдается резкое изменение формы экспериментальных ФПР при всех N_e .

4. При $Log(N_e) > 6.0$ и $R < 50m$ экспериментальные $\rho(R)$ существенно превышают NKG - фит.

С целью понимания возможных причин такого "странныго" поведения ФПР были исследованы невязки $\frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}}$ как функции от R для тех же интервалов N_e , и результаты показаны на Рис. 2.

Из рисунка очевидно наличие особенности в поведении $\frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}}$ в области $35m \leq R \leq 50m$ практически для всех N_e . Отметим, что величина $\frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}}$ является одновременно и систематической ошибкой определения размера ливня (при условии независимости этой величины от R), и поэтому выявление причин вышеуказанных особенностей в поведении ФПР крайне важно.

Таблица 1:

θ	$0^\circ \div 22.6^\circ$		$41.3^\circ \div 45^\circ$		
	N_{det}	R_{min}	R_{max}	R_{min}	R_{max}
$1 \div 19$		0	45	0	45
$40 \div 73$		0	45	0	40
$74 \div 77$		40	90	30	90
$78 \div 92$		70	130	55	125
$20 \div 37$		0	55	0	55

Из рис. 2 видно также, что при $5 < \text{Log}(N_e) \leq 5.4$ и $0m \leq R \leq 100m$ наблюдается слабый рост невязок с R (от 0 до 0.1), а при $\text{Log}(N_e) > 5.7$ и $R < 70m$ $\frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}}$ падает с выходом на плато в области $75m \leq R \leq 100m$.

При $R > 100m$ (дальние периферии 1 и 2) и всех N_e невязки резко растут. Детальный анализ данных от периферийных пунктов регистрации приводится далее по тексту.

Как показали исследования, ФПР, построенные только по данным малых детекторов, систематически занижены по сравнению с $\rho(R)$ по данным больших детекторов (на 10 \div 15% при $5 < \text{Log}(N_e) \leq 6$), причем малые детекторы регистрируют ливни только на расстояниях от оси $R < 45m$ (см. Табл.1). По мнению автора, это и является основной причиной особенности в поведении как ФПР, так и невязок по плотностям, наблюдаемым именно вокруг точки $R = 45m$. Расстояния $R > 45m$ находятся вне пределов досягаемости малых детекторов, и потому превышение плотностей в этой области ожидаемо, и точка $R \approx 45m$ является разрывной для ФПР.

Попытка игнорирования данных от малых детекторов в процедурах построения ФПР и расчета невязок ситуацию существенно не улучшила, поскольку при обработке "нулевого" банка данные от малых детекторов "apriori" участвовали в процессе определения параметров ливня, а значит и $s(N_e)$ - зависимости, используемой далее при NKG - фите.

Вторая возможная причина особенности точки $R = 45m$: из Табл. 1 видно, что "зона" $40m \leq R \leq 55m$ - эта та зона, где прекращается регистрация ливней ковром и ближней периферией, и одновременно "включаются" дальние периферии 1 и 2. Возможно, что именно здесь эффективность регистрации ливней низка. Ответ на это дадут только исследования по эффективностям регистрации на М - К моделированных данных.

В настоящее время группой МАКЕТ АНИ проводится детальный анализ процедуры обработки данных малых детекторов с целью выявления причин их аномального поведения.

На Рис. 3 и 4 показаны зависимости невязок плотностей от R по данным каждого детектора установки для интервала зенитных углов $\theta = 0^\circ \div 22.6^\circ$.

Из рис. видно, что для больших детекторов ковра и ближней периферии, как и ожидалось, невязки практически не зависят от R и изменяются в пределах $-0.2 \div 0.2$ (за исключением детектора N 33). Для малых же детекторов при $R > 20m$ наблюдается резкое падение $\frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}}$ от значения ≈ 0.2 при $R = 20m$ до ≈ -0.8 при $R = 40m$, что опять подтверждает "странный" в поведении малых детекторов.

По данным периферии МАКЕТ-а : при $R > 100m$ значения $\frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}}$ резко растут.

На Рис. 5 \div 8 показаны корреляции невязок с размером ливня для каждого детектора, построенные следующим образом.

Для каждого фиксированного N_e строятся распределения невязок(для всех значений R) по показаниям каждого детектора, и затем определяются средние значения этих распределений и показанные на этих рисунках.

Как видно из этих рисунков, для ковровых детекторов невязки изменяются в пределах $-0.3 < \frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}} < 0.3$ в области размеров ШАЛ $5 < \text{Log}(N_e) \leq 7$. Хуже ведёт себя ближняя периферия : $-0.4 < \frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}} < 0.8$, причем наихудшие показатели у детекторов 24, 28, 34, 37. Странно также резкое падение невязок с N_e для детекторов 31 и 43. Идеальным кажется поведение невязок для дальней периферии $-0.1 < \frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}} < 0.1$. Но здесь следует помнить, что в этих пунктах регистрации наблюдаются в основном низкие плотности, эффективно регистрируемые practicallyски каждым детектором.

По данным этих рисунков хорошо просматриваются также области насыщения для каждого детектора, проявляющиеся в основном при ливнях с числом частиц $\text{Log}(N_e) > 7$, где наблюдается резкое возрастание невязок. В этом смысле детектор N33 можно охарактеризовать как "плохой": для него область насыщения начинается при $\text{Log}(N_e) > 6.5$.

С целью более детального исследования области насыщения исследовались также корреляции средних значений плотностей по показаниям каждого детектора с размером ливня, показанные на Рис. 9 \div 11 для интервала $\theta = \theta^o \div 22.6^o$. Как видно из этих рисунков, для большинства детекторов наблюдается степенной рост $\langle \rho(N_e) \rangle$ - зависимости вплоть $\text{Log}(N_e) = 7.5$, а диапазон максимальных измеряемых плотностей изменяется от $\rho_{max} = 400$ для периферии 2 (при $\text{Log}(N_e) = 7.8$) до $\rho_{max} \approx 20000$ для ковровых детекторов.

Обращают на себя внимание два детектора ближней периферии. Это детекторы N 33 и 37, у которых область насыщения достигается очень рано - при $\text{Log}(N_e) > 6.5$.

В дальнейшем, при построении спектров по числу частиц в ШАЛ, предполагается учет составляемой ныне карты насыщения по всем детекторам МАКЕТ АНИ.

2 Ошибки определения расстояния от оси ливня

Представленные в данной работе результаты в основном соотносятся с параметром R - расстоянием от оси ливня, и поэтому важно исследовать ошибки их определения ΔR при различных зенитных углах падения.

Ожидаемые закономерности : ΔR должны возрастать как с удалением к периферии, так и с θ и ϕ , роль которых сильно возрастает при $\theta > 35^o$.

На Рис.12 \div 15 показаны корреляции ΔR с R для каждого детектора в двух крайних интервалах зенитных углов : $0 < \theta \leq 22.6^o$ и $41.3 < \theta \leq 45^o$.

Как видно из Рис. 12, 13 при "вертикальных" событиях для детекторов ковра и ближней периферии $\Delta R \leq 2m$, для дальней периферии 1 - $\Delta R \leq 6m$, и периферии 2 - $\Delta R \leq 10m$. В ближней периферии наихудшие показатели у детекторов 30 и 33 : $\Delta R \approx 4m$.

Как видно из Рис. 14, 15 при больших зенитных углах значения ΔR резко возрастают.

Ковёр: при $0m \leq R \leq 35m$ $5m \leq \Delta R \leq 10m$.

Ближняя периферия : при $0m \leq R \leq 35m$ $10m \leq \Delta R \leq 20m$.

Для детекторов же дальней периферии ΔR вне пределов разумных значений, и в этом аспекте использование информации от дальней периферии при больших θ представляется нецелесообразным.

В любом случае эти исследования необходимо провести для каждого из пяти интервалов θ .

2.1 Изотропия по зенитным и азимутальным углам Были исследованы корреляции между θ и R, ϕ и R , а также ошибок определения углов $\Delta\theta$, $\Delta\phi$ с R для каждого детектора, показанные на Рис.16 \div 23 и построенные следующим образом:

а) фиксируется R ;

б) запоминаются значения θ , $\Delta\theta$, ϕ , $\Delta\phi$ в каждом индивидуальном событии для детекторов, попавших в данный бин по R ;

в) эти значения углов усредняются;

г) меняется бин по R , и пункты б \div г повторяются заново.

Как видно из Рис.16 и 17, для "вертикальных" событий $\langle \theta \rangle \approx 14.5^o$ для всех R , за исключением периферийных пунктов, где наблюдаются завышенные значения θ в области

$40m \leq R \leq 50m$ для периферии 1 и в области $65m \leq R \leq 80m$ для периферии 2.

Ошибки же составляют $\Delta\theta \approx 1.5^\circ$ для "вертикальных" событий и возрастают до $\Delta\theta \approx 2^\circ$ при $\theta > 41^\circ$ (см. Рис.18, 19) Поскольку ширина предпоследнего(4 - ого) интервала θ составляет $\approx 4.5^\circ$, а последнего - всего $\approx 3.7^\circ$, то построение ФПР и спектров по N_e в этих угловых интервалах, ширина которых соразмерима с $\Delta\theta$, представляется некорректным, т.к. резко возрастает роль "перекачек" событий в соседние угловые интервалы.

Есть два выхода из этой ситуации:

1) Интервал $\theta = 0^\circ \div 45^\circ$ можно разбить не на 5, а на 4 бина. Тогда соответствующее каждому бину количество поглотителя возрастёт (а значит и возрастает роль флуктуаций исследуемых параметров ШАЛ) и будет составлять $\approx 75gcm^{-2}$ против бывших $\approx 60gcm^{-2}$. Этот вариант разбиения нежелателен еще и потому, что теряется точка каскадной кривой в области экспоненциального поглощения частиц ШАЛ. Это не только ухудшит точность определения параметров, описывающих каскадную кривую, но также не позволит определить пробеги поглощения по числу частиц, поскольку глубины атмосферы $X < 820$ gcm-2 соответствуют области максимума каскадной кривой, и в область экспоненциального поглощения попадут всего 2 точки.

2)Неравномерное бинирование по $\Delta sec\theta$ такое, чтобы ширина каждого бина по θ была бы не меньше $5^\circ - 6^\circ$.

Существенно различно поведение азимутальных углов с R : для вертикальных ливней $<\phi> \approx 180^\circ$ при $\Delta\phi \approx 8^\circ$ (см. Рис.20, 21). Для больших же $\theta > 41^\circ$ (см. Рис.22, 23) получаем ошибки $\Delta\phi \approx 2^\circ$, за исключением дальней периферии, где наблюдается резкий рост $<\phi> \approx 240^\circ$. Это ещё раз говорит в пользу отказа от дальней периферии при больших зенитных углах падения ШАЛ.

По данным Рис. 20, 21 "плохими" можно охарактеризовать детекторы NN 20,24,27,34,37. Плохие показатели по этим детекторам подтверждаются также и по $\Delta R(R)$ и $\frac{\Delta\rho}{\rho_{NKG}}(N_e)$ - корреляциям, а результаты показаны на Рис. 24.

В итоге, по результатам всего изложенного в работе анализа экспериментальных данных "плохими" детекторами можно назвать следующие детекторы : 20, 24, 27, 33, 34, 37, 43. С целью "спасения" полезной информации от этих детекторов необходимо выявление и исключение из анализа только статистики за период "плохой" работы этих детекторов.

3 ВЫВОДЫ

1. По данным МАКЕТ АНИ наблюдается существенное расхождение экспериментальных плотностей по числу частиц от NKG - фита практически при всех N_e и R.

2. В области расстояний $35m \leq R \leq 55m$ наблюдается резкое возрастание ошибок определения плотностей по числу частиц (а значит и N_e), а также самих R. С целью выявления причин этого необходимо заново проверить и , возможно, откорректировать процедуру обработки данных от малых детекторов установки.

3. При зенитных углах $\theta > 35^\circ$ использование информации от дальних периферийных пунктов в процедурах построения ФПР и спектров по числу частиц ШАЛ недопустимо по причине больших ошибок определения расстояния от оси ливня, а также сильно завышенных значений (на $\approx 40^\circ - 50^\circ$) азимутальных углов.

4. С целью корректного учета перечисленных выше недостатков используемой на сегодняшний день процедуры отбора полезных событий в ближайшее время необходимо определение посредством М - К моделированных событий эффективных площадей реги-

стракции как функций от размера, возраста и зенитного угла падения ливня.

5. Изложенный в работе анализ данных каждого детектора позволил выявить детекторы, плохо работавшие в период набора статистики, с целью отбраковки этих данных при повторной обработке нулевого банка (итеративный метод обработки).

6. По причине больших ошибок определения зенитных углов ($\approx 2^\circ$ при $\theta > 35^\circ$) равномерное бинирование интервала $0^\circ \div 45^\circ$ на 5 бинов при построении ФПР и N_e - спектров недопустимо. Это неизбежно приведет к большим перекачкам событий в 2 - х последних бинах по θ в разные угловые интервалы.

Предлагается неравномерное бинирование по θ так, чтобы ширина бина были бы не меньше $5^\circ - 6^\circ$.

Список литературы

- [1] В.В. Авакян и др., ЯФ, 56 (1993) 182
- [2] S. Hayakawa, *Cosmic Ray Physics*, Interscience Monographs and Texts in Physics and Astronomy, V. 22, Wiley-Interscience, 1969
- [3] G.B. Khristiansen, G. Kulikov, J. Fomin, *Cosmic Rays of Superhigh Energies*, Verlag Thiemig, Munchen, 1979
- [4] M. Nagano et al., Journ. Phys. G: Nucl. Phys. 10 (1984) L235;
- [5] K.Greisen, *Progress in Cosmic Ray Physics 3*, North Holland Publ. (1956)
K.Kamata, J.Nishimura *Progr. Theor. Phys., Suppl.* 6(1958)93. В.С.Асейкин и др. *Труды ФИАН*, 109(1979)3.

4 БЛАГОДАРНОСТИ

Сердечно благодарю Зав. ОКЛ ЕрФИ Чилингаряна А.А. за проявленный интерес и постоянное внимание к работе и моих коллег Мелкумян Л.Г., Овсепяна Г.Г., Карагёзяна Г.В. и Варданяна А. за многочисленные и плодотворные дискуссии.

LDF for different fixed values of EAS size(MAKET ANI data)

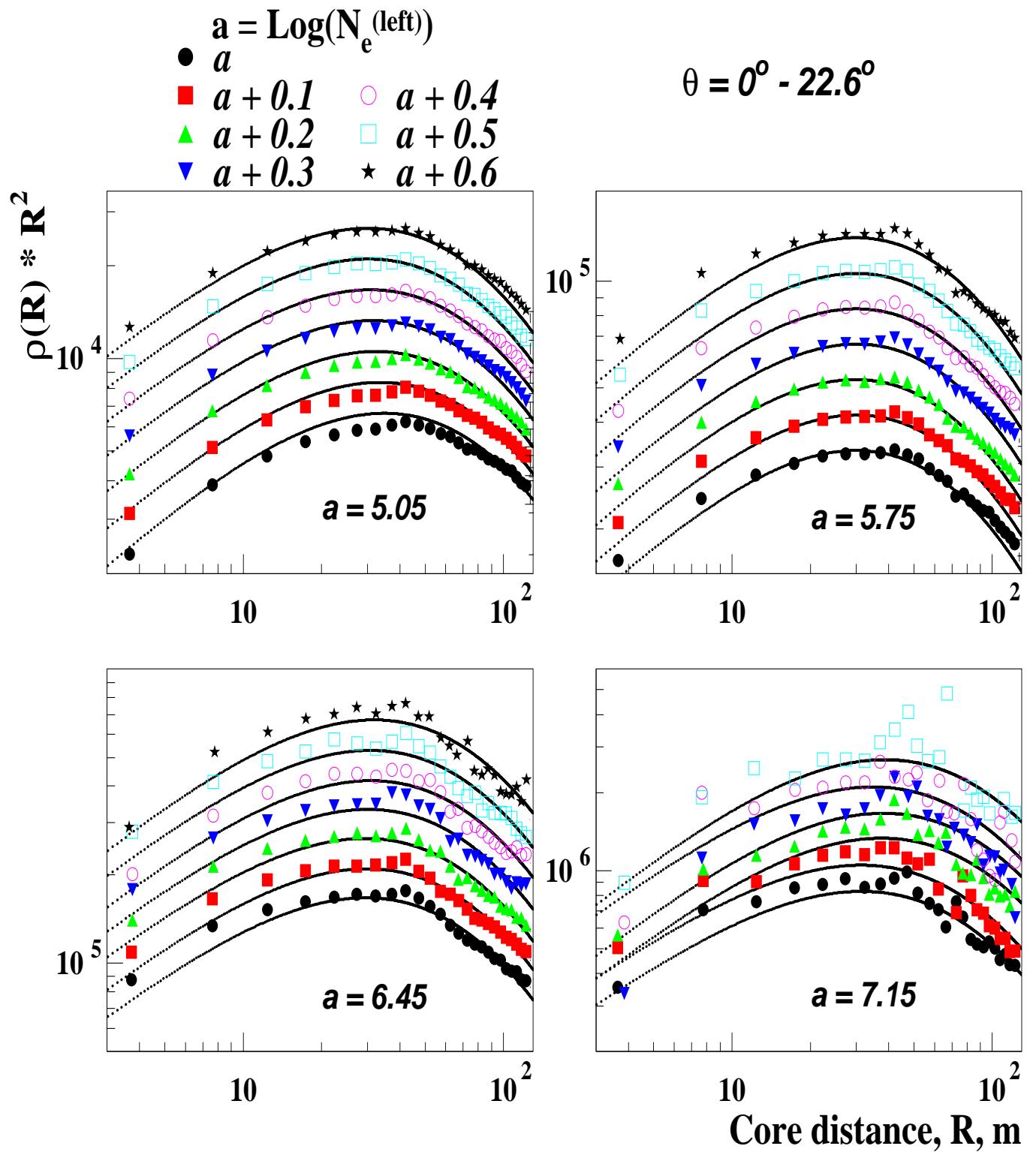


Рис. 1:

$\langle \Delta\rho/\rho_{(NKG)} \rangle$ as function of core distance for different fixed values of EAS size(MAKET ANI data)

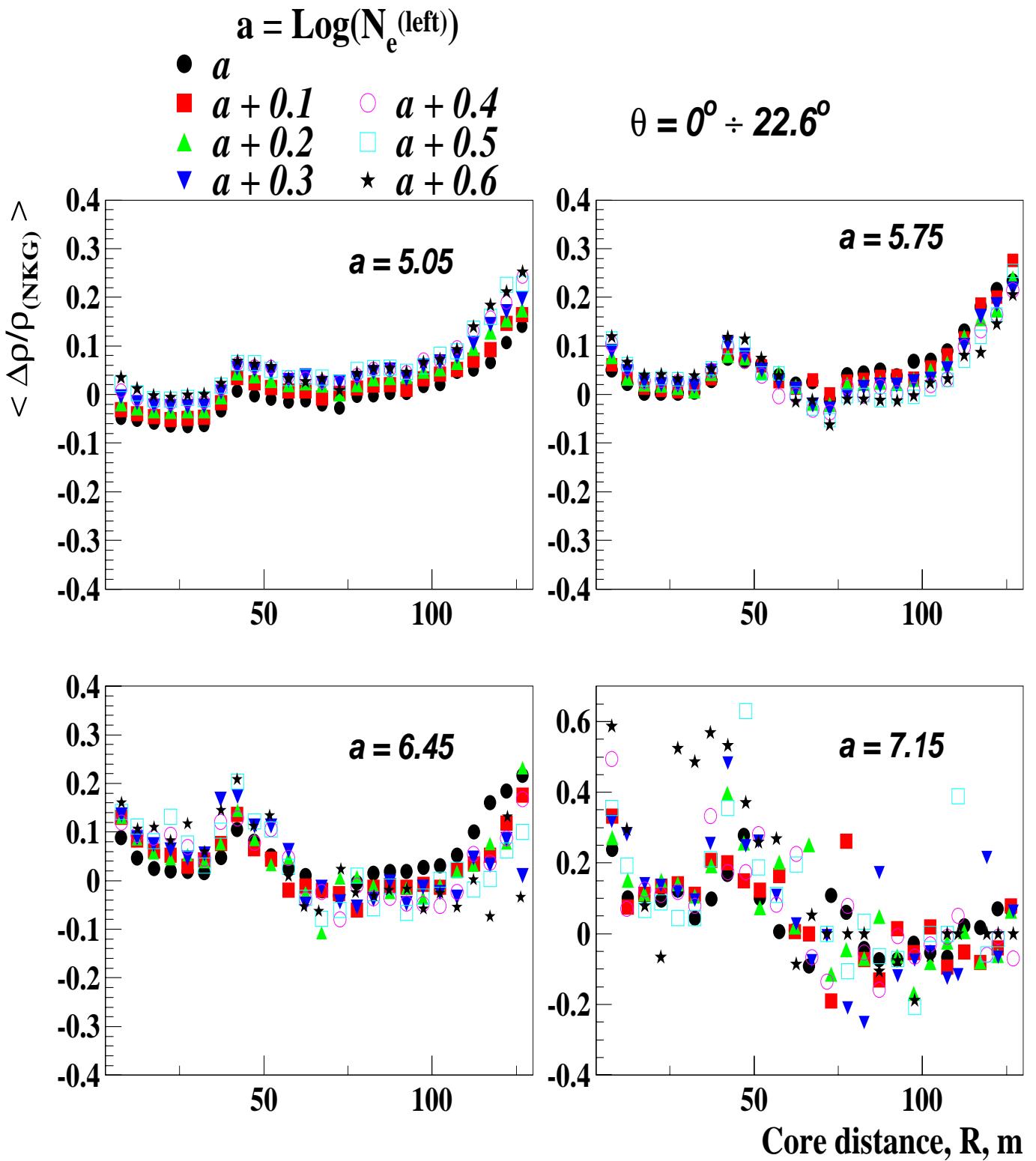


Рис. 2:

number of detector

● $10^*a + 1$	□ $10^*a + 6$
■ $10^*a + 2$	△ $10^*a + 7$
▲ $10^*a + 3$	◆ $10^*a + 8$
▼ $10^*a + 4$	+ $10^*a + 9$
○ $10^*a + 5$	* $10^*a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
$5.0 \div 5.6$	24	12	$6.1 \div 6.3$	32	16
$5.6 \div 5.7$	26	13	$6.3 \div 6.5$	36	18
$5.7 \div 5.9$	28	14	$6.5 \div 6.7$	40	20
$5.9 \div 6.1$	30	15	> 6.7	44	22

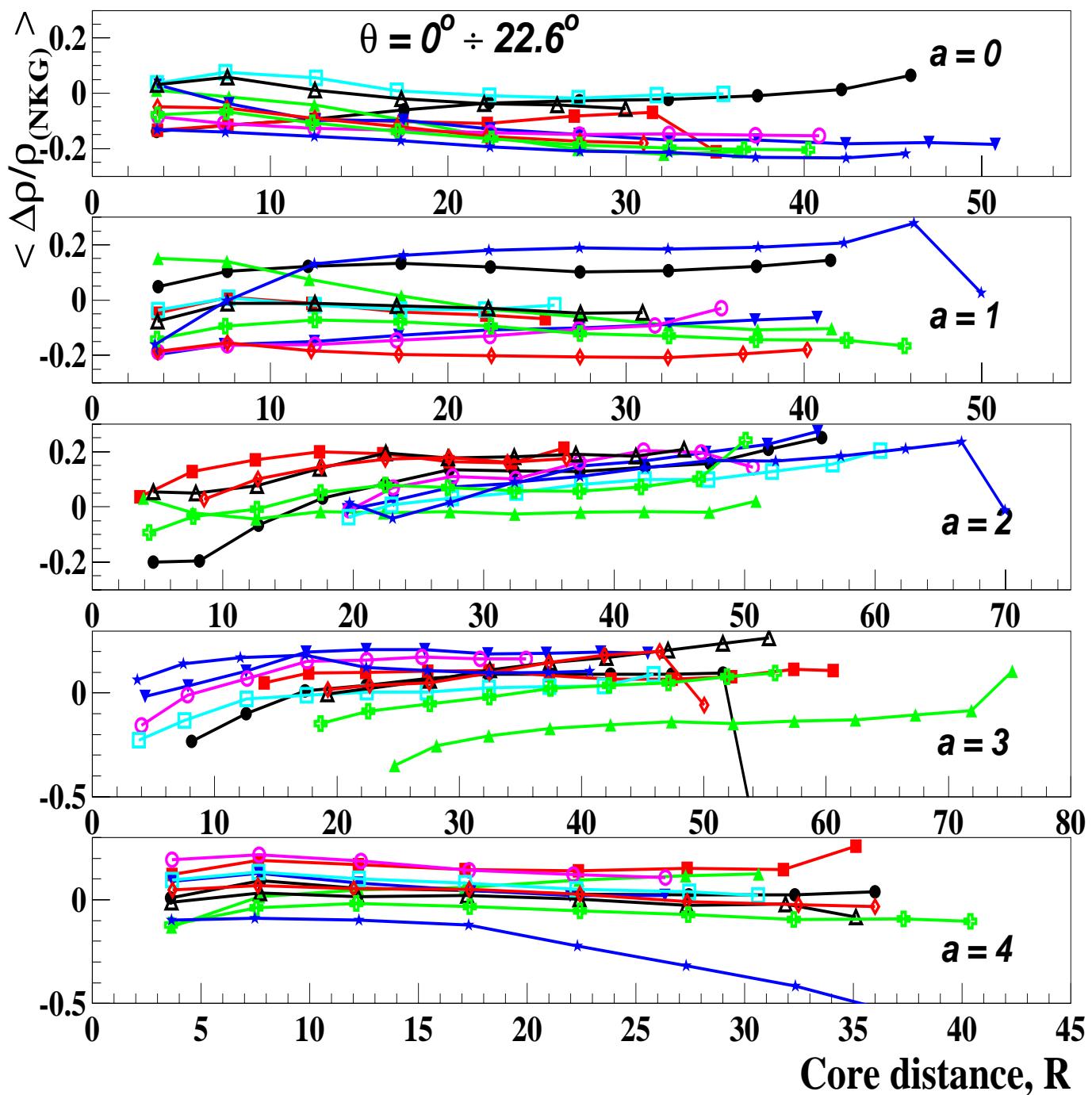


Рис. 3:

number of detector	$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
● $10^*a + 1$	5.0 \div 5.6	24	12	6.1 \div 6.3	32	16
■ $10^*a + 2$	5.6 \div 5.7	26	13	6.3 \div 6.5	36	18
▲ $10^*a + 3$	5.7 \div 5.9	28	14	6.5 \div 6.7	40	20
▼ $10^*a + 4$	5.9 \div 6.1	30	15	> 6.7	44	22
○ $10^*a + 5$	* $10^*a + 6$		* $10^*a + 7$		* $10^*a + 8$	
○ $10^*a + 5$	* $10^*a + 9$		* $10^*a + 10$		* $10^*a + 10$	

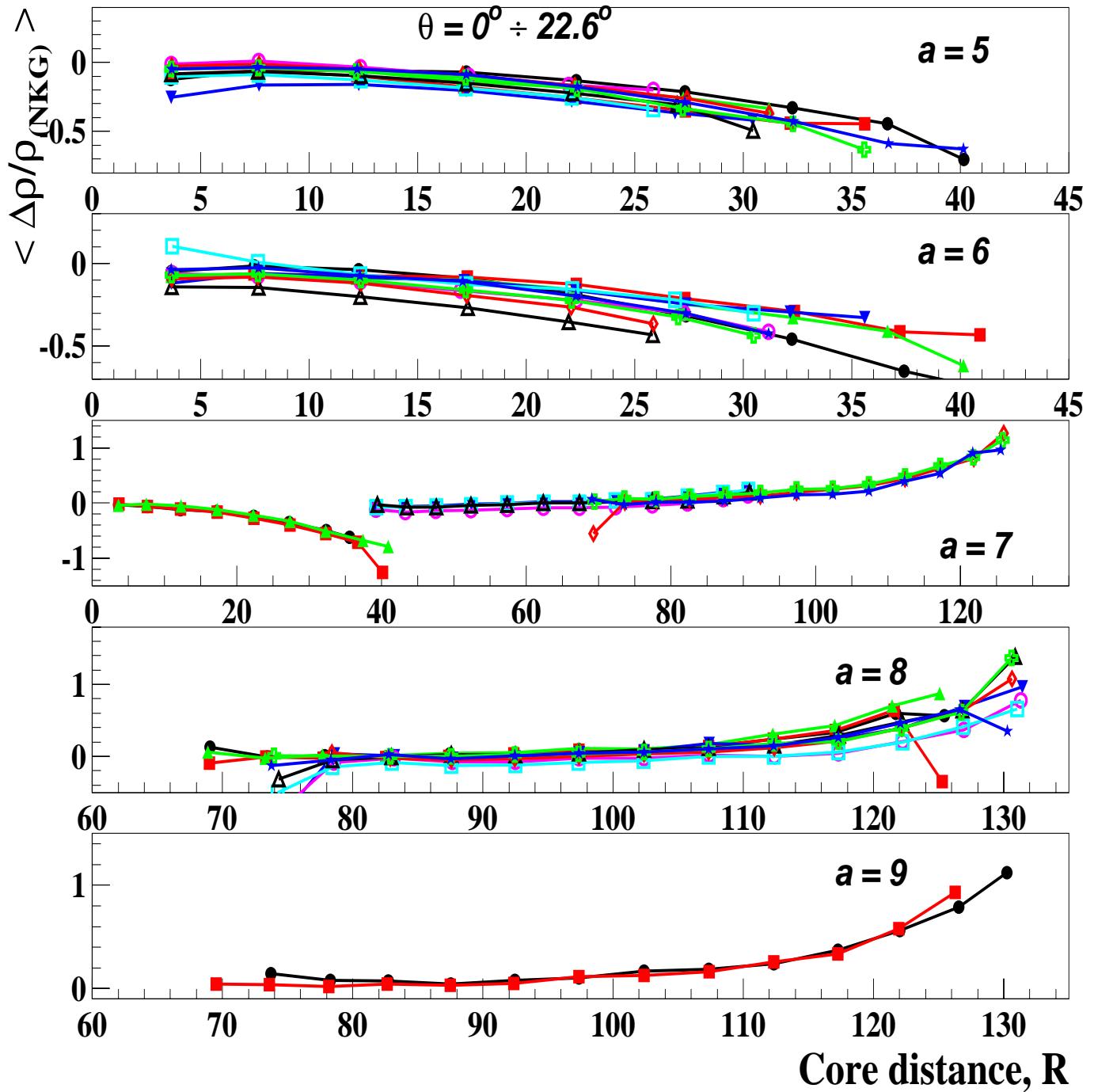


Рис. 4:

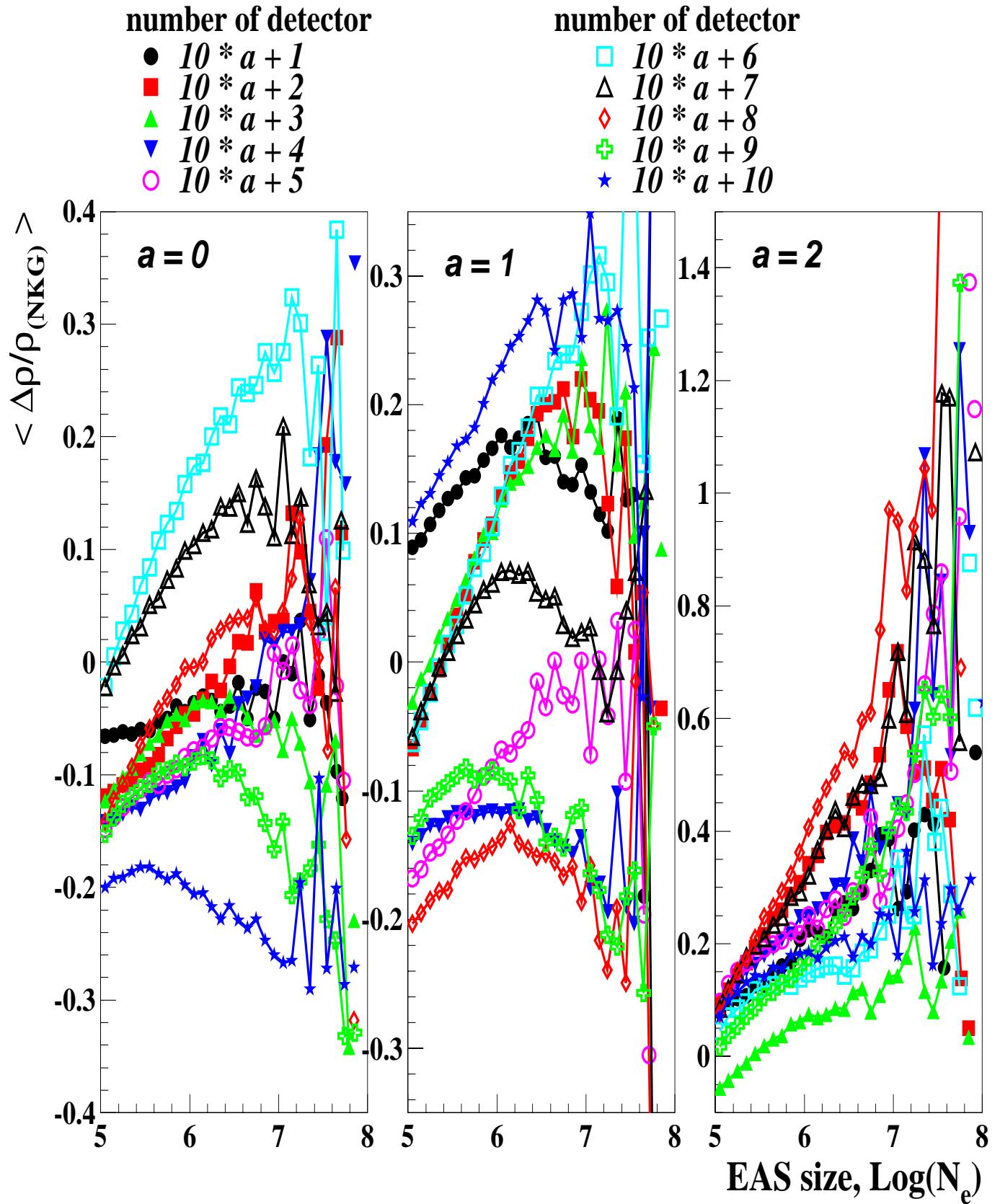


Рис. 5:

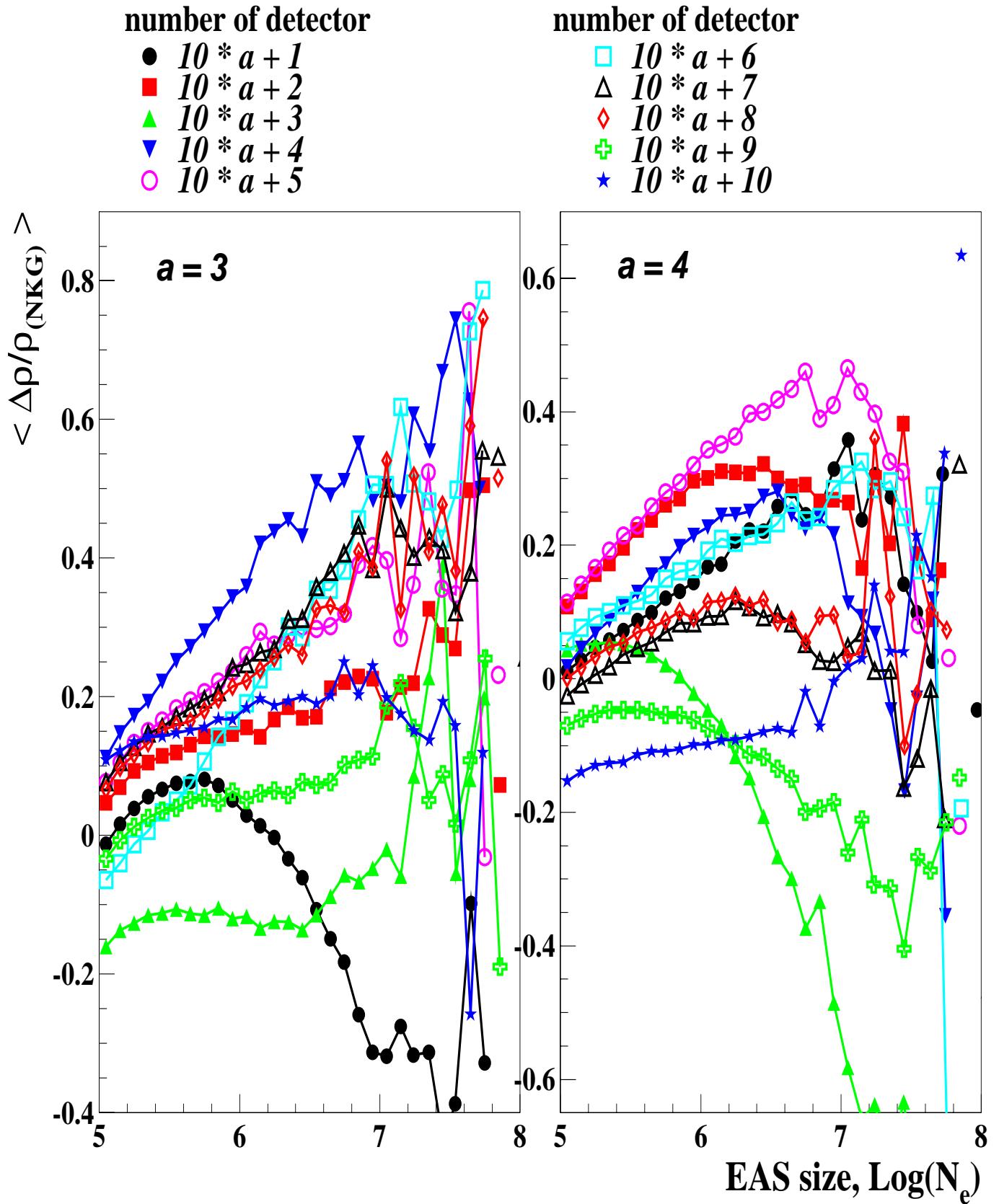


Рис. 6:

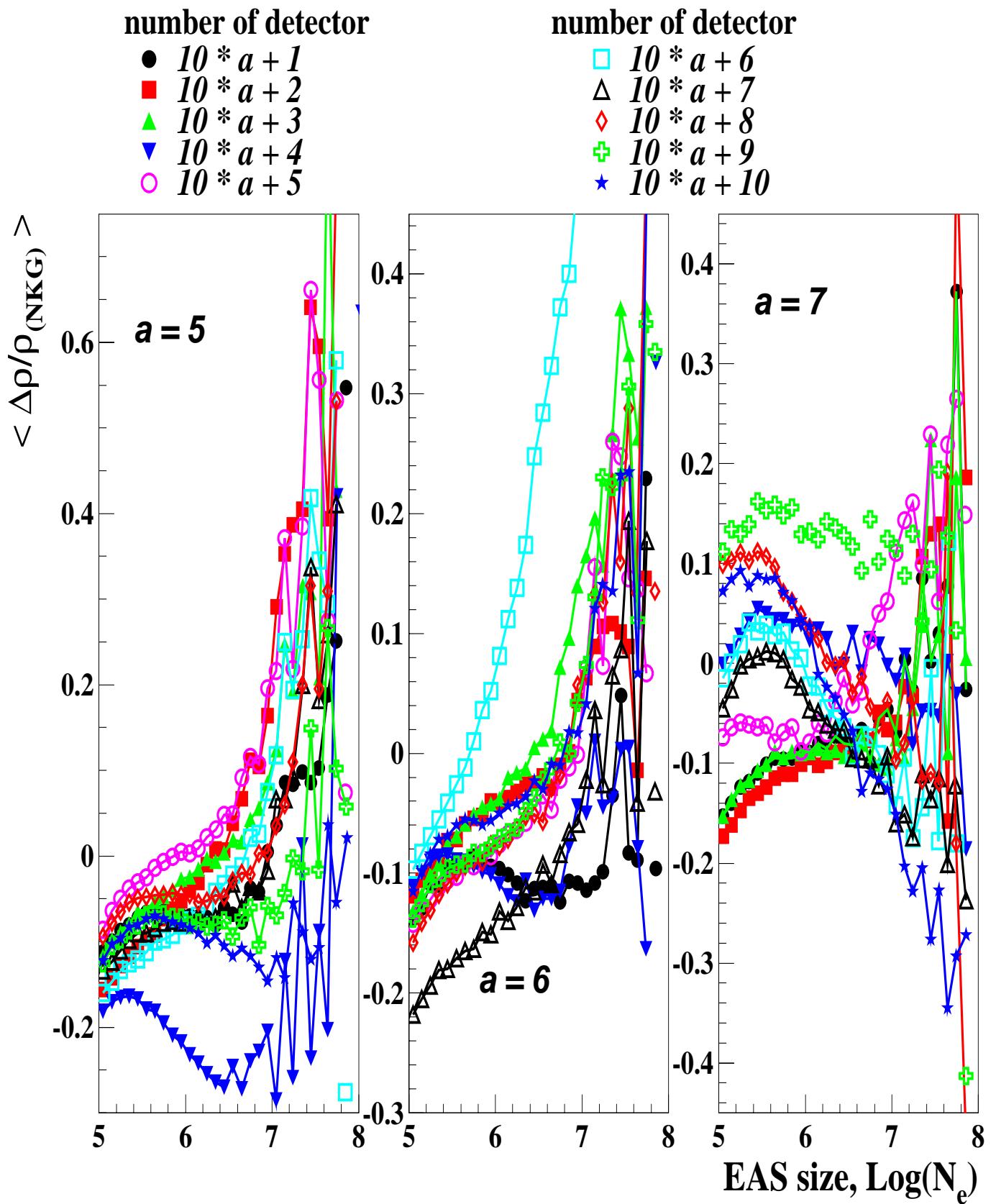


Рис. 7:

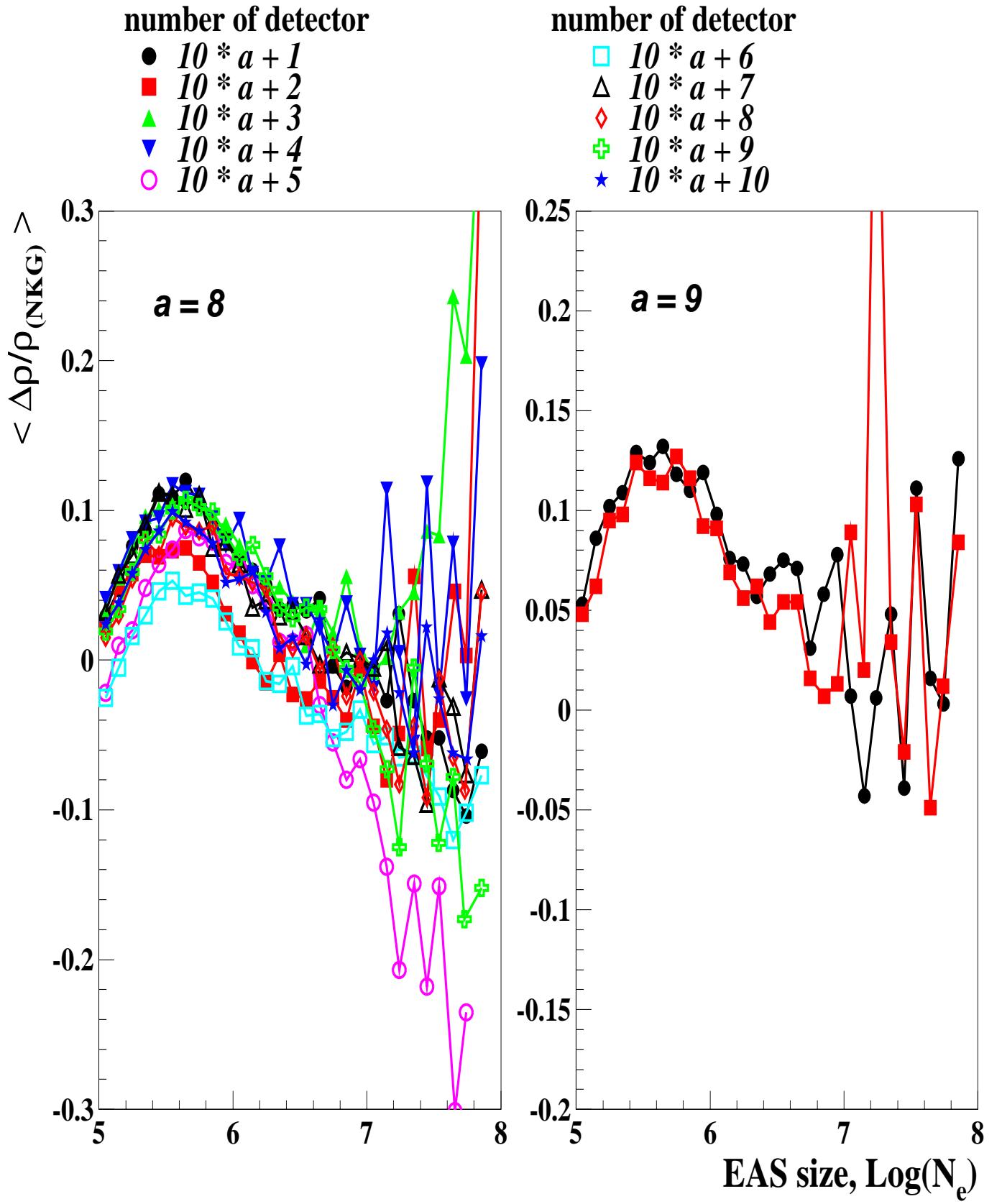


Рис. 8:

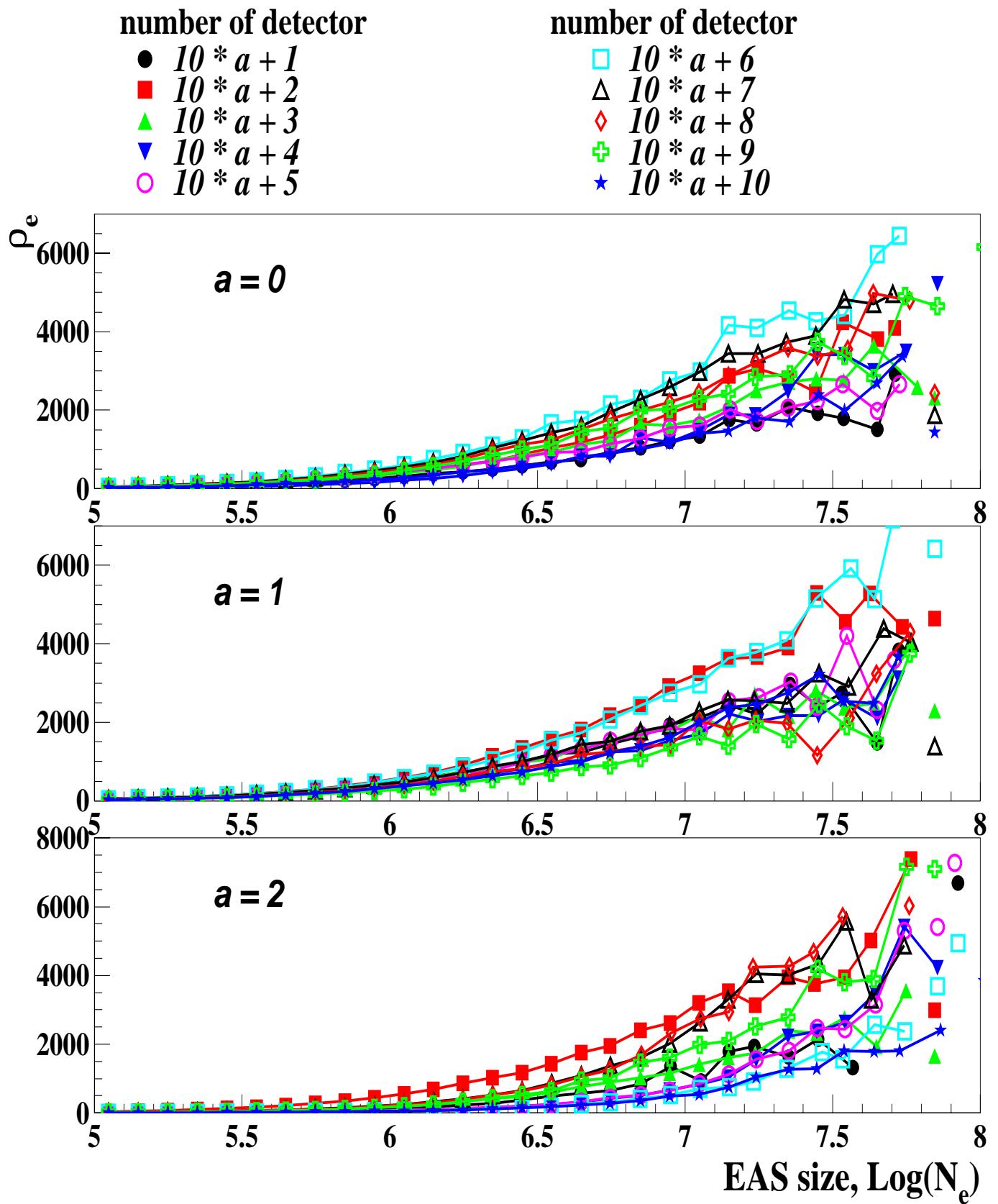


Рис. 9:

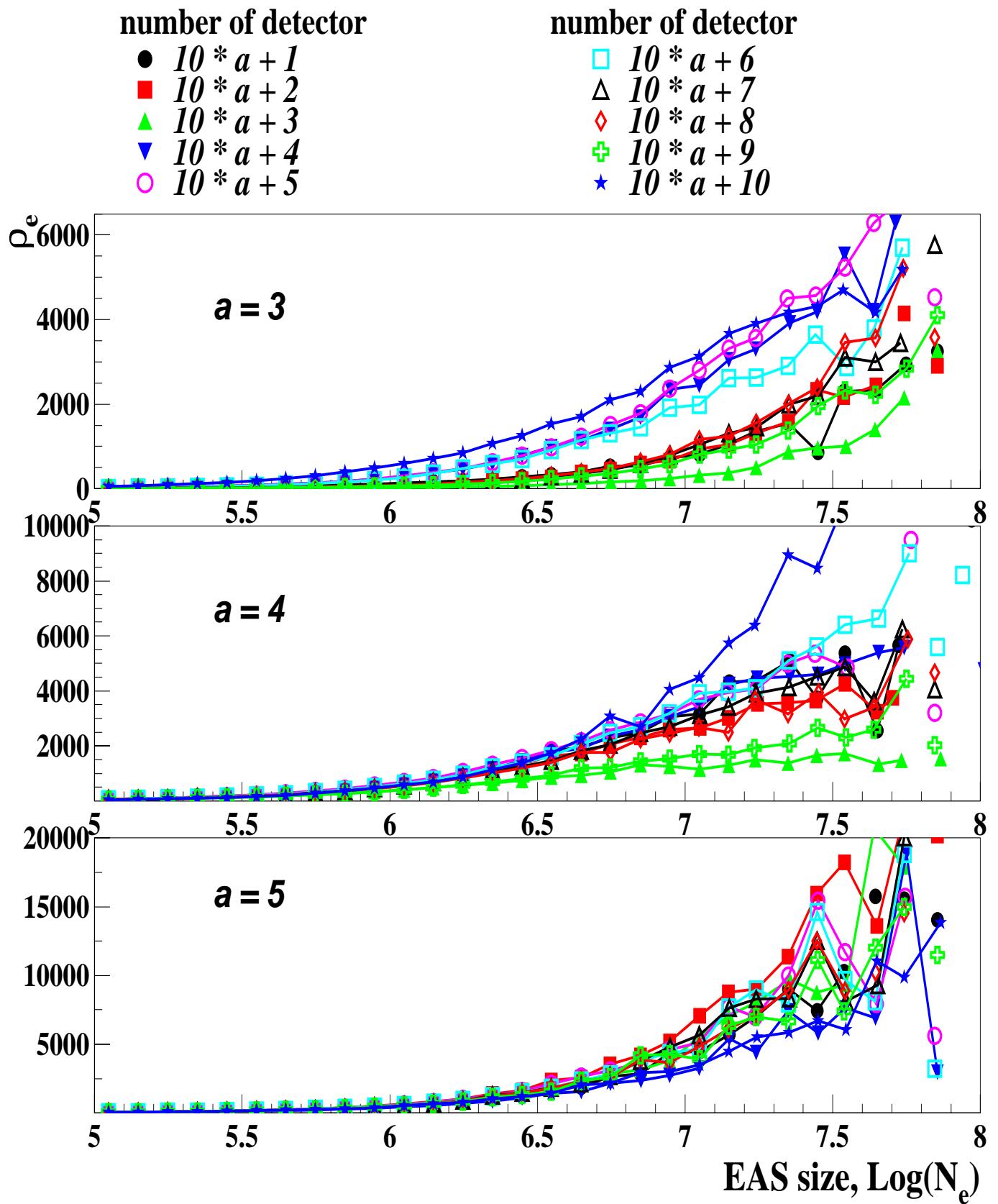


Рис. 10:

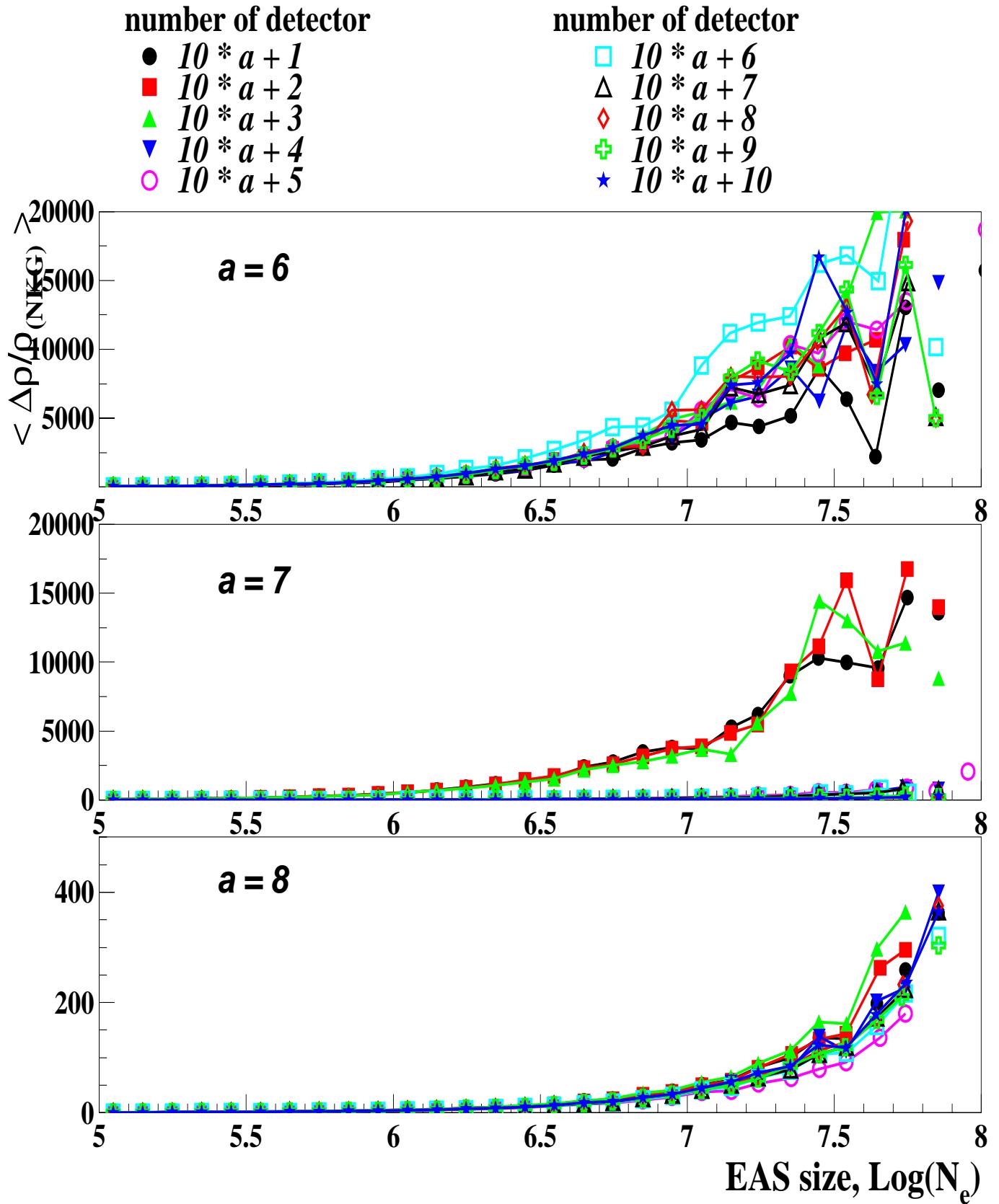


Рис. 11:

number of detector

● $10 * a + 1$	□ $10 * a + 6$
■ $10 * a + 2$	△ $10 * a + 7$
▲ $10 * a + 3$	◆ $10 * a + 8$
▼ $10 * a + 4$	+ $10 * a + 9$
○ $10 * a + 5$	* $10 * a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
$5.0 \div 5.6$	24	12	$6.1 \div 6.3$	32	16
$5.6 \div 5.7$	26	13	$6.3 \div 6.5$	36	18
$5.7 \div 5.9$	28	14	$6.5 \div 6.7$	40	20
$5.9 \div 6.1$	30	15	> 6.7	44	22

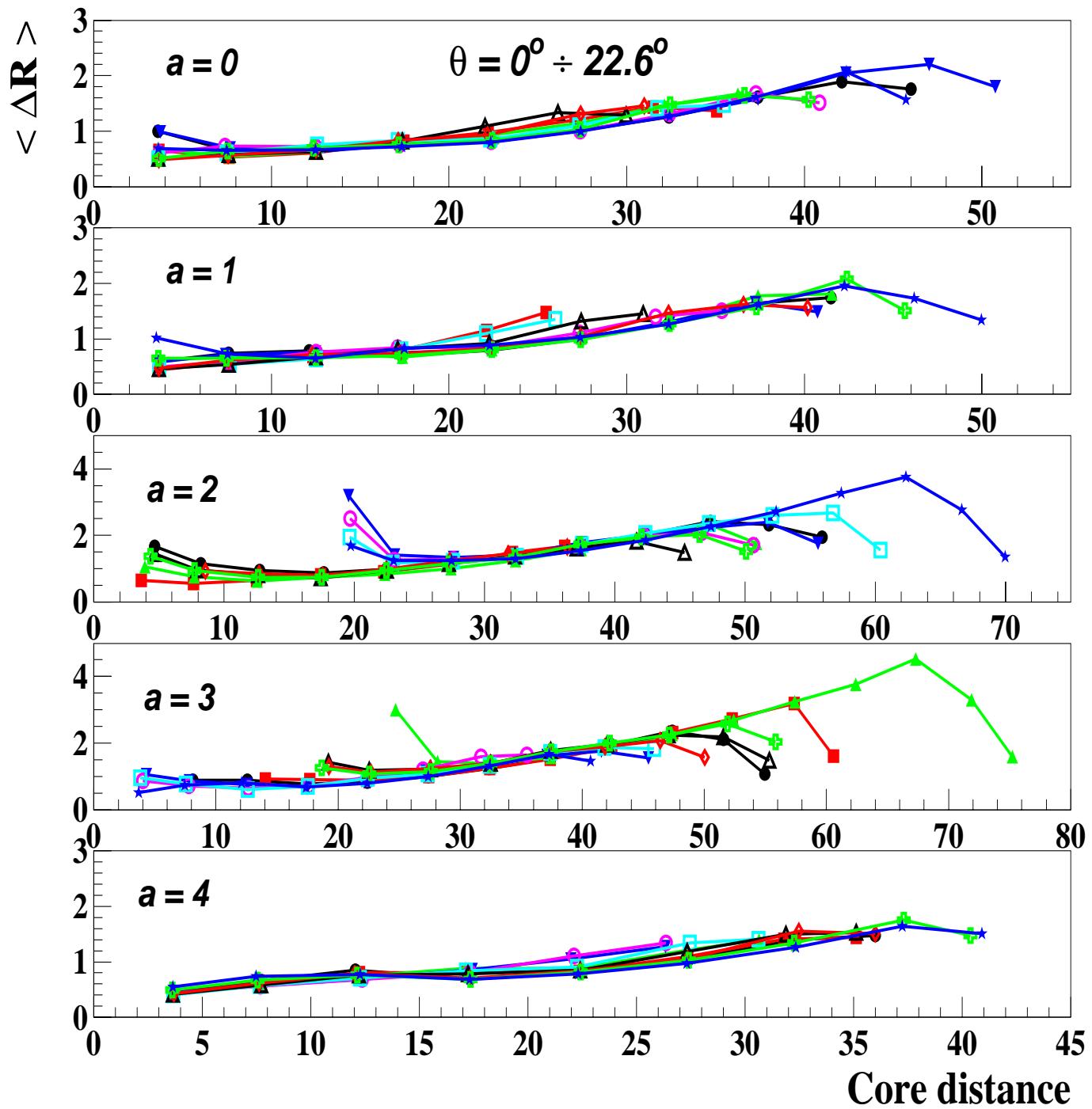


Рис. 12:

number of detector

- $10 * a + 1$
- $10 * a + 2$
- ▲ $10 * a + 3$
- ▼ $10 * a + 4$
- $10 * a + 5$
- $10 * a + 6$
- △ $10 * a + 7$
- ◇ $10 * a + 8$
- + $10 * a + 9$
- * $10 * a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
$5.0 \div 5.6$	24	12	$6.1 \div 6.3$	32	16
$5.6 \div 5.7$	26	13	$6.3 \div 6.5$	36	18
$5.7 \div 5.9$	28	14	$6.5 \div 6.7$	40	20
$5.9 \div 6.1$	30	15	> 6.7	44	22

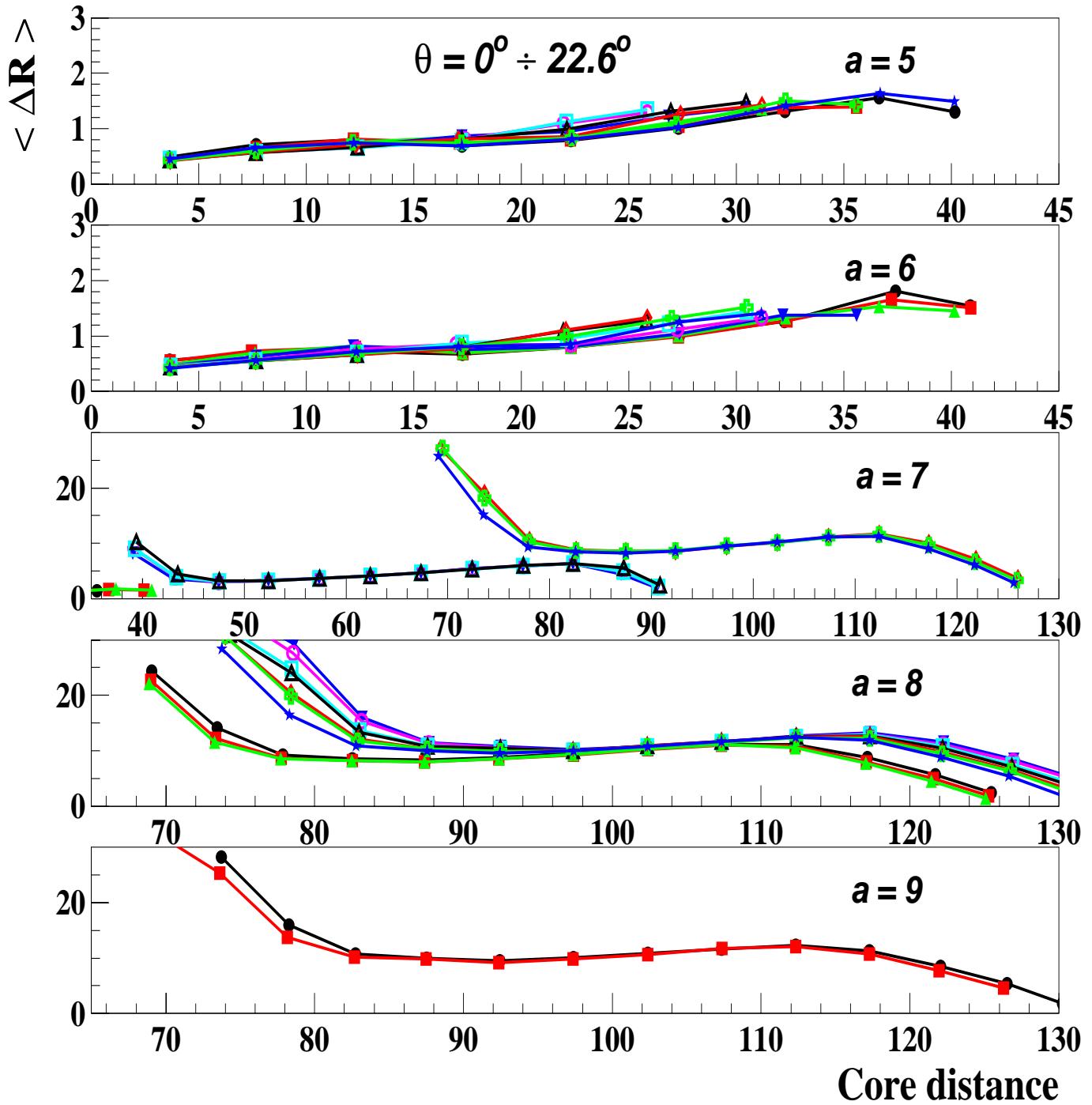


Рис. 13:

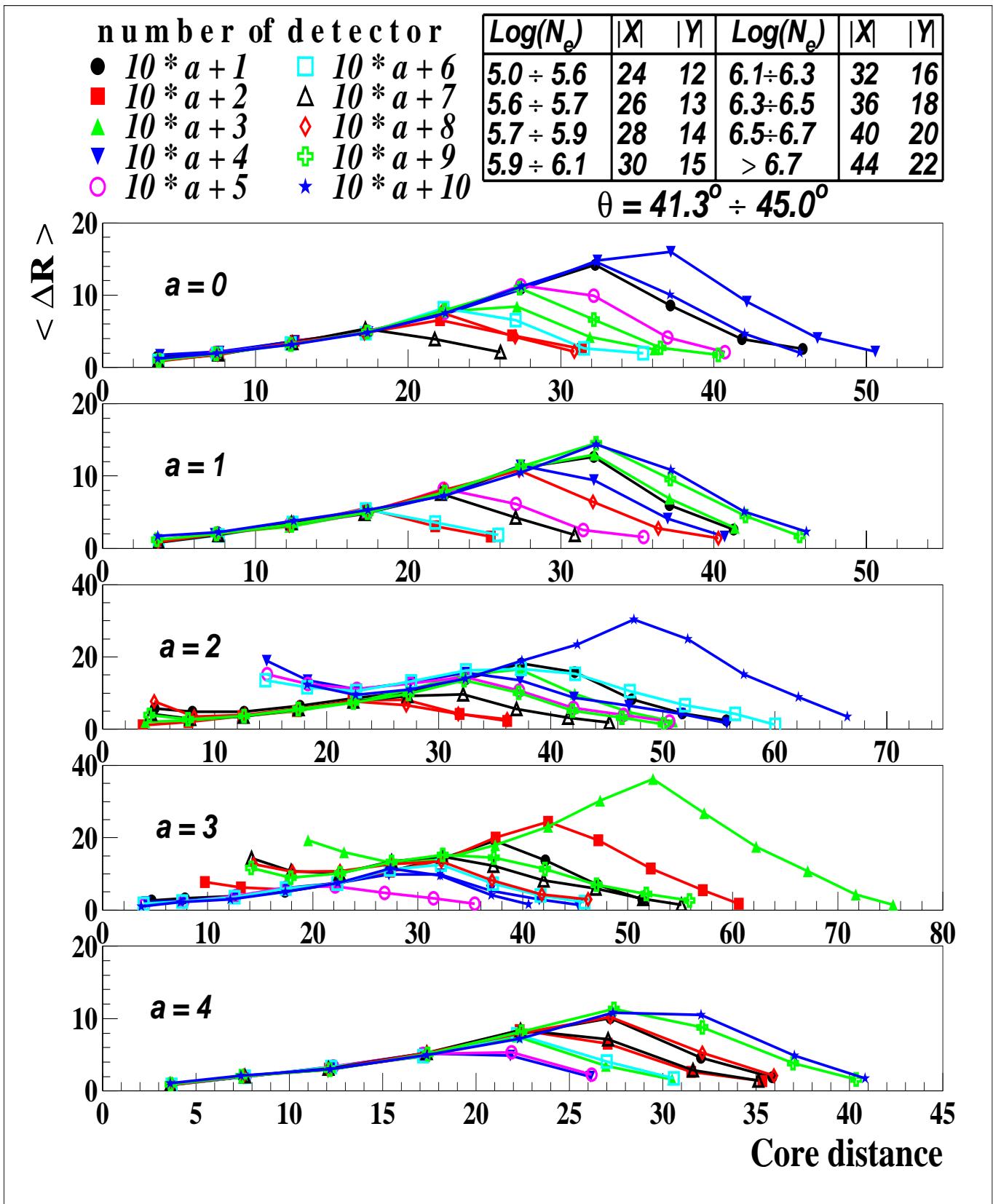


Рис. 14:

number of detector

- $10 * a + 1$
- $10 * a + 2$
- ▲ $10 * a + 3$
- ▼ $10 * a + 4$
- $10 * a + 5$
- $10 * a + 6$
- △ $10 * a + 7$
- ◇ $10 * a + 8$
- + $10 * a + 9$
- * $10 * a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
$5.0 \div 5.6$	24	12	$6.1 \div 6.3$	32	16
$5.6 \div 5.7$	26	13	$6.3 \div 6.5$	36	18
$5.7 \div 5.9$	28	14	$6.5 \div 6.7$	40	20
$5.9 \div 6.1$	30	15	> 6.7	44	22

$$\theta = 41.3^\circ \div 45.0^\circ$$

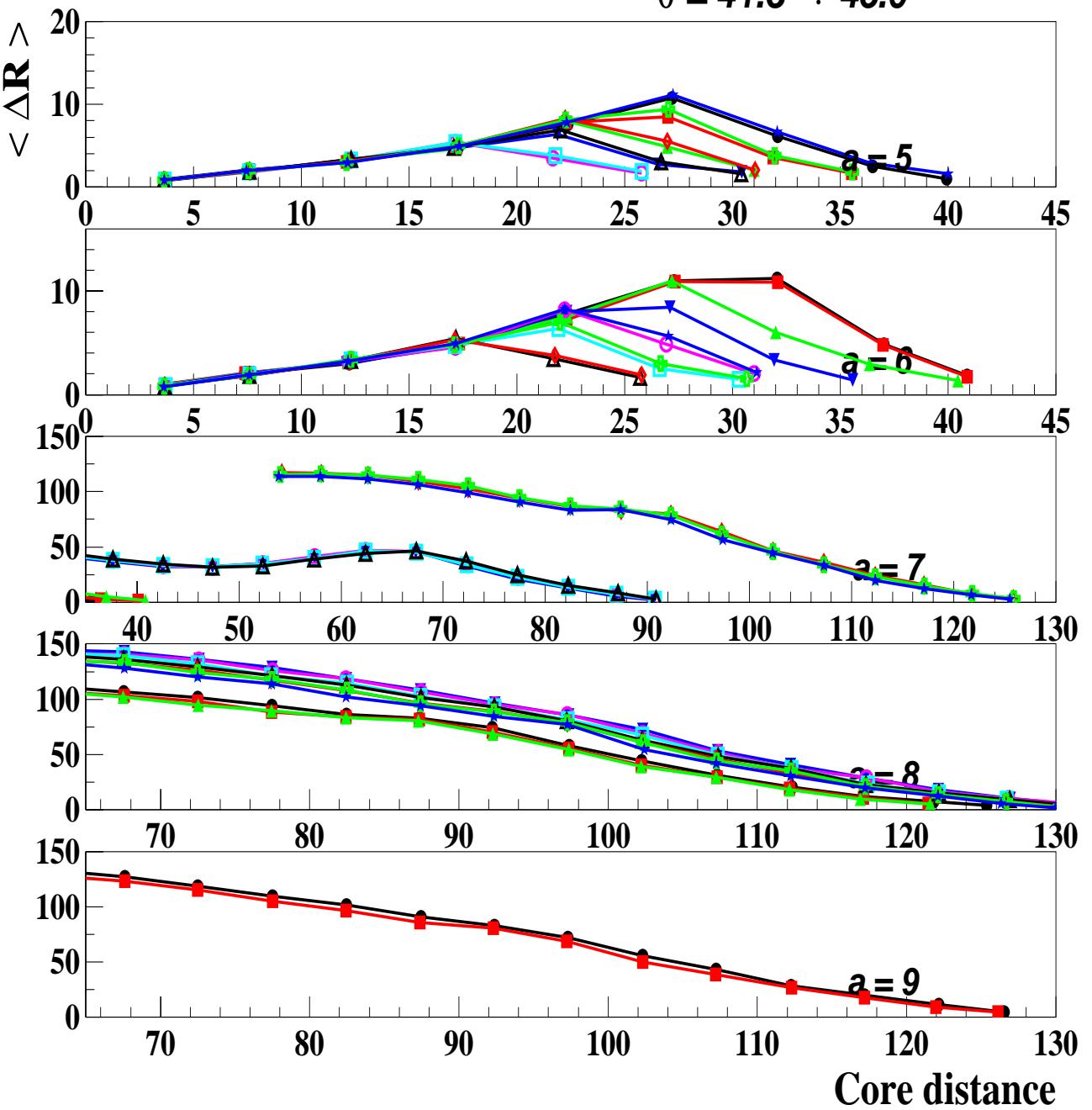


Рис. 15:

number of detector

- $10 * a + 1$
- $10 * a + 2$
- ▲ $10 * a + 3$
- ▼ $10 * a + 4$
- $10 * a + 5$
- $10 * a + 6$
- △ $10 * a + 7$
- ◆ $10 * a + 8$
- ✚ $10 * a + 9$
- ★ $10 * a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
$5.0 \div 5.6$	24	12	$6.1 \div 6.3$	32	16
$5.6 \div 5.7$	26	13	$6.3 \div 6.5$	36	18
$5.7 \div 5.9$	28	14	$6.5 \div 6.7$	40	20
$5.9 \div 6.1$	30	15	> 6.7	44	22

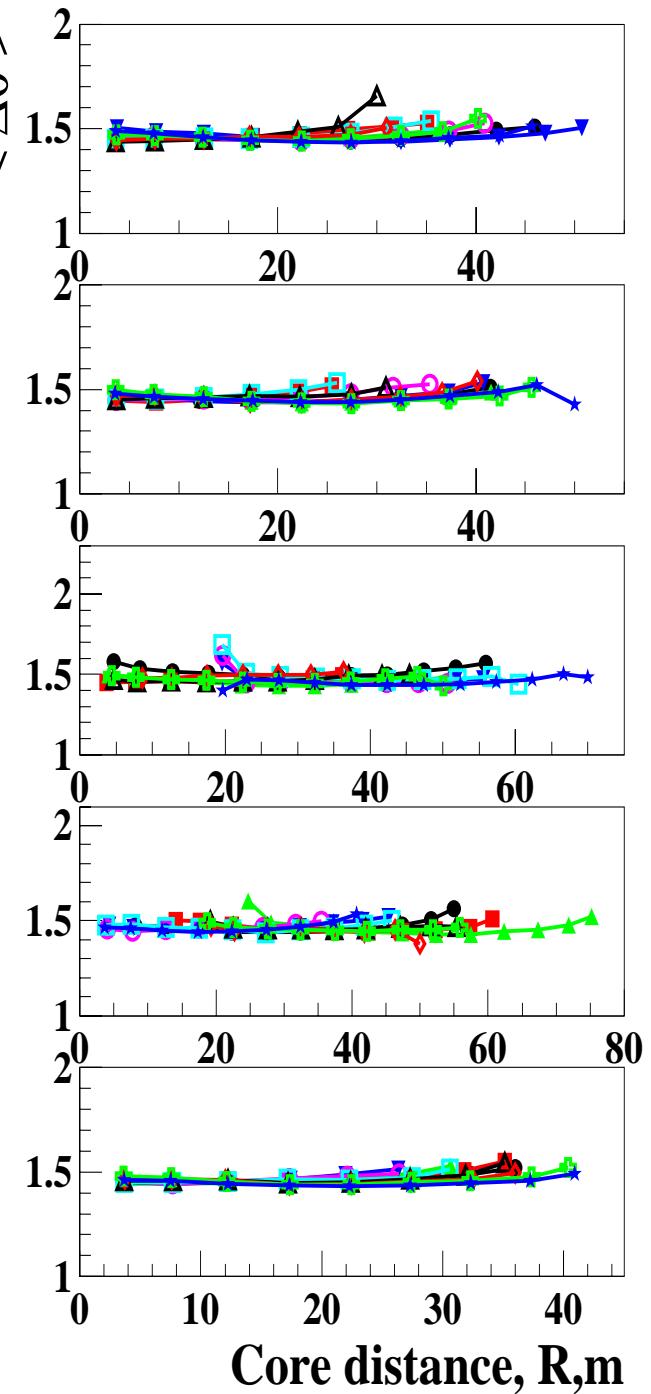
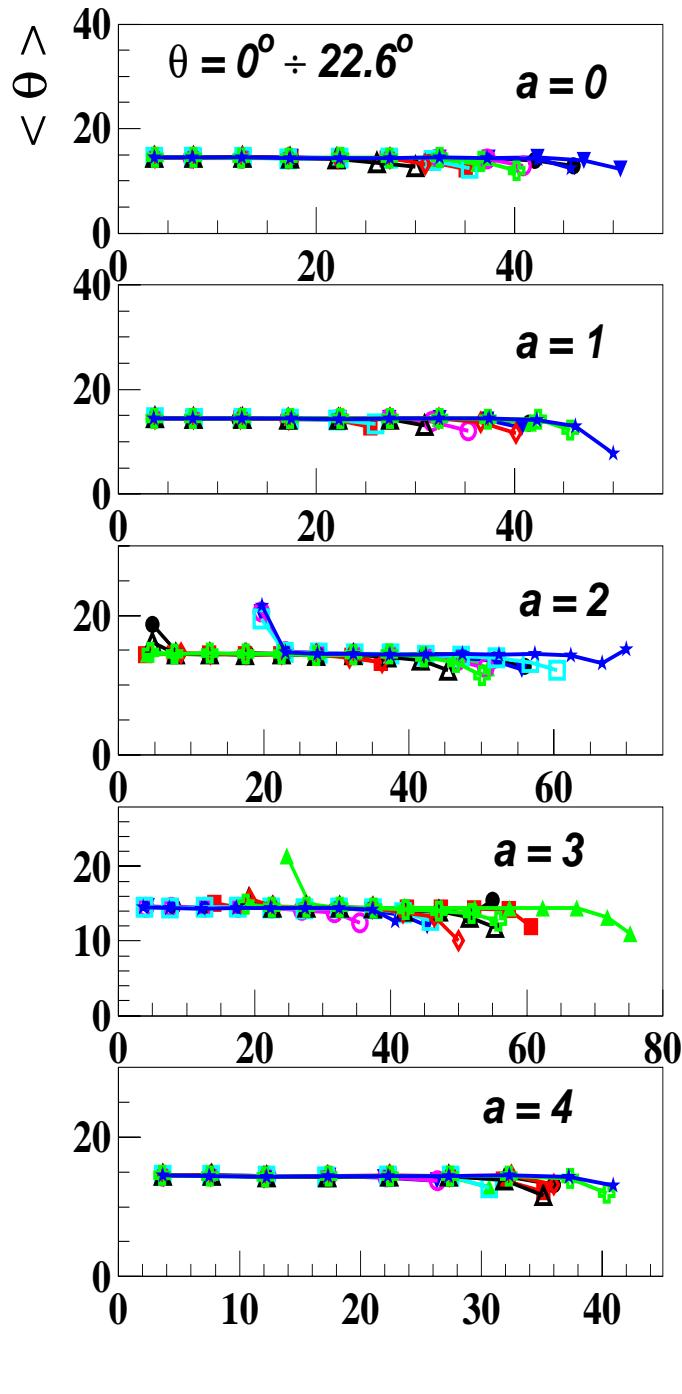


Рис. 16:

number of detector

- $10 * a + 1$
- $10 * a + 2$
- ▲ $10 * a + 3$
- ▼ $10 * a + 4$
- $10 * a + 5$
- $10 * a + 6$
- △ $10 * a + 7$
- ◇ $10 * a + 8$
- + $10 * a + 9$
- * $10 * a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
$5.0 \div 5.6$	24	12	$6.1 \div 6.3$	32	16
$5.6 \div 5.7$	26	13	$6.3 \div 6.5$	36	18
$5.7 \div 5.9$	28	14	$6.5 \div 6.7$	40	20
$5.9 \div 6.1$	30	15	> 6.7	44	22

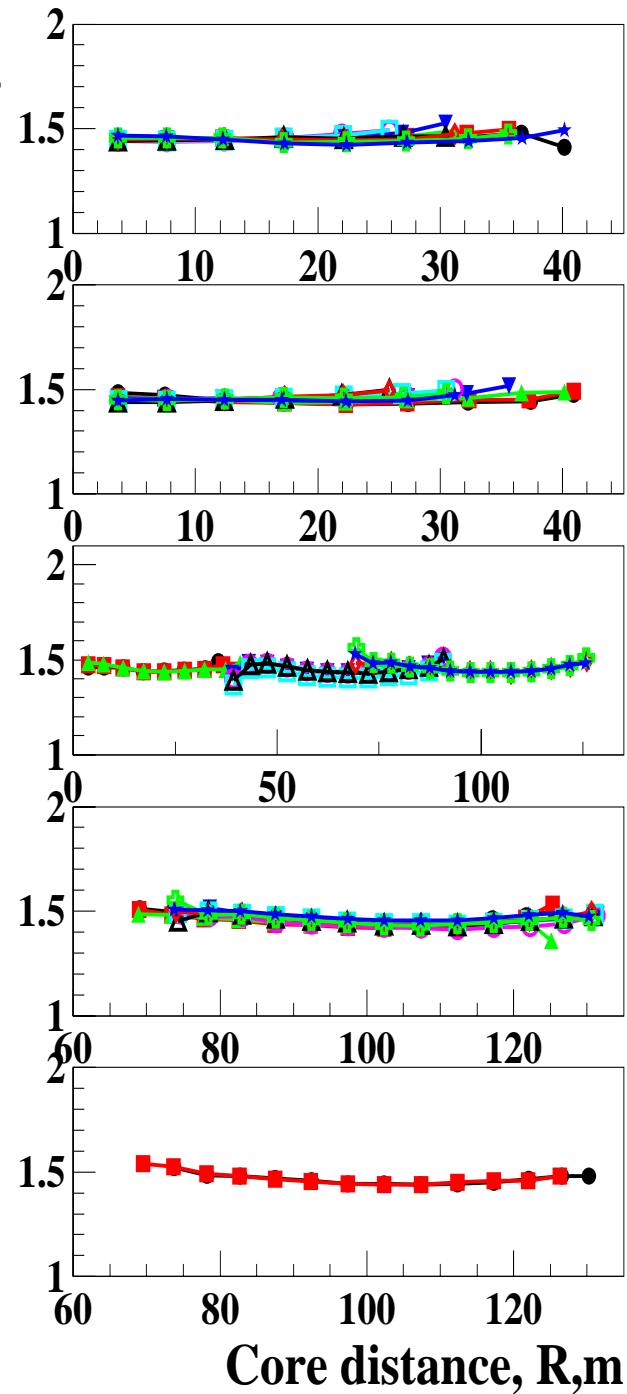
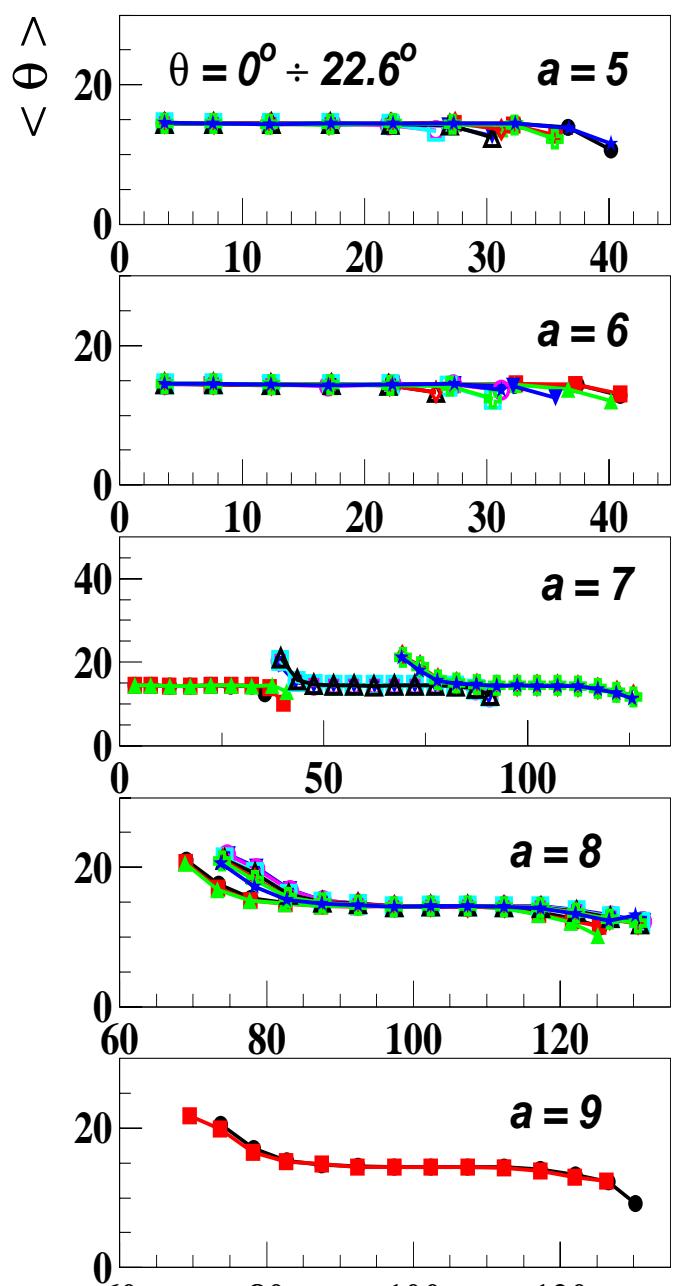


Рис. 17:

number of detector

- $10 * a + 1$
- $10 * a + 2$
- ▲ $10 * a + 3$
- ▼ $10 * a + 4$
- $10 * a + 5$
- $10 * a + 6$
- △ $10 * a + 7$
- ◊ $10 * a + 8$
- + $10 * a + 9$
- * $10 * a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
$5.0 \div 5.6$	24	12	$6.1 \div 6.3$	32	16
$5.6 \div 5.7$	26	13	$6.3 \div 6.5$	36	18
$5.7 \div 5.9$	28	14	$6.5 \div 6.7$	40	20
$5.9 \div 6.1$	30	15	> 6.7	44	22

$$\theta = 41.3^\circ \div 45.0^\circ$$

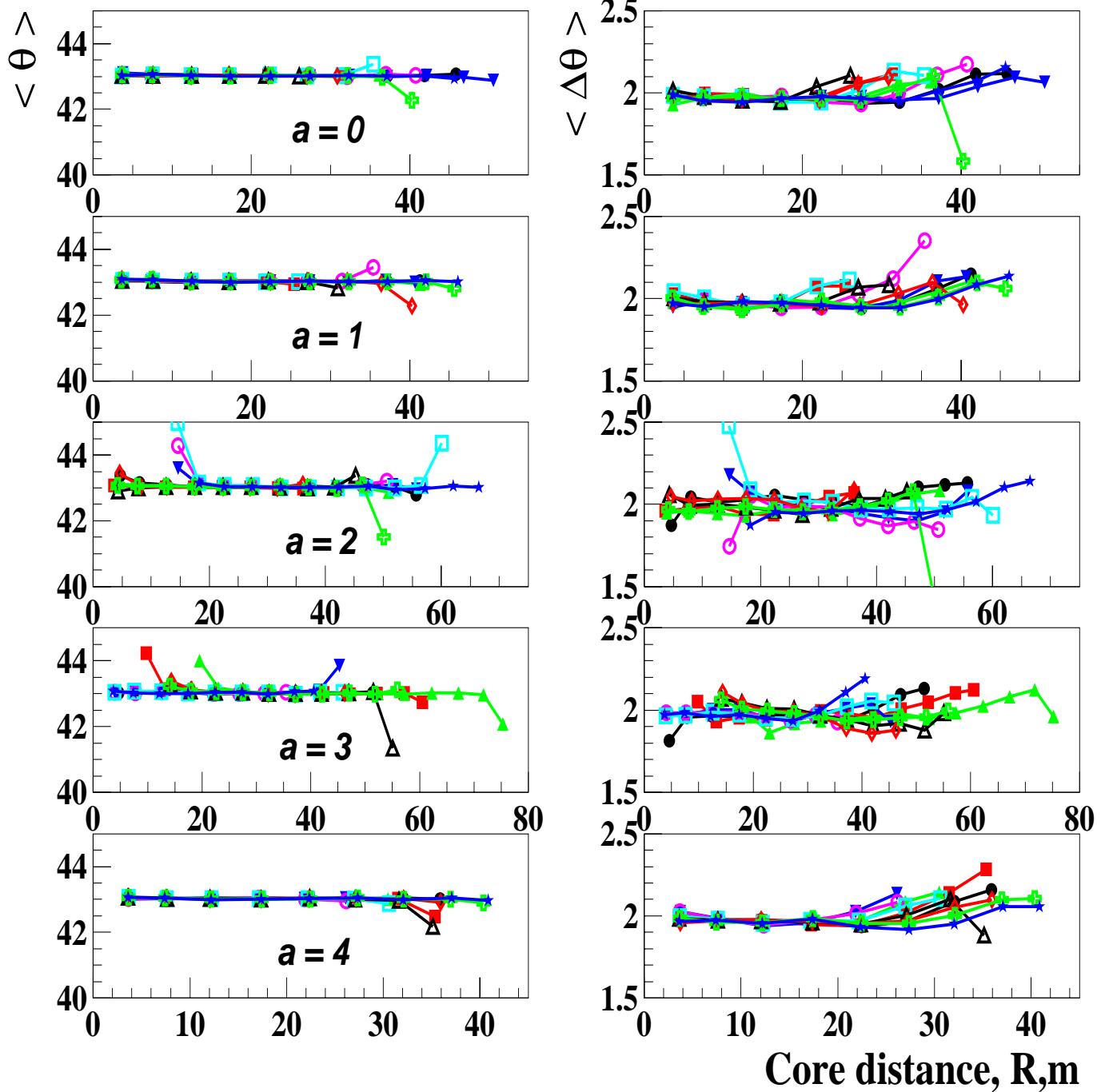


Рис. 18:

number of detector

● $10^*a + 1$	□ $10^*a + 6$
■ $10^*a + 2$	△ $10^*a + 7$
▲ $10^*a + 3$	◇ $10^*a + 8$
▼ $10^*a + 4$	+ $10^*a + 9$
○ $10^*a + 5$	* $10^*a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
5.0 ÷ 5.6	24	12	6.1 ÷ 6.3	32	16
5.6 ÷ 5.7	26	13	6.3 ÷ 6.5	36	18
5.7 ÷ 5.9	28	14	6.5 ÷ 6.7	40	20
5.9 ÷ 6.1	30	15	> 6.7	44	22

$$\theta = 41.3^\circ \div 45.0^\circ$$

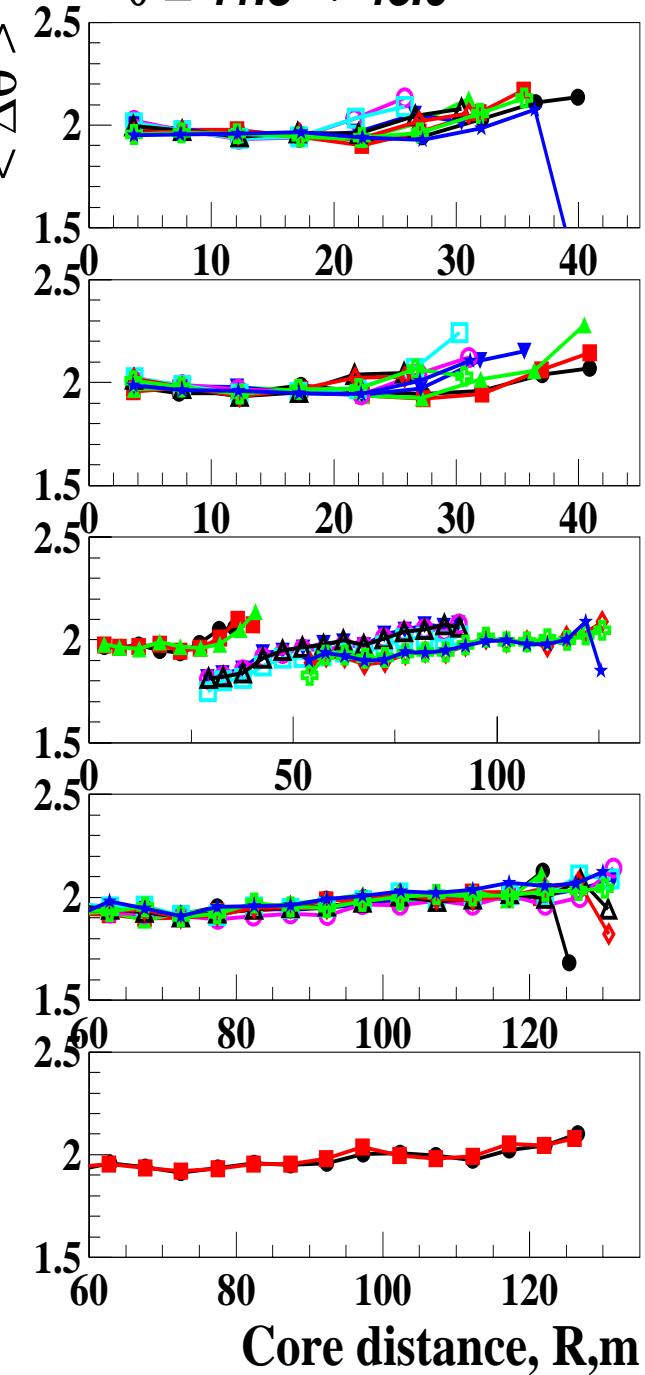
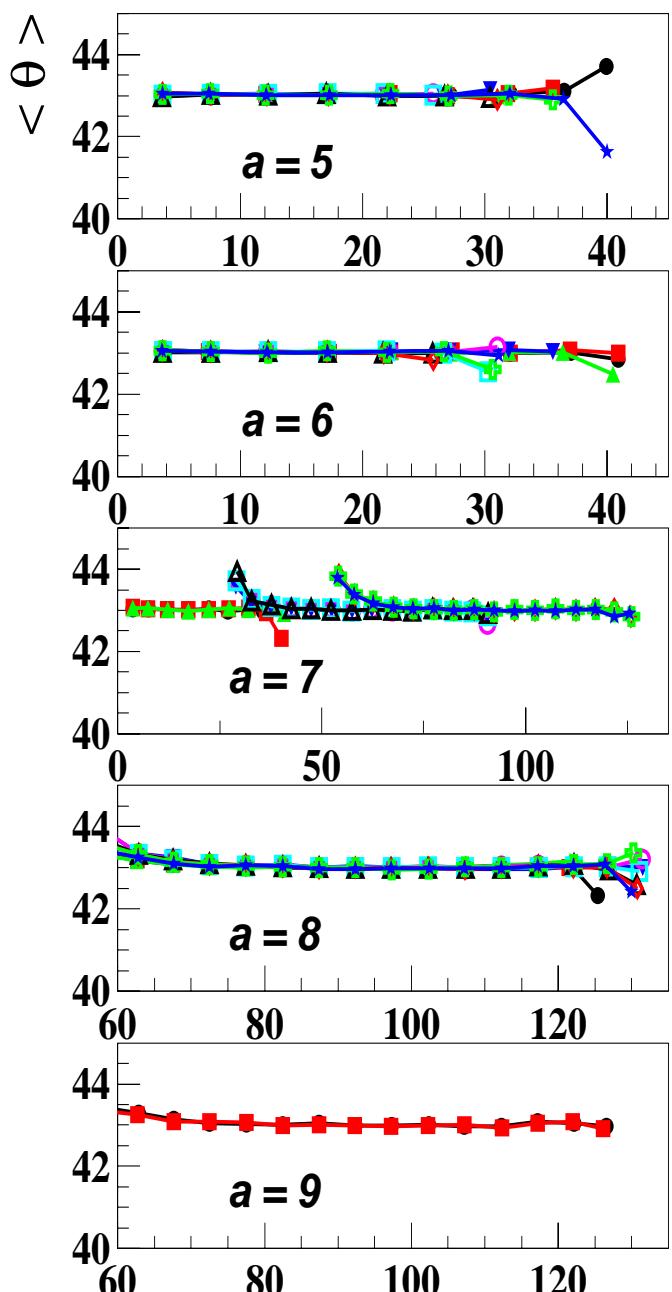


Рис. 19:

number of detector

● $10^* a + 1$	□ $10^* a + 6$
■ $10^* a + 2$	△ $10^* a + 7$
▲ $10^* a + 3$	◆ $10^* a + 8$
▼ $10^* a + 4$	+ $10^* a + 9$
○ $10^* a + 5$	* $10^* a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
5.0 ÷ 5.6	24	12	6.1 ÷ 6.3	32	16
5.6 ÷ 5.7	26	13	6.3 ÷ 6.5	36	18
5.7 ÷ 5.9	28	14	6.5 ÷ 6.7	40	20
5.9 ÷ 6.1	30	15	> 6.7	44	22

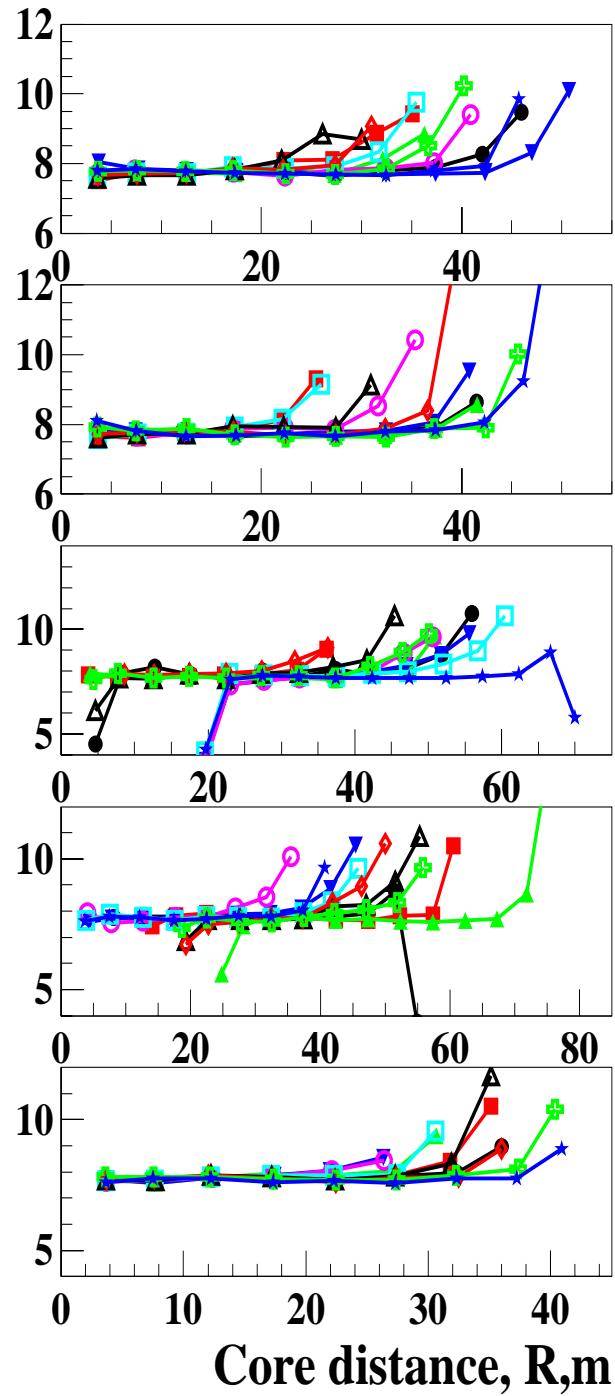
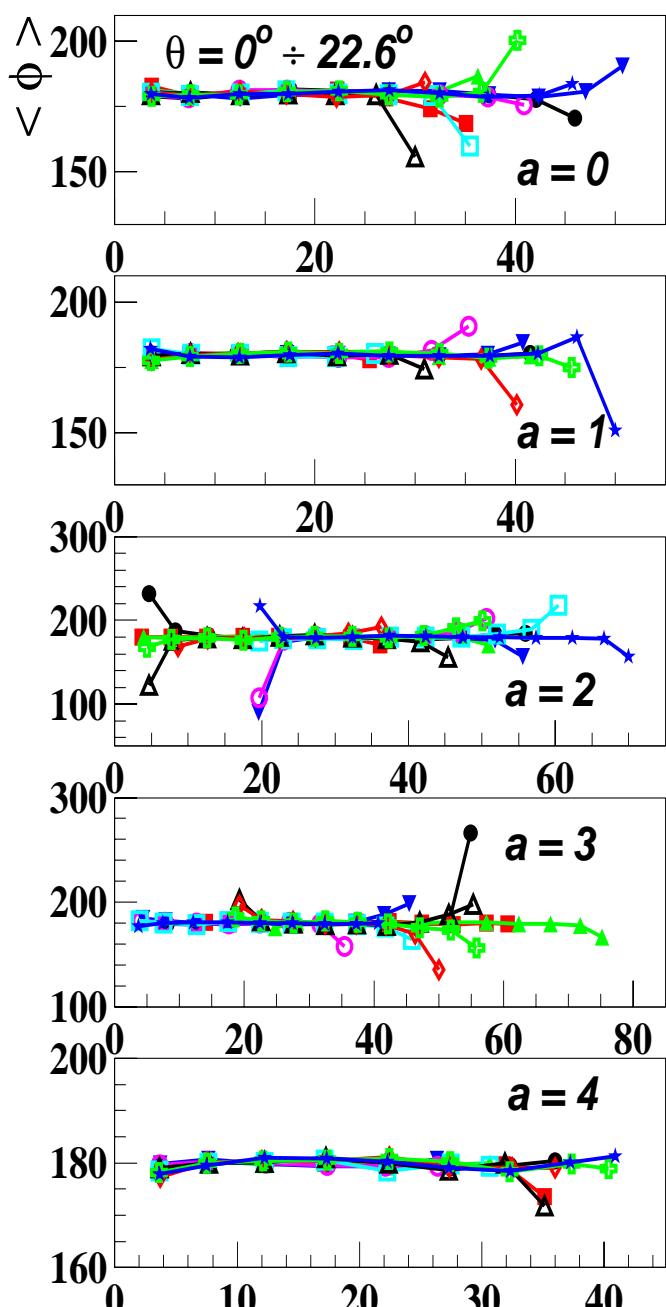


Рис. 20:

number of detector

- $10 * a + 1$
- $10 * a + 2$
- ▲ $10 * a + 3$
- ▼ $10 * a + 4$
- $10 * a + 5$
- $10 * a + 6$
- △ $10 * a + 7$
- ◇ $10 * a + 8$
- + $10 * a + 9$
- * $10 * a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
$5.0 \div 5.6$	24	12	$6.1 \div 6.3$	32	16
$5.6 \div 5.7$	26	13	$6.3 \div 6.5$	36	18
$5.7 \div 5.9$	28	14	$6.5 \div 6.7$	40	20
$5.9 \div 6.1$	30	15	> 6.7	44	22

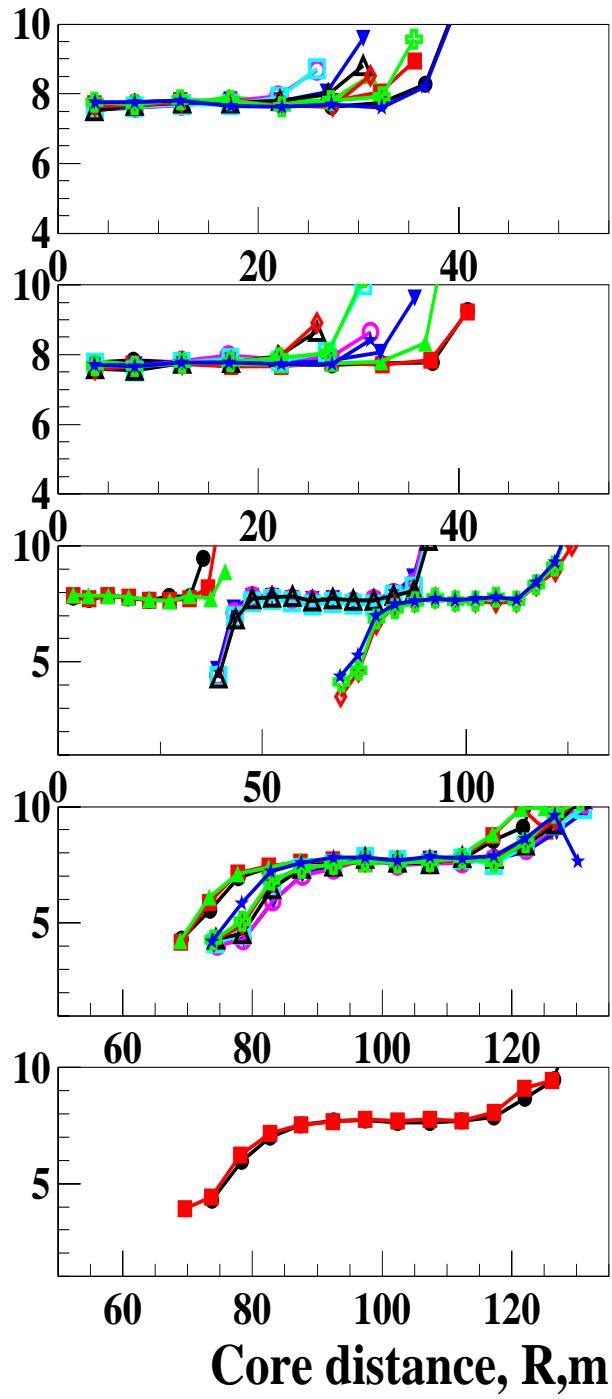
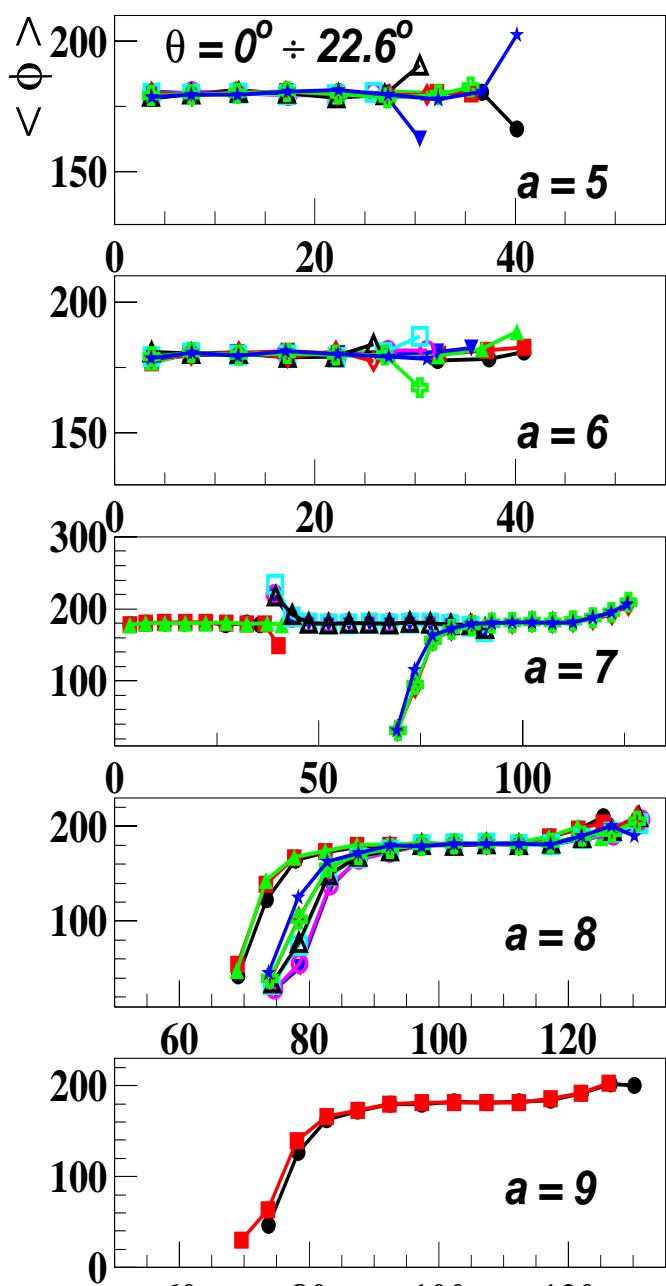


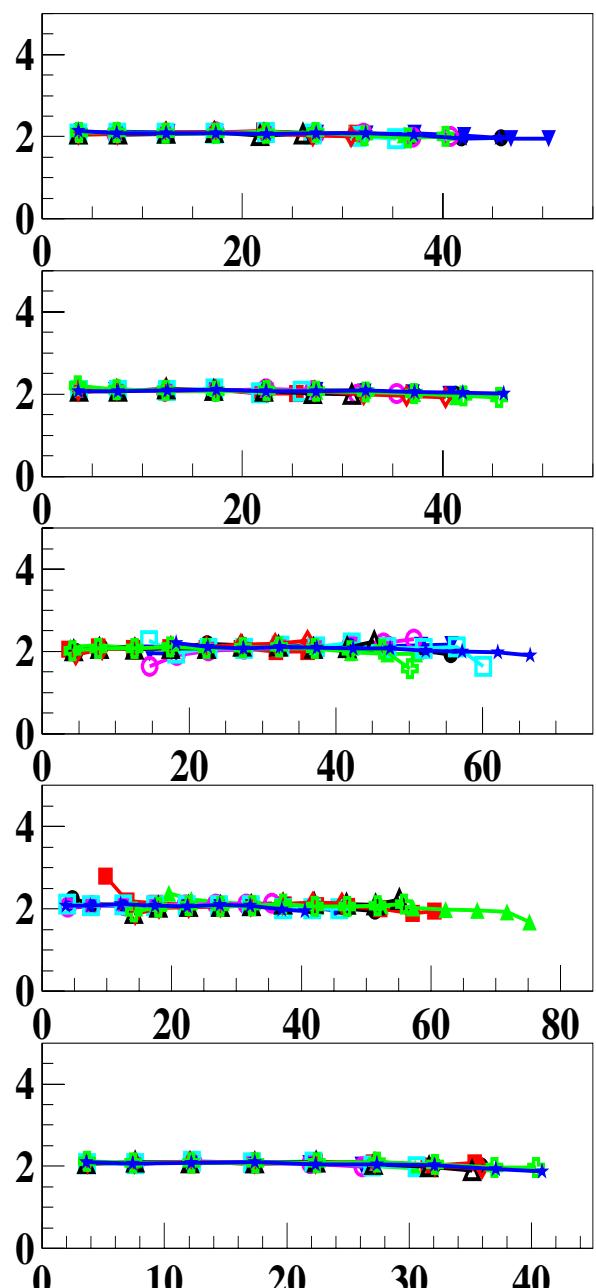
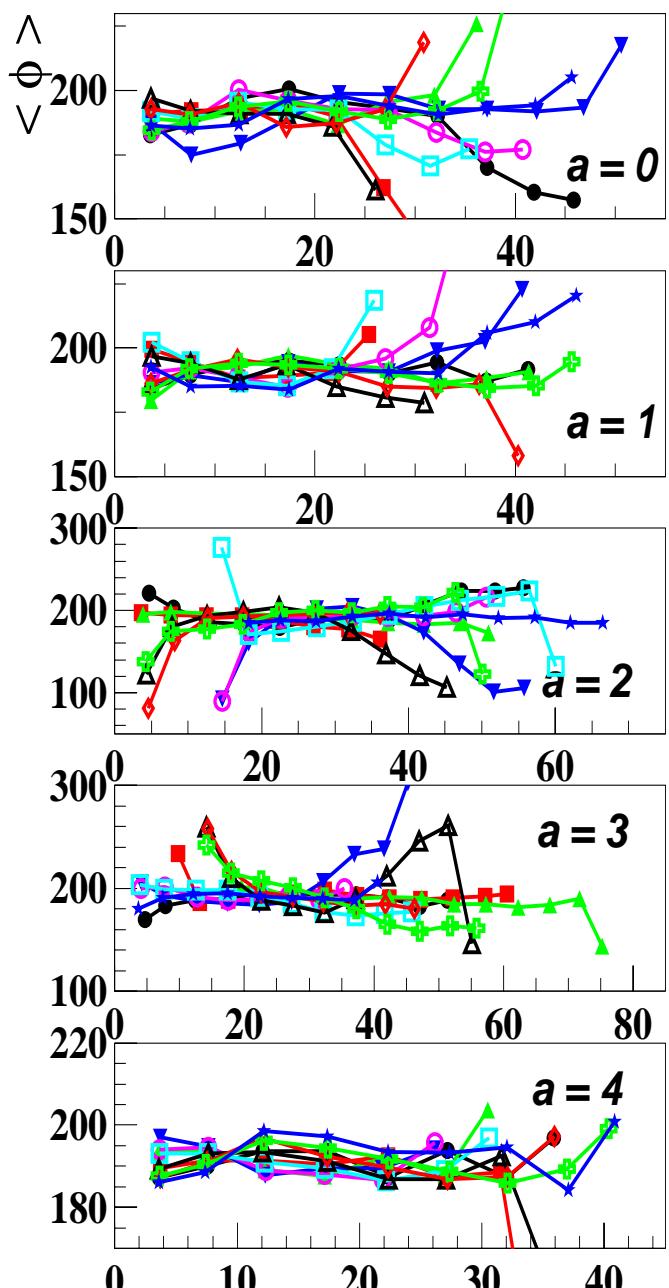
Рис. 21:

number of detector

● $10^* a + 1$	□ $10^* a + 6$
■ $10^* a + 2$	△ $10^* a + 7$
▲ $10^* a + 3$	◇ $10^* a + 8$
▼ $10^* a + 4$	+ $10^* a + 9$
○ $10^* a + 5$	* $10^* a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
$5.0 \div 5.6$	24	12	$6.1 \div 6.3$	32	16
$5.6 \div 5.7$	26	13	$6.3 \div 6.5$	36	18
$5.7 \div 5.9$	28	14	$6.5 \div 6.7$	40	20
$5.9 \div 6.1$	30	15	> 6.7	44	22

$$\theta = 41.3^\circ \div 45.0^\circ$$



Core distance, R,m

Рис. 22:

n u m b e r o f d e t e c t o r

● $10^* a + 1$	□ $10^* a + 6$
■ $10^* a + 2$	△ $10^* a + 7$
▲ $10^* a + 3$	◇ $10^* a + 8$
▼ $10^* a + 4$	+ $10^* a + 9$
○ $10^* a + 5$	* $10^* a + 10$

$\log(N_e)$	X	Y	$\log(N_e)$	X	Y
$5.0 \div 5.6$	24	12	$6.1 \div 6.3$	32	16
$5.6 \div 5.7$	26	13	$6.3 \div 6.5$	36	18
$5.7 \div 5.9$	28	14	$6.5 \div 6.7$	40	20
$5.9 \div 6.1$	30	15	> 6.7	44	22

$$\theta = 41.3^\circ \div 45.0^\circ$$

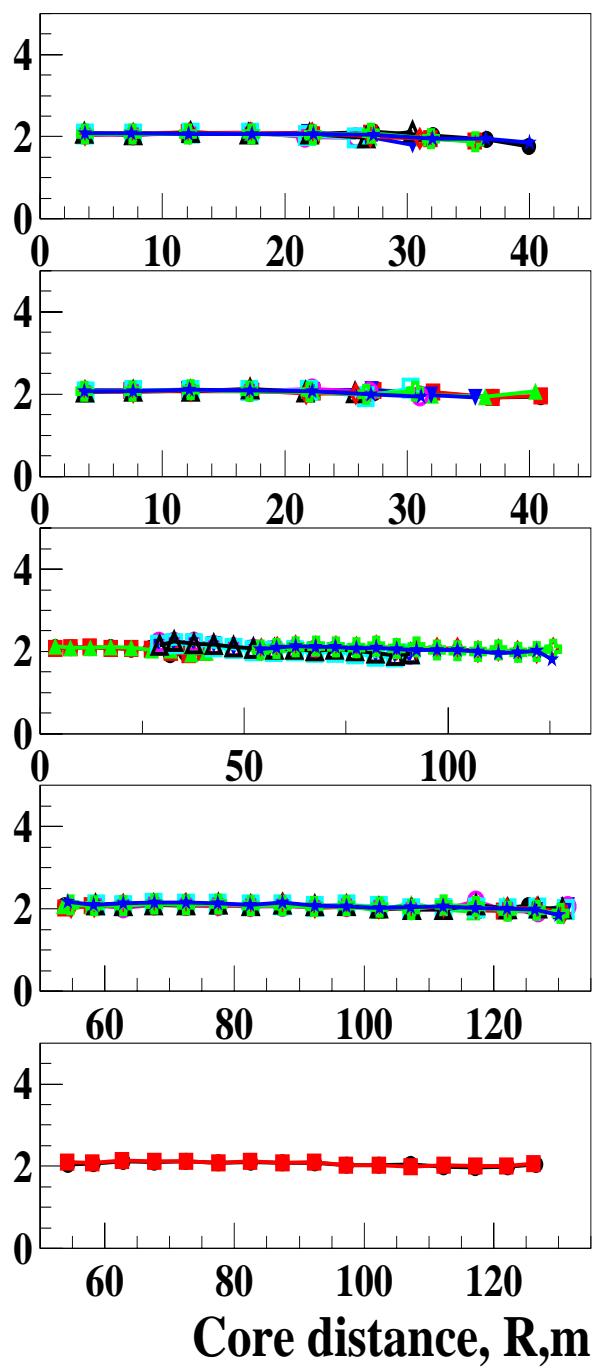
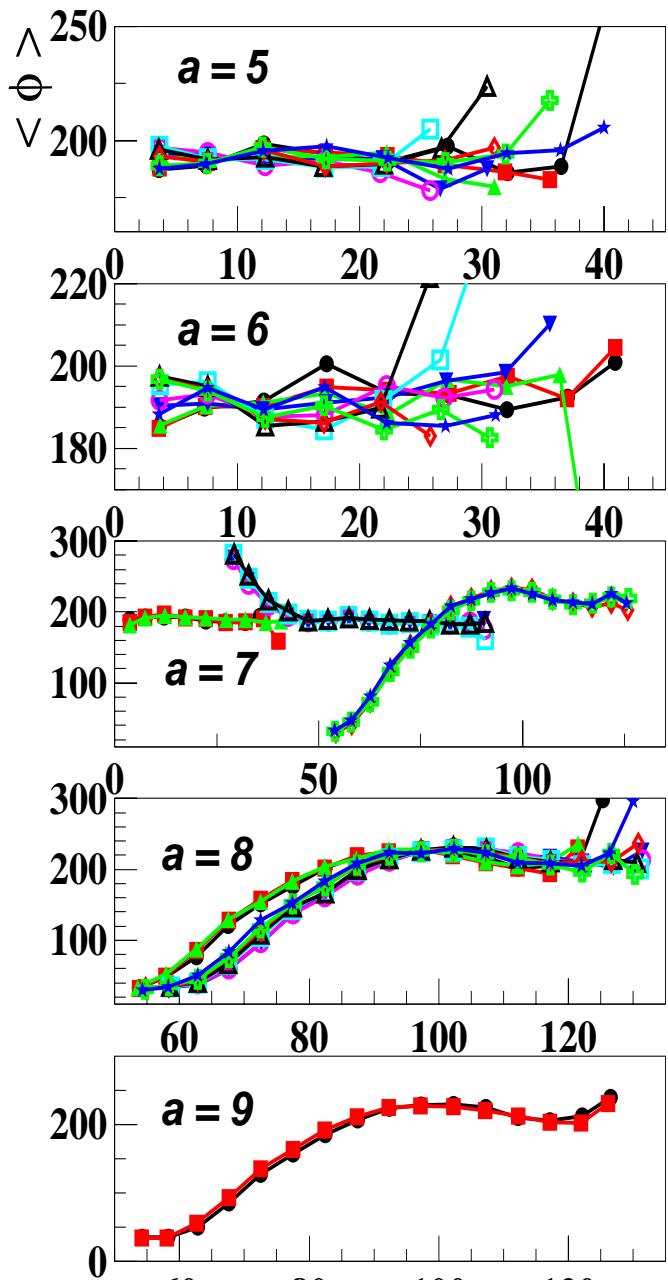


Рис. 23:

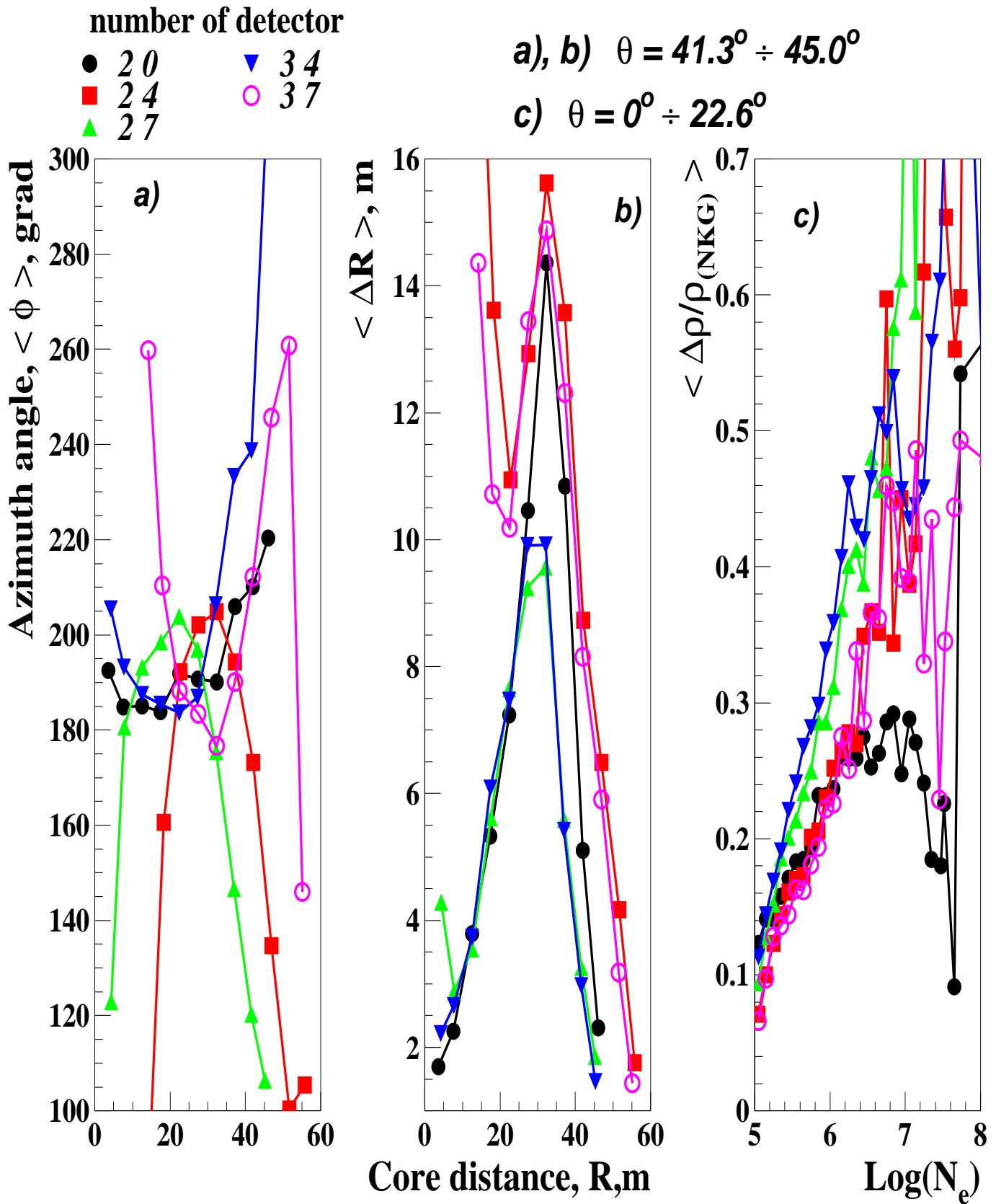


Рис. 24: