

## Ультратонкое золото в осадочном чехле Воронежской антеклизы

©2021 А. В. Черешинский<sup>✉</sup>, Л. Т. Шевырев, А. Д. Савко

*Воронежский государственный университет,  
Университетская пл. 1, 394018, Воронеж, Российская федерация*

### Аннотация

**Введение:** Предыдущими исследованиями авторов установлено наличие ультратонкого золота (УТЗ) в осадочном чехле Воронежской антеклизы (ВА). За последние 15 лет при проведении ГДП-200 на территории антеклизы получены новые данные, рассмотренные в статье.

**Методика:** Выделить частицы УТЗ размерностью в первые десятки микрометров удалось на обоганительных установках МКТС и ЦВК-100. Локальный рентгеноспектральный анализ элементного состава (микросонд) проводился с помощью системы OXFORD INS. Часть проб исследовалась с помощью спектрозолотометрии в лабораториях ЦНИГРИ, ВГУ, ИМГРЭ, получена удовлетворительная сходимости между этими двумя методами. Всего проанализировано свыше 600 проб, 170 из них содержали УТЗ. Выделенные золотины изучались микроскопическими методами, а также рентгеноспектральными определениями элементного состава. Количество определений содержаний Au в золотинах составило порядка 300 анализов.

**Результаты исследований:** Выявлены новые местонахождения УТЗ, локализованные на различных стратиграфических уровнях. Повышенное содержание Au обнаружено для верхней части осадочного чехла. Для выявленных местонахождений характерно совместное присутствие УТЗ и интерметаллидов. Максимальные концентрации УТЗ отмечаются в пределах участков с повышенной проницаемостью в зонах тектонических нарушений и на геохимических барьерах, представленных глинистыми и ожелезненными породами и фосфоритами.

**Обсуждение результатов:** Геохимическими особенностями золотин является практически постоянное присутствие металлов платиновой группы (МПГ), серебра, свинца. Характерно высокое количество летучих элементов, из них преобладает ртуть. В интерметаллидах без золота резко преобладают Cu и Zn. В фосфоритах содержание золота неравномерно, в отдельных случаях достигает 0.4 г/т.

**Заключение:** Анализ генетических особенностей УТЗ ВА уверенно позволяет относить его к эксгалационно-осадочному типу, известному также в других регионах России и Мира. Собранные данные по УТЗ, его связь с эндогенными процессами и приуроченность к зонам тектонических нарушений позволили построить прогнозную карту поисков этого металла на территории ВА.

**Ключевые слова:** Воронежская антеклиза, осадочный чехол, ультратонкое золото, золотины, элементы-примеси, интерметаллиды.

**Для цитирования:** Черешинский А. В., Шевырев Л. Т., Савко А. Д. Ультратонкое золото в осадочном чехле Воронежской антеклизы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2021. №1. С. 4–25. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3334>.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Черешинский Алексей Васильевич, e-mail: vsu31022@mail.ru

### Введение

Создавший учение о россыпях, в том числе и золотоносных, академик Н. А. Шило [1] называл тонким или сверхтонким зерна золота класса 0.2–0.05 мм. Золотины меньшего размера, особенно с коэффициентом уплотнения выше 5, отнесены к легко подвижным, с высокой миграционной способностью. Возникал важный вывод: «Все коренные источники, содержащие золото, другие минералы этого класса крупности и уплотненности, не следуют относить к россыпеобразующим» [2].

В породах осадочного чехла Воронежской антеклизы (ВА) размерность золотин составляет первые десятки микрометров при толщине 1–2 мкм [3] и намного меньше класса 0.2–0.05 мм «тонкого и сверхтонкого». Поэтому авторы этой работы назвали золотины ВА «ультратонкими». Данная размерность несет уникальную генетическую нагрузку – местное, а не аллотигенное происхождение рассматриваемого золота.

Эти же авторы по результатам прецизионных анализов отнесли золотины к интерметаллидам. Интерметаллиды представляют собой соединения нескольких металлов между собой. Природные соединения Cu и Zn впервые были обнаружены при изучении лунного грунта, в сростках с троилитом и силикатами [4]. На Земле цинкистая медь выявлена в базитах и пикритовых порфиридах Сибирской платформы [5], в кимберлитах [6] и гранодиоритах [7]. В осадочном чехле интерметаллиды отмечаются в Крыму и сопредельных регионах (Прикерченский шельф, Таманский полуостров и др.) [8], в углях Азейского месторождения [9], в уральских золотоплатиновых речных россыпях [10]. Как показано работе [3], интерметаллиды нередко встречаются в осадочном чехле ВА.

Золото в пределах ВА широко распространено в образованиях кристаллического фундамента, имеется более 80 проявлений и пунктов минерализации Au. В осадочном чехле россыпные проявления до начала исследований НИИ геологии оставались практически не исследованными, особенно в отношении генетической стороны. В 1972 г. при изучении аптской Волчинско-Голожохвинской циркон-ильменитовой россыпи (Липецкая область) группой МКГРЭ во главе с Н. Н. Иконниковым выявлены концентрации золота до 334 мг/м<sup>3</sup>, в том числе извлекаемого 34 мг/м<sup>3</sup>, не извлекаемого – около 300 мг/м<sup>3</sup>. В более поздней публикации этого автора [11] приведена несколько иная цифра, 260 мг/м<sup>3</sup>.

Вклад в изучение золотоносности Волчинско-Голожохвинской Ti-Zr россыпи внесли С. Ф. Черепнев, Р. П. Лексикова, а затем В. Н. Кенарев с соавторами [12]. В 1974 г. С. Ф. Черепнев отобрал из верхней залежи пробу весом 432 кг, в которой пробирно-спектральным и минералогическим анализом обнаружили золота 22–100 мг/м<sup>3</sup>, в среднем, 60 мг/м<sup>3</sup>. В. Н. Кенарев с соавторами [12] существенно увеличил объемы опробования. В Центральную лабораторию ГУЦР ими были направлены 156 проб из обнажений и 68 проб из керн. В результате выявлено крайне неравномерное распределение золота по разрезу аптских песков, с тя-

готением повышенных концентраций к обеим (верхней и нижней) продуктивным залежам. В верхней – золота обычно 10–100 мг/м<sup>3</sup>, нижней – 10–80 мг/м<sup>3</sup>, в безрудной пачке – >16 мг/м<sup>3</sup>, повсеместно отмечались интервалы, не содержащие Au.

В 70-х годах XX века Придонская экспедиция проводила работы по изучению базальных горизонтов палеогена юга Воронежской области (Русская Журавка). Все золотины Русской Журавки Е. М. Митиной, И. А. Матвеевой, А. И. Пухониным и др. [13] были отнесены к трем размерным классам: 1–50 мкм, 50–100 мкм, 100–700 мкм. Только 7–12% Au размерностью 30–60 мкм находилось в свободной форме, остальное – связано, удерживается глинистым веществом и глауконитом. Золото характеризуется разнообразием морфологических форм – пластинчатое, комковидное, проволочковидное, монокристаллическое и дендритовидное. Максимальное значение Au составило 2.72 г/т, геологические ресурсы были оценены в 3 т при бортовом содержании 10 мг/т.

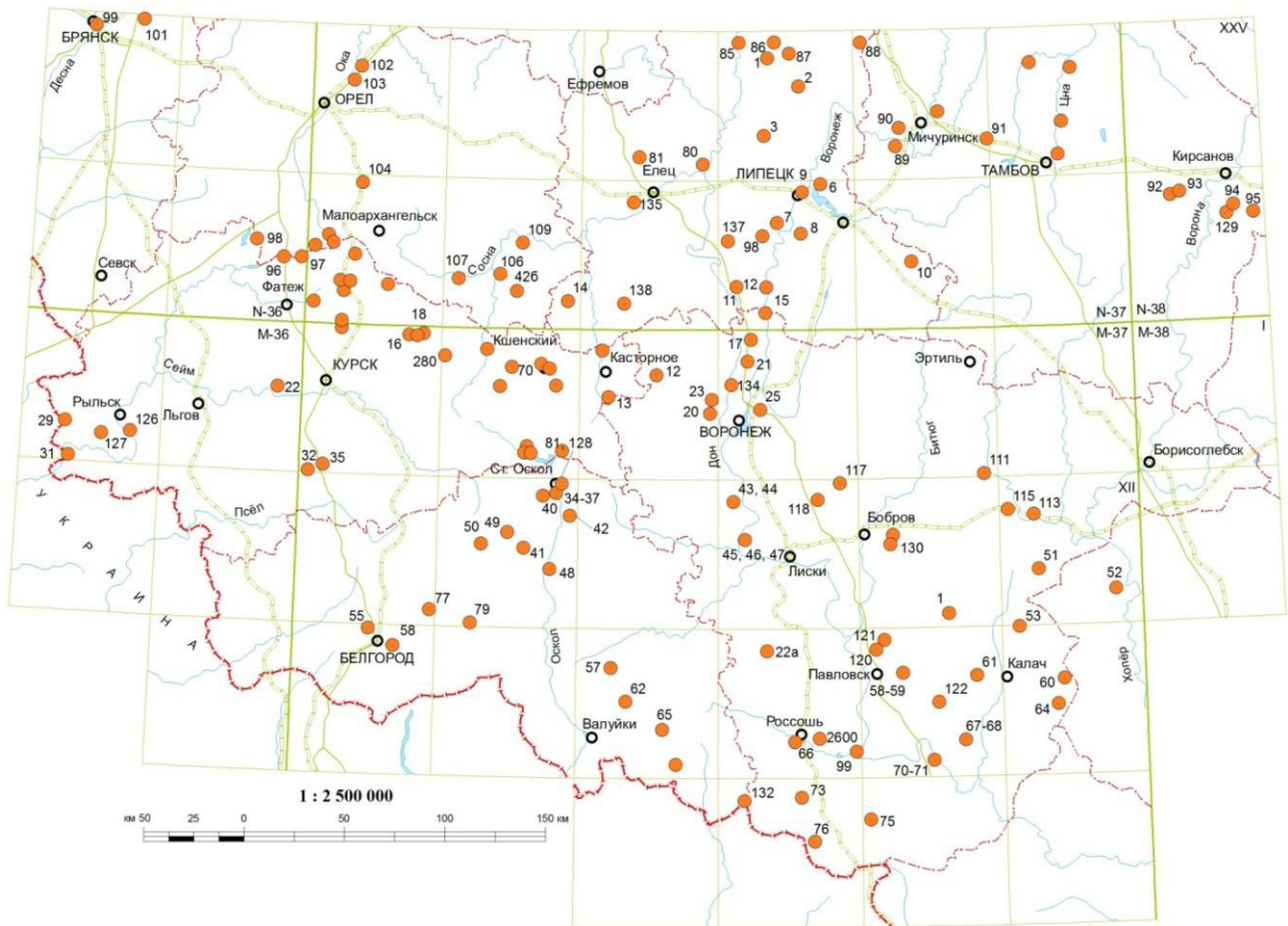
По своему генезису данная россыпь считалась кластогенной, а источником Au – породы кристаллического фундамента. При этом не учитывалось то, что в позднем палеоцене, когда происходило накопление золотоносных отложений, фундамент на юго-востоке ВА был перекрыт. Более древние осадочные отложения девонского и сеноманского возраста (с. Осетровка) золота практически не содержат. Значительное количество золотин в местонахождении Русская Журавка не окатано.

Работы по изучению золотоносности осадочных образований ВА были возобновлены в 1993 г. Воронежским госуниверситетом (ВГУ), в рамках исследований по изучению базальных горизонтов и работ по ГДП-200. Результаты исследований ультратонкого золота (УТЗ) публиковались в мере их получения [14–18]. В настоящей статье приводится комплексный обзор проблемы УТЗ на территории ВА с использованием полученных за последнее время новых данных.

### Фактический материал и методы исследований

В течение многолетних исследований УТЗ ВА, в разные годы было отобрано около 600 проб объемом 0.01–0.02 м<sup>3</sup>. УТЗ было встречено в 106 разрезах (рис 1) в количестве от «единичных знаков» до 3.8 г/м<sup>3</sup> (табл. 1). Выделение УТЗ проводилось с помощью обогащательных установок ЦВК-100 и МКТС. Установка ЦВК-100 позволяет выделять фракции золота +50 мкм, а МКТС – +10–20 мкм. Часть проб исследовалась с помощью спектрозолотометрии в лабораториях ЦНИГРИ, ВГУ, ИМГРЭ. Получена удовлетворительная сходимость между этими двумя методами.

Опробование проводилось в естественных обнажениях и карьерах, гораздо реже исследовался керн скважин. Были изучены четвертичные, неогеновые, палеогеновые и меловые (преимущественно нижний отдел) породы. Более древние девонские и юрские образования изучались в нескольких крупных карьерах (Павловский и карьеры КМА).



**Рис. 1.** Местонахождения ультраотонкого золота в осадочных образованиях ВА.  
**[Fig. 1.** Locations of ultrafine gold in the sedimentary formations of VA.]

**Табл. 1.** Распределение наиболее значимых проявлений УТЗ по стратиграфическим подразделениям  
**[Table 1.** The distribution of the most significant manifestations of UFG for stratigraphic units]

№ п.п. [№ in order]	Возраст отложений [The age of the deposits]	Обнажения [Outcrop]		Пробы [Samples]		Содержания Au в пробах, мг/м <sup>3</sup> [The content of Au in the samples, mg/m <sup>3</sup> ]				
		Всего [Total]	С пов. сод. Au [With a hi. con. of Au]	Всего [Total]	С пов. сод. Au [With a hi. con. of Au]	7–10	10–79	80–199	200–1000	>1000
1	Q	73	57	244	134	51	62	17	1	2
2	N	16	12	74	19	6	10	3	—	1
3	P	41	31	86	41	18	7	4	8	4
4	K	41	34	195	49	29	26	2	2	—
4.1.	K <sub>2t-st</sub>	3	3	11	2	3	3	—	—	—
4.2.	K <sub>2s</sub>	8	9	33	15	7	7	—	1	—
4.3.	K <sub>1al</sub>	2	6	7	7	4	2	1	—	—
4.4.	K <sub>1a</sub>	20	14	94	23	10	12	—	1	—
4.5.	K <sub>1g-br</sub>	2	3	6	1	—	—	1	—	—
5	J	3	3	21	6	5	1	—	—	—
6	D	3	1	25	1	—	1	—	—	—
Итого [Total]		171	137	581	253	104	105	26	13	7

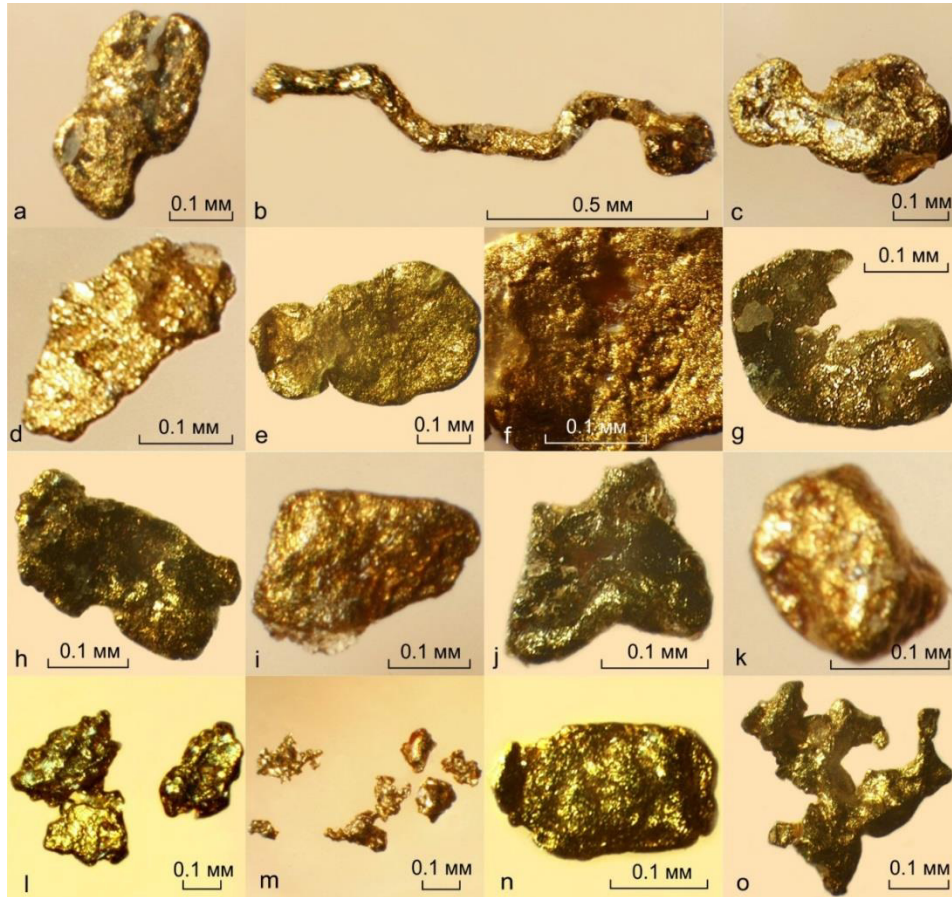
Выделенные золотины изучались традиционными микроскопическими методами, а также рентгеноспектральными определениями элементного состава. Локальность его определения 2–5 мкм. Анализы выполнялись на микрозондах «Hitachi» в лабораториях МИТХТ и МГУ, а также ВГУ, где они проводились с

помощью системы OXFORD INS. Количество определений содержания Au в золотинах составило порядка 300 анализов. Вместе с тем при построении диаграмм распределений Au и их примесей в золотинах использовались данные одной лаборатории.

**Результаты исследований**

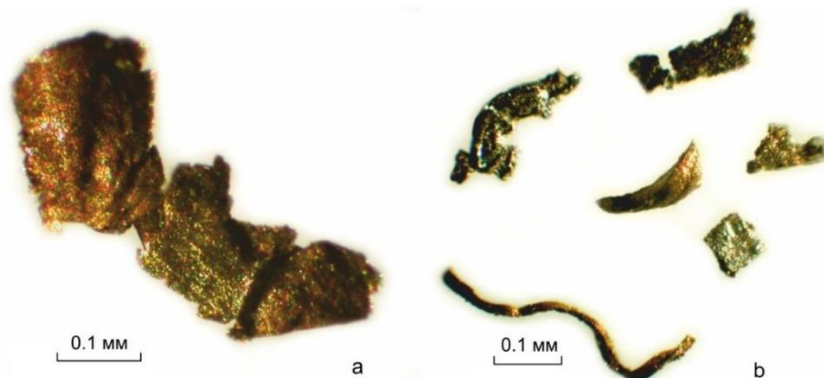
В настоящем разделе излагаются результаты изучения УТЗ преимущественно в процессе проведения геолого-съёмочных работ (ГДП-200). Исследование золотин под микроскопом показало, что они представляют

собой тонкие, преимущественно неокатанные частицы разнообразной формы, их преобладающая размерность десятки микрометров, до 100–1000 мкм (рис. 2, 3). Она близка для пород всех подразделений осадочного чехла и мало изменяется по разрезу и площади (табл. 2).



**Рис. 2.** Морфологический облик золотин из осадочного чехла Воронежской антеклизы: *a* – проба 524, P<sub>2</sub>kv, с. Сергеевка; *b-c* – проба 1000, P<sub>3</sub>kt, х. Данильский; *d* – проба 511, P<sub>2</sub>kv, с. Репное; *e-f* – проба 303, P<sub>1</sub>sm, с. Н. Бык; *g-h* – проба 601, N<sub>1</sub>gr, с. Кузьминские отвершки; *i-j* – проба 522, P<sub>2</sub>kv, с. Сергеевка; *k* – P<sub>1</sub>sm, с. Русская Журавка; *l* – проба 301, P<sub>1</sub>sm, х. Данильский; *m* – проба 608, а I il, Липецкое городище; *n* – проба 116, а<sup>1</sup>III, Чертовичский карьер г. Воронежа; *o* – проба 132, K<sub>1</sub>al, с. Урыв.

[**Fig. 2.** Morphological appearance of gold deposits from the sedimentary cover of the Voronezh anteclise: *a* – sample 524, P<sub>2</sub>kv, Sergeevka village; *b-c* – sample 1000, P<sub>3</sub>kt, Danilsky village; *d* – sample 511, P<sub>2</sub>kv, Repnoye village; *e-f* – sample 303, P<sub>1</sub>sm, Byk village; *g-h* – sample 601, N<sub>1</sub>gr, Kuzminskie otvershki village; *i-j* – sample 522, P<sub>2</sub>kv, Sergeevka village; *k* – P<sub>1</sub>sm, Russian Zhuravka village; *l* – sample 301, P<sub>1</sub>sm, Danilsky village; *m* – sample 608, а I il, Lipetsk settlement; *n* – sample 116, а<sup>1</sup>III, Chertovitsky quarry, Voronezh; *o* – sample 132, K<sub>1</sub>al, Uryv village.]



**Рис. 3.** Золото и интерметаллиды местонахождения «Баранчик» (Липецкая область): *a* – золото, *b* – интерметаллиды.  
[**Fig. 3.** Gold and intermetallics of the location "Baranchik" (Lipetsk region): *a* – gold, *b* – intermetallics.]

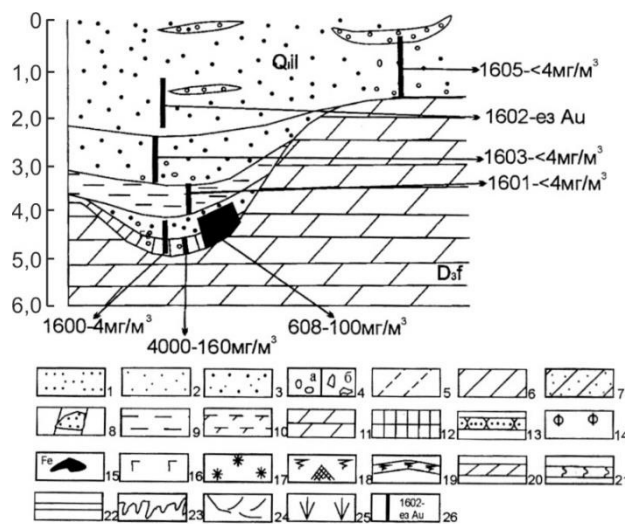
**Табл. 2.** Размерность зерен ультратонкого золота в разновозрастных толщах Воронежской антеклизы. Замеры выполнены В. В. Ильашом  
 [Table 2. The dimension of ultrafine gold grains in different-age strata of the Voronezh anteclise. Measurements were made by V. V. Ilyash]

№ п.п. [№ in order]	№№ проб [№ of samples]	Возраст отложений [The age of the deposits]	Россыпное проявление [Placer manifestation]	Пластины, в мм [Plates, in mm]	Зерна, в мм [Grains, in mm]
1	314	a IV	х. Круглый	0.15x0.07	–
2	117	a III	Тамбов. к-р, г. Воронеж	0.18x0.01	–
3	126	a II	Кривоборье	0.14x0.07	–
4	125	a II	Кривоборье	–	0.18x0.09
5	103	f I ds	г. Семилуки	–	0.15x0.08
6	129	f I ds	Стрелица.Бл.	–	0.3x0.1
7	136	f I ds	Урыв	0.1x0.04	–
8	127	f I ds	Кривоборье	–	0.3x0.1
9	134	a I pk	Урыв	0.38x0.14	–
10	116	a I	Чертовицкий к-р, Воронеж	0.19x0.1	–
11	135	a I pk	Урыв	0.11x0.05	–
12	137	N <sub>1</sub>	Болдыревка	0.27x0.09	–
13	130	N <sub>1</sub>	Стрелица Бл.	0.30x0.09	–
14	302	P <sub>3</sub> kt	х. Данильский	0.2x0.1	–
15	303	P <sub>1</sub> sm	Нижний Бык	–	0.36x0.18
16	306	P <sub>1</sub> sm	Ержовка	–	0.12x0.1
17	305	P <sub>1</sub> sm	Ержовка	0.19x0.08	–
18	308	P <sub>1</sub> sm	Балтиновский	–	0.03x0.1
19	307	P <sub>1</sub> sm	Пыховка	–	0.2x0.2
20	301	P <sub>1</sub> sm	Данильский	0.18x0.17	–
21	309	P <sub>1</sub> sm	Манино	–	0.2x0.1
22	312	P <sub>1</sub> sm	Советское	–	0.32x0.1
23	310	P <sub>1</sub> sm	Манино	–	0.05x0.05
24	138	K <sub>2</sub> s	Болдыревка	0.11x0.05	–
25	132	K <sub>1</sub> al	Урыв	–	0.43x0.18
26	115	K <sub>1</sub> a	Терновка	0.14x0.13	–

**Золото базальных горизонтов.** В Воронежской области кроме перспективной россыпи Русской Журавки предполагается россыпь у с. Нижний Мамон (а<sup>2</sup>III), которая имеет протяженность до 1 км. Зерна УТЗ также выделены из аллювия верхнего плейстоцена Тамбовского карьера (СЗ Воронежа) и песков палеогенового возраста (Росошанский и Каменский районы Воронежской области). Содержания Au в данных местонахождениях составляет от 200 до 800 мг/м<sup>3</sup>.

В Липецкой области находки Au сделаны в песчаных образованиях апта, альба, неогена и антропогена (рис. 4). Максимальные содержания золота характерны для участка «Нижнее-Большое», размерность золотин разнообразна, они представлены пластинами с неровными, зазубренными краями, проволочковидными образованиями, встречаются зерна неправильной формы, признаков окатанности не наблюдается.

В Курской области, в результате работ по ГДП-200, интерметаллиды выявлены в скважине № 12 и т.н. 42 (площадь листа М-37-III). В скв. 12 интерметаллиды получены из неогеновых отложений (нижнеусманская подсерия), выделено 9 знаков, имеющих средний размер 0.1–0.6 мм, максимальный – 1.4 мм. Для интерметаллидов характерен латунно-желтый цвет, проволочковидная, оскольчато-проволочная и оскольчатая форма (рис. 5). В т.н. 42 опробованы песчаные образо-



**Рис. 4.** Разрез местонахождения УТЗ «Липецкое городище»: 1 – алевриты, пески; 2 – тонко-, 3 – разноразмерные, 4 – галька (а), щебень (б), 5 – супеси, суглинки: 6 – покровные, 7 – моренные, 8 – линзы песков в суглинках, 9 – глины, 10 – опоки, 11 – известняки, 12 – мел писчий, 13 – песчаники, 14 – фосфориты, 15 – пропластки железных руд, 16 – глауконит, 17 – ожелезнение, почвы: 18 – современные, 19 – ископаемые, 20 – косая слоистость, 21 – корни водных растений, 22 – горизонтальная слоистость, 23 – карманообразные контакты, 24 – осыпи, 25 – современная растительность, 26 – бороздовая проба, её номер, содержание УТЗ.



[Fig. 4. Section of the location of the UFG "Lipetsk settlement": 1 – siltstones, sands: 2 – fine-, 3 – mixed grained, 4 – pebbles (a), crushed stone (b), 5 – sandy loams, loams: 6 – cover, 7 – moraine, 8 – lenses of sand in loams, 9 – clays, 10 – flasks, 11 – limestones, 12 – writing chalk, 13 – sandstones, 14 – phosphorites, 15 – iron

ore layers, 16 – glauconite, 17 – ozheleznenie, soils: 18 – modern, 19 – fossils, 20 – oblique stratification, 21 – roots of aquatic plants, 22 – horizontal stratification, 23 – karma – like contacts, 24 – scree, 25 – modern vegetation, 26-furrow sample, its number, content of UFG.]

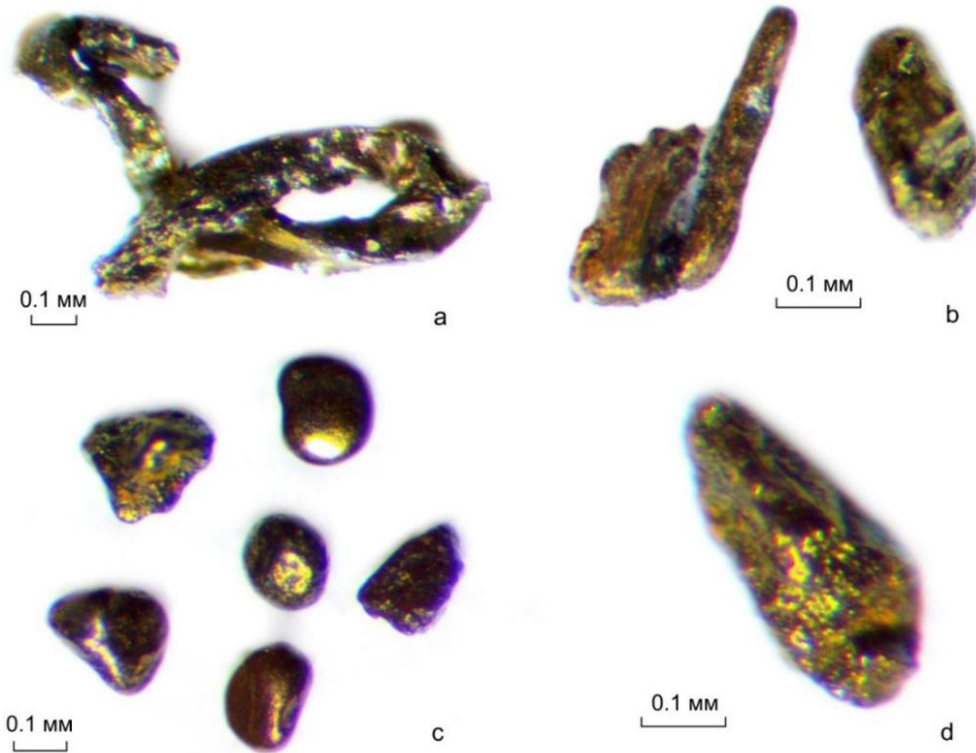


Рис. 5. Морфологический облик интерметаллидов: *a, b* – из скважины № 12, *c, d* – из точки наблюдения № 42.  
[Fig. 5. Morphological appearance of intermetallics: *a, b* – from well No. 12, *c, d* – from observation point No. 42.]

вания  $K_{1a}$ , выделено 23 зерна интерметаллидов, размером 0.2–0.8 мм (см. рис. 5) преимущественно оскольчатой формы, некоторые зерна сильно окатаны. Для них характерен латунно-желтый и желтовато-бурый цвет, на поверхности многих зерен отмечается железистая рубашка.

В районе Тим-Ягребовской структуры кристаллического фундамента (Советский район), вскрыты песчано-глинистые образования базальной части осадочного чехла с содержаниями 0.5 г/т Au (скв. 4135). В западном борту Михайловского железорудного месторождения опробованы пиритизированные известняки верхнего девона, они содержат до 0.4 г/т золота. В восточном борту карьера Au обнаружено в юрских грубозернистых песках ( $J_2bt$ ), среднее содержание 0.3 г/м<sup>3</sup>. Золотины преимущественно имеют размерность >0.25 мм, в меньшей степени 0.05–0.1 мм.

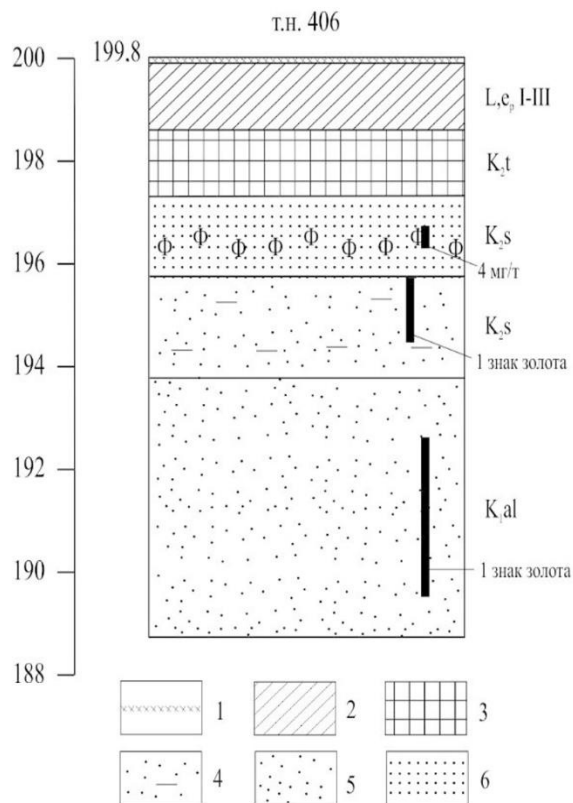
В карьере «Глебово» (Фатежский район) из разнозернистых альбских образований выделено 5 знаков общим весом 0.003 г. Из них четыре имеют размер до 1.2 мм, представлены пластинами с неровной и бугристой поверхностью, одно зерно губчатое, меньшего размера – 0.25 мм. На поверхности золотинок отмечается железистая рубашка.

В ходе работ по созданию Госгеолкарты-200/2 на

территории листа М-37-1 (Курск) золото было выделено из образований альба и сеномана в 4 разрезах, всего 6 знаков Au. Золотины имеют пластинчатую и чешуйчатую форму, мелкие (менее 0.2 мм), с неровной мелкобугорчатой поверхностью. Наибольший интерес представляет т.н. 406 (рис. 6), где Au обнаружено в песках альба и сеномана, а также (по данным спектрозолотометрии) в фосфоритах.

В Орловской области в песчано-алевритовых породах (апт, с. Евланово) содержание Au достигает 0.8 г/м<sup>3</sup>. В Тамбовской области в песчаных образованиях сеномана (Центральное месторождение) концентрации золота достигают 0.2–0.3 г/т. В Белгородской области золото связано с отложениями готерив-барремского, аптского и киевского возраста. Максимальные содержания до 3.8 г/м<sup>3</sup> характерны для охр палеогена ( $P_2kv$ ) местонахождения «Сергеевка» (рис. 7).

При проведении работ по ГДП-200 на площади листа N-37-XXIX (Мичуринск) анализу на Au были подвергнуты пробы донных осадков, положительные результаты получены в одной пробе (6 мг/т). На территории листа N-37-XXX (Тамбов) выявленные содержания металла в донных пробах (пески и супеси антропогена) достигает 50–80 мг/т. Также повышенные содержания Au выявлены шликерным опробованием (до 20–30 мг/т).



**Рис. 6.** Разрез точки наблюдения 406, со схемой опробования на золото: 1 – почвенно-растительный слой, 2 – суглинок, 3 – мел, 4 – песок глинистый, 5 – песок разномерный, 6 – песчаник.

**[Fig. 6.** The section of the observation point 406, with the scheme of testing for gold: 1 – soil and vegetation layer, 2 – loam, 3 – chalk, 4 – clay sand, 5 – sand of various grains, 6 – sandstone.]



**Рис. 7.** Золотины из местонахождения, с. Сергеевка. Охры желтые P<sub>2</sub>kv. Проба 522. Размер золотин 25–150 мкм.  
**[Fig. 7.** Gold particles of location, Sergeevka village. Ochre yellow P<sub>2</sub>kv. A sample of 522. The size of the gold pieces is 25–150 microns.]

**Ультратонкое золото в фосфоритах.** При проведении поисковых и геолого-съемочных работ в Курской области, где ранее разведан ряд месторождений желваковых фосфоритов (K<sub>2</sub>s), в последних было обнаружено УТЗ.

В 2008 г. проводились работы по изучению золотосодержащих фосфоритов Уколовского месторождения [19]. Были изучены пробы весом от 170 до 1300 кг. В трех пробах (ТП-1, ТП-2, ТП-3) по данным пробирного анализа было установлено наличие золота. Содержание Au колеблется от 0.1–0.4 г/т в фосфоритах, до 1.1–1.3 г/т в продуктах обогащения (табл. 3).

**Табл. 3.** Содержание золота в продуктах обогащения руды Уколовского месторождения, по [19]  
**[Table 3.** The gold content in the ore dressing products of the Ukolovsky deposit, [19]]

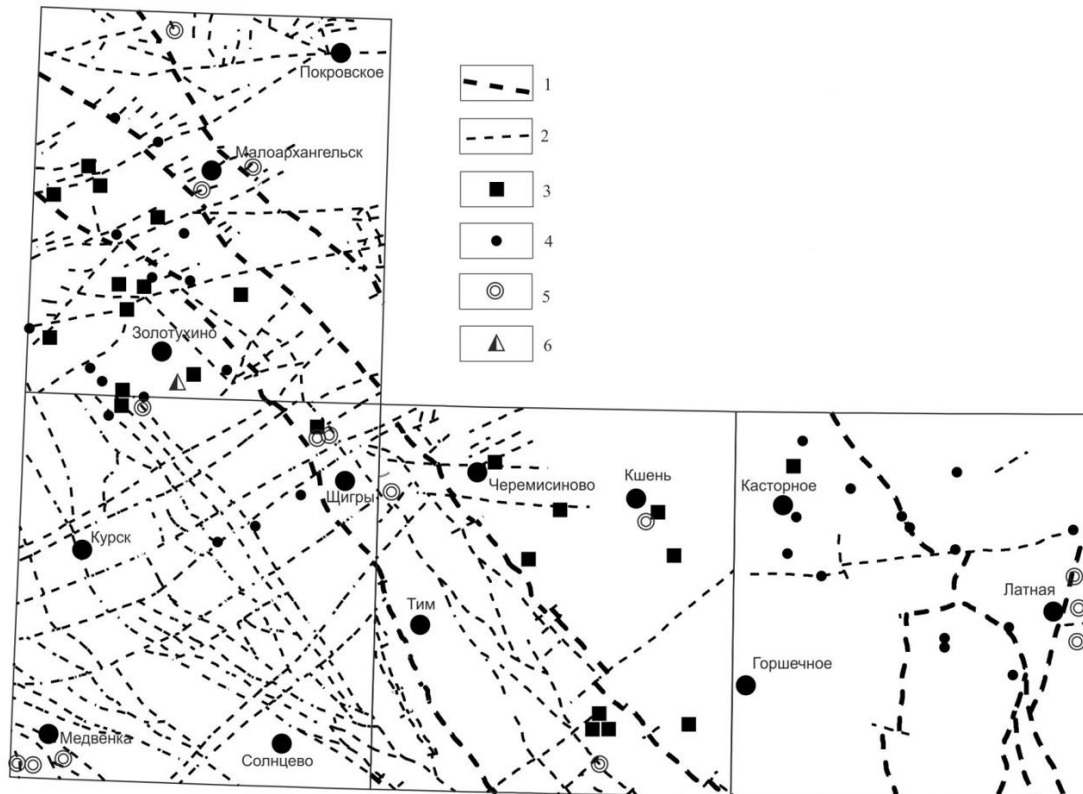
Наименование продуктов [The name of the product]	Пробы, содержания Au г/т [Samples, Au content g/t]		
	ТП-1 [TP-1]	ТП-2 [TP-2]	ТП-3 [TP-3]
Желваки класса –2.0–1.0 мм [The nodules of the class –2.0–1.0 mm]	0.2	0.1	0.2
Желваки класса –1.0–0 мм [The nodules of the class –1.0–0 mm]	0.4	0.1	0.1
Концентрат центробежной сепарации [Centrifugal Separation Concentrate]	0.8	1.1	н/а
Хвосты центробежной сепарации [Centrifugal separation tails]	0.3	0.3	0.1
Магнитная фракция (глауконит) [The magnetic fraction (glauconite)]	0.5	0.6	1.3
Хвосты сухой магнитной сепарации [Dry Magnetic separation tails]	0.1	0.3	0.1

Распределение Au по размерным классам было изучено по двум технологическим пробам (БТП-12 и БТП-100). Установлено, что содержание золота практически не зависит от размерности желваков (табл. 4). Содержание Au составило 0.2–0.4 г/т.

В 2000 г. было исследовано 97 керновых проб, отобранных по Уколовскому месторождению [19]. Содержание Au в них колеблется от предела обнаружения до 0.1–0.4 г/т. Установлено повышенное содержания серебра в желваках фосфоритов (скважина 2487) – до 126 г/т.

**Табл. 4.** Содержание золота в желваках фосфоритов Уколовского месторождения, по [19]  
 [Table 4. The gold content in the nodules of phosphate of the Ukolovskoye deposit, [19]]

№ п.п. [№ in order]	Желваки фосфоритов, мм [Phosphorite nodules, mm]	Проба БТП-12 [BTP-12 sample]			Проба БТП-100 [BTP-100 sample]		
		Выход, % [Extraction, %]	Распределение, % [Distribution, %]	Au, г/т [Au, g/t]	Выход, % [Extraction, %]	Распределение, % [Distribution, %]	Au, г/т [Au, g/t]
1	-70.0 +20.0	26.4	71.5	0.2	–	–	–
2	-20.0 +8.0	8.6	23.2	0.2	7.5	81.0	0.4
3	-8.0 +3.0	–	–	–	3.5	19.0	0.2
4	-3.0 +2.0	2.0	5.3	0.2	–	–	–



**Рис. 8.** Местонахождения золота в фосфоритах: 1 – главные разломы, 2 – второстепенные разломы, 3 – золото в фосфоритах, 4 – незолотоносные фосфориты, 5 – находки золота в терригенных породах, 6 – Уколовское месторождение фосфоритов.  
 [Fig. 8. The location of the gold in the phosphorites: 1 – major faults, 2 – minor faults, 3 – gold in phosphorites, 4 – non-gold-bearing phosphorites, 5 – gold finds in terrigenous rocks, 6 – Ukolovskoye phosphorite deposit.]

За пределами месторождений (лист М-37-І) было изучено 11 проб по фосфоритам  $K_2S$  (рис. 8). Оно установлено только в трех пробах и составило 4 мг/т. На северо-востоке Курской области (лист М-37-ІІ) было проанализировано 12 проб. Au характерно для всех проб, но его содержание крайне низкое, 2–3 мг/т. В пределах листа М-37-ІІІ (Касторное) исследовано 25 образцов (фосфориты и пески  $K_2S$ ), Au установлено в двух пробах (6 и 2 мг/т), приуроченных к одному разрезу.

В процессе проведения работ по созданию Госгеолкарты-200/2 в Тамбовской области (лист N-37-XXXI) изучено 24 пробы из фосфоритов. Золото обнаружено в 11 пробах, однако его содержание низкое – 2 мг/т.

Из фосфатоносных песчаных образований сеномана Курской области выделены знаки золота, разме-

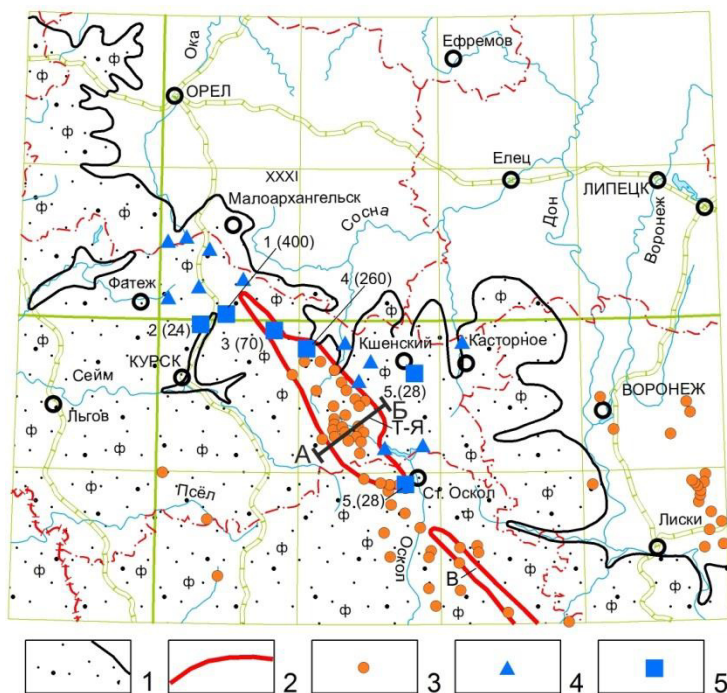
ром 25–75 мкм (табл. 5). Максимальные содержания Au приурочены к местонахождению у с. Полевого, где выделено 121 золотина, содержание полезного компонента составляет 260 мг/м<sup>3</sup>.

Как видно из рис. 9 и 10 максимальные содержания Au в фосфоритах наблюдаются над полями распространения в фундаменте золотоносных углеродистых фосфоритовых тел тимской свиты PR<sub>1</sub>tm. Содержание фосфатного вещества увеличивается по направлению к центру андезитового вулканизма на севере Тим-Ястребовской структуры. В том же районе у с. Чернянка находится единственный в регионе массив апатит-магнетитовых карбонатитов (Дубровинский). Таким образом, на сеноманской акватории существовали мощные местные эндогенные источники фосфатного вещества, никак не связанные с континентальным сносом.



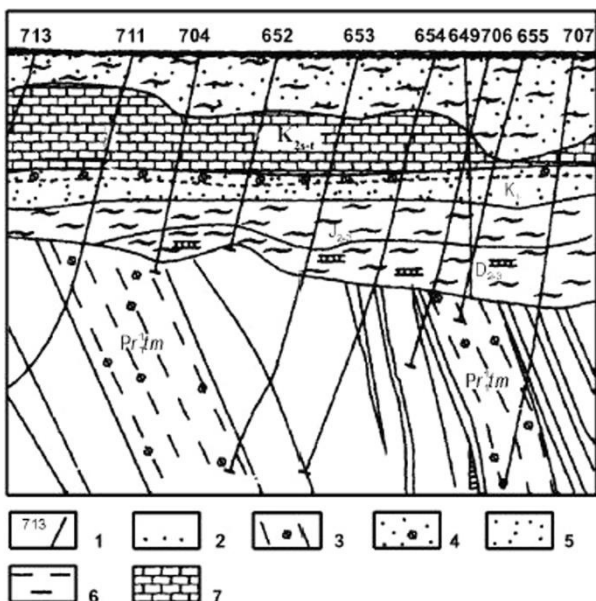
**Табл. 5.** Золотоносность сеноманских фосфоритов Курской области  
**[Table 5.** Gold content of Cenomanian phosphorites of the Kursk region]

№ п.п. [№ in order]	Опробованные разрезы [Tested sections]	Петрографический состав [Petrographic composition]	Мощность, м [Power, m]	Au мг/м <sup>3</sup> [Au mg/m <sup>3</sup> ]
1	п. Свобода, фосслой 2	Фосфоритный галечник с глауконитовым песком	0.3	24
2	п. Свобода, фосслой 1	Пески глауконитовые с фосфоритовой галькой	0.2	8
3	Кривцовка, фосслой 2	Фосфоритовый галечник	0.35	40
4	Кривцовка, фосслой 1	Фосфоритовый галечник	0.4	70
5	Полевое	Фосфоритовый галечник с глауконитовым песком	0.6	260
6	Кшенский	Фосфоритовый галечник с глауконитовым песком	0.2	28
7	П Батаговский. участок, Брянск	Фосфоритовый галечник с глауконитовым песком	0.2	6



**Рис. 9.** Соотношение золотоносности пород докембрия и сеномана: 1 – граница и площадь распространения отложений сеномана, 2 – границы развития фосфатных с золотом углеродистых сланцев PR<sub>1</sub>tm: Т-Я – Тим-Ястребовская структура, В – Волотовская, 3 – проявления и пункты минерализации Au в породах кристаллического фундамента, 4 – точки опробования фосфоритов с содержанием Au 2–6 мг/т, 5 – точки опробования фосфоритов, в скобках содержания золота, мг/м<sup>3</sup>: 1 – Уколовское месторождение, 2 – п. Свобода, 3 – Кривцовка, 4 – Полевое, 5 – Кшенский, 6 – Стойленский карьер.

**[Fig. 9.** The ratio of gold content of Precambrian and Cenomanian rocks: 1 – the border and the area distribution of the sediments of Cenomanian, 2 – border development of phosphate with gold carbonaceous shale PR<sub>1</sub>tm: Т-Я – Tim-Yastrebovskaya structure, В – Volotovsky, 3 – displays points of Au mineralization in the rocks of the crystalline basement, 4 – point testing of phosphates with the Au content of 2–6 mg/t, 5 – point testing of phosphates, in brackets of gold content, mg/m<sup>3</sup>: 1 – Ukolovsky deposit, 2 – Svoboda village, 3 – Krivtovo, 4 – Polevoeye, 5 – Kshensky, 6 – Stoilensky careers.]



**Рис. 10.** Геологический разрез по Тимскому профилю (А-В на рисунке 8). Через золотоносную полосу фосфоритов K<sub>2</sub>s: 1 – скважины и их номера, 2 – пески с прослоями глин, 3 – золотоносные черносланцевые толщи тимской свиты PR<sub>1</sub>tm, 4 – фосфориты, 5 – пески, 6 – глины, 7 – мел.

**[Fig. 10.** Geological section of the Timsk profile (A-B in Figure 8). Through the gold-bearing band of phosphorites K<sub>2</sub>s: 1 – wells and their numbers, 2 – sands with clay interlayers, 3 – gold-bearing black-shale strata of the Timskaya formation PR<sub>1</sub>tm, 4 – phosphorites, 5 – sands, 6 – clays, 7 – chalk.]

Золотины из сульфидизированных фосфатно-углеродистых толщ тимской свиты нижнего протерозоя [20] по размерам и форме сходны с Au выделенном из сеноманских фосфоритов. Они имеют неправильную пластинчатую и дендритовидную форму размерностью 0.5x0.1–0.7 мм, характеризуются высокими содержаниями Hg (3.14–22.7 мас. %) и Te (0.22–6.1 %).

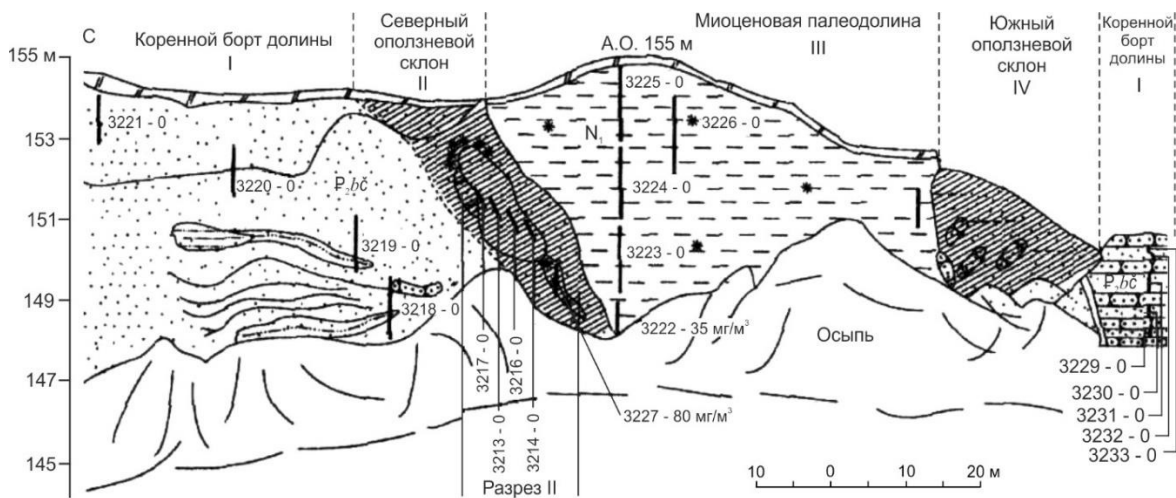
**Обсуждение результатов**

**Генезис УТЗ.** Исследование морфологии, химического состава, распределения элементов-примесей золотин и интерметаллидов, показало значительное отличие сделанных находок от традиционного россыпного золота. Морфологический облик зерен металла – тонкие неокатанные частицы неправильной формы (см. рис. 2, 3) с преобладающей размерностью (десятки мкм, до 100–1000 мкм) идентичны для пород всех опробованных подразделений – меловых, неогеновых, палеогеновых и четвертичных.

Другими особенностями УТЗ являются тяготение повышенных его концентраций к зонам повышенной проницаемости и геохимическим барьерам, представленным глинистыми образованиями и ожелезнен-

ными породами. Зоны повышенной проницаемости закладываются в районах с проявленными тектоническими нарушениями, по которым закладываются речные долины.

Так в Мигулинско-Новохоперской тектонической зоне, к которой тяготеют медно-никелевые месторождения и поля девонских базальтов, в миоценовой долине, врезанной в бучакские пески палеогена, повышенные содержания УТЗ наблюдаются в её прибортовых частях (рис. 11). Здесь в карьере опробованы геологические тела, слагающие коренные борта долины, её погребенные оползневые склоны и собственно выполнение среза. Повышенные содержания Au (до 80 мг/м<sup>3</sup>) имеются только в ожелезненных псаммитах.



**Рис. 11.** Разрез восточной стенки карьера (2 км к ЮВ от д. Березовка). Римскими цифрами обозначены коренные борта долины (I), прибортовые участки палеодолины Северный (II) и Южный (IV), ее Центральная часть, выполненная глинами. Условные обозначения см. на рис. 4.

[Fig. 11. Section of the eastern wall of the quarry (2 km to the SE from the village of Bereзовка). Roman numerals indicate the root sides of the valley (I), the port sections of the Northern (II) and Southern (IV) paleodolines, its Central part made of clay. See Figure 4 for the symbols.]

Данные по элементам примесям в классическом россыпном золоте систематизировал Н.А. Шило [2]. Соотношение золота и серебра в россыпях полностью наследуется от коренных источников, при этом примеси можно разделить на несколько групп. К первой относятся элементы, образующие с золотом самостоятельные минералы – Ag, Hg, Cu, Bi, Pt, Pd, Ir, Rh, Te, Sb, S. Медь участвует в составе аурикурида, ее содержания в золоте возрастают в меденосных регионах, платины – в платиноносных. Н. А. Шило связывал с присутствием Pt в золотинах соответствующие перспективы прилегающих территорий. Отмечена особая роль среди примесей в россыпном золоте Те – 7 из 16 минералов золота являются теллуридами.

Во вторую группу отнесено элементы примеси, среди которых имеются часто встречающиеся – Pb, Zn, Sb, As, Fe, Si, Al, обычные – Na, K, нехарактерные – Mn, Mo и очень редкие – Sn, Co, Ba, Sr. К третьей группе относятся редко обнаруживаемые – Cr, V, Hf.

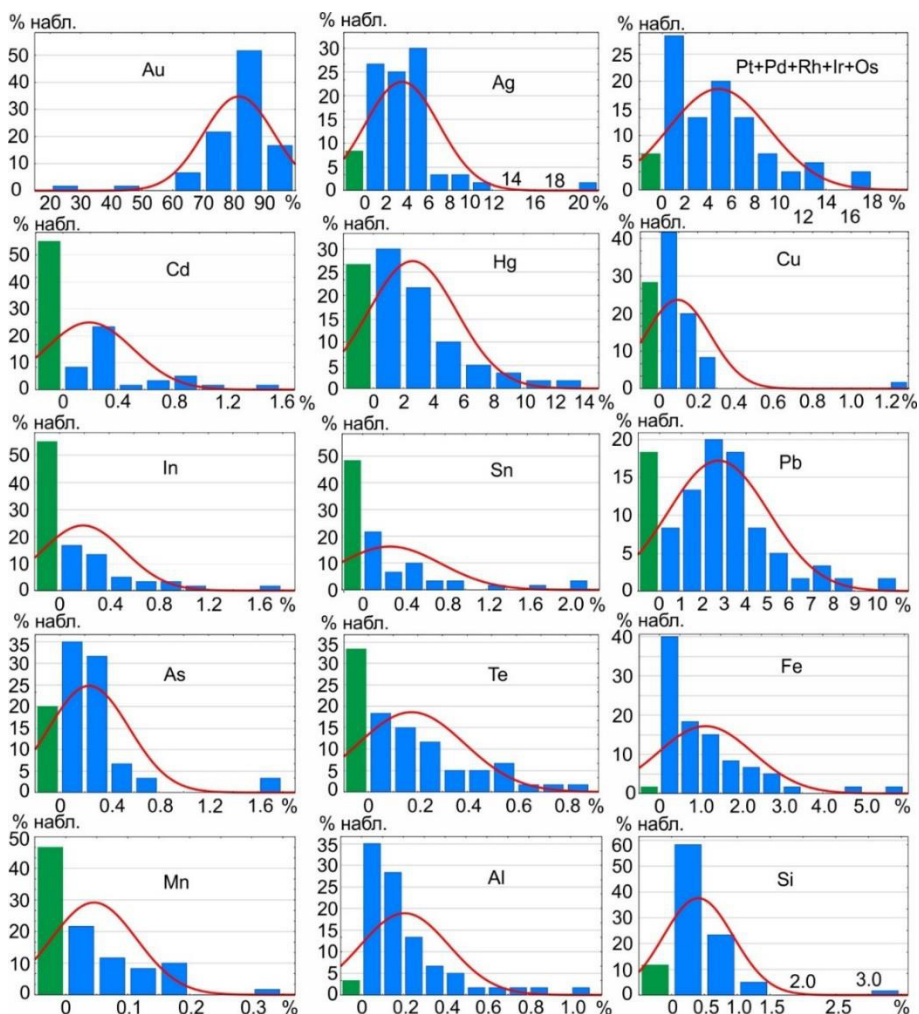
На состав и количество элементов примесей в золотинах влияет генезис, возраст, геохимическая ситуация каждого проявления. Золотины экзогенных месторождений характеризуются более бедным набором химических элементов. Этот эффект самоочищения сформулирован в свое время А.Е. Ферсманом и как это показано на рис. 12 из работы [21]. Но эту мысль нельзя абсолютизировать. Так почти чистое эксгалационное УТЗ Толбачика, формировалось во время Большого трещинного извержения 1975–1976 гг. [22].

Ультратонкие золотины выявленные в осадочных образованиях ВА содержат практически все элементы, упомянутые в работе Н.А. Шило, а также ряд в ней отсутствующих: прочие металлы платиновой группы, Zr, Tl, Se, In (рис. 13). Количество примесей при этом составляет от 4.7 до 71.9 вес. %. Некоторые специалисты в области металлогении подобное золото называют «грязным» и считают особенностью докембрийского рудогенеза. Между тем УТЗ Воронежской антеклизы – явные новообразования.



**Рис. 12.** Внутреннее строение золота россыпи Гаран, средняя часть россыпи: разноразмерное (темное) строение унаследованного гипогенного золота, с высокопробной гипергенной каймой и межзерновыми прожилками (светлое), увел. 150. Африка, Гвинея, Западная часть Либерийского щита.

[**Fig. 12.** Internal structure of Garan placer gold, middle part of the placer: heterogeneous (dark) structure of inherited hypogenic gold, with a high-grade hypergenic border and intergranular veins (light), magnification 150. Africa, Guinea, Western part of the Liberian Shield.]



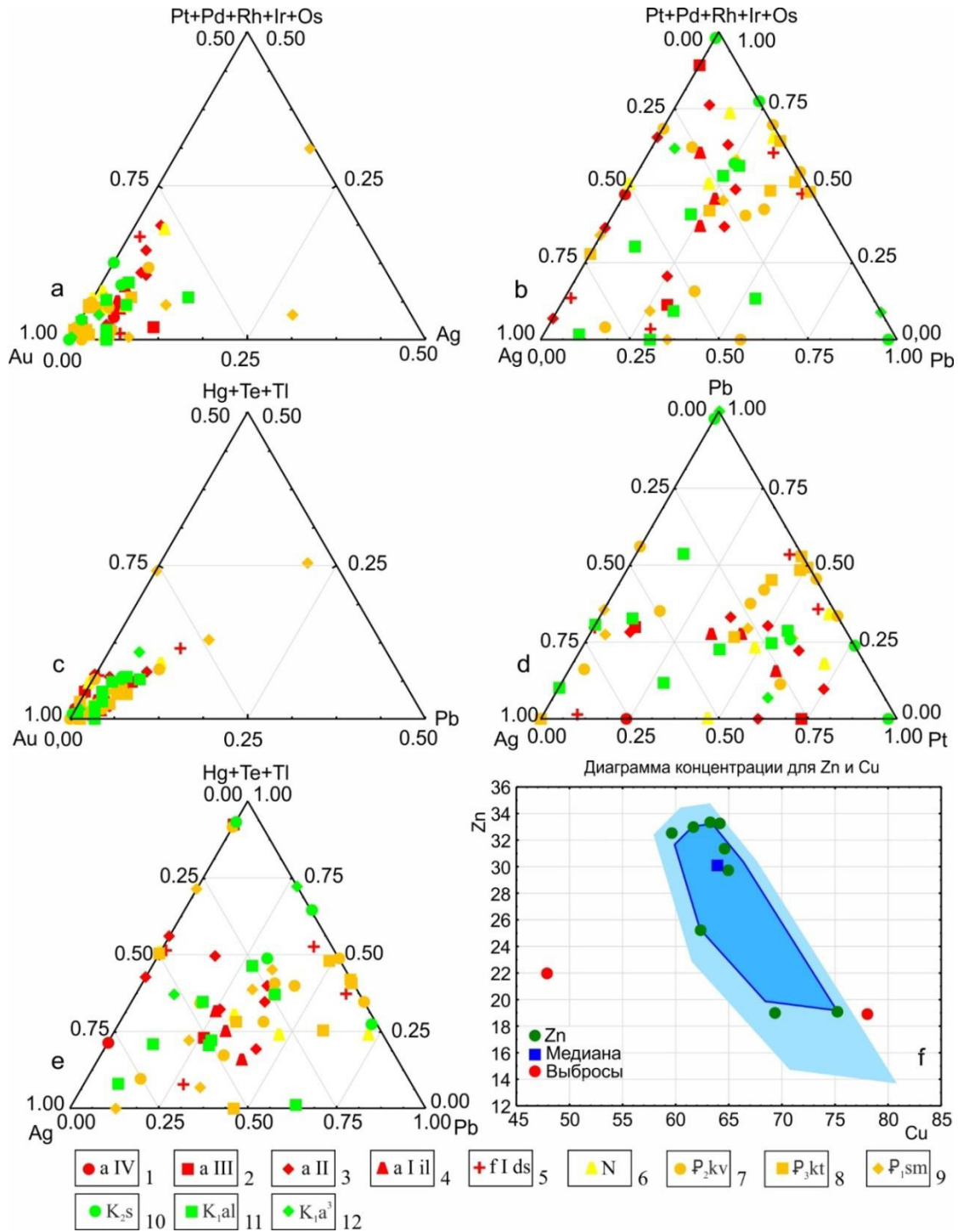
**Рис. 13.** Гистограммы распределение основных элементов-примесей в золотилах.  
[**Fig. 13.** Histograms of the distribution of the main elements-impurities in gold coins.]

От количества примесей зависит пробность золота. В основном пробность менялась в интервале 708–956, максимальное содержание Au приурочено к охртам Р<sub>2</sub>кв – 956 (с. Сергеевка Белгородской области) и к россыпи «Русская Журавка» – 952.

Для ряда местонахождений характерен значительный разброс в содержании Au, так в разрезе сумской свиты палеоцена (Нижний Бык, юго-восток Воронежской области), значения составили от 279 до 873. В золотилах из песков антропогена Кривоборья

(север Воронежской области) разрыв в пробности достигает 23.9 %. При этом имеются местонахождения УТЗ, где диапазон изменений содержания Au намного меньше. К примеру, в золотилах из разреза Урыв (К<sub>1</sub>а1, Острогжский район Воронежской области), содержание золото составляет 77.23–86.63%, т.е. разброс уложился в 7%. В целом же повышенные содержания Au отмечаются для мел-палеогеновых золотилов по сравнению с четвертичными (рис. 14 а, б).





**Рис. 14.** Диаграммы распределения составов элементов примесей УТЗ: *a* – Au, МПГ, Ag; *b* – Au, Pb, летучие; *c* – Ag, Pb, летучие; *d* – Ag, Pb, МПГ; *e* – Ag, Pb, летучие; *f* – Zn, Cu.

[**Fig. 14.** Diagrams of the distribution of the compositions of the elements of the impurities of UGG: *a* – Au, MPG, Ag; *b* – Au, Pb, volatile; *c* – Ag, Pb, volatile; *d* – Ag, Pb, MPG; *e* – Ag, Pb, volatile; *f* – Zn, Cu.]

Анализ распределения примесей в золоте показывает, что наиболее распространенными в нем являются МПГ, серебро, летучие элементы и свинец, присутствующие почти во всех золотилах. Содержание платиноидов колеблется от долей до 17.5%. Среди них резко преобладает Pt, общая доля остальных элементов этой группы не превышает 10%. В распределении МПГ

в золотилах по возрасту, в отличие от Au определенных тенденций, в отличие от Au, не отмечается, точки их содержаний разбросаны по всему полю диаграмм (рис. 14, с, d). Отмечается отрицательная связь содержаний МПГ и Ag. По данным Н. В. Петровской [23] для самородного Au примесь платиноидов не характерна, что подчеркивает своеобразный генезис воро-



нежского золота.

Содержания серебра в золотилах колеблется от долей до 21.1, в среднем первые проценты. В одном случае, в одной из шести проанализированных золотин проявления «Русская Журавка», его количество достигает 43.85 %, что позволяет относить ее к интерметаллиду электруму. В распределении содержаний Ag по возрасту закономерностей не отмечается (рис. 14 е).

Цветные металлы (Cu, Zn, Pb) совершенно поразному распределены в золотилах. Если свинец присутствует в абсолютном большинстве золотин, то цинк обнаружен только в четырех из 60. Это доли процента, лишь в одном случае 16 %. Медь занимает промежуточное положение, присутствуя в 43 золотилах с обычными содержаниями в доли процента. Но картина резко меняется в интерметаллидах без золота. Так в проявлениях «Липецкое городище» количество меди, как и цинка, составляют десятки процентов.

Летучие элементы (Hg, Te, As, Tl, Sb) присутствуют во всех золотилах. По данным работы [18] ртуть, распределена в них равномерно, обнаружена в 43 случаях с содержаниями от долей до 13.1%. То есть золотины являются амальгамами. Еще больше золотин содержат мышьяк – 48, но в меньших количествах (от 0.01 до 1.34%). Две трети зерен Au (67%) включают Te (0.002–0.85%). По Н. В. Петровской [23] такая частота встречаемости выше обычной для природного золота (40%), относимого этим автором к эпиптермальному типу. Также в золотилах отмечается еще один летучий элемент – Ta, его содержания могут достигать почти 20%. Однако в таких случаях Hg нет.

Из других металлов в ряде золотин обнаружены Cd, In, Sn, Zr, Hf. Их количество составляет доли процентов и лишь в некоторых случаях достигает 4 %. Интересным является отсутствие положительных корреляций между родственными элементами скандий-индий и цирконий-гафний. Обычно в природе каждая пара встречается вместе, где In и Hf являются изоморфными примесями. В золотилах же примесные элементы могут присутствовать без основных, что в лишний раз подчеркивает специфику генезиса УТЗ.

Основные особенности УТЗ Воронежской антеклизы следующие:

1 – постоянное присутствие в золотилах МПГ с преобладанием платины, серебра и свинца. Количество МПГ от первых до 17.5, Ag – до 21.1, Pb – 10.8%.

2 – высокое содержание летучих элементов – Hg, As, Tl, Te, Sb, из которых преобладает ртуть.

3 – присутствие в заметных количествах – Sn, Cu, Cd, In, Zr, Hf, Bi и ряда других.

4 – в интерметаллидах без золота резко преобладают медь и цинк.

Проблема происхождения Au в сеноманских фосфоритах затрагивалась ранее в работах [15, 24]. Предполагалось, что природные фосфаты, а также сопутствующие им карбонаты и гидроксилы железа способны сорбировать золото из морской воды. Авторы работы [24] объясняли присутствие Au в фосфоритах сорбционно-восстановительными процессами с учас-

тием коллоидов, которые протекали по схеме: хлорид золота в морской воде – гидрозоль-гидрогели в придонных илах – коллоидный водный фосфат кальция с золотом, халцедон-опал.

Однако подобной схеме противоречит ряд фактов. К примеру, одни фосфориты Восточно-Европейской платформы характеризуются довольно значительными содержаниями золота (до 0.4 г/т), а в других Au нет. И это притом, что современные фосфориты океана, являющиеся аналогами древних фосфатов, не содержат золото.

Имеются и другие факты, делающие идею сорбции золота из морской воды маловероятной. Дело в том, что минеральный фосфор накапливается по мере распада органического вещества не на поверхности дна, а на некотором от него удалении в поровых водах, где его концентрация доходит до 8–9 мг/л. Но фосфат в таком случае не может что-то сорбировать из морской воды, с которой практически не находится в контакте.

Таким образом, намечается схема формирования УТЗ в фосфоритах сеномана, отличная от высказанных некоторыми исследователями. Согласно ей, Au и часть фосфора поступали в осадочные бассейны PR<sub>1</sub> и K<sub>2</sub>S с глубинными флюидами (летучие, газы-галогены) по разломам.

На стадии диагенеза золотины оказались включенными в фосфоритовые желваки, сохранив часть летучих элементов.

**Сопоставление УТЗ Воронежского и других регионов.** Золото установлено не только в осадочном чехле ВА, но и других регионах. Некоторые авторы [25] считают, что в россыпных месторождениях Au отличается высоким содержанием во фракции менее 0.1 мм. Оно там полигенетическое, но здесь будет рассмотрен только его эксгаляционно-осадочный тип, охарактеризованный выше для пород ВА.

*Верхнекамская впадина.* Ультратонкое золото этой тектонической структуры исследовано В. А. Наумовым и др. [26–28]. Ими в результате исследований УТЗ выделено два генетических типа – «россыпной» и «агрегатный». «Россыпной» тип представлен уплощенными мелкими золотилами, несущими следы длительного переноса. «Агрегатный» – мельчайшими глобулами золота, сцементированными природными амальгамами. Установлены связь Au с мезозойско-кайнозойским этапом тектоно-магматической активизации окраинной части Восточно-Европейской платформы (ВЕР). По данным микрозондового анализа установлены широкие колебания химического состава глобул, обусловленные изменением содержания ртути (от 0 до 58.25 мас. %). Большая их часть относится к твердым растворам Au и Hg.

Отмечается схожесть УТЗ Воронежской антеклизы с Верхнекамским. Как и в осадочных образованиях ВА, различают частицы классического россыпного и рудного облика [17]. Еще больше сходство с ВА усиливает преобладание минеральных разностей металла, содержащих летучие элементы. По данным А. В.

Наумова и др. [26] вблизи разломов повышается содержание «агрегатного» золота, также, как и на Воронежской антеклизе.

*Урал.* По данным О. Ю. Кузнецовой [29] УТЗ ряда месторождений кор выветривания (КВ) Урала не является лишь остаточным, и могут быть наложенными эндогенными новообразованиями. Так в Светлинском месторождении Среднего Урала встречены золотины размером не более 15 мкм, с пробностью от 850 до почти 1000. Они пластинчатые, жилковидно-пластинчатые, обычно без примесей, но иногда в них присутствуют Ag, Fe и Cu. Золотины содержат высоколетучие – ртуть (1.07–1.69%) и иод (до 0.62%). Данные элементы образуют с золотом амальгамы и иодиды, чувствительные к перемене температурных режимов. Появление ртути и иода нельзя объяснить переотложением из коренных подстилающих золотоносных сланцев. Au было перемещено в КВ восходящим иодо-ртутным флюидом.

Золото накапливается в КВ, давая месторождения [30, 31]. Но это не единственный источник его повышенных содержаний. По данным С. К. Кузнецова и др. [32], в рудопоявлении Каталамбинское (Приполярный Урал) золото сосредоточено в линейной КВ. Содержание Au в первичных рудах от 0.02 до 0.8 г/т, иногда достигает 1.5 г/т, в КВ – 8–10 г/т, но обычно значительно ниже. По составу золото КВ существенно не отличается от рудного золота.

В КВ, как пишет О. Ю. Кузнецова [29], частицы тонкого Au претерпели большие трансформации, золотины приобрели иной облик – появились кристаллические, пластинчатые, проволоковидные индивиды, зерна аурикуприда и медистые разности. Возросли содержания металла – 4–8 г/т. Это может говорить о наложен-

ных на КВ эндогенных процессов. Вероятнее всего, подобная ситуация сложилась для двух известных рудопоявлений Au Полярная Надежда (Полярный Урал) и Иочиминское (Заангарская часть Енисейского кряжа), описанная в работе Т. В. Поляковой и др. [33].

*Северная Америка.* Стратиформные скопления УТЗ эксгальционно-осадочного типа возникают благодаря восходящим потокам флюидов, среди которых непременно присутствуют летучие (Hg, Tl, Te, Se, I, Vg и др). Для формирования месторождений необходимы барьеры (экраны), где происходит концентрация драгоценного металла. Выше рассмотрены аккумуляции золота в базальных горизонтах, содержащих глинистую примесь, глауконит, фосфориты, также в КВ. Но в присутствии протяженных и мощных экранов восходящие золотоносные флюиды могут формировать крупные месторождения УТЗ. Примером может служить рудный район Карлин [34] (Южные Кордильеры, США), где разведаны и разрабатываются более 20 рудных объектов с тонкодисперсным золотом (Карлин, Гетчел, Бутстрап, Манхаттан, Меркур, Мейкл и другие).

Месторождение Карлин (рис. 15) стратиформное, имеет меловой-кайнозойский возраст. Оно находится в пределах геотектонического пояса в краевой части палеозойской эвгеосинклинали на границе с миогеосинклиналью. Пояс золото-арсенидных месторождений протягивается в близмеридиональном направлении на 960 км. Такое его положение связано со структурами глубокой проницаемости и возможностью отдаленной транспортировки глубинных рудоносных флюидов, что обеспечивается как по глубинным пограничным структурам, так и по сопряженным с ними новейшими сводовыми структурами.



Рис. 15. Вид карьера рудника Карлин [34].  
[Fig. 15. View of the Karlin mine quarry [34].]

Рудные тела имеют пластообразную форму, минерализация рассеянная и прожилковая представлена золотом, кварцем, баритом, реальгаром, пиритом, антимонитом, кинварью, сфалеритом и галенитом. Количество сульфидов обычно не превышает 5%. Средние содержания золота составляют 1.6–3.2 г/т, максимальное 10–30 г/т. Характерно наличие As и высокое значение соотношения Au и Ag (1:1–1:10) [34].

По месторождениям карлинского типа существует ряд публикаций [35–37]. В них признается полигенный генезис руд и большое значение предрудной подготовке вмещающего субстрата, представленного магнезиальными известняками и сланцами.

На границе раннего и позднего мела (120 млн лет) проявился магматизм с внедрением кварцевых порфиров и кварцевые диоритов. Наложенная золотая минерализация и вторичные изменения магматитов проявились в более

позднее время при воздействии на породы золото-мышьяковистых растворов. Это происходило в тектоническом «окне» Линн, одном из восьми обнаруженных в аллохтоне надвига Роберте Маунтинс [38]. В них транспортировались металлы с глубин на поверхность в результате падения давления в «окнах».

В работе [17] по цитированным данным проведено сопоставление УТЗ ВА с таковым карлинского типа. В ней отмечается сходство по размерности и морфологии карлинского и воронежского золота, а также широкое развитие летучих элементов – As, Hg, Sb, содержания которых коррелируются с количествами драгоценного металла. Это видно из таблицы 6. Из неё также следует наличие литологического контроля золотоносности. Высокие содержания золота характерны для верхней части разреза в доломитистых глинистых алевритах.

**Табл. 6.** Содержания золота и летучих элементов в породах месторождения Карлин [38]  
**[Table 6.** The content of gold and volatile elements in the rocks of the Karlin deposit [38]]

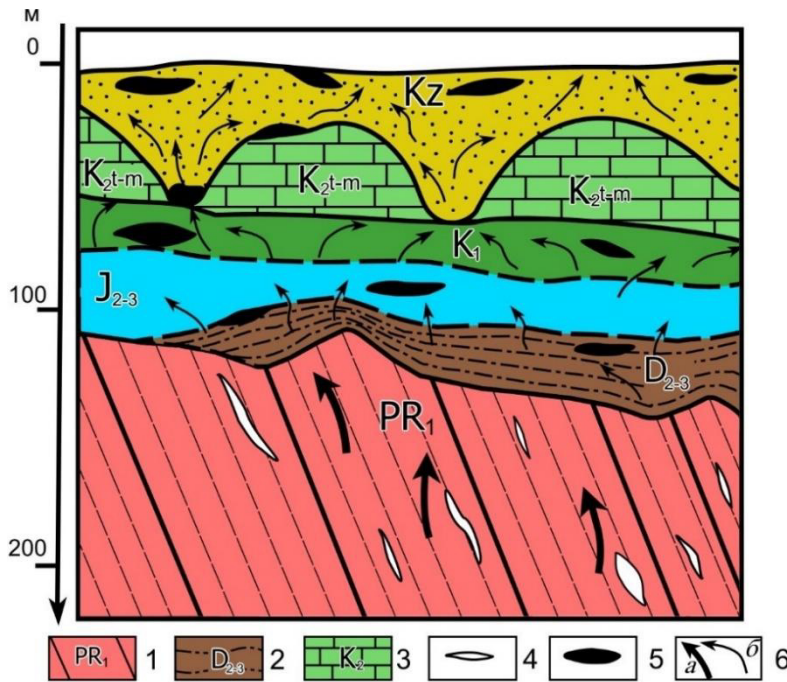
Тип породы [Rock type]	Золото, г/т (унций/т) [Gold, g/t (oz/t)]	As	Sb
Доломитистые глинистые алевриты [Dolomitized clays siltstones]	82.1 (2.66)	0.22	0.01
Глинистые алевриты [Clay siltstones]	68 (2.19)	0.22	0.01
Алевро-песчаники [Siltstone-sandstones]	40 (1.26)	0.28	<0.01
Кальцифицированные глинистые алевриты [Calcified clay siltstones]	26 (0.840)	0.17	<0.01
Алевритовые глинистые доломиты [Siltstone clay dolomites]	25 (0.805)	0.12	<0.01
Алевритовые известковые доломиты [Siltstone calcareous dolomites]	6 (0.19)	0.12	<0.01
Измененная порфировая дайка [Modified porphyry dyke]	5 (0.153)	0.59	<0.01
Известковые алевриты близ дайки [Calcareous siltstones near the dyke]	1.7 (0.052)	0.09	<0.01
Осветленные глинистые алевриты [lighten clay siltstones]	0.7 (0.023)	0.025	<0.01

Проведенный в недавних работах [34–37] обзор месторождений, локализованных в тренде Карлин, показал, что они достаточно разнообразны, и поэтому к карлинскому типу следует относить объекты характеризующиеся: 1 – известково-глинистым составом разреза рудовмещающих пород; 2 – стратифицированным характером рудных тел; 3 – прожилково-крапленным оруденением; 4 – сульфидным (преимущественно пирит-арсенопиритовым) составом руд с тонкодисперсными выделениями Au в сульфидях; 5 – наличием низкотемпературной Sb-As-Hg минерализации в ассоциации с аргиллизитами.

В работе [17] рассматриваются сравнительные модели формирования УТЗ Воронежской золотоносной провинции и тренда Карлин (рис. 16, 17). Предполагается, что эксгаляции золота летучими элементами (Hg, Se, Te, As, Sb, Tl, Br, I) происходили при глубинной дегазации недр восходящими потоками флюидов по системам глубинных

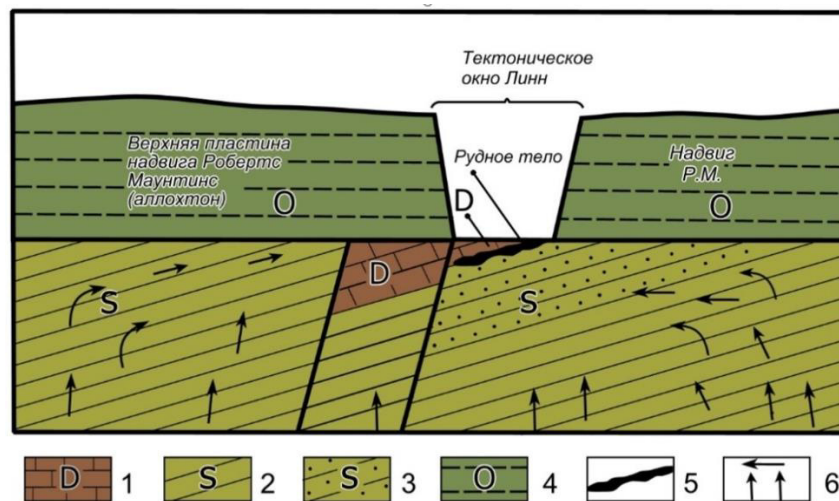
разломов. Масштабы возникающих проявлений Au и других компонентов зависят от плотности (продуктивности) восходящего флюида и продолжительности его функционирования. В тектонически активных районах (Карлин) таких возможностей больше, чем на древних платформах, как и перспективы открытия и масштабы месторождений [39]. В пределах платформ могут быть обнаружены мелкие проявления типа Русской Журавки на ВА с прогнозными запасами в несколько тонн.

**Металлогеническое районирование территории Воронежской антеклизы.** В пределах ВА выделено 3 минерагенические зоны перспективные на золото: 1 – Белгородско-Курская, 2 – Липецко-Воронежская, 3 – Тамбовско-Воронежская (рис. 18). В основу выделения данных зон положен тектонический принцип. Белгородско-Курская минерагеническая зона развита в пределах мегаблока КМА, Липецко-Воронежская – Лосев-



**Рис. 16.** Гипотетическая модель слабо экранированного «рассеянного рудогенеза», основанная на материалах, по ВА. На усредненном разрезе через Тим-Ястребовскую зону в пределах свода структуры показано, что восходящий металлоносный флюид, не встречая в осадочном чехле протяженных и мощных экранирующих горизонтов, формирует на частных геохимических барьерах многочисленные золотопоявления с небольшими (от десятков кг до первых тонн золота) ресурсами: 1 – породы нижнего протерозоя с коренными проявлениями золота, 2 – девонские пески, глины, трещиноватые известняки, 3 – верхнемеловые писчие мела и мергели, 4 – золотоносные рудные тела в породах фундамента, 5 – эксгалационно-осадочные проявления Au на частных геохимических барьерах в осадочном чехле, 6 – восходящие флюидные потоки, с тенденцией к выщелачиванию и мобилизации рудных элементов в породах фундамента (а) и пониженной плотности, с тенденцией отложения рудных элементов на геохимических барьерах в осадочном чехле (б).

[Fig. 16. A hypothetical model of weakly shielded "scattered ore genesis" based on materials from the VA. The averaged section through the Tim-Yastrebovskaya zone within the arch of the structure shows that the ascending metalliferous fluid, without encountering extended and powerful shielding horizons in the sedimentary cover, forms numerous gold occurrences with small resources (from tens of kg to the first tons of gold) on particular geochemical barriers: 1 – rocks of the Lower Proterozoic with indigenous manifestations of gold, 2 – Devonian sands, clays, fractured limestones, 3 – Upper Cretaceous writing chalk and marl, 4 – gold-bearing ore bodies in the basement rocks, 5 – exhalation-sedimentary manifestations of Au on particular geochemical barriers in the sedimentary cover, 6 – ascending fluid flows, with a tendency to leaching and mobilization of ore elements in the basement rocks (a) and low density, with a tendency to deposit ore elements on geochemical barriers in the sedimentary cover (b).]



**Рис. 17.** Гипотетическая модель «рассеянного рудогенеза» при наличии мощного экрана на примере месторождения Карлин. Схематизированный разрез. Показано, что струи металлоносного флюида, накопившегося под непроницаемой аллохтонной пластиной, оставляют перенесенное УТЗ только в пределах тектонических «окон» (площадей сброса давлений). В одном из них (Линн) сформировались залежи ультратонкого металла с запасами до 110 тонн: 1 – безрудные известняки девонской формации Попович, 2–3 – силурийская формация Робертс Маунтинс, представленная илистыми известняками за пределами тектонических окон (2) и вторичными светлыми пористыми алевролитами в их пределах (3), 4 – терригенные толщи ордовикской формации Винини, 5 – рудное тело с ультратонким золотом, 6 – направление движения металлоносного флюида.

[Fig. 17. A hypothetical model of "scattered ore formation" in the presence of a powerful screen on the example of the Karlin deposit. Schematized section. It is shown that the jets of the metalliferous fluid accumulated under the impermeable allochthonous plate leave the transferred UFG only within the tectonic "windows" (pressure relief areas). In one of them (Linn), deposits of ultrathin metal with reserves of up to 110 tons were formed: 1 – ore-free limestones of the Devonian Popovich formation, 2–3 – Silurian Roberts Mountains formation, represented by silty limestones outside the tectonic windows (2) and secondary light porous siltstones within them (3), 4 – terrigenous strata of the Ordovician Vinini formation, 5 – ore body with ultrathin gold, 6 – direction of movement of the metalliferous fluid.]



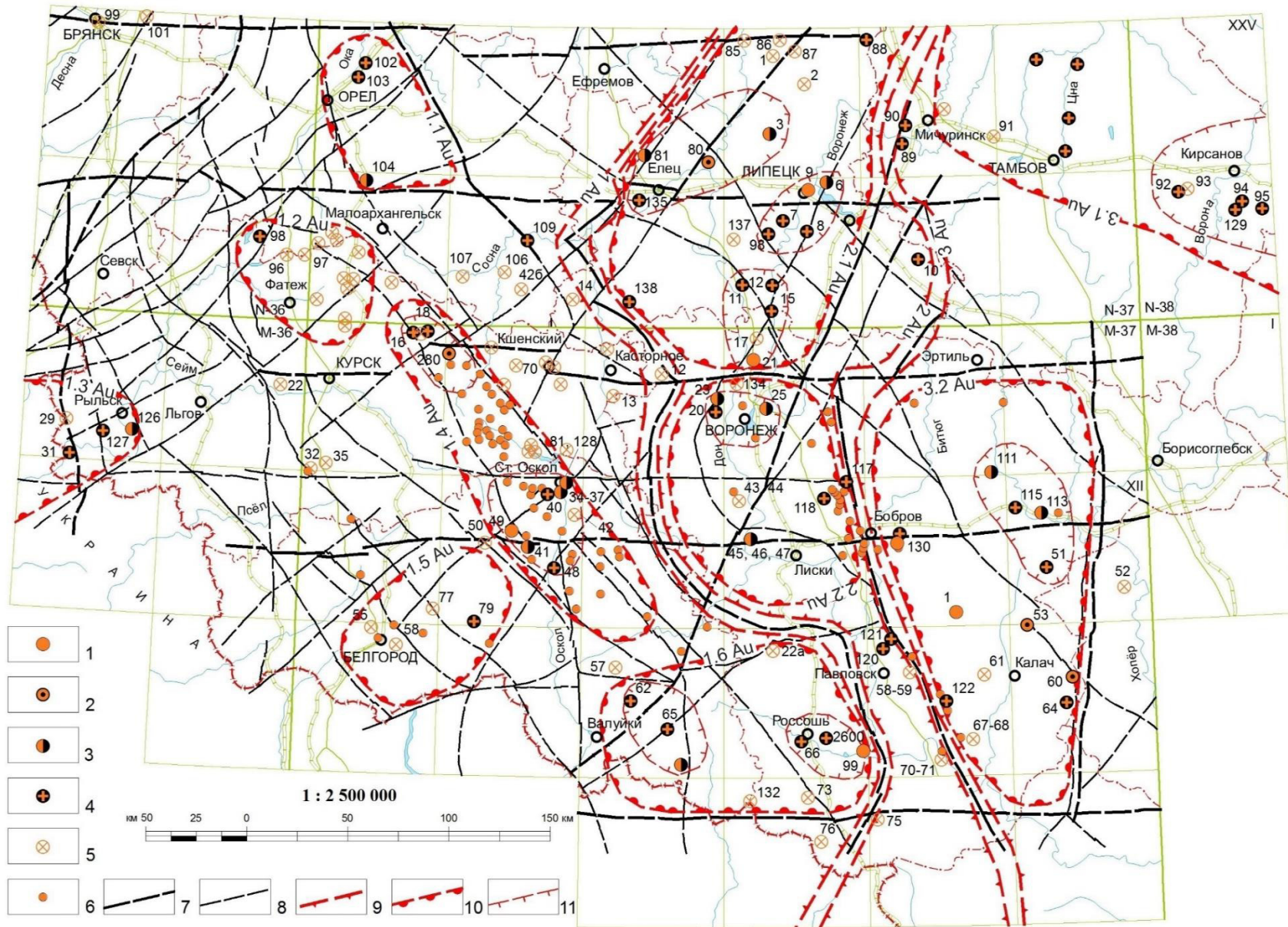


Рис. 18. Схема минерагенического районирования: 1–5 – пункты минерализации россыпного золота с содержаниями металла, в мг/м³: более 1000 (1), от 400 до 1000 (2),

от 80 до 400 (3), от 10 до 80 (4), менее 10, в т.ч. единичные знаки (5); 6 – проявления и пункты минерализации в породах кристаллического фундамента; 7 – разломы в фундаменте главные; 8 – разломы в фундаменте второстепенные; 9 – минерагенические зоны; 10 – минерагенические районы; 11 – минерагенические узлы.

[Fig. 18. The scheme of mineral zoning: 1–5 points mineralization of placer gold with metal in mg/m<sup>3</sup>: over 1000 (1), from 400 to 1000 (2), from 80 to 400 (3), from 10 to 80 (4), at least 10, including individual marks (5); 6 – manifestations and items mineralization in rocks of the crystalline basement; 7 – cracks in the Foundation main; 8 – cracks in the Foundation a minor; 9 – mineragenic zone; 10 – mineral districts; 11 – minerogenic units.]

ской шовной зоны, Тамбовско-Воронежская – Хоперского мегаблока. В пределах минерагенических зон выделены рудные районы и узлы. Их контуры проведены на основе массива данных по золотоносным обнажениям осадочного чехла.

На карте указаны выявленные проявления Au в осадочных образованиях, проявления и пункты минерализации в породах кристаллического фундамента. Все проявления Au на основании содержания полезного компонента разделены на 5 групп (в мг/м<sup>3</sup>): 1 – более 1000, 2 – 400–1000, 3 – 80–400, 4 – 10–80, 5 – менее 10 и «единичные знаки».

Также благоприятным признаком является присутствие интерметаллидов [17]. Их заметное наличие свидетельствует о заметной флюидной активности и значит здесь стоит искать эксгальационно-осадочное Au.

Рудные районы и узлы имеют разную перспективность. В Белгородско-Курской зоне выделено 5 районов, из них наиболее перспективным является Тим-Волотовский (1.4 Au). В нем отмечены многочисленные проявления Au в осадочном чехле, в том числе с содержаниями более 1 г/м<sup>3</sup> – для песков и до 0.4 г/т для фосфоритов. В пределах этого района в образованиях кристаллического фундамента отмечаются многочисленные проявления и пункты минерализации Au.

В Липецко-Воронежской минерагенической зоне выделено два района – Липецкий (2.1 Au) и Воронежский (2.2 Au). Из них наибольший интерес представляет Липецкий, в пределах которого выделено 3 рудных узла.

В Тамбовско-Воронежской зоне выделено 2 района – Тамбовский (3.1 Au) и Бобров-Калачский (3.2 Au). Максимальные содержания Au в осадочном чехле приурочены к юго-востоку Воронежской области – Бобров-Калачский минерагенический район.

При проведении районирования выявлено, что области, соответствующие срединным массивам кристаллического фундамента, оказались мало золотоносными. Полученные данные объясняются меньшей золотоносностью метаморфитов AR<sub>1</sub> и меньшей плотностью флюидных потоков, обусловленной большей тектонической гомогенностью древних срединных массивов.

При этом необходимо учитывать, что степень изученности осадочного чехла ВА на Au неравномерная. К районам со слабой изученностью относится северо-восток Воронежской антеклизы, большая часть Брянской области. Для таких площадей на данном этапе можно применить выработанные критерии предварительной оценки, не позволяющие признать поиски золота там окончательно бесперспективными.

## Заключение

Таким образом, для осадочных отложений Воронежской антеклизы характерно наличие проявлений УТЗ. Они локализируются на различных стратиграфических уровнях, однако его концентрации тяготеют обычно к верхним частям осадочного чехла – четвертичным, палеогеновым и меловым образованиям. УТЗ и интерметаллиды тесно генетически связаны между собой. В большинстве местонахождений, где присутствует Au, встречаются интерметаллиды.

Концентрации УТЗ связаны с зонами повышенной проницаемости и геохимическими барьерам, представленными глинистыми образованиями и ожелезненными породами. Зоны повышенной проницаемости находятся в районах с тектоническими нарушениями, по которым закладываются речные долины.

Геохимическими особенностями золотин являются постоянное присутствие в них от долей процента – МПГ до 17.5, Ag – 21.1, Pb – 10.8%, высокое содержание летучих элементов – Hg, As, Tl, Te, Sb. Преобладает ртуть, равномерно распределенная в золотинах и образующая с Au твердые амальгамы, в которых Hg от десятых долей 13.1%. В заметных, хотя и не определяющих количествах имеются прочие примеси, среди которых Sn, Cu, Cd, In, Zr, Hf, Bi и некоторые другие. В интерметаллидах без золота резко преобладают Cu и Zn. Содержания золота в фосфоритах крайне низкие и за редким исключением не превышает первых мг/т, в отдельных случаях достигает 0.4 г/т.

Анализ генетических особенностей УТЗ ВА уверенно позволяет относить его к эксгальационно-осадочному типу, известному также в других регионах России и Мира. Собранные данные по УТЗ, его связь с эндогенными процессами и приуроченность к зонам тектонических нарушений позволили построить прогностную карту этого металла на территории Воронежской антеклизы.

*Конфликт интересов:* Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шило Н. А. Основы учения о россыпях. М: Наука, 1981. 383 с.
2. Шило Н. А. Учение о россыпях. Владивосток: Дальнаука, 2002. 576 с.
3. Савко А. Д., Шевырев Л. Т. Ультратонкое золото. Труды научно-исследовательского института геологии. Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 6, 2001. 151 с.
4. Levinson A. A., Taylor R. S. Moon rocks and minerals. N.Y., Pergamon Press, 1971. 416 p.
5. Округин А. В. Самородная медь в базитах Сибирской платформы // *Самородные металлы в изверженных породах.*

- Якутск, 1985. С. 60–62.
6. Ковальский В. В., Олейников О. Б. Минералы класса самородных элементов и интерметаллиды в породах кимберлитовой трубки Ленинград // *Самородные металлы в изверженных породах*. Якутск, 1985. С. 62–72.
7. Гамянин Г. Н. Самородные металлы и интерметаллиды гранитоидных рудных узлов Северо-Востока СССР // *Самородное минералообразование в магматическом процессе*. Якутск, 1981. С. 162–172.
8. Шнюков Е. Ф., Лукин А. Е. О самородных элементах в различных геотектонических регионах // *Геология и полезные ископаемые мирового океана*. 2011. № 2. С. 5–30.
9. Ильенко С. С. Самородные элементы в углях и золах углей Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна // *Известия Томского политехнического университета*. 2013. №1. С. 65–71.
10. Хазов А. Ф., Силаев В. И., Филипов В. Н. Аутигенная минерализация в речных россыпях как природный научный феномен // *Известия Коми научного центра УРО РАН*. 2010. № 2. С. 54–60.
11. Иконников Н. Н. Россыпные продуктивные формации осадочного чехла Русской плиты // *Мат. 8-го совещания по геологии россыпей*. Киев, 1987. С. 249–251.
12. Кенарев В. Н., Лексикова Р. П., Князева Н. В. Отчет о комплексных поисковых работах, выполненных на Волчинской циркон-ильменитовой россыпи в Липецкой области в 1974–1976 гг. Фонды ГПП «Липецкгеология». Липецк, 1976. 132 с.
13. Митина Е. М., Матвеева И. А., Пухонин А. И. и др. Отчет о ревизионно-поисковых работах по оценке перспектив золотоносности отложений осадочного чехла (Русская Жвуравка) и кристаллических пород фундамента (Мамонский участок) на юго-востоке Воронежской антеклизы. Фонды ГПП «Воронежгеология». Воронеж, 1973.
14. Савко А. Д., Шевырев Л. Т., Ильяш В. В., Божко Е. Н. Золото и редкие минералы в осадочном чехле Воронежской антеклизы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 1996. № 1. С. 133–138.
15. Савко А. Д., Шевырев Л. Т., Ильяш В. В., Окороков В. А. Геохимические особенности и генезис золота осадочного чехла Воронежской антеклизы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 1996. № 2. С. 86–95.
16. Савко А. Д., Шевырев Л. Т., Лоскутов В. В. Эксгалиационно-осадочная металлоносность Воронежской антеклизы – новые горизонты поисков рудных месторождений в осадочном чехле. Ст. 1. Интерметаллиды, локализация, состав // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 1999. № 7. С. 139–154.
17. Савко А. Д., Шевырев Л. Т. «Рассеянный рудогенез» – вклад в металлоносность осадочных толщ, возможные генетические типы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2006. № 1. С. 55–68.
18. Савко А. Д., Шевырев Л. Т. Геохимические особенности ультрабазического золота и интерметаллидов из осадочного чехла Воронежской антеклизы // *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2010. № 5. С. 14–21.
19. Литовченко Н. И. Отчет о результатах работ по объекту «Изучение вскрышных пород Уколовского месторождения фосфоритов с целью их использования в народном хозяйстве». Тульское НИГП. г. Курск, 2001 г.
20. Чернышов Н. М. Новый тип золото-платинометалльного оруднения в стратифицированных черносланцевых комплексах КМА (закономерности размещения, минералого-геохимические особенности и геолого-генетическая модель формирования) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 1996. № 1. С. 114–132.
21. Божко Е. Н., Савко А. Д. Золотоносность западной части Либрийского щита (Гвинея). Труды научно-исследовательского института геологии. Воронеж, Изд-во Воронеж. гос. ун-та. Вып. 33, 2005. 131 с.
22. Вергасова Л. П., Набоко С. И., Серафимова В. Л., Старова В. Л., Филатов С. К. Эксгалиационное самородное золото // *ДАН*. 1982. Т. 264. № 1. С. 201–204.
23. Петровская Н. В. Самородное золото. М., 1973. 347 с.
24. Турлычкин В. М., Горенков Н. Л. Фосфориты – адсорбенты золота и восстановители до свободного металлического // *Геологический вестник Центральных районов России*. 1999. № 3. С. 14–17.
25. Наумов В. А., Лунев Б. С., Наумова О. Б. Геологические объекты с мелким и тонким золотом – важнейшие источники минерального сырья // *Естественные и технические науки*. 2010. № 1 (45). С. 174–177.
26. Наумов В. А., Илалтдинов И. Я., Осовецкий Б. М., Голдырев В. В., Макеев А. Б. Золото Верхнекамской впадины. Кудымкар-Пермь, 2003. 218 с.
27. Наумов В. А., Осовецкий Б. М. Ртутистое золото и амальгамы в мезозой-кайнозойских отложениях Вятско-Камской впадины // *Литология и полезные ископаемые*. 2013. № 3. С. 256–273.
28. Наумов В. А., Наумова О. Б. Формы нахождения и перспективы освоения золота в природных и техногенных образованиях Западного Урала // *Вестник Пермск. ун-та. Сер. Геология*. 2019. Т. 18. № 1. С. 55–63.
29. Кузнецова О. Ю. Минерально-геохимические особенности формирования золотоносных кор выветривания Урала (на примере Светлинского и Каталамбинского месторождений): автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. М., 2000. 19 с.
30. Савко А. Д. Фанерозойские коры выветривания и связанные с ними отложения Воронежской антеклизы, их нематаллические полезные ископаемые: дис. ... д-ра геол. мин. наук. Воронеж, 1984. 551 с.
31. Зинчук Н. Н., Савко А. Д., Шевырев Л. Т. Историческая минералогия: в 3-х томах. Т. 3. Историческая минералогия подвижных поясов. 2008. 624 с.
32. Кузнецов С. К., Майорова Т. П., Сокерина Н. В., Глухов Е. В. Золотоносные районы Западного склона Севера Урала и Тимана // *Известия Коми научного центра УрО РАН*. №4 (36). Сыктывкар. 2018. С. 81–94.
33. Полякова Т. Н., Пилицин А. Е., Кременецкий А. А. Фазовые формы золота в системе коренной источник – вторичный ореол при формировании аномальных геохимических полей // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*. 2018. № 1. С. 77–91. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2018.1/1434>
34. Золоторудные месторождения типа карлин – критерии их выявления. [Электронный ресурс]. URL: <https://oborudka.ru/handbook/622.html> (дата обращения: 15.02.2021).
35. Cail T. L., Cline J. S. Alteration associated with gold deposition at the Getchell Carlin-type gold deposit, north-central Nevada // *Econ. Geol.* 2001. Vol. 96. pp. 1343–1361.
36. Cline J. S., Hofstra A. S., Muntean J. L., Tosdal R. M., Hickey K. A. Carlin-type gold deposits in Nevada: critical geologic characteristics and viable models // *Econ. Geol.* 2005. 100th Annivers. Vol. pp. 451–484.
37. Muntean J. L., Cline J., Johnston M. K., Ressel M. W., Seedorff E., Barton M. D. Controversies on the origin of world-class gold deposits, part I: Carlin-type gold deposits in Nevada // *SEG Newsletters*. 2004. Vol. 59. pp. 10–19.
38. Хаусен Д. М., Керр П. Ф. Рудные месторождения США. Т. 2. 1972. С. 590–624.
39. Беневольский Б. И., Танеев И. Г., Скрипченко В. В., Чернов В. Д., Чайка В. М. Рудные ресурсы и их размещение по геоэпохам. Благородные металлы (МПГ, золото, серебро). Справочное пособие. Под ред. академика Д. В. Рундквиста. М: Недра, 1995. 223 с.

## Ultrathin gold in the sedimentary cover of the Voronezh antecline

©2021 A.V. Cheresinskiy✉, L. T. Shevyrev, A. D. Savko

*Voronezh State University, 1, Universitetskaya pl., 394018 Voronezh, Russian Federation*

### Annotation

**Introduction:** The previous works of the authors confirmed the presence of ultrathin gold (UTG) in the sedimentary cover of the Voronezh antecline (VA). The new data studied in this work has been obtained over the past 15 years in the area of antecline while performing GDP-200 (additional site exploration).

**Methodology:** It was possible to identify the UTG particles with the size of a few dozen micrometers using MKTS and TSVK-100 concentration units. For the determination of the elemental composition a local X-ray spectral analysis (OXFORD INS system). Some of the samples were studied using Au-spectrometry in the laboratories of TSNIGRI, Voronezh State University, and IMGRE, and satisfactory correlation between these two methods was obtained. In total, over 600 samples were analysed, and 170 of them contained UTG. The identified gold grains were studied using microscopical methods as well as X-ray spectral analysis of the elementary composition. About 300 analyses were performed to determine the content of Au in the gold grains.

**Results:** New locations of UTG were found on different stratigraphic levels. The increased content of Au was discovered in the upper part of the sedimentary cover. Joint presence of UTG and intermetallic compounds is typical for the discovered locations. Maximum concentrations of UTG were found within the sections with increased permeability in the areas of tectonic disturbances and on geochemical barriers represented by clay and ferritised rocks and phosphorites.

**Results and Discussion:** The geochemical features of the gold grains are the almost constant presence of the platinum-group metals (PGMs), silver, and lead. A great quantity of volatile elements, mostly mercury, is also typical. Cu and Zn prevail in the intermetallic compounds without gold. The content of gold in phosphorites is uneven, reaching 0.4 g/t in some cases.

**Conclusions:** The analysis of genetic features of the UTG of VA allows classifying it as being sedimentary exhalative, which is also known in other regions of Russia and around the world. The collected data on UTG, its relation to the endogenous processes, and confinedness to the areas of tectonic disturbances allowed designing a forecast map for the search of this metal within the area of VA.

**Keywords:** Voronezh antecline, sedimentary cover, ultrathin gold, gold grains, impurity elements, intermetallic compounds.

**For citation:** Cheresinskiy A. V., Shevyrev L. T., Savko A. D. Ultrathin gold in the sedimentary cover of the Voronezh antecline. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology.* 2021, no. 1, pp. 4–25. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3334>.

**Conflict of interests:** The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

---

✉ Aleksey V. Cheresinskiy, e-mail: [vsu31022@mail.ru](mailto:vsu31022@mail.ru)



REFERENCES

1. Shilo N. A. *Osnovy ucheniya o rosspyakh* [Fundamentals of the theory of placers]. Moscow, Nauka publ., 1981. 383 p. (in Russ.).
2. Shilo N. A. *Uchenie o rosspyakh* [The doctrine of placers]. Vladivostok, Dal'nauka publ., 2002. 576 p. (in Russ.).
3. Savko A. D., Shevyrev L. T. Ul'tratonkoe zoloto. [Ultra-fine gold]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology], Voronezh, VSU Publ., vol. 6, 2001. 151 p. (in Russ.).
4. Levinson A. A., Taylor R. S. Moon rocks and minerals. N.Y., Pergamon Press, 1971. 416 p. DOI: <https://doi.org/10.1086/627814>
5. Okrugin A. V. Samorodnaya med' v bazitakh Sibirskoy platformy. [Native copper in the basites of the Siberian platform]. *Samorodnye metally v izverzhennykh porodakh*. Yakutsk, 1985. pp. 60–62. (in Russ.).
6. Koval'skiy V. V. Oleynikov O. B. Mineraly klassa samorodnykh elementov i intermetallidy v porodakh kimberlitovoy trubki Leningrad. [Minerals are a class of native elements and intermetallic compounds in the rocks of the Kimberley Leningrad]. *Samorodnye metally v izverzhennykh porodakh*. Yakutsk, 1985. pp. 62–72. (in Russ.).
7. Gamyani G. N. Samorodnye metally i intermetallidy granitoidnykh rudnykh uzlov Severo-Vostoka SSSR. [Native metals and intermetallics of granitoid ore nodes of the North-East of the USSR]. *Samorodnoe mineraloobrazovanie v magmaticheskoy protsesse*. Yakutsk, 1981. pp. 162–172. (in Russ.).
8. Shnyukov E. F., Lukin A. E. O samorodnykh elementakh v razlichnykh geoformatsiyakh Kryma i soprodel'nykh regionov. [On native elements in various geoformations of the Crimea and neighboring regions]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana – Geology and Mineral Resources of World Ocean*, 2011, no. 2, pp. 5–30. (in Russ.).
9. Il'enok S. S. Samorodnye elementy v uglyakh i zolakh ugley Azeyskogo mestorozhdeniya Irkutskogo ugol'nogo basseyna. [Native elements in coals and coal ashes Azeysky deposits of the Irkutsk coal basin]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2013, no. 1, pp. 65–71. (in Russ.).
10. Khazov A. F., Silaev V. I., Filipov V. N. Autigennaya mineralizatsiya v rechnykh rosspyakh kak prirodnyy nauchnyy fenomen. [Autigenic mineralization in river placers as a natural scientific phenomenon]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra URO RAN – Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences*. 2010, no. 2, pp. 54–60. (in Russ.).
11. Ikonnikov N. N. Rossypnye produktivnye formatsii osadochnogo chekhla Russkoy plity. [Placer productive formations of the sedimentary cover of the Russian plate]. *Mat. 8-go soveshchaniya po geologii rosspyey* [Materials of the eighth meeting on placer geology]. Kiev, 1987. pp. 249–251. (in Russ.).
12. Kenarev V. N., Leksikova R. P., Knyazeva N. V. Otchet o kompleksnykh poiskovykh rabotakh, vypolnennykh na Volchinskoy tsirkon-il'menitovoy rossypi v Lipetskoy oblasti v 1974–1976 gg. [Report on complex prospecting operations carried out at the Volchinskaya zirkon-ilmenite placer in the Lipetsk region in 1974–1976.]. Fondy GGP «Lipetskegeologiya». Lipetsk, 1976. 132 p. (in Russ., unpublished).
13. Mitina E. M., Matveeva I. A., Pukhonin A. I. et al. Otchet o revizionno-poiskovykh rabotakh po otsenke perspektiv zolotonosnosti otlozheniy osadochnogo chekhla (Russkaya Zhvuravka) i kristallicheskiykh porod fundamenta (Mamonskiy uchastok) na yugo-vostoke Voronezhskoy anteklizy. [Report on the revision and prospecting work to assess the prospects for gold content of sedimentary cover deposits (Russian Zhvuravka) and crystalline basement rocks (Mamonsky site) in the south-east of the Voronezh anteclise]. Fondy GGP «Voronezhgeologiya». Voronezh, 1973. (in Russ., unpublished).
14. Savko A. D., Shevyrev L. T., Il'yash V. V., Bozhko E. N. Zoloto i redkie mineraly v osadochnom chekhle Voronezhskoy anteklizy. [Gold and rare minerals in the sedimentary cover of the Voronezh anteclise]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 1996, no. 1, pp. 133–138. (in Russ.).
15. Savko A. D., Shevyrev L. T., Il'yash V. V., Okorokov V. A. Geokhimicheskie osobennosti i genesis zolota osadochnogo chekhla Voronezhskoy anteklizy. [Geochemical features and genesis of gold in the sedimentary cover of the Voronezh anteclise]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 1996, no 2, pp. 86–95 (in Russ.).
16. Savko A. D., Shevyrev L. T., Loskutov V. V. Eksgal'yatsionno-osadochnaya metallonosnost' Voronezhskoy anteklizy – novye gorizonty poiskov rudnykh mestorozhdeniy v osadochnom chekhle. St. 1. Intermetallidy, lokalizatsiya, sostav. [Exhalation-sedimentary metalliferous content of the Voronezh anteclise – new horizons for the search for ore deposits in the sedimentary cover. Article 1. Intermetallics, localization, composition]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 1999, no. 7, pp. 139–154. (in Russ.).
17. Savko A. D., Shevyrev L. T. «Rasseyannyy rudogenez» – vklad v metallonosnost' osadochnykh tolshch, vozmozhnye geneticheskie tipy. ["Scattered ore-forming" – contribution to the metalliferous content of sedimentary strata, possible genetic types]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya = Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2006, no. 1, pp. 55–68. (in Russ.).
18. Savko A. D., Shevyrev L. T. Geokhimicheskie osobennosti ul'tratonkogo zolota i intermetallidov iz osadochnogo chekhla Voronezhskoy anteklizy. [Geochemical features of ultrathin gold and intermetallics from the sedimentary cover of the Voronezh anteclise]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. geologiya i razvedka – Proceedings of Higher Educational Establishments: Geology and Exploration*. 2010, no. 5, pp. 14–21. (in Russ.).
19. Litovchenko N. I. Otchet o rezul'tatakh rabot po ob'ektu «Izucheniye vskryshnykh porod Ukolovskogo mestorozhdeniya fosforitov s tsel'yu ikh ispol'zovaniya v narodnom khozyaystve». [Report on the results of work on the object "Study of overburden rocks of the Ukolovsky phosphorite deposit for the purpose of their use in the national economy"]. Tul'skoe NIGP. Kursk, 2001 g. (in Russ., unpublished).
20. Chernyshov N. M. Novyy tip zoloto-platinometal'nogo orudneniya v stratifitsirovannykh chernoslantsevykh kompleksakh KMA (zakonomernosti razmeshcheniya, mineralogo-geokhimicheskie osobennosti i geologo-geneticheskaya model' formirovaniya). [A new type of gold-platinum-metal mineralization in stratified black shale complexes of the KMA (regularities of placement, mineralogical and geochemical features, and geological and genetic model of formation)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 1996, no. 1, pp. 114–132. (in Russ.).
21. Bozhko E. N., Savko A. D. Zolotonosnost' zapadnoy chasti Liberiyskogo shchita (Gvineya). [Gold content of the western part of the Liberian Shield (Guinea)]. *Trudy Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Geologii* [The work of the Research Institute of Geology],

- Voronezh, VSU Publ., Vol. 33, 2005, 131 p. (in Russ.).
22. Vergasova L. P., Naboko S. I., Serafimova V. L., Starova V. L., Filatov S. K. Eksgal'yatsionnoe samorodnoe zoloto. [Exhaled native gold]. *DAN*, 1982, Vol. 264, no. 1, pp. 201–204. (in Russ.).
  23. Petrovskaya N. V. *Samorodnoe zoloto*. [Native gold]. Moscow, NShchKL publ., 1973. 347 p. (in Russ.).
  24. Turlychkin V. M., Gorenkov N. L. Fosfority – adsorbenty zolota i vosstanoviteli do svobodnogo metallicheskogo. [Phosphorites – adsorbents of gold and reducing agents to free metal]. *Geologicheskii vestnik Tsentral'nykh rayonov Rossii – Geological Bulletin of the Central Regions of Russia*, 1999, no. 3, pp. 14–17. (in Russ.).
  25. Naumov V. A., Lunev B. S., Naumova O. B. Geologicheskie ob"ekty s melkim i tonkim zolotom – vazhneyshie istochniki mineral'nogo syr'ya. [Geological objects with fine and fine gold are the most important sources of mineral raw materials]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki – Natural and technical sciences*. 2010, no. 1 (45), pp. 174–177. (in Russ.).
  26. Naumov V. A., Ilaltdinov I. Ya., Osovetskii B. M., Goldyrev V. V., Makeev A. B. *Zoloto Verkhnekamskoy vpadiny*. [Gold of the Verkhnekamskaya depression]. Kudymkar-Perm publ., 2003. 218 p. (in Russ.).
  27. Naumov V. A., Osovetskii B. M. Rtutistoe zoloto i amal'gamy v mezozoi-kainozoiskikh otlozheniyakh Vyatsko-Kamskoy vpadiny. [Mercuriferous gold and amalgams in Mesozoic-Cenozoic rocks of the Vyatka-Kama depression]. *Litologiya i poleznye iskopaemye – Lithology and Mineral Resources*. 2013, no. 3, pp. 256–273. (in Russ.).
  28. Naumov V. A., Naumova O. B. Formy nakhozheniya i perspektivy osvoeniya zolota v prirodnykh i tekhnogennykh obrazovaniyakh Zapadnogo Urala. [Forms of location and prospects of gold development in natural and man-made formations of the Western Urals]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya – Bulletin of Perm University. Geology*. 2019, vol. 18, no. 1, pp. 55–63. (in Russ.).
  29. Kyznetsova O. Yu. *Mineral'no-geokhimicheskie osobennosti formirovaniya zolotonosnykh kor vyvetrivaniya Urala (na primere Svetlinskogo i Katalambinskogo mestorozhdeniy)*: kand. geol.-min. nauk. [Mineral-geochemical features of formation of gold-bearing weathering crusts of the Urals (for example, Svetlinsky and Katalambano fields)]. PhD in geol.-min. diss.]. Moscow, 2000. 19 p. (in Russ.).
  30. Savko A. D. *Fanerozoyskie kory vyvetrivaniya i svyazannye s nimi otlozheniya Voronezhskoy anteklizy, ikh nemetallicheskie poleznye iskopaemye: dis. d-ra geol. min. nauk*. [The Phanerozoic weathering crusts and related deposits of the Voronezh antecline, their non-metallic minerals. Extended Abstract of D.Sc. diss.]. Voronezh, 1984. 551 p. (in Russ.).
  31. Zinchuk N. N., Savko A. D., Shevyrev L. T. *Istoricheskaya minerageniya: v 3-kh tomakh. T. 3. Istoricheskaya minerageniya podvizhnykh poyasov*. [Historical mineralogy: in 3 volumes. Vol. 3. Historical mineralogy of mobile belts]. 2008. 624 p. (in Russ.).
  32. Kuznetsov S. K., Mayorova T. P., Sokerina N. V., Glukhov E. V. Zolotonosnye rayony Zapadnogo sklona Severa Urala i Timana. [Gold-bearing areas of the Western slope of the North of the Urals and Timan]. *Izvestiya Komi nauchnogo tsentra URO RAN – Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Division of the Russian Academy of Sciences*. no. 4 (36). Syktyvkar, 2018. pp. 81–94. (in Russ.).
  33. Polyakova T. N., Pilitin A. E., Kreinetskiy A. A. Fazovyie formy zolota v sisteme korennoy istochnik – vtorychnyy oreol pri formirovaniy anomal'nykh geokhimicheskikh poley. [Phase forms of gold in the root source-secondary halo system during the formation of anomalous geochemical fields]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2018, no. 1, pp. 77–91. (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2018.1/1434>
  34. *Zolotorudnye mestorozhdeniya tipa karlin – kriterii ikh vyavleniya*. [Gold deposits of the Carlin type – the criteria for their identification]. URL: <https://oborudka.ru/handbook/622.html> (accessed: 15.02.2021). (in Russ.).
  35. Cail T. L., Cline J. S. Alteration associated with gold deposition at the Getchell Carlin-type gold deposit, north-central Nevada. *Econ. Geol.*, 2001, Vol. 96, pp. 1343–1361. (accessed: 15.02.2021).
  36. Cline J. S., Hofstra A. S., Muntean J. L., Tosdal R. M., Hickey K. A. Carlin-type gold deposits in Nevada: critical geologic characteristics and viable models. *Econ. Geol.*, 2005, 100th Annivers. Vol, pp. 451–484.
  37. Muntean J. L., Cline J., Johnston M. K., Ressel M. W., Seedorff E., Barton M. D. Controversies on the origin of world-class gold deposits, part I: Carlin-type gold deposits in Nevada. *SEG Newsletters*, 2004, Vol. 59, pp. 10–19.
  38. Khausen D. M., Kerr. P. F. *Rudnye mestorozhdeniya SSHA*. [Ore deposits of the United States]. Vol. 2, 1972, pp. 590–624. (in Russ.).
  39. Benevol'skiy B. I., Taneev I. G., Skripchenko V. V., Chernov V. D., Chayka V. M. *Rudnye resursy i ikh razmeshchenie po geopokham. Blagorodnye metally (MPG, zoloto, srebro)*. [Ore resources and their placement by geoePOCHS. Precious metals (MPG, gold, silver)]. Spravochnoe posobie. Pod red. akademika D. V. Rundkvista. Moscow, Nedra publ., 1995, 223 p. (in Russ.).

Черешинский Алексей Васильевич – к. г.-м. н., доцент, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская федерация; E-mail: [vsu31022@mail.ru](mailto:vsu31022@mail.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0697-3551>

Шевырев Леонид Тихонович – д. г.-м. н., Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская федерация; E-mail: [shevpp@yandex.ru](mailto:shevpp@yandex.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3468-6712>

Савко Аркадий Дмитриевич – д. г.-м. н., профессор, Воронежский государственный университет, Воронеж, Российская федерация; E-mail: [savko@geol.vsu.ru](mailto:savko@geol.vsu.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2133-3317>

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Alexey V. Chereshinskiy – PhD in Geol.-Min., Associate Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; E-mail: [vsu31022@mail.ru](mailto:vsu31022@mail.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-0697-3551>

Leonid T. Shevyrev – PhD, Dr. habil. in Geol.-Min, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; E-mail: [shevpp@yandex.ru](mailto:shevpp@yandex.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3468-6712>

Arkady D. Savko, PhD, Dr. habil. in Geol.-Min, Professor, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation; E-mail: [savko@geol.vsu.ru](mailto:savko@geol.vsu.ru); ORCID <https://orcid.org/0000-0003-2133-3317>

The authors have read and approved the final manuscript.