

УДК 550.4:551.432.447(470.32)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭКСГАЛЯЦИОННО-ОСАДОЧНОГО РУДОГЕНЕЗА ЗОЛОТА И СОПУТСТВУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

В.В.Лоскутов

Воронежский государственный университет

Комплекс обнажений аптских толщ у с. Кудияровка Измалковского района Липецкой области уникален по своей тектонической позиции (центральная часть Олымского срединного массива), масштабам наложенных изменений (при том, что прекрасно сохранились и практически незатронутые целики первичных пород), фациальному и петрографическому составу (прибрежно-морские средне-мелкозернистые пески большой мощности, выдержанные по простирацию). Это один из перспективных объектов, где можно осуществить заверку сделанных ранее наблюдений над распределением ультратонкого золота и сопутствующих элементов в осадочном чехле, создав здесь эталонный геохимический полигон, исследования на которых можно будет продолжить и в дальнейшем. Результаты спектрозолотометрических и спектральных анализов претерпевших различные масштабы изменений осадочных пород Кудияровки подтвердили ранее сделанные выводы о широкой распространенности ультратонкого золота в осадочном чехле. При этом, концентрации Au на консолидированных площадях срединных массивов снижены по сравнению с его содержаниями на соседних участках (вероятно, по причине пониженных плотности флюидов и продуктивности глубинных коренных источников). Тем самым подтвердились критерии оценки площадей и основные рекомендации по направлению поисков благородных металлов в осадочном чехле.

Комплекс обнажений Кудияровки расположен в пределах водораздельной части междуречья р.р. Ясенки и Хомулец, принадлежащих бассейну р.Сосны. Абсолютные отметки водораздельной поверхности, вскрытой небольшим карьером на северной окраине с.Кудияровка-2, составляют около 220 м. В геоморфологическом отношении это древнейший из выраженных в рельефе Средне-Русской возвышенности его элемент, сформировавшийся в самом начале раннего миоцена ("шапкинская поверхность"). Таким образом, обнаженная аптская толща оказалась в течение раннего миоцена (начало его - 23 млн лет назад) в обстановке интенсивных гипергенных изменений, до неузнаваемости трансформировавших первичный облик аптских псаммитов - первично белых, разномелкозернистых, преимущественно средне-мелкозернистых, песков с горизонтальной, иногда косой слоистостью. Ныне в *Западном обнажении* это плотные кирпично-красные бесструктурные породы, реликты слоисто-

сти в которых угадываются лишь на некоторых участках. Интенсивность наложенных процессов не ослабевает на всю вскрытую мощность, более 9 м. В пятнистой толще ожелезненных псаммитов (по причине несколько варьирующей степени ожелезнения) выделяются отдельные небольшие гнезда первично белых аптских песков.

Расположенное всего в 10 м *Восточное обнажение* отличается от Западного принципиально. Здесь в совершенно незатронутым гипергенными процессами в виде выходят на поверхность аптские белые мелкозернистые пески видимой мощностью около 5 м. Сверху они перекрыты пластом белых кварцитовидных песчаников (1,5-2,0м). Расположенный сразу под песчаниками пласт (0,5 м) псаммитов интенсивно, до красно-коричневого, обожжен (рис.1). Предполагается, что именно песчаник служил геохимическим барьером и предохранил ниже-расположенный целик песков от влияния поверхностных вод, несущих железо и прочие химические

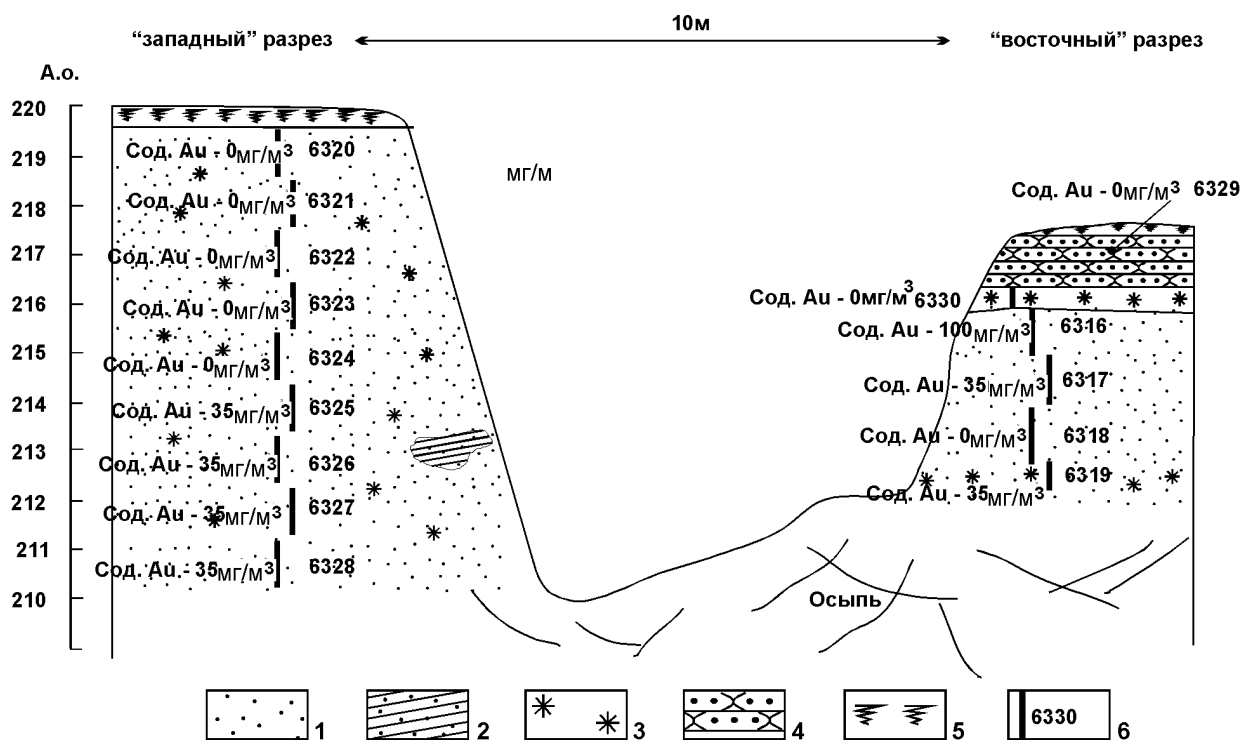


Рис. 1. Обнажение Кудияровка-2ая: 1 – пески; 2 – неизменные пески с наклонной слоистостью; 3 – железные; 4 – почвенно-растительный слой; 5 – песчаники; 6 – интервалы опробования и номер проб (содержания Au приводятся по данным спектрозолотометрического анализа).

элементы. Таким образом, сохранился эталон - объект с первичными геохимическими особенностями, с которым теперь можно сравнивать продукты вторичных изменений. И главные вопросы, которые нас при этом интересуют в первую очередь (они и есть цель настоящей работы) таковы: как наложенные процессы влияют на первичные концентрации золота, если таковые имеются в породах; какие химические элементы демаскируют эти повышенные концентрации благородных металлов, находясь с ними в положительных корреляционных связях.

Разрезы подверглись опробованию с целью выяснения воздействия гипергенных процессов на геохимические характеристики пород. Из восточного (неизмененного) разреза было отобрано шесть проб, из западного – девять. Все пробы были подвергнуты спектральному полуколичественному и спектрозолотометрическому анализам, которые проводились в лаборатории ВГУ (аналитик М.А. Ефимова). Из определявшихся 35 элементов не обнаружены Hg, Tl, Li, P, In, Ge, Cd, As, Sb, W, Ta, Hf, в концентрации “следы” определены Nb, Sr, Sn. Из тех 19 элементов, что распространены в разрезах повсеместно шесть относятся к сидерофильным (Mn, Cr, Ti, V, Ni, Co.), четыре – к халькофильным (Cu, Pb, Zn, Mo), шесть – к редким и рассеянным (Zr, Y, Yb, Sc, Be, Ga), кроме того, в разрезах определен щелочноземельный элемент – Ba и благородные – Au и Ag.

Золото и серебро

Концентрации золота и серебра в обоих сравниваемых разрезах различны. В Восточном

обнажении отчетливо выделяются два интервала, где **золота** на порядок больше по сравнению с кларковыми содержаниями (4,3 мг/т). Верхний, фиксируемый по пробе 6316 (1 м), наиболее обогащен этим металлом (100 мг/м³). Нижний интервал (пробы 6318 и 6319) содержит золота 35 мг/м³, но интервал этот вдвое мощней верхнего, 2 м. Между двумя золотоносными уровнями существует “пустой” интервал мощностью 1 м (проба 6317). В Западном обнажении, псаммиты которого интенсивно железнены, по распределению Au различаются части нижняя со стабильными концентрациями золота около 35 мг/м³ (пробы 6325-6328, мощность 4 м) и “пустая” (пробы 6320-6324, мощность 5 м). Здесь обращают на себя внимания две особенности. Первая заключается в том, что золотоносность возрастает по мере удаления от дневной поверхности, т.е. уровня, откуда поступали поверхностные воды, несущие железо. В Восточном обнажении золота нет в ожелезненных песках под пластом песчаника, в Западном - “пуст” весь подповерхностный пятиметровый интервал. По этому относительно повышенную золотоносность Восточного обнажения, где наложенные изменения отсутствует, можно считать первичной, реликтовой, оставшейся от дораннемиоценовых процессов планации и корообразования; Вторая особенность выражается в общей сниженной золотоносности всего комплекса обнажений Кудияровки, являющихся частью Олымского блока, по сравнению с соседними площадями, находящимися вне него. Олымский блок, отвечающий одноименному срединному массиву (впервые выделен М.Д. Бердниковым [1]), окружен практи-

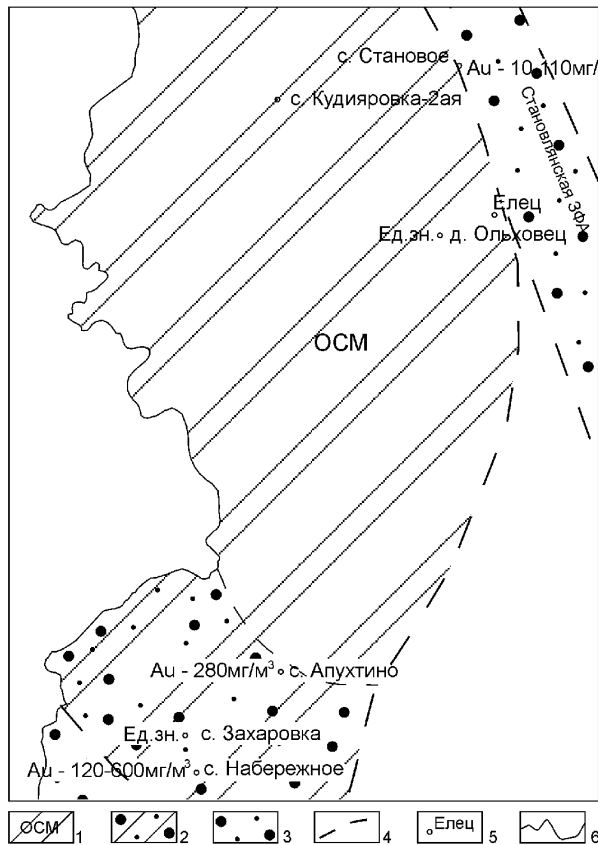


Рис. 2. Расположение обнажения Кудияровка 2-ая: 1 – Олимпийский срединный массив; 2 – Южно-Ольская ЗФА; 3 – Становлянская ЗФА; 4 – границы ЗФА и Олимпийского срединного массива; 5 – населенные пункты и точки пробоотбора (содержание Au по результатам спектрозотометрии); 6 – административная граница Липецкой области.

чески со всех сторон проявлениями золота в осадочном чехле, которые могут быть по концентрациям металла отнесены к весьма значительным. Так, вдоль его восточной периферии (рис.2) в пределах Становлянской металлогенической зоны известны проявления Ольшанец (содержания Au в песках $f Q_1 ds$ составляет до 0,4-1,1 г/м³), Становое (110 мг/м³ Au в песках Q_{II-III}). Вдоль южного активизированного ограничения Олимпийского блока (Южно-Ольская зона) подобных проявлений обнаружено несколько (Апуктино, Захаровка, Набережное, Нижне-Большое и т.д.). Содержания золота там в породах сеномана (Нижне-Большое), апта (Захаровка), квартера (Апуктино, Захаровка) достигают 280-600 мг/м³. Таким образом, даже максимальные содержания металла в неизменных псаммитах Кудияровки по пробе 6330 - 100 мг/м³, - выглядят существенно сниженными, хотя, конечно, и аномально высокими, если вспомнить, что кларк этого благородного металла в земной коре всего лишь $4,3 \times 10^{-7}\%$ (4,3 мг/т). Хорошо известны случаи, когда металл мигрировал с комплексами органических веществ в поверхностных водах, но в нашем примере роль подобных вод, скорее, отрицательна (ближе к дневной поверхности золота нет; более ожелезненные интервалы, оставленные такими во-

дами, менее золотоносны или вовсе “пусты”). В ранних работах мы показали, основываясь на присутствии в золотинах определенных элементов-примесей, прежде всего, летучих, что Au вынесено в осадочных чехол глубинными потоками флюидов и образует в породах ультратонкие частицы размерностью в десятки мкм, сохранность которых зависит от состояния их камер захоронения. Любые гипергенные изменения ведут к раскрытию камер и немедленному рассеянию металла. Особо подчеркивалось несходство геохимических путей эксгалационно-осадочного ультратонкости золота с серебром, до полной бессеребряности его частиц [2]. Геохимическая обстановка кудияровских проявлений подтверждает эти ранние наблюдения. В Восточном обнажении содержания золота коррелируются только с Co (R= 0,91) и Ba (R=0,54) (рис.3, табл. 1). Содержания Mn по отношению к Au независимы, а все остальные элементы связаны с золотом отрицательными зависимостями различной значимости. В Западном разрезе список элементов с положительной корреляцией с Au пополняют Mn (R=0,61), Ti (R=0,35), Be (R=0,27), Ni (R=0,32), Cu (R=0,33), Pb (R=0,45). Значимые отрицательные зависимости установлены для V (R=-0,28), Cr (R=-0,47), Yb (R=-0,46), Ba (R=-0,31), Ag (R=-0,73), Zn (R=-0,55) (рис.4, табл. 2). Все сказанное однозначно указывает на связь геохимического фона Западного обнажения с единым мощным процессом, каким и было длительное воздействие поверхностных вод в раннем миоцене. Другой благородный металл - серебро, - в псаммитах обоих разрезов Кудияровки содержится в количествах намного меньших кларковых - от 0,001-0,035 мг/т. Кларк металла в земной коре - $7 \times 10^{-6}\%$ (70 мг/т, при том, что иногда отмечаются его повышенные концентрации в песчаниках, обогащенных органикой. В Восточном разрезе Ag связано положительной корреляцией с большинством элементов, кроме Au (R=-0,48) и Co (R=-0,3) (см. рис.3, табл. 1). В западном разрезе сохраняется отрицательная зависимость с Au (R=-0,73), Co (R=-0,54). Помимо того добавляется отрицательная корреляция с Pb (R=-0,65). Положительные зависимости сохраняются с V (R=0,65), Cr (R=0,75), Sc (R=0,31), Y (R=0,27), Yb (R=0,78), Ba (R=0,5), Ni (R=0,36), Mo (R=0,33) (рис.4, табл. 2). Из этого можно сделать вывод, что в отличие от Au, серебро распределялось в разрезе в связи с совершенно иными процессам, и прежде всего, с миграцией насыщенных органическим веществом подземных вод.

Сидерофильные элементы (Mn, Cr, Ti, V, Ni, Co)

Марганец распространен в земной коре (кларк 0,1% - 1 кг/т). В опробованных разрезах содержания Mn варьируют от 27,9 до 143,1 г/т, что существенно ниже кларка. В распределении, можно

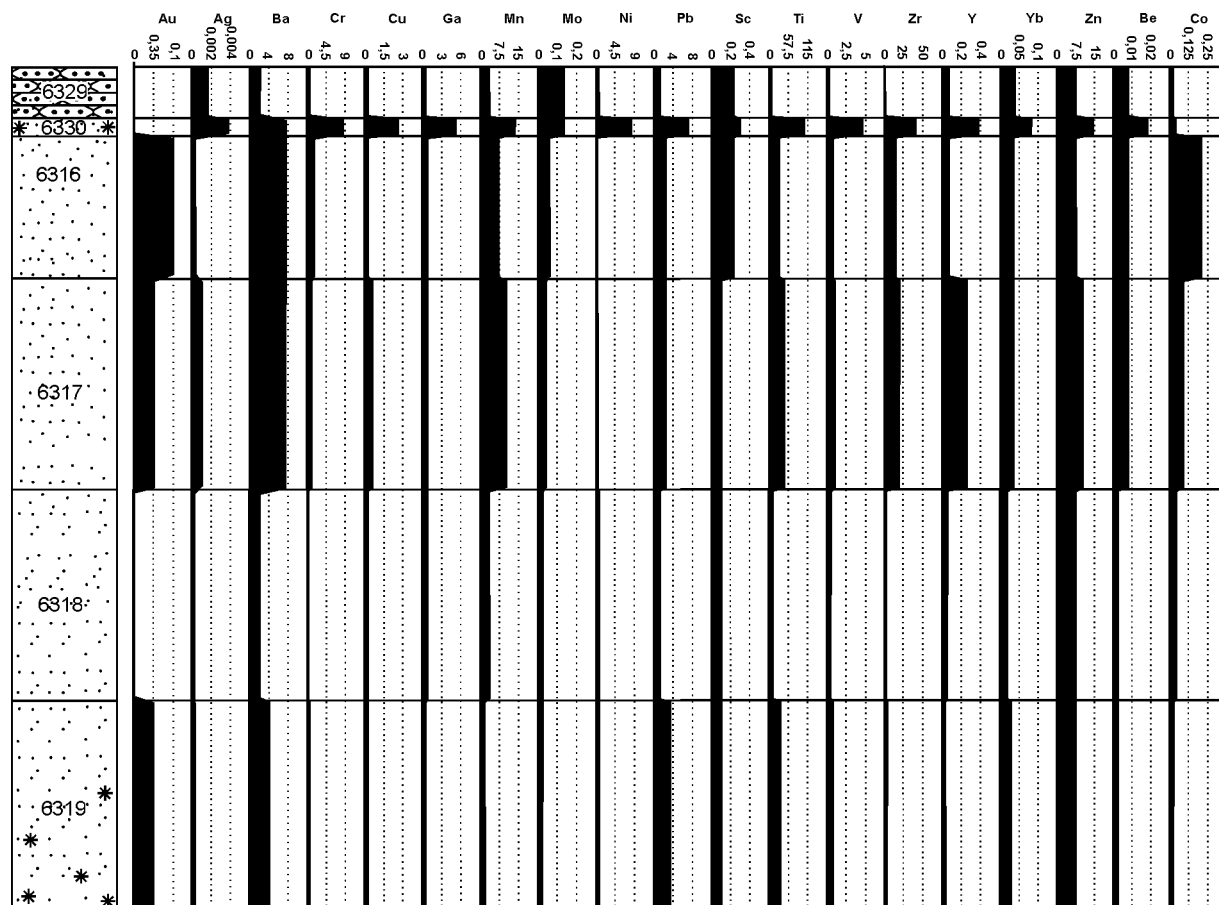


Рис. 3. Распределение элементов по данным спектрального и золотоспектрального анализов в породах «восточного» разреза с. Кудияровка-2ая. Содержания золота в г/м³, остальные элементы в 10³ px.

Таблица 1

Коэффициенты корреляции между содержаниями элементов примесей в породах «восточного» разреза с. Кудияровка

	Au	Mn	Ti	V	Cr	Zr	Be	Sc	Y	Yb	Ba	Ga	Ni	Co	Mo	Cu	Pb	Ag
Au	1,00																	
Mn	0,00	1,00																
Ti	-0,18	0,90	1,00															
V	-0,31	0,82	0,97	1,00														
Cr	-0,17	0,87	0,96	0,98	1,00													
Zr	-0,02	0,97	0,97	0,91	0,94	1,00												
Be	-0,16	0,89	0,86	0,89	0,94	0,88	1,00											
Sc	-0,06	0,60	0,61	0,73	0,80	0,62	0,88	1,00										
Y	-0,23	0,95	0,92	0,85	0,86	0,94	0,87	0,53	1,00									
Yb	-0,18	0,83	0,86	0,90	0,93	0,86	0,98	0,87	0,85	1,00								
Ba	0,54	0,81	0,67	0,50	0,60	0,80	0,60	0,36	0,69	0,56	1,00							
Ga	-0,34	0,80	0,95	1,00	0,98	0,88	0,90	0,76	0,83	0,90	0,45	1,00						
Ni	-0,27	0,84	0,96	1,00	0,99	0,92	0,92	0,77	0,86	0,92	0,53	1,00	1,00					
Co	0,91	0,23	-0,05	-0,17	0,00	0,15	0,05	0,11	-0,05	-0,05	0,62	-0,18	-0,11	1,00				
Mo	-0,37	0,41	0,40	0,56	0,59	0,38	0,76	0,88	0,46	0,78	0,04	0,60	0,60	-0,22	1,00			
Cu	-0,35	0,82	0,96	1,00	0,98	0,90	0,91	0,74	0,86	0,91	0,47	1,00	1,00	-0,20	0,60	1,00		
Pb	-0,21	0,73	0,95	0,96	0,93	0,86	0,80	0,65	0,79	0,86	0,52	0,94	0,95	-0,19	0,46	0,95	1,00	
Ag	-0,48	0,75	0,80	0,87	0,86	0,76	0,93	0,80	0,84	0,94	0,33	0,88	0,88	-0,30	0,84	0,90	0,78	1,00
Zn	-0,32	0,92	0,97	0,94	0,92	0,95	0,89	0,59	0,98	0,88	0,61	0,92	0,94	-0,14	0,49	0,94	0,87	0,87

Критическое значение коэффициента корреляции при пороге значимости 0,05 составляет 0,27

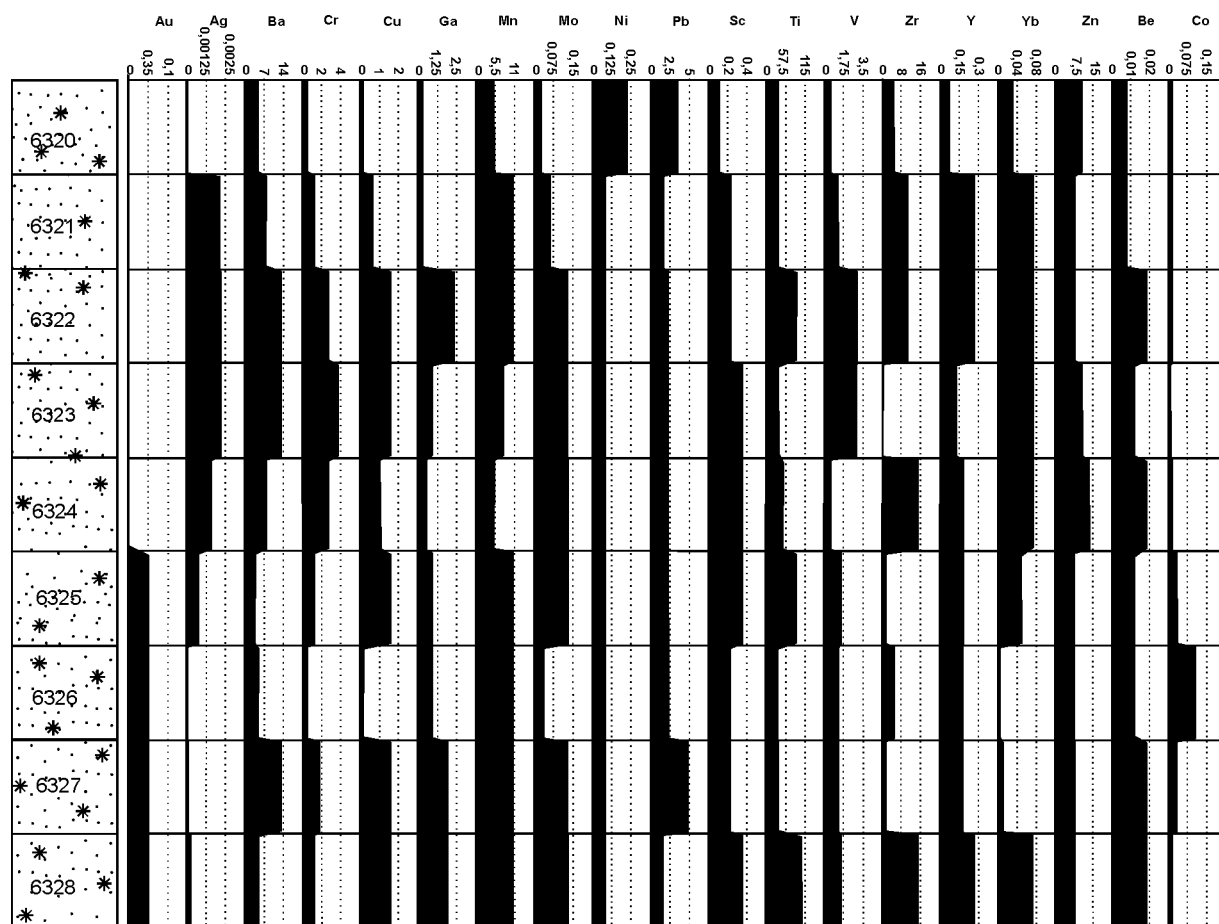


Рис. 4. Распределение элементов по данным спектрального и золотоспектрального анализов в породах «западного» разреза с. Кудияровка-2ая. Содержания золота в $г/м^3$, остальные элементы в $10^3 px$.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между содержаниями элементов примесей в породах «западного» разреза с. Кудияровка

	Au	Mn	Ti	V	Cr	Zr	Be	Sc	Y	Yb	Ba	Ga	Ni	Co	Mo	Cu	Pb	Ag
Au	1,00																	
Mn	0,61	1,00																
Ti	0,35	0,34	1,00															
V	-0,28	0,20	0,21	1,00														
Cr	-0,47	-0,23	-0,05	0,71	1,00													
Zr	-0,14	-0,03	0,54	-0,24	-0,09	1,00												
Be	0,27	0,17	0,52	0,21	0,39	0,44	1,00											
Sc	0,24	0,16	0,47	0,29	0,51	0,19	0,46	1,00										
Y	0,17	0,70	0,56	0,14	-0,03	0,65	0,41	0,30	1,00									
Yb	-0,46	-0,02	0,43	0,48	0,65	0,50	0,31	0,59	0,51	1,00								
Ba	-0,31	0,07	-0,25	0,65	0,75	-0,26	0,39	0,01	0,04	0,29	1,00							
Ga	0,24	0,52	0,54	0,53	0,25	0,19	0,74	0,10	0,53	0,21	0,54	1,00						
Ni	0,32	0,60	0,26	0,32	0,41	0,17	0,50	0,75	0,64	0,44	0,28	0,35	1,00					
Co	0,62	0,38	-0,22	-0,32	-0,52	-0,24	-0,08	-0,14	-0,03	-0,75	-0,32	-0,07	0,17	1,00				
Mo	0,14	0,16	0,51	0,48	0,68	0,14	0,76	0,76	0,30	0,61	0,45	0,55	0,61	-0,42	1,00			
Cu	0,33	0,43	0,54	0,61	0,57	-0,06	0,67	0,69	0,34	0,46	0,49	0,68	0,64	-0,25	0,93	1,00		
Pb	0,45	0,02	0,03	-0,25	-0,15	-0,18	0,40	-0,24	-0,23	-0,40	0,25	0,37	-0,24	0,01	0,17	0,22	1,00	
Ag	-0,73	-0,09	-0,07	0,65	0,75	0,13	0,02	0,31	0,27	0,78	0,50	0,07	0,36	-0,54	0,33	0,23	-0,65	1,00
Zn	-0,55	-0,91	-0,25	-0,17	0,41	0,21	0,09	0,16	-0,47	0,22	-0,01	-0,45	-0,23	-0,35	0,09	-0,24	-0,13	0,24

Критическое значение коэффициента корреляции при пороге значимости 0,05 составляет 0,27

говорить о большей марганцовистости Восточного разреза, а для пород Западного разреза характерно более равномерное распределение описываемого элемента. Кроме того, для восточного разреза характерна незначительная зависимость от Co ($R=0,23$) и полная независимость от Au ($R=0,0$) (рис.3, табл. 1). В западном разрезе сохраняется положительная корреляция с Ti ($R=0,34$), Y ($R=0,65$), Ga ($R=0,39$), Ni ($R=0,50$), Co ($R=0,38$), Cu ($R=0,43$) и появляется с Au ($R=0,61$), однако положительная ранее корреляция Zn ($R=0,92$) практически становится диаметрально противоположной ($R=-0,91$). Кроме того, отрицательными становятся зависимости с Cr, Zr, Yb Ag (см. рис.4, табл. 2).

Хром в земной коре $8,3 \times 10^{-3}\%$ (83г/т), но для осадочных пород (песчаники) его кларк составляет $3,5 \times 10^{-3}$ (35г/т). В Кудияровском обнажении его содержания меняются от 1,4 до 80,5г/т. В Восточном разрезе Cr отрицательно коррелируется с Au ($R=-0,17$) (см. рис.3, табл. 1) и независим от количества Co. В Западном разрезе хром сохраняет положительную корреляцию с V ($R=0,71$), Be ($R=0,39$), Sc ($R=0,51$), Yb ($R=0,65$), Ba ($R=0,75$), Ni ($R=0,41$), Mo ($R=0,68$), Cu ($R=0,57$), Ag ($R=0,75$), Zn ($R=0,41$), появляется отрицательная зависимость с Co ($R=-0,52$), Au ($R=-0,47$), и малозначимые отрицательные зависимости с Mn ($R=-0,23$), Ti ($R=-0,05$), Cr ($R=-0,09$), Y ($R=-0,03$), Pb ($R=-0,15$) (см. рис.4, табл. 2).

Ванадий относительно распространенный в земной коре, хотя и сильно рассеянный элемент. Его кларк $1,5 \times 10^{-2}\%$ (150г/т). Тяготеет к фосфорным и титано-магнетитовым рудам. В описываемом обнажении содержания элемента от 0,8 до 48,3г/т, что существенно ниже кларка. Его поведение в Восточном разрезе в целом подобно остальным сидерофильным элементам, он отрицательно коррелируется с Au ($R=-0,31$) и мало зависит от Co ($R=-0,17$) (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе положительная зависимость сохраняется с Cr ($R=0,71$), Yb ($R=0,48$), Ba ($R=0,65$), Ga ($R=0,53$), Ni ($R=0,32$), Mo ($R=0,48$), Cu ($R=0,61$), Ag ($R=0,65$), отрицательная - с Au ($R=-0,28$) сохраняется и проявляется в отношении Co ($R=-0,32$), а так же появляются незначительные отрицательные зависимости с Zr ($R=-0,24$), Pb ($R=-0,25$), Zn ($R=-0,17$) (см. рис.4, табл. 2).

Титан - распространенный в литосфере элемент. С кларком 0,45% (4,5кг/т). Повышенные содержания его отмечаются в основных (0,9%) и средних (0,8%) породах. В данных разрезах количества Ti колеблются от 80,4 до 1116,3г/т, что меньше кларковых. В Восточном разрезе его содержания проявляют слабую отрицательную корреляцию с Au ($R=-0,18$) и Co ($R=-0,05$), с остальными элементами корреляция положительная (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе положительная корреляция сохраняется с Zr ($R=0,54$), Be ($R=0,52$), Sc ($R=0,47$), Y ($R=0,56$), Yb ($R=0,43$), Ga ($R=0,54$), Mo ($R=0,51$), Cu ($R=0,54$), Mn ($R=0,34$). Кроме это-

го, становится значимой и положительной его связь с концентрациями Au ($R=0,35$). Отрицательные зависимости проявлены слабо Cr ($R=-0,05$), Ba ($R=-0,25$), Co ($R=-0,22$), Ag ($R=-0,07$), Zn ($R=-0,25$) (см. рис.4, табл. 2).

Никель тяготеет к ультраосновным породам кларк для которых 0,2%, а в целом для литосферы $5,8 \times 10^{-3}\%$ (58г/т). В описываемых разрезах содержания никеля колеблются от 1,6 до 80,4г/т. В породах Восточного разреза металл отрицательно коррелируется с Au ($R=-0,27$) отмечается слабая отрицательная зависимость с Co ($R=-0,11$) (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе наблюдаются положительные зависимости с Au ($R=0,32$), Mn ($R=0,6$), V ($R=0,32$), Cr ($R=0,41$), Be ($R=0,5$), Sc ($R=0,75$), Y ($R=0,64$), Yb ($R=0,44$), Ba ($R=0,28$), Ga ($R=0,35$), Mo ($R=0,61$), Cu ($R=0,64$), Ag ($R=0,36$). Отрицательные зависимости проявлены слабо - Pb ($R=-0,24$), Zn ($R=-0,23$) (см. рис.4, табл. 2).

Кобальт имеет кларк для литосферы - $1,8 \times 10^{-3}\%$ (18 г/т). Элемент мигрирует в магмах, горячих и холодных водах. В верхней части земной коры его содержания резко дифференцированы: в песчаниках - 3×10^{-5} ; в глинах - 2×10^{-3} . Наиболее бедны кобальтом песчаные почвы лесных районов. Будучи слабым водным мигрантом, Co легко переходит в осадок, нередко адсорбируется гидроокислами железа, марганца и другими высокодисперсными минералами. В обнажении Кудияровка содержания варьируют от 0,2 до 2,2г/т, в подавляющем большинстве случаев не превышая 0,4 г/т. В Восточном разрезе металл положительно коррелируется с Au ($R=0,91$), Ba ($R=0,62$) и отрицательно с Ag ($R=-0,3$) (см. рис.3, табл. 1). Зависимости с содержанием остальных элементов малозначимы. В Западном разрезе положительные связи кобальта с золотом ($R=0,62$) сохраняются, хотя и ослабевают, а с барием корреляция становится отрицательной ($R=-0,32$). Также проявляются значимые положительные и отрицательные связи с Mn ($R=0,38$), V ($R=-0,32$), Cr ($R=-0,52$), Yb ($R=-0,75$), Mo ($R=-0,42$), Ag ($R=-0,54$), Zn ($R=-0,35$) (см. рис.4, табл. 2).

В целом в распределении сидерофильных элементов наблюдается приуроченность резких перепадов содержаний к неизменным псаммитам Восточного разреза, где максимумы связаны с горизонтом ожелезненных песков, залегающих непосредственно под плитой песчаника. Для Западного разреза характерно более равномерное распределение концентраций элементов, без существенных вариаций от пробы к пробе.

Халькофильные элементы (Cu, Pb, Zn, Mo)

Медь наиболее важный элемент из халькофильных. Кларк ее $4,7 \times 10^{-2}\%$ (47г/т). В описываемом обнажении концентрации меди варьируют от 2,9 до 24,8г/т. В Восточном разрезе медь отрицательно связана с золотом ($R=-0,35$), с остальными элементами наблюдается устойчивая положительная связь. Исключение составляет кобальт, в случае

которого встречается малозначимая отрицательная корреляция (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе медь положительно коррелирует с Au (R=0,33), Mn (R=0,43), Ti (R=0,54), V (R=0,61), Cr (R=0,57), Be (R=0,67), Sc (R=0,69), Y (R=0,34), Yb (R=0,46), Ga (R=0,68), Ni (R=0,64), Mo (R=0,93). С остальными элементами выявлены малозначимые положительные и отрицательные связи (см. рис.4, табл. 2).

Свинец в земной коре содержится в количестве $1,6 \times 10^{-3}\%$ (16г/т). В данном случае содержания металла изменяются от 17 до 70,1г/т. В Восточном разрезе концентрации свинца с большинством элементов положительны, исключение составляют Au и Co с которыми отмечаются малозначимые отрицательные зависимости (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе положительная корреляция сохраняется с Be (R=0,4), Ga (R=0,37), появляется положительная зависимость с Au (R=0,45). Значимые отрицательные связи отмечены с Yb (R=-0,4), Ag (R=-0,65). С остальными элементами значимых зависимостей нет (см. рис.4, табл. 2).

Цинк имеет кларковые содержания в литосфере $8,3 \times 10^{-3}\%$ (83г/т). В исследованных разрезах концентрации металла достигают 144,2г/т, но в большинстве случаев они составляют около 75,1г/т. В Восточном разрезе цинк, как и свинец, отрицательно коррелируется с Au (R=-0,32) и Co (R=-0,14); отличие лишь в том, что зависимость с кобальтом малозначима (см. рис.3, табл. 1). С остальными элементами корреляция положительная. В Западном разрезе цинк сохраняет положительную значимую корреляцию только с Cr. Отрицательные зависимости проявлены с Au (R=-0,55), Mn (R=-0,91), Y (R=-0,47), Ga (R=-0,45), Co (R=-0,35) (см. рис.4, табл. 2).

Молибден в земной коре довольно редок. Его кларк $1,1 \times 10^{-4}$ (1,1г/т). В описываемых разрезах содержания молибдена колеблются от 0,3 до 1,3 г/т. В Восточном разрезе отрицательная значимая зависимость отмечается лишь с Au (R=-0,37) и малозначимая с Co (R=-0,22), практически отсутствуют связи с Ba (R=0,04) (см. рис.3, табл. 1). С остальными элементами отмечаются значимые положительные отношения. В Западном разрезе становятся малозначимыми связи Au, Mn, Zr, Pb, Zn. Сохраняется, но становится значимой отрицательная корреляция с кобальтом (R=-0,42). Значимые положительные зависимости отмечаются с Ti (R=0,51), V (R=0,48), Cr (R=0,68), Be (R=0,76), Sc (R=0,76), Y (R=0,3), Yb (R=0,61), Ba (R=0,45), Ga (R=0,55), Ni (R=0,61), Cu (R=0,93), Ag (R=0,33) (см. рис.4, табл. 2).

Распределение халькофильных элементов в Восточном разрезе сходно с поведением сидерофильных, т.е. отрицательные или малозначимые корреляционные связи с Au и Co, а максимальные содержания приурочены к ожелезненным пескам под плитой песчанников. В Западном разрезе значимая положительная корреляция сохраняется только между Cu и Mo.

Редкие, рассеянные и редкоземельные элементы (Zr, Y, Yb Sc, Be, Ga).

Цирконий имеет кларковые содержания $1,7 \times 10^{-2}\%$ (170г/т), в глинах, песчаниках, гранитах – $2 \times 10^{-2}\%$ (200г/т), а в щелочных $5 \times 10^{-2}\%$ (500г/т). В описываемых разрезах содержания металла колеблются от 2,3 до 432,9 г/т. Наиболее богаты цирконием пробы из Восточного разреза (6317 и 6330), однако в западном разрезе элемент распределен более равномерно. В Восточном разрезе Zr не коррелируется с Co (R=0,15) и имеет отрицательную зависимость с Au (см. рис.3, табл. 1), но коэффициент корреляции составляет всего -0,02. Картина заметно меняется в Западном разрезе, где Zr положительно коррелируется лишь с Ti (R=0,54), Be (R=0,39), Y (R=0,65), Yb (R=0,50), помимо этого положительные в восточном разрезе зависимости с содержаниями Mn, V, Cr, Ba, Co, Cu, Pb становятся отрицательными (см. рис.4, табл. 2).

Иттрий - рассеянный редкоземельный элемент, кларк которого, тем не менее, сравнительно высок. Он составляет $29 \times 10^{-4}\%$ (29г/т). В опробованных разрезах его содержания - 0,4-3,8г/т. В Восточном разрезе иттрий проявляет слабую отрицательную зависимость с Au и Co, с остальными элементами отмечается значимая положительная корреляция (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе Y сохраняет положительные зависимости с Mn (R=0,7), Ti (R=0,56), Zr (R=0,65), Be (R=0,41), Sc (R=0,3), Yb (R=0,59), Ni (R=0,64), Mo (R=0,3), Cu (R=0,34), Ag (R=0,27), отрицательной становится корреляция с Zn (R=-0,47) (см. рис.4, табл. 2).

Иттербий - редкоземельный элемент, близкий к иттрию по химическим свойствам, но кларк его почти на порядок ниже - $3,3 \times 10^{-4}\%$ (3,3г/т). В обнажении Кудияровка его содержания варьируют от 0,19 до 0,7г/т. В Восточном разрезе поведение иттербия полностью дублирует иттрий (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе, породы которого претерпели значительные гипергенные изменения, он ведет себя более самостоятельно. Там проявляется значимая корреляция с Au (R=-0,46), Co (R=-0,75), Pb (R=-0,40), V (R=0,48), Cr (R=0,65), Ba (R=0,29), в то же время отсутствуют связи с Mn, Ga, Zn, для которых характерна корреляция с иттрием (см. рис.4, табл. 2).

Скандий имеет кларк $2,2 \times 10^{-3}\%$ (22г/т). В нашем случае Sc в песчаных породах Кудияровки 1,2-3,2г/т; несколько более обогащен им Западный разрез. В Восточном обнажении скандий положительно коррелируется с большинством элементов, за исключением Au (R=-0,06), Co (R=0,11) (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе он сохраняет положительные связи с Ti (R=0,47), Cr (R=0,51), Be (R=0,46), Y (R=0,3), Yb (R=0,59), Ni (R=0,75), Mo (R=0,76), Cu (R=0,69), Ag (R=0,31). С остальными элементами связи малозначительны (см. рис.4, табл. 2).

Бериллий - редкий элемент, содержание, которого в земной коре составляет $6 \times 10^{-4}\%$ (6г/т). В изучаемом обнажении Be 0,08-0,18г/т. В Восточном разрезе поведение элемента повторяет поведение скандия (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе отмечается положительная корреляция с Au (R=0,27), Ti (R=0,52), Cr (R=0,39), Zr (R=0,44), Sc (R=0,46), Y (R=0,41), Yb (R=0,31), Ba (R=0,39), Ga (R=0,74), Ni (R=0,5), Mo (R=0,76), Cu (R=0,67), Pb (R=0,4). С остальными элементами связи малозначительны (см. рис.4, табл. 2).

Галлий сравнительно распространен в природе. Его кларк оценивается в $1,5 \times 10^{-3}\%$ (15г/т), что близко кларкам свинца и молибдена. До настоящего времени известен единственный его минерал – галлит (CuGaS_2), в то время как минералов молибдена и свинца несколько десятков. В опробованном обнажении содержания галлия варьируют в интервале 3,7-51,3г/т. В Восточном разрезе элемент проявляет отрицательную корреляцию с золотом (R=-0,34) и практически независим от кобальта (R=-0,18), с прочими элементами корреляция положительна (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе положительные связи галлия сохраняются с Mn (R=0,52), Ti (R=0,54), V (R=0,53), Be (R=0,74), Y (R=0,53), Ba (R=0,54), Ni (R=0,35), Mo (R=0,55), Cu (R=0,68), Pb (R=0,37), проявляется отрицательная связь с Zn (R=-0,45) (см. рис.4, табл. 2).

В целом закономерности распределения редких и рассеянных элементов в Восточном разрезе сходно с поведением описанных ранее, сидерофильных и халькофильных элементов. Для Западного разреза сохраняется отрицательная связь различной значимости с Co. Корреляция с остальными примесями индивидуальна. В целом распределение по разрезу более равномерное в сравнении с Восточным разрезом.

Щелочноземельные элементы (Ba)

Барий имеет частоту встречаемости в земной коре $5 \times 10^{-2}\%$ (500г/т). В описываемых обнажениях содержания элемента понижены, составляя только 20-136,4г/т. В Восточном разрезе металл не коррелируется только с Mo, с остальными элементами корреляция положительная, в т. ч. и с золотом (см. рис.3, табл. 1). В Западном разрезе сохраняется положительная зависимость с V (R=0,65), Cr (R=0,75), Be (R=0,39), Yb (R=0,29), Ga (R=0,54), Ni (R=0,28), Cu (R=0,49), Ag (R=0,50) и появляются положительная корреляция с Mo (R=0,45) и отрицательная с Co (R=-0,32) (см. рис.4, табл. 2).

Распределение бария в Восточном разрезе своеобразно: он положительно коррелируется с Au, но в отличие от Co он сохраняет прямую связь с остальными элементами. В Западном разрезе его поведение сходно с ранее указанными элементами, однако следует отметить, что барий не сопровождается близким ему стронцием.

Проведенные исследования на геохимическом полигоне Кудияровка во-многом подтвер-

ждают сделанные ранее наблюдения над особенностями распределения золота в осадочном чехле Воронежской антеклизы. Это тем более важно, что выполнены они были на весьма специфическом объекте: комплексе обнажений аптских псаммитов, расположенном в пределах консолидированного блока с архейским фундаментом (Олымский срединный массив), в то время как ранние работы касались преимущественно тектонически более активных площадей на субстрате нижнепротерозойских подвижных поясов. Срединные массивы нами считаются менее перспективными на обнаружения значительных скоплений эксгалационно-осадочного ультратонкого золота, что связывалось, с одной стороны, с меньшим разнообразием коренных источников металла в недрах (отсутствие, к примеру, пород золотонной черносланцевой формации), - а с другой, с меньшей плотностью восходящих металлоносных флюидов по причине меньшей вертикальной проницаемости пород архея. Тем не менее, данный эмпирический вывод необходимо было проверить на представительном объекте. Нуждались в уточнении и наблюдавшиеся ранее связи повышенных содержаний УТЗ с интервалами разрезов осадочных толщ, измененных наложенными процессами - ожелезнением, омарганцеванием, каолинитизацией, ярозитизацией и т.д. После настоящих исследований мы вполне можем аргументировать следующие выводы.

1. Ультратонкое золото действительно распространено в отложениях осадочного чехла антеклизы значительно шире, чем это предполагалось, исходя из самых общих соображений (кларки для осадочных пород литосферы), а его распределение в разрезе имеет целый ряд специфических закономерностей.

2. Ультратонкое золото имеет неординарный состав, насыщено часто необычными примесями, бессеребряно. Это находит отражение в необычном геохимическом фоне интервала разреза псаммитов обнажения Восточное с максимальными содержаниями золота ($0,1 \text{ г/м}^3$ по пробе 6316). Здесь рекордная для геохимического полигона концентрация Au сопровождается резко повышенным и тоже рекордным для разреза содержанием Co - $0,22 \times 10^{-3}\%$. Последнее значение на порядок превосходит кларк кобальта для песков и песчаников, оцениваемый в $3 \times 10^{-5}\%$. Одновременно *обогащенные* золотом разрезы *обеднены* серебром, т.е. геохимические связи этих двух элементов в золотинах и вмещающих породах аналогичны.

3. Сопоставление золотонности осадочных толщ в пределах Олымского массива (Кудияровка) и за его пределами (Нижне-Большое, Ольшанец, Апухтино, Набережное и др.) подтверждает тезис о доминирующей роли тектонического фактора в распределении концентраций золота по площади: осадочные толщи над срединными массивами фундамента золотом относительно обеднены.

4. По причине, отмеченной в пункте 3, поиски значимых скоплений УТЗ целесообразно концентрировать за пределами древних ядер в фундаменте региона.

Помимо этих основных выводов, заслуживают упоминания и частные геохимические результаты исследований. Так впервые установлено, что большинство сидерофильных элементов в *неизменных гипергенезом песках Восточного разреза* связаны в различной степени значимыми отрицательными зависимостями с золотом и практически не коррелируются с родственными Co, т.е. поведение их в подобного типа разрезах весьма единообразно. В *Западном разрезе, претерпевшем мощные гипергенные изменения*, геохимические пути этих элементов расходятся, распадаясь на несколько направлений. При этом малоподвижные Cr и V сохраняют отрицательную корреляцию с золотом и кобальтом и положительную с Ni, но теряют связи с распределением Mn и Ti. Mn - единственный сидерофильный элемент, положительно коррелирующийся с Co. В распределении халькофильных элементов наблюдаются те же закономерности, что и для сидерофильных. В Восточном разрезе отри-

цательные или малозначимые связи характерны для Au и Co. С остальными элементами у Au и Co наблюдается постоянная значимая положительная корреляция. Псаммиты Восточного разреза характеризуются наибольшим разбросом значений концентраций элементов, приуроченностью их максимальных содержаний к интервалу, представленному пробой 6330 (ожеженненные пески в основании плиты песчаников). В Западном разрезе элементы ведут себя независимо (не сохраняются связи даже Zn и Pb). Общая положительная корреляция сохраняется только для Cr.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердников М.Д. Граниты "рапакиви" Воронежского кристаллического массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. -1981. -№2. -С. 67-76.
2. Савко А.Д., Шевырев Л.Т., Лоскутов В.В. Эксгалиционно-осадочная металлоносность Воронежской антеклизы - новые горизонты поисков рудных месторождений в осадочном чехле. Статья 2. Новые данные, критерии оценки площадей, прогноз рудоносности, перспективные участки // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. -2000. -№5(10). -С. 26-36.