

УДК 524.78

**Т. В. Никитюк**

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины  
03680 ГСП, Киев, ул. Академика Заболотного, 27

### **Об обогащении металлами $L_{\alpha}$ -облаков**

*Рассмотрен один из возможных способов обогащения тяжелыми элементами  $L_{\alpha}$ -облаков. Показано, что галактики могут играть значительную роль в обогащении металлами  $L_{\alpha}$ -облаков.*

*ПРО ЗБАГАЧЕННЯ МЕТАЛАМИ  $L_{\alpha}$ -ХМАР, Никитюк Т. В. — Розглянуто один з можливих способів збагачення важкими елементами  $L_{\alpha}$ -хмар. Показано, що галактики можуть відігравати значну роль у збагаченні металами  $L_{\alpha}$ -хмар.*

*ON THE METAL ENRICHMENT OF  $L_{\alpha}$  CLOUDS, by Nykytyuk T. V. — We consider one of the possible ways of the enrichment of  $L_{\alpha}$  clouds with heavy elements. It was shown that galaxies can play an important role in the enrichment of  $L_{\alpha}$  clouds with metal.*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В современную эпоху в межгалактическом газе содержится достаточно большое количество тяжелых элементов [14]. Тяжелые элементы могут синтезироваться только в звездах, поэтому возникает вопрос, в какую эпоху и каким образом происходит обогащение межгалактического вещества тяжелыми элементами.

В настоящее время наблюдениям доступны объекты с большими красными смещениями, т. е. на ранних этапах эволюции Вселенной. Спектры квазаров показывают множество линий поглощения  $L_{\alpha}$  на красных смещениях между 0 и  $z_{em}$  квазара. Были выделены две группы систем, дающих линии поглощения  $L_{\alpha}$  (см. [4]): 1) дампованные (damped)  $L_{\alpha}$ -системы (DLAS) и Лайман-лимит-системы (LLS), которые подобны предшественникам нынешних галактик; 2) облака  $L_{\alpha}$ -леса, который, как полагают, представляет собой уплотненные образования в межгалактической среде. Исторически абсорбционные системы с измеренными столбцовыми плотностями водорода  $N(H I) < 10^{17.2} \text{ см}^{-2}$  называют  $L_{\alpha}$ -лесом, системы с  $10^{17.2} < N(H I) < 10^{20.3} \text{ см}^{-2}$  — LLS, а системы с  $N(H I) \geq 10^{20.3} \text{ см}^{-2}$  — DLAS.

Из анализа кинематики линий металлов предполагается, что DLAS являются массивными вращающимися дисками, подобными дискам-предшественникам нынешних галактик [40]. Фотометрические исследования пока-

зали, что популяция DLAS представляет собой смесь галактик разных морфологических типов, и спиральные галактики составляют небольшую часть [17]. Абсорбционные  $L_{\alpha}$ -профили этих систем характеризуются протяженными затухающими (damped) крыльями и всегда связаны с узкой абсорбцией металлов [6]. Так что определение DLAS как абсорберов с  $N(\text{H I}) \geq 10^{20.3} \text{ см}^{-2}$  искусственно и вводится, чтобы отыскать эти системы в спектрах с низким разрешением [24].

LLS — системы, оптически толстые на лаймановской границе (91.2 нм), потому что имеют столбцовую плотность  $N(\text{H I}) > 10^{17.2} \text{ см}^{-2}$ . Они являются частями галактик на любых красных смещениях [24].

Термин « $L_{\alpha}$ -лес» применяется к множественным абсорбционным  $L_{\alpha}$ -линиям в спектре квазара. Они относительно узкие (доплеровская ширина  $b = 20...50 \text{ км/с}$ ) и слабые. Концентрация  $L_{\alpha}$ -облаков на луче зрения высока и исчисляется сотнями на 100 нм на  $z = 2...4$  [19]. По-видимому, на больших  $z$  в облаках  $L_{\alpha}$ -леса содержится значительная часть барионного вещества Вселенной [4]. Космологическое моделирование показало [21], что облака с  $10^{14.5} < N(\text{H I}) < 10^{17.0} \text{ см}^{-2}$  содержат 40—60 % всех барионов во Вселенной на  $z = 2...4$ . Такие облака преимущественно являются областями газа в форме волокон, которые окружают галактики, а облака с  $N(\text{H I}) < 10^{14.0} \text{ см}^{-2}$  преимущественно находятся в пустотах (voids).

Первоначально предполагалось, что  $L_{\alpha}$ -лес — популяция облаков, которые имеют первичный химический состав [28]. Но в ряде дальнейших работ было установлено, что облака  $L_{\alpha}$ -леса содержат металлы. Еще десять лет назад Лю [18] по результатам поиска абсорбции C IV в  $L_{\alpha}$ -облаках пришел к выводу, что не все  $L_{\alpha}$ -облака имеют первичный химический состав. Однако не исключена возможность того, что некоторые  $L_{\alpha}$ -облака — это облака с первичным составом, особенно облака с низкими значениями  $N(\text{H I})$ . Тайтлер и Фан [36] определили верхнюю границу содержания металлов в  $L_{\alpha}$ -облаках в направлении на квазар HS 1946+7658. Для облаков с  $N(\text{H I}) \sim 10^{14} \text{ см}^{-2}$  на  $\langle z \rangle = 2.76$  они получили  $[\text{C}/\text{H}] \leq -2.4$  при условии, что облака высокоионизованы. Ковье и сотрудники [8] показали, что половина  $L_{\alpha}$ -облаков с  $N(\text{H I}) \geq 10^{14} \text{ см}^{-2}$  содержит металлы, и что в диапазоне  $N(\text{H I}) = 10^{14} \dots 10^{17} \text{ см}^{-2}$   $L_{\alpha}$ -облака имеют типичную металличность порядка  $10^{-2} Z_{\odot}$ . Сонгейла и Ковье [34] обнаружили C IV-абсорбцию в 75 % всех  $L_{\alpha}$ -облаков на  $z \approx 2.5$  с  $\lg N(\text{H I}) \geq 14.5$ . Они пришли к выводу, что 50 % облаков со значениями  $\lg N(\text{H I}) < 14.5$  имеют первичный химический состав. Дейви с сотрудниками [9] обнаружили, что наблюдаемые системы с  $N(\text{H I}) < 10^{14} \text{ см}^{-2}$  имеют среднюю металличность в 3 раза ниже, чем системы с  $N(\text{H I}) \sim 10^{15} \text{ см}^{-2}$ . Наличие тяжелых элементов в  $L_{\alpha}$ -облаках было подтверждено в ряде других работ [4, 11, 12, 31, 32, 37].

В литературе обсуждаются три возможных сценария обогащения  $L_{\alpha}$ -облаков тяжелыми элементами (см. работу [7], а также ссылки там):

А. Тяжелые элементы могли быть выброшены в межгалактическую среду галактиками.

Б. Тяжелые элементы могли синтезироваться звездами населения III, т.е. звездами, которые могли сформироваться на  $z > 10$  и однородно распределены в пространстве (см. например [22]).

В. Тяжелые элементы могли синтезироваться звездами, которые сформировались в  $L_{\alpha}$ -облаках. Строго говоря, в этом случае  $L_{\alpha}$ -облака не являются «межгалактической средой». Интересно выяснить, какой из трех способов приводит к появлению металлов в межгалактической среде.

Установление сценария обогащения металлами  $L_\alpha$ -облаков важно для понимания формирования и эволюции галактик. Ниже будут рассмотрены аргументы за и против сценария обогащения  $L_\alpha$ -облаков тяжелыми элементами, которые выбрасываются галактиками в межгалактическую среду.

#### ТЕСТИРОВАНИЕ СЦЕНАРИЯ А

Тестирование сценария А обогащения металлами  $L_\alpha$ -облаков основано на следующей простой идее. Если  $L_\alpha$ -облака представляют собой облака межгалактического газа, и содержащиеся в них металлы были выброшены галактиками, то следует ожидать, что облака, обогащенные металлами, будут расположены вблизи галактик, тогда как далекие от галактик  $L_\alpha$ -облака будут иметь первичный химический состав.

По литературным данным была составлена выборка значений столбцовых плотностей и красных смещений линий водорода и металлов в облаках  $L_\alpha$ -леса и систем с металлами (включая DLAS и LLS) в диапазоне  $z$  от 0 до 4.3 в направлениях на 19 квазаров, спектры которых имеют разрешения  $FWHM$  (полная ширина половины максимума) от 6.6 до 100 км/с. Конечно, выборка данных с таким диапазоном разрешений неоднородна с точки зрения определения содержания металлов, но для задачи определения наличия обогащенных  $L_\alpha$ -облаков непосредственно возле предшественников нынешних галактик такой разброс не будет играть определяющей роли.

#### ОКРЕСТНОСТИ МАССИВНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрим сначала окрестности DLAS. Из восьми DLAS в нашей выборке четыре окружены системами с металлами, которые находятся достаточно близко, чтобы рассматривать и DLAS, и эти системы в комплексе (подобно Местной группе галактик). Это сложные системы (комплексы) в направлениях на Q0000-26, Q1100-264, HS 1946+7658 и BR 1033-0327. Из четырех оставшихся систем одна — двойная (в направлении на Q0000-26). Она состоит из двух компонентов с металлами, один из которых — DLAS (с оцененным расстоянием между ними 500 кпк), три остальные не показывают сложной структуры из-за недостаточно высокого разрешения. Для оценки расстояний между компонентами комплексов было использовано соотношение  $r = (c/H_0)[z/(z+1)]$  при  $H_0 = 75$  км/(с·Мпк), которое соответствует космологической модели с  $q_0 = 1$  [1].

В спектре Q0000-26 [29, 30] обнаружены две DLA-системы на  $z \approx 3.05$  и 3.39; DLAS на  $z = 3.39$  входит в состав комплекса. Оцененное расстояние (рис. 1, а) между DLAS и двумя ближайшими компонентами составляет 90 и 133 кпк. Общий размер комплекса (расстояние между первым и последним компонентами системы по лучу зрения) около 0.7 Мпк.

В направлении на HS 1946+7658 Фан и Тайтлер [13] обнаружили на  $z = 2.84$  четырехкомпонентную систему с металлами, один из компонентов которой — DLAS (рис. 1, б). Наши оценки расстояний от DLAS до ближайших компонентов составляют 0.1 и 0.25 Мпк, а общий размер комплекса — примерно 0.5 Мпк.

Для BR 1033-0327 также обнаружена система с металлами [39], в основном по наличию DLA ( $z = 4.165$ ) и LL-абсорбции в данных с низким разрешением (рис. 1, в). Поскольку эшеле-спектр не покрывает красное крыло  $L_\alpha$ -линии, точная оценка значений  $z$  и  $N(\text{H I})$  невозможна. Для этой системы определяются четыре абсорбционных профиля O I; для профиля O I с  $\lambda = 671.29$  нм ( $z = 4.15515$ ) возможно,  $\lg N(\text{H I}) \leq 17.5$ . Предполагаемые

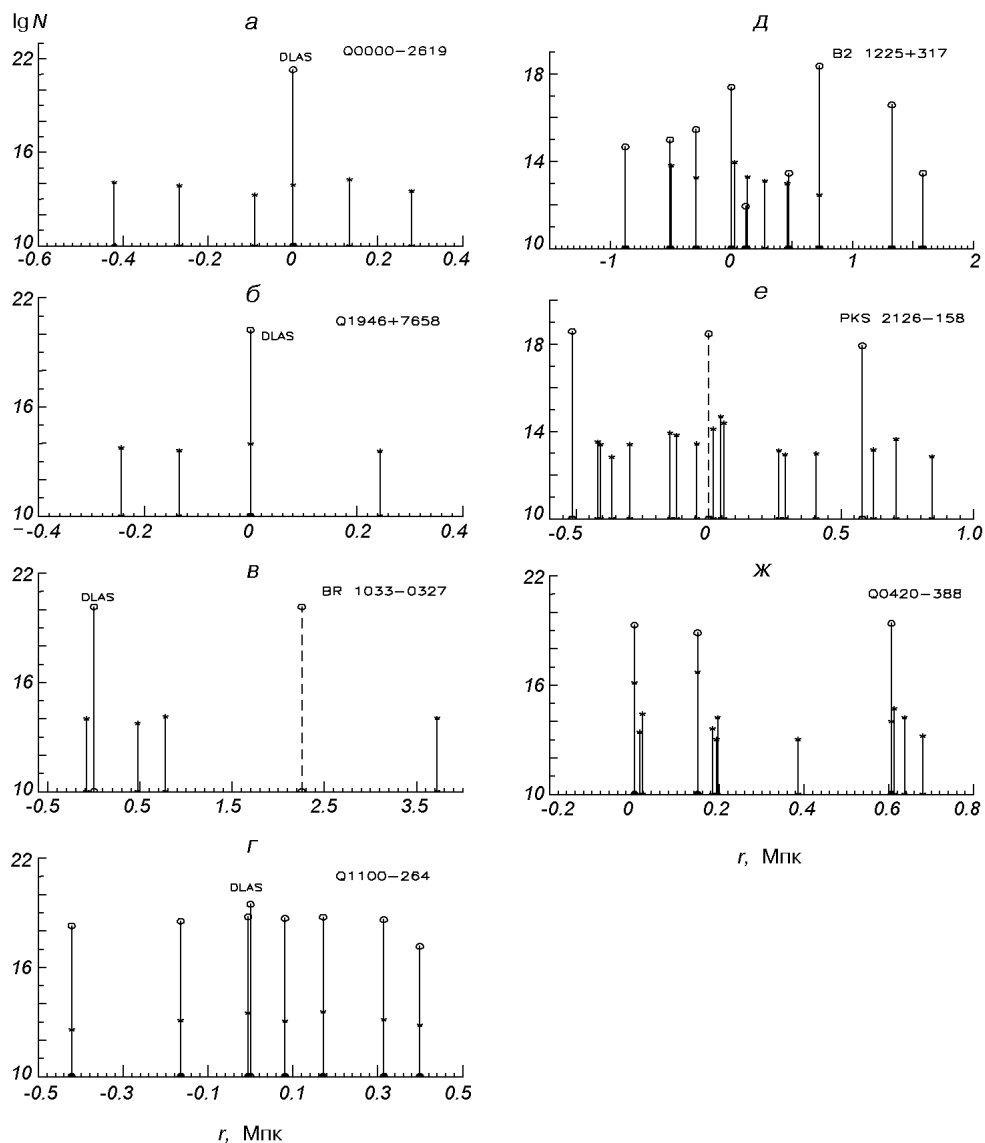


Рис. 1. Значения столбцовых плотностей H I и металлов в системах с металлами около DLA- и LL-систем. Тонкие линии и кружочки — для облаков, дающих абсорбцию H I, толстые линии и звездочки — для облаков, дающих абсорбцию тяжелых элементов (C IV, Si II, Si IV, O I). Пунктирные линии на рис. в и е — предполагаемое положение DLAS и LLS. Расстояния отсчитываются от положения DLAS на рис. а — г и систем с высокими значениями  $N(\text{H I})$  в остальных случаях. В комплексах а — г столбцовые плотности H I определены только для DLA-компонента, столбцовые плотности металлов определяются во всех компонентах комплекса. Данные взяты из работ [2, 5, 10, 13, 15, 25, 29, 33, 35, 38, 39]

расстояния между DLAS и ближайшими компонентами составляют 1.5 Мпк в обе стороны (положение DLAS из работы [39] отмечено прерывистой линией на рис. 1, в). Но в обзоре [35] для DLAS приведено другое значение  $z \approx 4.15$ . В этом случае расстояние между DLAS и ближайшими компонентами на рис. 1, в составляет 80 и 500 кпк соответственно, а общий размер комплекса составляет примерно 0.9 Мпк (отдаленный компонент в таком случае не входит в систему).

В направлении на Q1100-264 на  $z \approx 1.84$  наблюдается необычный комплекс (рис. 1, г), один из его компонентов характеризуется значением

$\lg N(\text{H I}) = 19.40$  (на  $z = 1.83857$ ) и является DLAS, на что указывает dampированный профиль линии H I [5]. Остальные компоненты имеют диапазон значений  $\lg N(\text{H I})$  от 17.1 до 18.7; наши оценки расстояний от DLAS до двух ближайших компонентов дают 6 и 70 кпк, т. е. ближайшая из них — часть протогалактики. Общий размер комплекса составляет примерно 1 Мпк. В целом же создается впечатление, что в данном случае мы имеем дело с группой протогалактик.

Расстояния от DLAS до ближайших облаков без металлов дано в таблице, где  $R_1$  — расстояние до ближайшего облака без металлов «слева» от DLAS ( $z < z_{\text{DLA}}$ ),  $R_2$  — расстояние до ближайшего облака без металлов «справа» от DLAS ( $z > z_{\text{DLA}}$ ),  $N$  — количество облаков с металлами внутри этой области.

Такие большие расстояния между облаками без металлов и DLAS обусловлены спецификой наблюдений — два DLAS (в направлении на квазары Q0000-26 и Q1100-2647) не попадают в ту область спектра, где располагается  $L_\alpha$ -лес, в случае Q1033-0327 DLAS попадает в область спектра, которая не наблюдалась [39], а в случае HS 1946+7658 в окрестностях DLAS не наблюдались другие линии H I из-за покрытия этой области спектра крылом линии H I самой DLAS [13].

Таким образом, оцененные расстояния от DLAS до ближайших к ним компонентов комплексов во всех взятых наблюдениях укладываются в интервал 6 до 140 кпк, а общие размеры комплексов — от 0.5 до 1 Мпк. Для сравнения, радиус Местной группы галактик составляет  $\sim 1$  Мпк, а расстояние между нашей Галактикой и Туманностью Андромеды составляет 0.69 Мпк.

Еще один интересный пример комплекса с металлами можно увидеть в спектре B2 1225+317 [16]. Комплекс (рис. 1, д) находится на  $z \approx 1.8$  и состоит из семи компонентов, два из которых имеют значения  $\lg N(\text{H I}) = 18.38$  и 17.39 (для остальных  $\lg N(\text{H I}) < 16.0$ ). Между этими компонентами находятся облака с  $\lg N(\text{H I}) < 14.0$ , которые содержат металлы. Расстояние между двумя основными компонентами 0.8—0.9 Мпк, а расстояния до ближайших облаков — 100...300 кпк. Это позволяет предположить, что два основных компонента (которые, вероятнее всего, являются протогалактиками) «замусорили» соседние облака  $L_\alpha$ -леса.

Подобный комплекс с металлами наблюдается [10, 25, 33] на  $z = 2.7689$  по направлению к PKS 2126-158 (рис. 1, е). В работе [10] определены семь дублетов C IV и четыре возможные очень слабые линии C IV на  $\lambda 154.8$  нм.  $L_\alpha$ -линии в этом комплексе наблюдаются, но их положение не совпадает с положением других элементов (проверка по соответствующим  $L_\beta$ -линиям не помогла из-за их сильной насыщенности). Авторы дают  $z = 2.76717$  и 2.77106 для двух  $L_\alpha$ -линий с  $\lg N(\text{H I}) = 18.58$  и 17.97 соответственно, между которыми находятся C IV-системы с промежутками в 0.04—0.2 Мпк. Но в работе [38] найдена LL-система на  $z = 2.7690$  с  $\lg N(\text{H I}) = 18.47$  (положение

Расстояния от DLAS до ближайших облаков без металлов

QSO	$z_{\text{DLA}}$	$R_1$ , Мпк	$R_2$ , Мпк	N
0000-26	3.39	—	7.6	5
1946+7658	2.8443	3.4	4.2	3
1033-0327	4.15	0.66	7.5	4
1100-2647	1.8385	—	4.5	7

LLS отмечено прерывистой линией на рис. 1, *e*), т. е. примерно в том месте, где другими исследованиями [10, 25, 33] определены облака с наиболее высоким значением  $\lg N(\text{C IV})$  (три компонента «справа» от LLS, помеченной прерывистой чертой на рис. 1, *e*). Если LLS действительно имеет такое значение  $z$ , то расстояние до ближайших облаков C IV составит 50 и 200 кпк. В любом случае наличие облаков с абсорбцией C IV в окрестностях LLS может указывать на обогащение LL-системой окружающего вещества.

Также наблюдался комплекс на  $z \approx 3.08$  по направлению к квазару Q0420-388 (рис. 1, *ж*). Он состоит из трех компонентов с  $\lg N(\text{H I}) = 19.3, 18.88$  и  $19.4$  [2]. Расстояние между первыми двумя оценивается в 0.15 Мпк, а между второй и третьей — в 0.5 Мпк. Интересно, что в первых двух компонентах обнаружена [25] абсорбция O I, Si II и Si IV, а в третьей — еще и C II, а между нею и остальными (0.25 Мпк) лежит облако, дающее абсорбцию Si IV. На рис. 1, *ж* видно, что из всех наблюдаемых в работе [25] облаков с металлами только одно явно не принадлежит системам, которые раньше определили Атвуд и сотрудники [2].

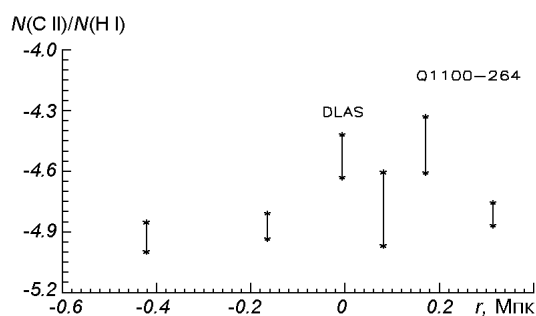


Рис. 2. Зависимость относительной плотности  $\lg N(\text{C II})/N(\text{H I})$  компонентов от расстояния до DLAS для Q1100-264 [5]. Один компонент в этой системе исключен из-за больших неопределенностей  $\lg N(\text{C II})$

Следует отметить, что расстояния между облаками оценены приблизительно, так как пекулярные скорости этих облаков могут вносить большие неопределенности в определения расстояний до них по измеренным красным смещениям. Можно было бы провести статистическую проверку пригодности использованного метода, используя соотношение между обилиями облаков возле массивных систем и расстояниями к этим системам. Если метод более или менее отражает реальные расстояния между облаками, то количество металлов в облаках вблизи массивных систем будет больше, чем в облаках, которые находятся далеко от них. Поскольку для статистической проверки недостаточно данных (линии H I систем, которые находятся непосредственно возле DLAS, сложно наблюдать из-за насыщенности линии H I DLAS), рассматривалась только система в направлении на Q1100-264 (рис. 2). Действительно, с учетом неопределенностей наблюдается некоторое уменьшение величины  $\lg N(\text{C II})/N(\text{H I})$  с расстоянием в окрестностях DLAS, по крайней мере в двух ближайших облаках. Возможно, в данном случае метод работает лучше. Но хотя все эти оценки и приближительны, они все же дают необходимую нам шкалу расстояний между облаками.

Итак, анализ наблюдательных данных показал, что в окрестностях DLAS в пределах 0.5 Мпк наблюдаются облака, обогащенные металлами; подобная картина наблюдается и для некоторых LL-систем, которые входят в состав комплексов. Следовательно, если предшественники нынешних галактик и не обогащают всю межгалактическую среду, то по крайней мере локально (в пределах 0.5 Мпк) они могут «загрязнять» окружающее пространство.

ГЛОБАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ  $L_{\alpha}$ -ОБЛАКОВ И СИСТЕМ С МЕТАЛЛАМИ

Сравним теперь расположение  $L_{\alpha}$ -леса и систем с металлами в одних и тех же направлениях. Наблюдения в направлении на квазар Q0302-003 (рис. 3, в) показывают, что в диапазоне  $z = 2.3...3.2$  практически нет систем с  $N(\text{H I}) > 10^{16} \text{ см}^{-2}$ , а металлы есть в облаках с далеко не с самыми высокими  $N(\text{H I})$ . То же можно сказать и о еще двух направлениях на квазары [8, 15, 33], а именно Q0636+680 (рис. 3, г) и Q0956+122 (рис. 3, д) — металлы в  $L_{\alpha}$ -лесе есть, но поблизости (на луче зрения) нет систем-предшественников галактик. Интересно, что в случае Q0302-003 и Q0956+122 попадаются системы с металлами, имеющие более низкие  $N(\text{H I})$ , чем «чистые» соседние. В направлении на квазар Q0000-26 металлы наблюдаются [20, 29, 30] преимущественно в системах с  $N(\text{H I}) > 10^{17} \text{ см}^{-2}$  (рис. 3, а), но обогащены также и некоторые системы с  $N(\text{H I}) \sim 10^{14} \text{ см}^{-2}$ , причем они расположены довольно далеко от обогащенных систем с более высокими столбцовыми плотностями. Из рис. 3, а видно, что из всех систем с  $N(\text{H I}) > 10^{17} \text{ см}^{-2}$  четыре не показывают наличия металлов (хотя известно, что чем выше  $N(\text{H I})$  тем легче обнаружить металлы). Подобное наблюдается и по направлению к другим квазарам, например Q0014+813 (рис. 3, б). Впрочем, в направлении на PKS 2126-158 (рис. 3, е) действительно все системы с самыми высокими  $N(\text{H I})$  содержат металлы.

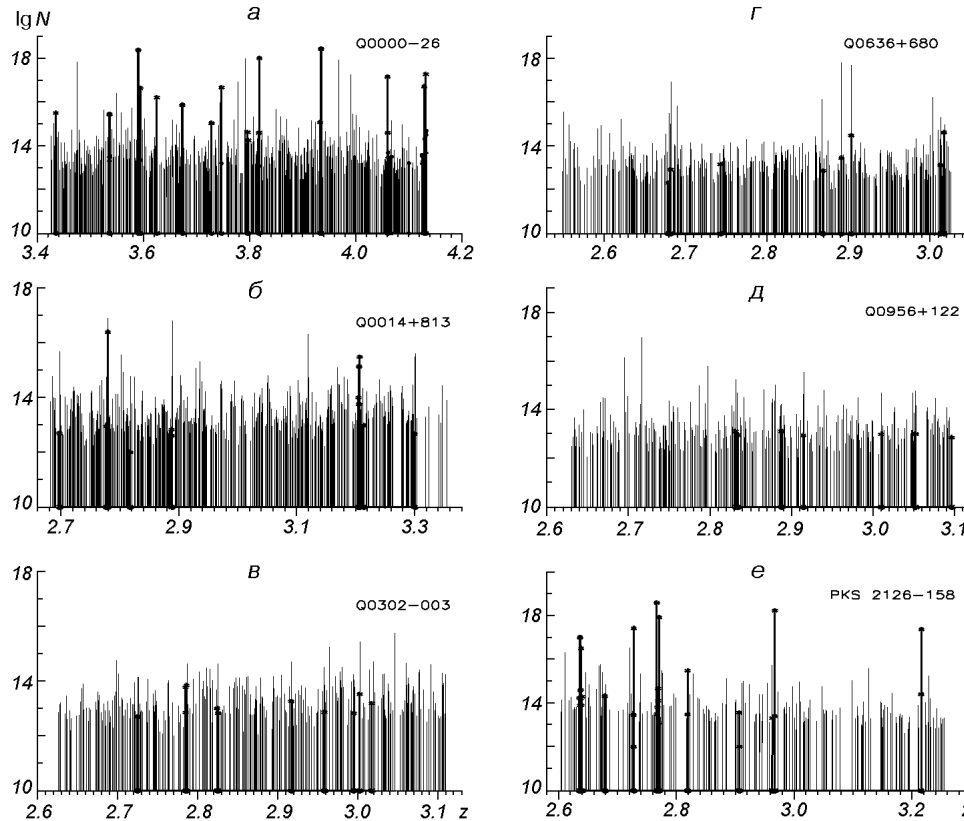


Рис. 3. Распределения систем с металлами и облаков  $L_{\alpha}$ -леса в направлениях на разные квазары. Тонкими линиями отмечено положение облаков, дающих абсорбцию H I, толстыми линиями и звездочками отмечено положение облаков, дающих абсорбцию металлов (в основном C IV). Высота тонких и толстых линий показывает значение столбцовых плотностей H I и металлов соответственно. Данные взяты из работ [20, 29, 30] (а), [8, 15, 27, 33, 34] (б), [8, 15, 33] (в—д), [10, 25, 33] (е)

Таким образом, видно, что обогащенный металлами  $L_{\alpha}$ -лес (т. е. облака с  $N(\text{H I}) < 10^{16} \text{ см}^{-2}$ ) есть независимо от того, есть ли рядом галактики. Но луч зрения может проходить в окрестности галактики, не пересекая при этом саму галактику. В этом случае мы можем видеть  $L_{\alpha}$ -облака с металлами, которые не будут очевидным образом связаны с галактиками.

Следует отметить, что облака с низкими значениями  $\lg N(\text{H I})$ , которые определяются как «чистые», на самом деле могут иметь металлы, которые трудно обнаружить именно из-за низких значений  $\lg N(\text{H I})$ . Сонгейла и Ковье [34], данные которых были использованы здесь, показали, что слабая абсорбция C IV есть в большинстве  $L_{\alpha}$ -облаков ниже границы обнаружения. Также исследование абсорбции O VI облаков в диапазоне  $z = 2.0 \dots 4.5$  [31] показывает, что O VI обнаруживается в абсорберах, для которых абсорбция C IV слишком слаба, чтобы быть обнаруженной. Это означает, во-первых, что O VI может служить лучшим индикатором металличности в облаках с низкими  $N(\text{H I})$ , чем C IV, и во-вторых, что межгалактическая среда обогащена ниже того уровня столбцовых плотностей, который можно исследовать сегодня.

Как указывалось выше, сценарий А может играть значительную роль в обогащении металлами  $L_{\alpha}$ -облаков. Аргументом в пользу идеи «загрязнения» массивными системами своего окружения может служить рис. 1, д, где возле системы с высоким  $\lg N(\text{H I})$  на расстоянии  $\sim 100$  кпк наблюдается облако с  $\lg N(\text{H I}) < 12.00$  и с абсорбцией металлов. Но наличие металлов в облаках, окружающих системы с высокими столбцовыми плотностями, также может служить указанием на то, что массивные системы могут инициировать звездообразование в окружающих облаках. (Хотя известно, что звездообразование в ближайших галактиках происходит в облаках с  $N(\text{H I}) \geq 10^{20} \text{ см}^{-2}$ , мы рассматриваем не условия возможного звездообразования в облаках, а результат этого звездообразования, так как в течении времени физические условия в облаках межгалактической среды могли изменяться).

Рис. 4 показывает соотношение между расстоянием от системы с металлами и без до ближайшей системы ( $R_{\min}$ ) и логарифмом столбцовой

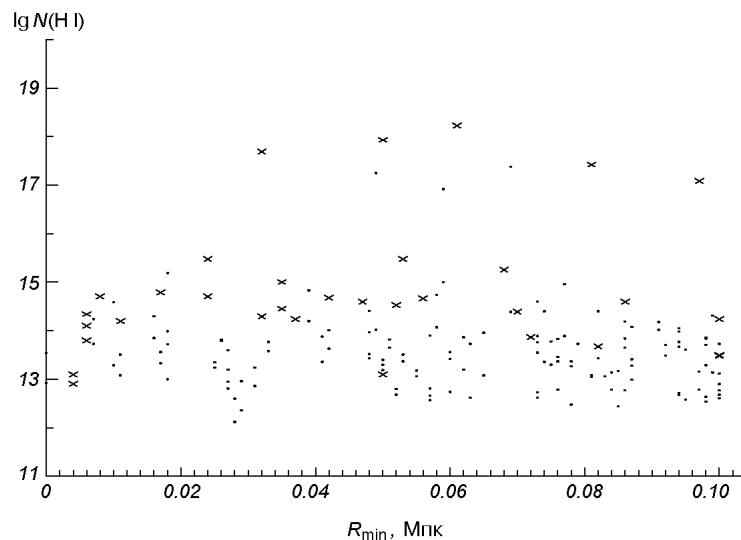


Рис. 4. Соотношение «минимальное расстояние — столбцовая плотность». Точками отмечены ближайшие соседи  $L_{\alpha}$ -облаков, крестиками — соседи систем с металлами. Данные взяты из работ [8, 10, 15, 20, 25, 27, 29, 30, 33, 35]



плотности водорода ближайшей системы (были использованы системы с металлами и  $L_{\alpha}$ -лес в шести направлениях из рис. 3). Показаны как ближайшие соседи систем с металлами, так и соседи «чистых»  $L_{\alpha}$ -облаков. Отобраны только системы с  $R_{\min} \leq 0.1$  Мпк, так как на больших расстояниях нет уверенности в том, что ближайшая по лучу зрения система действительно будет самой близкой в пространстве. Основная часть соседей систем с металлами имеет невысокие столбцовые плотности (хотя они больше, чем у соседей «чистых»  $L_{\alpha}$ -облаков) и лишь немногие имеют столбцовые плотности выше  $\lg N(\text{H I}) > 17.00$ . Судя по очень небольшому количеству массивных соседей возле систем с металлами, процесс инициации звездообразования массивными системами в близлежащих  $L_{\alpha}$ -облаках представляется мало вероятным.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ наблюдательных данных, доступных в настоящее время, позволяет заключить, что  $L_{\alpha}$ -облака, расположенные в окрестностях систем с высокими столбцовыми плотностями (порядка 0.5 Мпк), содержат металлы. Это может быть следствием воздействия этих систем на окружающее пространство. Следовательно, можно предположить, что галактики DLAS и LLS играют значительную роль в обогащении  $L_{\alpha}$ -облаков тяжелыми элементами независимо от сценария — путем ли выброса тяжелых элементов в близлежащие  $L_{\alpha}$ -облака, либо путем инициирования звездообразования в этих облаках.

Автор благодарит Л. С. Пилюгина за ценные указания и помощь в работе, а также Ю. И. Изотова за ряд ценных замечаний.

1. Климишин И. А. Релятивистская астрономия. — М.: Наука, 1983.—208 с.
2. Atwood B., Baldwin J. A., Carswell R. F. Redshift evolution of the Lyman-line absorbing clouds in quasar spectra // *Astrophys. J.*—1985.—292, N 2.—P. 58—71.
3. Bahcall J. N., Bergeron J., Boksenberg A., et al. The Hubble Space Telescope Quasar Absorption Line Key Project. VII. Absorption systems at  $z_{\text{abs}} \leq 1.3$  // *Astrophys. J.*—1996.—457, N 1.—P. 19—49.
4. Barlow T. A., Tytler D. The metallicity of low-redshift  $L_{\alpha}$  forest clouds // *Astron. J.*—1998.—115, N 5.—P. 1725—1736.
5. Carswell R. F., Lanzetta K. M., Parnell H. C., Webb J. K. High-resolution spectroscopy of Q1100-264 again // *Astrophys. J.*—1991.—371, N 1.—P. 39—48.
6. Centurion M., Bonifacio P., Molaro P., Vladilo G. Chemical evolution of Damped  $L_{\alpha}$  galaxies: The [S/Zn] abundance ratio at redshift  $\geq 2$  // *Astrophys. J.*—2000.—536, N 2.—P. 540—549.
7. Churchill C. W., Le Brun V. High-metallicity Mg II absorbers in the  $z < 1$   $L_{\alpha}$  forest of PKS 0454+039: Giant Low Surface Brightness Galaxies? // *Astrophys. J.*—1998.—499, N 2.—P. 677—698.
8. Cowie L. L., Songaila A., Tae-Sun Kim, Hu E. M. The metallicity and internal structure of the Lyman-alpha forest clouds // *Astron. J.*—1995.—109, N 4.—P. 1522—1530.
9. Dave R., Hellsten U., Hernquist L., et al. Constraining the metallicity of the low-density  $L_{\alpha}$  forest using O VI absorption // *Astron. J.*—1995.—509, N 2.—P. 661—677.
10. D'Odorico V., Cristiani S., D'Odorico S., et al. The absorption spectrum of the QSO PKS 2126-158 ( $z_{\text{em}} = 3.27$ ) at high resolution // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1998.—127, P. 217—232.
11. Ellison S. L., Lewis G. F., Pettini M., et al. HIRES spectroscopy of APM 08279 + 5255: Metal abundances in the  $L_{\alpha}$  forest // *Astrophys. J.*—1999.—520, N 2.—P. 456—468.
12. Ellison S. L., Songaila A., Schaye J., Pettini M. The enrichment history of the Intergalactic Medium — measuring the CIV/HI ratio in the  $L_{\alpha}$  forest // *Astron. J.*—2000.—120, N 3.—P. 1175—1191.
13. Fan Xiao-Ming, Tytler D. Lick optical spectra of quasar HS 1946+7658 at 10 kilometers per second resolution: Lyman-alpha forest and metal absorption systems // *Astrophys. J. Suppl.*

- Ser.—1994.—**94**, N 1—P. 17—46.
14. *Fukazawa Y., Ohashi T., Fabian A. C., et al.* Metal concentration and X-ray cool spectral component in the central region of the Centaurus cluster of galaxies // *Publs Astron. Soc. Jap.*—1994.—**46**, N 3.—P. L55—L58.
  15. *Hu E. M., Tae-Sun Kim, Cowie L. L., et al.* The distribution of column densities and b-values in the Lyman-alpha forest // *Astron. J.*—1995.—**110**, N 4.—P. 1526—1543.
  16. *Khare P., Srianand R., York D. G., et al.* The Lyman alpha forest towards B2 1225+317 // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1997.—**285**, N 1.—P. 167—180.
  17. *Le Brun V., Bergeron J., Boisse P., Deharveng J. M.* The nature of the intermediate-redshift damped  $L_{\alpha}$  absorbers // *Astron. and Astrophys.*—1997.—**321**, N 3.—P. 733—748.
  18. *Lu L.* The carbon abundance of the Lyman-alpha clouds // *Astrophys. J.*—1991.—**379**, N 1.—P. 99—106.
  19. *Lu L., Sargent W. L. W., Barlow T. A.,* The N/Si abundance ratio in 15 damped Ly-alpha galaxies. — Implications for the origin of nitrogen // *Astron. J.*—1998.—**115**, N 1.—P. 55—61.
  20. *Lu L., Sargent W. L. W., Womble D. S., Wasahide Takada-Hidai* The  $L_{\alpha}$  forest at  $z \sim 4$ : Keck HIRES observations of Q0000-26 // *Astrophys. J.*—1996.—**472**, N 2.—P. 509—531.
  21. *Miralda-Escude J., Cen R., Ostriker J. P., Rauch M.* The Ly $\alpha$  forest from gravitational collapse in the Cold Dark Matter +  $\Lambda$  model // *Astrophys. J.*—1996.—**471**, N 2.—P. 582—616.
  22. *Ostriker J. P., Gnedin N. Y.* Reheating of the Universe and Population III // *Astrophys. J.*—1996.—**471**, N 2.—P. L63—L67.
  23. *Outram P. J., Chaffee F. H., Carswell R. F.* The Lyman-alpha forest and heavy element systems of GB1759+7539 // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1999.—**310**, N 2.—P. 289—312.
  24. *Petitjean P.* QSO Absorbtion Line Systems // astro-ph/9810418, proceedings of the Les Houches school «Formation and evolution of galaxies», O. Le Fevre and S. Charlot (eds.), Springer-Verlag. 1998.
  25. *Petitjean P., Bergeron J.* CIV QSO absorbtion systems and properties of galactic haloes at high redshift // *Astron. and Astrophys.*—1994.—**283**, N 3.—P. 759—778.
  26. *Pettini M., Hunstead R. W., Smith L. J., Mar D. P.* The Lyman  $\alpha$  forest at 6 km s<sup>-1</sup> resolution // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1990.—**246**, N 4.—P. 545—564.
  27. *Rauch M., Carswell R. F., Chaffee F. H. et al.* The Lyman  $\alpha$  forest of 0014+813 // *Astrophys. J.*—1992.—**390**, N 2.—P. 387—404.
  28. *Sargent W. L. W., Young P. J., Boksenberg A., Tytler D.* The distribution of Lyman-alpha absorbtion lines in the spectra of six QSO: Evidence of intergalactic origin // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1980.—**42**, N 1.—P. 41—82.
  29. *Savaglio S., Cristiani S., D'Odorico S., et al.* The shape of ionizing UV background at  $z \sim 3.7$  from the metal absorbtion systems of Q0000-2619 // *Astron. and Astrophys.*—1997.—**318**, N 2.—P. 347—360.
  30. *Savaglio S., D'Odorico S., Müller P.* The metal systems in Q0000-2619 at high resolution // *Astron. and Astrophys.*—1994.—**281**, N 2.—P. 331—347.
  31. *Schaye J., Rauch M., Sargent W. L. W., Tae-Sun Kim* The detection of oxygen in the low-density Intergalactic Medium // *Astrophys. J.*—2000.—**541**, N 1.—P. L1—L4.
  32. *Shull J. M., Penton S. V., Stock J. T., et al.* A cluster of low-redshift  $L_{\alpha}$  clouds toward PKS 2155-304. I. Limits on metals and D/H // *Astron. J.*—1998.—**116**, N 5.—P. 2094—2107.
  33. *Songaila A.* The redshift evolution of the metagalactic ionizing flux inferred from metal line ratios in the Lyman  $\alpha$  forest // *Astron. J.*—1998.—**115**, N 6.—P. 2184—2205.
  34. *Songaila A., Cowie L. L.* Metal enrichment and ionization balance in the Lyman  $\alpha$  forest at  $z = 3$  // *Astron. J.*—1996.—**112**, N 2.—P. 335—351.
  35. *Storrie-Lombardi L. J., Irwin M. J., McMahon R. G.* APM  $z \lesssim 4$  survey: Distribution and evolution of high column density H I absorbers // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1996.—**282**, N 4.—P. 1330—1342.
  36. *Tytler D., Xiao-Ming Fan.* Upper limits on metals in quasar Lyman  $\alpha$  forest clouds: Absense of C IV lines in echelle spectra // *Astrophys. J.*—1994.—**424**, N 2.—P. L87—L90.
  37. *Weymann R., Rauch M., Williams R., et al.* A new observations with the HST High Resolution Goddard Spectrograph of the low-redshift Lyman-alpha clouds in the 3C 273 line of sight // *Astrophys. J.*—1995.—**438**, N 2.—P. 650—658.
  38. *Wiklind T., Combes F.* A search for millimeterwave CO emission in damped Ly  $\alpha$  systems // *Astron. and Astrophys.*—1994.—**288**, N 3.—P. L41—L44.
  39. *Williger G. M., Baldwin J. A., Carswell R. F., et al.* Lyman-alpha absorption in the spectrum of the  $z = 4.5$  QSO BR 1033-0327 // *Astrophys. J.*—1994.—**428**, N 2.—P. 574—590.
  40. *Wolfe A. M., Lanzetta K. M., Foltz C. B., Chaffee F. H.* The Large Bright QSO Survey for damped  $L_{\alpha}$  absorbtion systems // *Astrophys. J.*—1995.—**454**, N 2.—P. 698—725.