

**Н.А. Маслаков, В.В. Иванченко,
М.В. Белицкая, И.В. Гаврилюк, Э.М. Османов**

Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины, Киев

ОСОБЕННОСТИ МЕЛКОГО И ДИСПЕРСНОГО ЗОЛОТА ИЗ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД НИЖНЕГО ПРИДНЕПРОВЬЯ

Получены новые данные о минералогии проявлений тонкого золота в отложениях Нижнего Днепра. Установлены общие закономерности распределения золота и минералов-спутников оруденения в разрезе и на площади бассейна. Выявленные особенности состава, морфологии и внутреннего строения выделений золота свидетельствуют о поступлении его из различных источников и участии диагенетических преобразований осадка в формировании золотоносных ассоциаций и парагенезисов. Обоснована необходимость усовершенствования методики проведения поисковых работ и технологии извлечения тонкого золота из россыпей на юге Украины.

Ключевые слова: аллювий, тонкое золото, сульфиды, диагенез, индикаторы оруденения.

Введение

Исследования, проведенные Отделением морской геологии и осадочного рудообразования Национальной академии наук Украины на Керченском полуострове и в Азовском море, в северном Причерноморье, результаты обогащения проб донных отложений северо-западной части Черного моря, полученные одесскими геологами, а также прогнозно-геологические работы совместно со специалистами КП «Южэкогеоцентр» на золото на Крымском полуострове позволили выделить Азово-Черноморскую провинцию тонкого и дисперсного золота на юге Украины [6—9]. Буровыми работами, опробованием песчаных карьеров и пляжных отложений в этом районе подтверждено наличие знакового, реже — весового количества золота. Однако для повышения эффективности поисков имеющиеся данные необходимо дополнить минералогическими исследованиями тонкого золота в местах его локализации.

Цель этой работы — выявить характерные черты минералогии проявлений золота в Нижнем Приднепровье для использо-

© Н.А. МАСЛАКОВ, В.В. ИВАНЧЕНКО, М.В. БЕЛИЦКАЯ,
И.В. ГАВРИЛЮК, Э.М. ОСМАНОВ, 2016

вания их в качестве поисковых критериев и отработки технологии обогащения россыпей тонкого и мелкого золота.

Район исследований

Район исследования на юге ограничен побережьем Черного моря, на севере — современным руслом Днепра. Нижнее Приднепровье весьма перспективно для поисков россыпей тонкого золота.

На этой территории развиты аллювиальные и аллювиально-озерные осадки палеодолины р. Днепр. Фациально выделяются русловые (включая отложения базальных горизонтов), пойменные, иногда старичные образования. Наибольшее распространение имеют мелко- и среднезернистые кварцевые пески, иногда ожелезненные. Среди них встречаются прослой алевритов и глин. В базальных горизонтах отмечены гравий и галька карбонатных пород. Мощность этих отложений 30—60 м при ширине долины от 3 до 11 км [1].

В пределах дельтовой аккумулятивной равнины нижнего Днепра развиты также золотые песчаные массивы-арены. Эти дюнные пески, получившие местное название «кучугуры», образованные за счет перевеяного песчаного материала речных террас, имеют мощность до 11 м. Пески в основном кварцевые, мелко- и тонкозернистые, иногда пылевидные. В верхней части разрезов нередко присутствуют супеси.

Материал и методы

Для отбора проб использовали метровые интервалы поисковых скважин, уступов карьеров по добыче песка, пляжные отложения Днепра и Днепро-Бугского лимана. Всего проанализировали 46 проб.

Исследовали концентраты проб, выделенных с помощью лабораторной установки «Говерла» [5]. Из них ручным магнитом выделяли магнитную фракцию (МФ), затем электромагнитом — две электромагнитные фракции (ЭМФ-I и ЭМФ-II). Остаток пробы разделяли в тяжелой жидкости (бромформ, удельный вес $2,6 \text{ г/см}^3$) на легкую (ЛФ) и тяжелую неэлектромагнитную фракцию (НЕМФ). Неэлектромагнитную фракцию пробы отмывали в чашке с тяжелой жидкостью с целью концентрации наиболее тяжелых минералов (самородное золото, серебро, медь) во фракции НЕМФ-II и отделения их от циркона, апатита, монацита и других минералов, сконцентрированных в НЕМФ-I.

Таким образом, из концентрата каждой пробы на этапе подготовки к минералогическому анализу было выделено шесть фракций: МФ, ЭМФ-I, ЭМФ-II, ЛФ, НЕМФ-I и НЕМФ-II. Минералы опробованных осадков распределились в них в соответствии со своим удельным весом от кварца и полевого шпата в ЛФ до самородных металлов в НЕМФ-II. Все фракции взвешивались для последующего пересчета результатов минералогического анализа (в г/м^3).

Диагностика минералов, изучение морфологии и внутреннего строения индивидов и агрегатов, а также других свойств и состава минералов тяжелой фракции проб выполняли с использованием оптической и растровой электронной микроскопии (РЭМ), микронзондового анализа (МЗА).

Результаты и обсуждение

Распределение золота в исследуемом районе крайне неравномерно. Оно выявлено в более чем 40 % исследованных проб. Золото в знаковом содержании присутствует во всех типах речных и даже в современных эоловых отложениях на разных уровнях. Весовое содержание золота (до 1,34 г/м³) тяготеет к базальным участкам разреза русловых фаций.

Цвет минерала золотисто-желтый, серебристо-желтый или красновато-желтый. Золото ковкое, имеет металлический блеск. Изредка покрыто пленкой гипергенных минералов меди или железа, а также кальцита. Установлено две формы золота: свободное — в мелких и тонких знаках и связанное с железистой пленкой на кварцевых песчинках — тонкодисперсное, возможно, в коллоидных частицах.

Размер золотинок — до 0,18 мм. Средний размер по исследуемым участкам, мм: Тендровская коса — 0,053; с. Кардашинка — 0,085; г. Железный Порт — 0,14; р. Каланчак — 0,18; с. Збурьевка — 0,032; с. Корсунка — 0,082.

Морфология частиц золота разнообразна. Первичная морфология индивидов сохранилась только в зернах тонкого золота или в сростках золота с другими минералами. Наименьшие выделения имеют форму идиоморфных кубических и кубо-октаэдрических кристаллов. Местами с ними ассоциируют угловатые зерна, фрагменты кристаллов, выросших в условиях ограниченного пространства с индукционной штриховкой на поверхности (Тендровская коса).

Более распространены частицы неправильной формы: угловатые, сплюснутые, овальные, дисковидные, нитевидные, скрученные. Наблюдаются многочисленные выступы, вмятины, пустоты (рис. 1–3). В зернах крупнее 0,05–0,06 мм проявляется окатанность (рис. 4). Встречаются также выделения переотложенного золота, образовавшиеся, вероятно, в полостях органических остатков осадка. Они имеют форму, унаследованную от раковин фораминифер или остракод.

Особого внимания заслуживают редкие находки дендритов рудных минералов, в том числе и золота, на поверхности окатанных зерен кварца и других осадкообразующих минералов. Они свидетельствуют, что условия речного седиментогенеза могут быть благоприятными для растворения и образования новых генераций золота. Однако масштабы и поисковое значение данных процессов на участках Нижнего Приднепровья еще не выяснены.

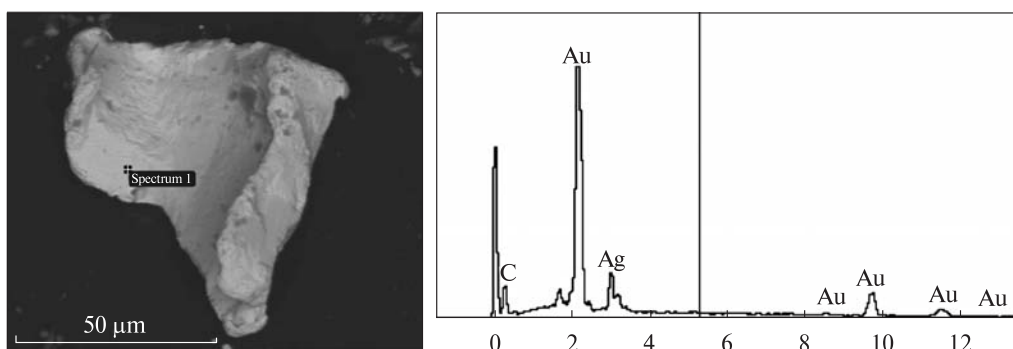


Рис. 1. Изогнутая частичка серебристого золота. Первая надпойменная терраса р. Днепр в районе с. Корсунка, поисковая скв., гл. 33 м



Рис. 2. Морфология и внутреннее строение пластинок золота по данным оптической (а) и растровой электронной (б–г) микроскопии; а — аллювий р. Днепр в районе с. Корсунка, бинокляр, ув. 390^х; б, в, г — пляжные отложения в р-не Железного порта

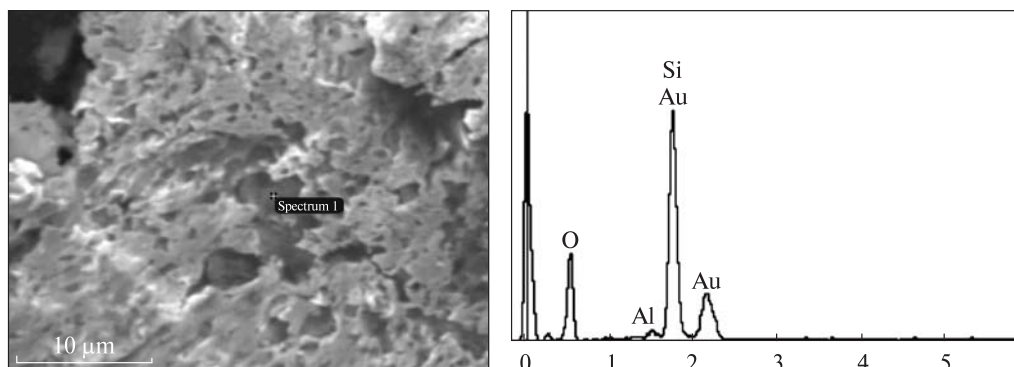


Рис. 3. Пористая частичка золота. Большинство пустот заполнено гипергенными минералами кремнезема. Карьер на первой надпойменной террасе возле с. Кардашинка. РЭМ, МЗА

Характер внутреннего строения индивидов и агрегатов золота по данным растровой электронной микроскопии приведен на рис. 2, 3. Плотное, на первый взгляд однородное, строение наблюдается редко и обусловлено действием внешней механической деформации, нивелирующей внутреннюю неоднородность частичек золота (рис. 1, 4).

Однако чаще отдельные зерна минерала представляют собой микропористый ажурный агрегат дендритов и скелетных кристаллов золота (рис. 2). Переплетение удлиненных чешуйчатых и изогнутых выделений формирует большое количество пустот внутри золотинок. Пустоты по происхождению, вероятно, первичные, образованные одновременно с зарождением и разрастанием дендритных агрегатов золота. Иной генезис имеют хаотично расположенные округлые, линзовидные или неправильных очертаний полости в золоте, заполненные вторичными алюмосиликатами (рис. 3). Предположительно, они связаны с деятельностью анаэробных бактерий. Процессы растворения — осаждения металла приводят к перераспределению золота в уже сформированном осадке и могут способствовать накоплению его в приплотиковых участках аллювиального разреза.

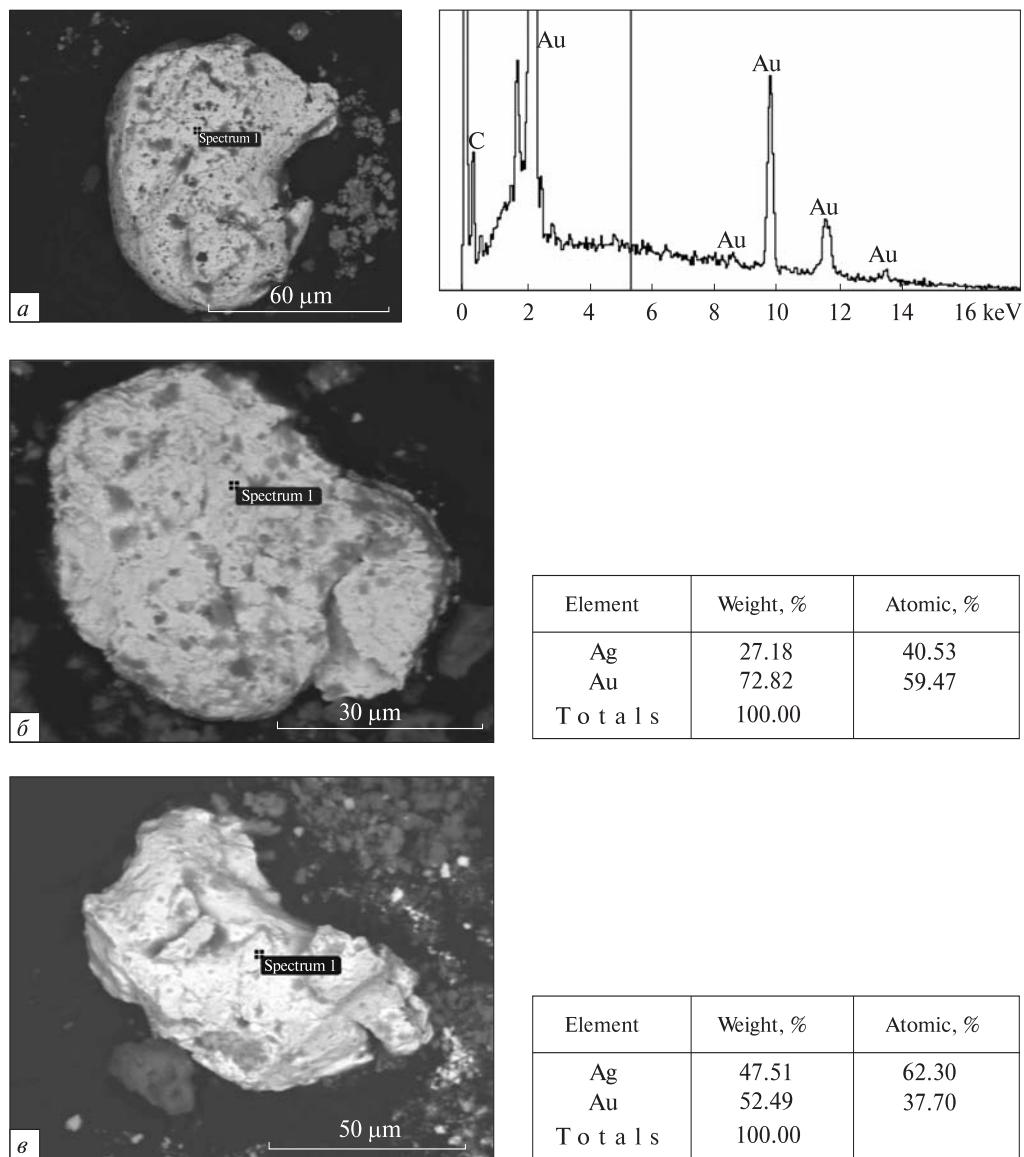


Рис. 4. Морфология и состав тонкого золота из аллювиальных отложений Нижнего Днепра, поисковая скв. гл. 35 м, с. Корсунка: *а* — частично окатанное зерно самородного золота; *б* — электрум; *в* — золотистое серебро. РЭМ, МЭА

Пустоты разного происхождения занимают до 50 % объема частиц. Высокая пористость снижает вес частичек золота, повышает их подвижность («плывучесть») в водном потоке, снижает контраст с кварцем и делает невозможным извлечение тонкого золота на концентрационном столе, винтовом сепараторе и другими традиционными методами. Перспективы поисковых работ на россыпное золото в этом районе появятся лишь при условии преодоления этих технических и технологических трудностей [4].

Состав золота (по данным микрозондового анализа) весьма изменчивый, в полной мере отражающий совершенный изоморфизм в системе Au—Ag—Cu.

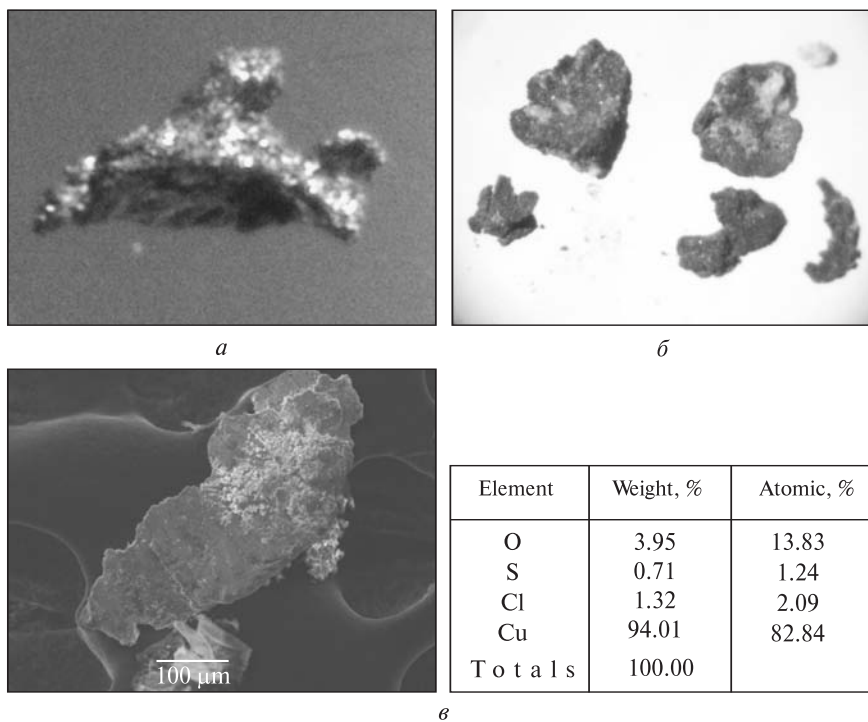


Рис. 5. Изогнутые, пластинчатые зерна серебра (*а*) и меди (*б*, *в*) из аллювиальных отложений Днепра: *а*, *б* — карьер на первой надпойменной террасе южнее острова Вербки. Бинокляр, ув.: *а* — 180^х; *б* — 50^х; *в* — пластинчатое выделение самородной меди с выцветами вторичных карбонатов меди; п. Каланчак, поисковая скв. гл. 11 м. РЭМ, МЗА

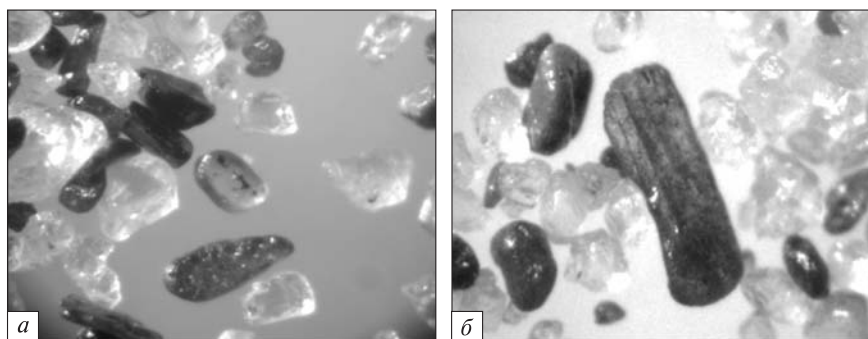


Рис. 6. Наиболее распространенные минералы тяжелой фракции аллювия Нижнего Днепра: *а* — циркон (в центре), ильменит (черное), рутил (серое), бесцветный — кварц; *б* — дистен (в центре), лейкоксен, рутил (серое). Поисковая скв., гл. 11–12 м., п. Каланчак. Бинокляр, ув. 80^х

Встречается высокопробное золото без заметных примесей, серебристое золото, электрум, золотистое серебро, а также медистое золото, покрытое пленкой вторичных карбонатов меди (рис. 4). Каких-либо закономерностей в распределении золота определенного состава на исследуемой территории не обнаружено. Напротив, в одной пробе находятся золотишки разного состава.

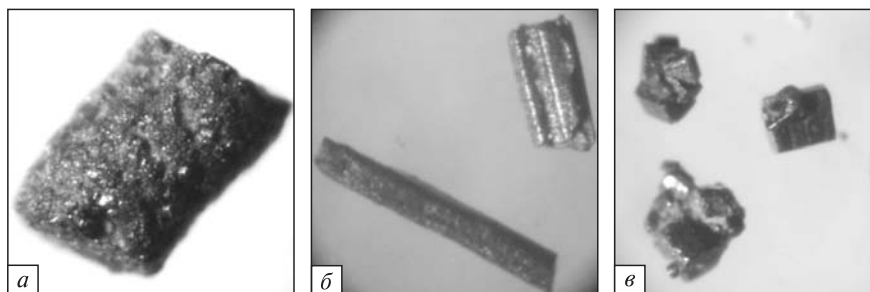


Рис. 7. Аутигенные сульфиды из аллювиальных отложений Нижнего Днепра: *а* — натечный агрегат пирита, поисковая скв., гл. 9 м, р. Каланчак; *б* — кристаллы лимонитизированного марказита, поисковая скв., гл. 36 м, с. Корсунка; *в* — одиночные кристаллы и друзы гексаэдрического пирита (там же). Бинокляр, ув.: *а* — 80^х; *б, в* — 120^х

Спутники золота в тяжелой фракции аллювия — самородное серебро и медь (рис. 5), различные оксиды, сульфиды, силикаты, фосфаты [2, 3]. Наиболее распространены циркон, ильменит, рутил, лейкоксен, гранат, дистен (рис. 6). Редкие находки серебра представлены мелкими (до 0,03 мм) деформированными зернами неправильной формы. Медь пластинчатая, реже комковатая размерами до 0,8 мм покрыта «рубашкой» вторичных минералов.

Сульфиды представлены широким видовым и генетическим спектром. Определены пирит, марказит, арсенопирит, пирротин, халькопирит. Встречаются терригенные окатанные лимонитизированные зерна, микросферолиты, натечные агрегаты и кристаллы речного происхождения (рис. 7). Наблюдается нарастание аутигенных сульфидов на терригенных минералах (цирконе, кварце и др.), фрагментарная цементация осадка мелкозернистым сульфидным (марказитовым, пиритовым) агрегатом, пирит-кальцитовые корки и стяжения. Широкое развитие процессов речного сульфидообразования с одновременной перекристаллизацией карбонатного ила — свидетельство начала диагенетических преобразований осадка в нижних участках аллювиального разреза.

В связи с этим особый интерес вызывают мелкие идиоморфные кристаллы новообразованного пирита гексаэдрического, октаэдрического или гексоктаэдрического габитуса (рис. 7, *в*). Реже встречаются пентагондодекаэдрические индивиды. Пространственно они тяготеют к наиболее глубоким приплотиковым слоям речного осадка. К последним приурочена и минерализация тонкого золота. Связь процессов концентрации золота с образованием в осадке микрокристаллов аутигенных сульфидов скорее пространственная, чем генетическая. Она может быть обусловлена восстановительными условиями и усилением деятельности анаэробных бактерий в нижних золотоносных участках аллювиального разреза, на глубинах ниже 20—30 м от контакта осадка с водой [3].

Выводы

1. В исследуемом районе преобладает тонкое золото с весьма неравномерным распределением по всей площади бассейна. Дельтовые фации более обогащены металлом, тогда как вверх по течению рек он встречается реже. Содержание золота в разрезе аллювиальных отложений увеличивается в направлении плотика.

2. Состав золота изменяется в широком диапазоне изоморфизма системы $Cu-Ag-Au$, включая как металлы высокой чистоты, так и переходные промежуточные члены изоморфных рядов.

3. Литолого-минералогическими индикаторами оруденения служат проявления диагенетических изменений осадка, образование аутигенных сульфидов, в особенности мелких идиоморфных кристаллов кубического, октаэдрического и пентагондодекаэдрического пирита.

4. Малый размер, неправильная, часто нитевидная, пластинчатая форма и большое количество пустот определяют высокую подвижность золота в водной среде и обусловленные этим трудности его обнаружения и обогащения. На юге Украины следует использовать новые методы ведения поисковых работ на россыпное золото и более совершенные приемы его сепарации, ориентированные на выделение металла в концентрат из классов 30–40 мкм и ниже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Горецкий Г.И.* Аллювиальная летопись великого Пра-Днепра. — М. : Недра, 1976. — 471 с.
2. *Иванченко В.В., Беліцька М.В., Гаврилюк І.В.* Літологія та можливості комплексного вивчення сучасного алювію річки Дніпро // Вісн. Дніпропетр. унів. — 2015. — 23, № 1. — С. 56–64.
3. *Иванченко В.В., Квітка А.С.* Аутигенні сульфідні у донному осаді річок України // Геол. и ползн. ископ. Мирового океана. — 2014. — № 2. — С. 118–123.
4. *Иванченко В.В., Чугунов Ю.Д., Чугунов С.Д.* Минералого-технологические факторы повышения эффективности оценки природных и техногенных месторождений золота // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России: Материалы Всерос. науч.-практич. конфер. (Якутск, 1–3 апреля 2014 г.). — 2014. — С. 213–217.
5. *Кардаш В.Т., Лебедь Н.И., Яценко Ю.Г.* Золотоносность донных осадков Азовского моря // Минеральные ресурсы Украины. — 1996. — № 3. — С. 11–13.
6. *Шнюков Е.Ф.* Поиски месторождений мелкого и тонкого золота в Азово-Черноморском регионе — важная геологическая проблема XXI века // Геологические проблемы Черного моря. — Киев, 2001.
7. *Шнюков Е.Ф., Маслаков Н.А., Кардаш В.Т.* Перспективы Южно-Украинской провинции мелкого и тонкодисперсного золота // Природные и техногенные россыпи, месторождения коры выветривания на рубеже тысячелетий. РКВ. — М., 2000. — С. 391–392.
8. *Шнюков Е.Ф., Гаврилюк И.В., Маслаков Н.А., Красножжина З.В., Ломакин И.Э.* Золото в недрах Крыма. — К. : Логос, 2010. — 187 с.
9. *Shnyukov E., Maslakov M., Yanko-Hombach V.* Gold content of sediments in the Ukrainian sector of the Azov-Black Sea basin // The Third International Symposium on the Geology of the Black Sea Region (Bucharest, 1–10 October, 2011). — 2011.

Статья поступила 21.04.2016

*М.О. Маслаков, В.В. Иванченко,
М.В. Белицька, І.В. Гаврилюк, Е.М. Османов*

ОСОБЛИВОСТІ ДРІБНОГО І ДИСПЕРСНОГО ЗОЛОТА З ОСАДОВИХ ПОРІД НИЖНЬОГО ПРИДНІПРОВ'Я

Отримано нові дані з мінералогії проявів тонкого золота з відкладів Нижнього Дніпра. Встановлено загальні закономірності розподілу золота і мінералів-супутників зруденіння у розрізі і на площі басейну. Виявлені особливості складу, морфології та внутрішньої будови виділень золота свідчать про його надходження з різних джерел і участь діагенетичних перетворень осаду у формуванні золотоносних асоціацій і парагенезисів. Обґрунтовано необхідність удосконалення методики пошукових робіт і технології вилучення тонкого золота з розсипів на півдні України.

Ключові слова: *алювій, тонке золото, сульфіди, діагенез, індикатори зруденіння.*

*N.A. Maslakov, V.V. Ivanchenko,
M.V. Belitska, I.V. Gavrilyuk, E.M. Osmanov*

ESPECIALLY OF SMALL AND DISPERSED GOLD FROM SEDIMENTARY ROCKS OF THE LOWER DNIEPER REGION

The new data on mineralogy of fine gold in sediments of the Lower Dnieper are obtained. General regularities of distribution of gold and satellite minerals in section and all over the area are established. Features of composition, morphology and internal structure of gold particles indicate the gold entering from various sources and participation of diagenetic transformations of deposit in forming associations and paragenesis with gold. Necessity in improvement of prospecting method and extraction technology of fine gold from placer deposits in the south of Ukraine is grounded.

Key words: *alluvium, fine gold, sulphides, diagenesis, indicators of mineralization.*