

УДК 550.42: 551.35

© С.В. Нечаев, 2012

*Отделение морской геологии и осадочного рудообразования НАНУ, Киев*

## **ФАКТОРЫ УРАНОНОСНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ УКРАИНСКОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

*Ураноносность донных отложений украинской части Черного моря определяется комплексом прямо или косвенно взаимосвязанных факторов и предпосылок, реальных на профиле водосборная площадь – река – побережье – пелагиаль: наличием питающей провинции и водного стока; геоморфологическими и гидрогеологическими, климатическими; литофациальными; геохимическими условиями. Последние являются наиболее многообразными и показательными при своего рода универсальности окислительно-восстановительных и сорбционных геохимических барьеров. Уровень ураноносности черноморских донных отложений соответствует «эмбриональной» стадии процесса осадочного рудообразования, а рудно-литогенное их «созревание» определяется фактором времени.*

**Введение.** Проработка и обобщение большого массива опубликованных данных, касающихся ураноносности донных отложений Черного моря (ЧМ) стимулировали анализ факторов и предпосылок этого явления, что представляется нам как возможность более полного и всестороннего освещения «стартовой» роли осадочного геохимического цикла урана в эволюции уранового рудообразования, начиная с зарождения потенциально ураноносной фации.

Не будучи специалистом в области морской геологии, выполняя настоящую работу, автор руководствовался 10-летним практическим опытом, приобретенным при поисках урановых руд в геологических регионах Украины (Кировская экспедиция I-го Главка Мингео СССР) и крупнейшем в Европе Саксо-Тюрингском урановорудном бассейне (Саксонская экспедиция советско-германского общества «Висмут»). Изучение геолого-геохимической природы рудной минерализации в позднедокембрийских и палеозойских толщах западных склонов Восточноевропейской платформы (ВВП) и северного обрамления Богемского/Чешского срединного массива (1967-1976) нашло отражение в монографии [18].

Несмотря на то, что в отмеченной монографии мы обращались к урану лишь косвенно, ее методологическая ориентация определялась достижениями научной школы «уранщиков» ГЕОХИ АН СССР им. В.И.Вернадского, возглавляемой в то время А.И. Тугариновым.

Именно в период работы в «Висмуте» автор убедился, как геолог-поисковик, в правомерности сути доклада Алексея Ивановича «О причинах формирования рудных провинций» [25]: периодам появления эндогенных ураноносных провинций в истории Земли всегда предшествовало накопление его повышенных содержаний в осадочных комплексах.

Методология предлагаемого исследования определяется выяснением условий накопления урана на профиле река – побережье – пелагиаль при однозначности речного стока как фактора поступления урана в седиментационный бассейн ЧМ.

Следует подчеркнуть наиболее детальную изученность геохимии урана в воде и донных осадках пелагического фланга профиля благодаря исследованиям Н.М. Страхова и его школы [22, 23, 24], коллективов украинских специалистов, руководимых А.Е. Бабинцом [2, 3, 4], А.Ю. Митропольским [17], Е.Ф. Шнюковым [27], а также работам Г.Н. Батурина [5,6], И.И. Волкова [9], А.В. Коченова [13].

Вместе с тем, менее разработаны вопросы об источниках урана\* на водосборной площади и геохимии урана в переходном к открытому морю фланге река – побережье. Существенным подспорьем в этом плане является конкретный фактический материал, представленный в фундаментальной монографии «Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины» [10].

Интерес и значение ЧМ для познания геохимии осадочного процесса несомненны: «...идеи относительно механизма и факторов, контролирующего распределение элементов, выросшие на анализе черноморских отложений, приложимы и к другим морским бассейнам... Едва ли нужно доказывать, что эти же идеи могут оказать существенную помощь и при изучении аналогичных процессов в бассейнах геологического прошлого; во всяком случае игнорировать их уже нельзя [20, стр. 30].

**Ураноносность водосборной площади.** Большинство месторождений и рудопроявлений урана расположено в двух крупных структурных элементах юго-западной части ВЕП – Украинском интракратоне (металлогеническая провинция УЩ) и Днепровском авлакогене (Доно-Днепровская металлогеническая провинция) (рис. 1).

Не менее реальный источник урана – безрудные породы УЩ, особенно преобладающие среди них гранитоиды. Содержание урана в плагиоклаз-микроклиновых гранитах и мигматитах кировоградско-житомирского комплекса, равное  $3,4 \cdot 10^{-4} \%$  [11], приближается к суммарному содержанию элемента в глинах и глинистых сланцах ( $4 \cdot 10^{-4} \%$ ) и песчаниках ( $2,9 \cdot 10^{-4} \%$ ), а в калиевых, существенно микроклиновых, гранитах УЩ содержание урана ( $7,5 \cdot 10^{-4} \%$ ) в два с половиной раза превышает его кларк в земной коре.

Наиболее древние проявления урановой минерализации в УЩ приурочены к базальным песчано-конгломератовым отложениям скелеватской (нижней свиты криворожской) серии, определяющим стратиграфическое несогласие между формациями неоархея и палеопротерозоя. Ураноносность этих отложений, вероятнее всего, обусловлена денудированными породами архейского Среднеприднепровского кратона, в частности, токовскими гранитами, наиболее обогащенными (до  $0,01 \%$ ) ураном [10]. Примечательна приуроченность урановых руд Первомайского и Желтореченского месторождений к железосланцевым породам средней свиты, углеродисто-карбонатным и терригенным отложениям верхней свиты криворожской серии, пре-

\*Подразумевается наличие его подвижной формы, причем с достаточно большими ее массами.

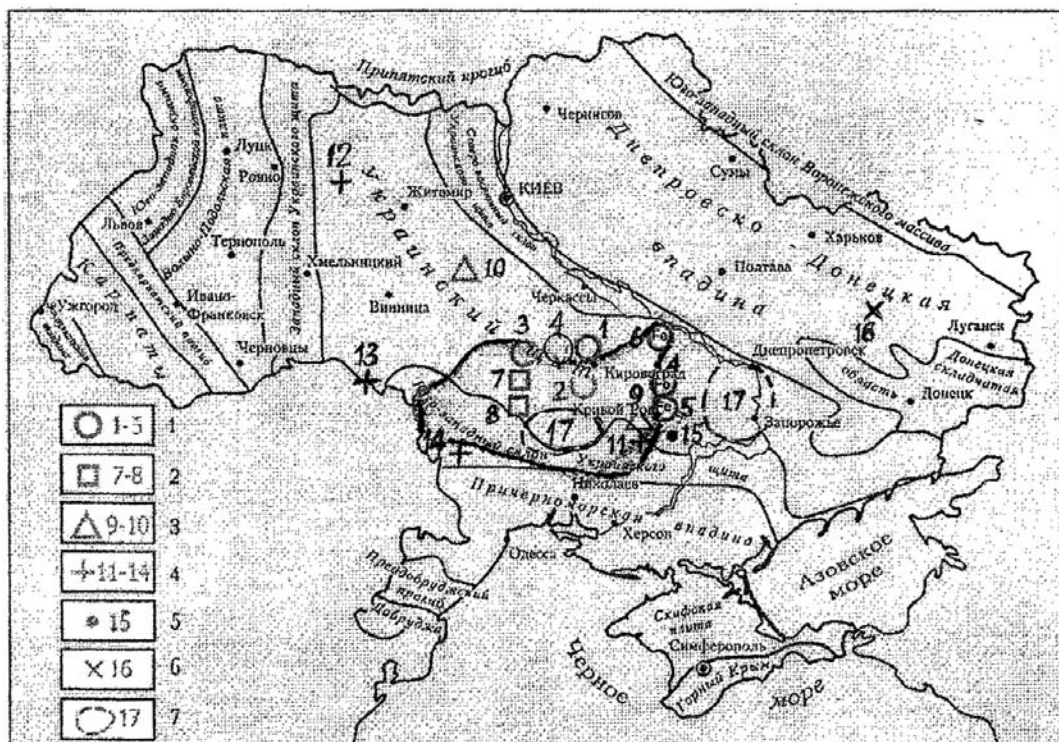


Рис. 1. Схема расположения месторождений и рудопроявлений урана на территории Украины [16] с дополнениями [12].

1–3 – эндогенный генетический тип (метасоматиты и гидротермалиты): 1– натрий-урановая формация (месторождения: 1 – Северинское, 2 – Мичуринское, 3 – Ватутинское, 4 – Новокозюлинское); железоурановая формация (месторождения: 4 – Желтореченское, 5 – Первомайское, 6 – Кременчугское рудопроявление); 2 – калий-урановая формация (месторождения: 7 – Калиновское и Лозоватское, 8 – Южное и рудопроявление Балка Карабельная); 3 – жильно-штоковерковая и 4 – полигенная формации (рудопроявления: 9 – Червоношахтерское, 10 – Северо-Березнянское и Новофастовское, 11 – Михайловское, 12 – Анастасовское, 13 – Косница-Воронковское, 14 – Новосветовское); 5 – докембрийские ураноносные конгломераты (рудопроявления: 15 – Николо-Козельское, Ингулецкое, Рахмановское, и др.); 6 – уранобитумные месторождения солянокупольного типа (16 – Адамовское, Красноскольское, Берекское); 7 – гидрогенные месторождения и рудопроявления в палеодолинах (17 – Днепровский урановорудный бассейн). Утолщенный контур – центральная графитоносная область УССР, включающая месторождения и рудопроявления графита

терпевшим щелочной метасоматоз. Вне воздействия последнего все повышенные концентрации урана «...относятся к поздним этапам, после отложения апологунной (доломитовой и молассовой) формаций, составляющих верхнюю свиту криворожской серии [10, стр. 30].

В фанерозойских образованиях Украины промышленные или близкие к ним месторождения урана в настоящее время известны только в осадочном чехле УЩ (в буроугольных отложениях среднего эоцена), а также в осадочных толщах ДДВ (рис. 2).

Оценить количественную роль урана раннедокембрийских руд и/или пород в ураноносных фанерозойских формациях Украины не представляется возможным, но признаки геолого-геохимической унаследованности последних очевидны теперь даже визуально-картографически.

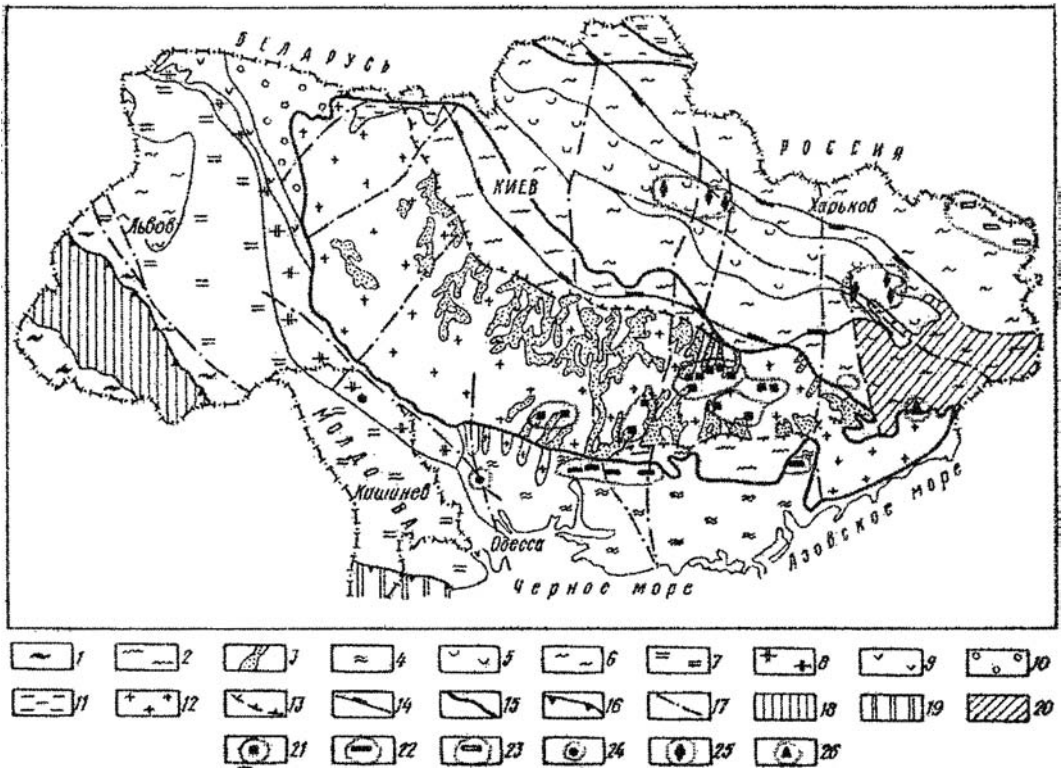


Рис. 2. Карта ураноносности осадочных структур на территории Украины и Молдовы [29].

1 – Терригенные комплексы неогена Предкарпатского и Закарпатского прогибов. Формации: 2 – песчано-глинистая морская бучакской свиты эоцена, 3 – песчаная угленосная бучакской свиты эоцена, 4 – песчано-глинистая морская нижнего мела; 5 – галогенно-эвапоритово-терригенный комплекс нижней перми; 6 – карбонатно-песчаниково-аргиллитовый угленосный комплекс карбона; 7 – терригенно-карбонатный комплекс кембрия-девона; 8 – песчанико-аргиллитовая формация верхнего венда; 9 – трапповая формация нижнего венда; 10 – красноцветная песчаниковая формация среднего-верхнего рифея; 11 – терригенно-эффузивная формация нижнего рифея; 12 – гранитно-метаморфические комплексы архея-раннего протерозоя. 13 – Фациальная граница между морскими и континентальными отложениями бучакской свиты эоцена. 14 – Граница распространения отложений триаса. 15 – Граница Украинского щита и Обоянского поднятия. 16 – Граница Восточноевропейской платформы. 17 – Региональные разломы. 18 – Альпийская геосинклиально-складчатая область. 19 – Киммерийская складчатая область. 20 – Герцинско-раннекиммерийская инверсионно-складчатая область. Экзогенные урановые месторождения и рудопроявления: 21 – в отложениях бучакской свиты эоцена Днепробасса; 22 – в отложениях нижнего мела; 23 – в отложениях карбона. Полигенные урановые месторождения и рудопроявления: 24 – в отложениях венда; 25 – в отложениях карбона-триаса; 26 – в отложениях среднего девона (Николаевское урано-ториевое м-ние)

Ураноносность металлогенических провинций в юго-западном складчатом обрамлении ВЕП – Карпатской и Скифской – проявилась менее, но интересна своими особенностями. По данным И.М. Афанасьевой [1] наиболее благоприятные условия интенсивного накопления в карпатском флише реакционно способного органического вещества, с которым связана концентрация урана, молибдена, ванадия и других типоморфных элементов черносланцевой формации, отвечают стратиграфическому уровню мела и олигоцена. На последнем широко представлены менилитовые сланцы – глини-

сто-кремнистые породы, в разной степени обогащенные пиритом и обуглившимся органическим веществом сапропелевого типа – керогеном. Известные во флишевой толще Украинских Карпат урановые проявления приурочены к битуминозным сланцам и черным аргиллитам, а также песчаникам и песчанистым аргиллитам с костными остатками рыб [10]. Пиритизированные алевролиты и сланцы с рыбьими остатками залегают, как правило, в низах менилитовой свиты. Оруденение имеет сингенетический характер, продуктивные пачки выдержаны, содержание урана убого-равномерное. Наиболее благоприятны прибрежные фации. Повышенная радиоактивность менилитовых сланцев и наличие урановых проявлений сочетаются с обилием органического вещества. Вместе с тем, прямая корреляционная связь  $C_{орг}$  и урана обнаруживается лишь в эпигенетически измененных аргиллитах, где максимальным содержаниям урана соответствуют, в большинстве случаев, и максимальные содержания  $C_{орг}$ . Данный факт согласуется с выводом К. Краускопфа [14] о способности черносланцевых пород к адсорбции металлов из циркулирующих растворов в течение всего времени, пока они сохраняют проницаемость – до полной литификации [19].

Скифская металлогеническая провинция, включающая структуры Добруджи и Крыма [10], характеризуется, подобно Карпатской, экзогенными концентрациями урана, связанными с углефицированным растительным детритом либо с фосфатизированными остатками рыб в глинах неогена. Нам известно, что такого типа урановые руды в майкопских отложениях обрабатывались в Прикаспии на п-ове Мангышлак.

Дочерноморскую стратификацию и полихронность уранового оруденения, представленного на рис. 1, дополняют ураноносные терригенные отложения осадочного чехла (рис. 2) в последовательности:

- 1) венд – юго-западный склон УЩ;
- 2) девон – юг Донбасса;
- 3) карбон – южный склон Воронежского массива;
- 4) карбон – триас – ДДВ;
- 5) мел – северная и северо-западная часть Причерноморской впадины, южного и юго-западного склонов УЩ;
- 6) эоцен – центральная часть УЩ (Днепробасс).

Таким образом, в пределах водосборной площади очевиден фактор унаследованности/ преимущества в геохимии урана, отображающий большой геохимический цикл элемента, начиная с рубежа архей-протерозой.

**Условия накопления урана на профиле река-прибрежье-пелагиаль.** Общим явлением в пределах рассмотренной водосборной площади является ее дренаж крупными водными артериями – реками Днепр, Южный Буг и Днестр, которые вместе с их многочисленными притоками обеспечивают осадконакопление в украинской части акватории ЧМ. В последней трудно учитывать роль стока Дуная, Кубани и Дона, а о роли стока пра-рек можно только догадываться. Известно, что при выносе реками с материка продуктов выветривания и денудации осуществляется поступление в море – в виде взвешенного материала и растворов – практически всех химических элементов [22, 8]. Следовательно, речной сток является фактором поступления урана в ЧМ, что иллюстрируется ниже (табл. 1).

Таблица 1

Вынос реками растворенного и взвешенного урана с северо-западного сектора водосбора ЧМ [17]

Река	Уран, т/год (среднемноголетний показатель)	
	растворенный	в речной взвеси
Днепр	64,6	2
Южный		
Буг	6,8	1
Днестр	5,3	1
Дунай	223,8	74

Как можно видеть, суммарный вынос урана только реками Днепр, Южный Буг и Днестр, составляющий около 80 т/год, лишь за одну тысячу лет эквивалентен масштабу крупного уранового месторождения. Из приведенного баланса абсолютных масс урана в ЧМ [27] обращают на себя внимание: высокая средняя концентрация (2,5 мкг/л) и значительный общий сток –

«приход» (125 т/год) урана в Керченском проливе. В этой связи благоприятными для накопления урана на украинском шельфе нам представляются локальные осадочные бассейны как в северо-западной его части (Одесско-Каркинитская впадина), так и в восточной – Керченско-Таманской.

Примечательно, что в последней, где мощность четвертичных дельтовых отложений достигает 2,5 км, устанавливаются палеодельты пра-Кубани и пра-Дона [15].

**Условия накопления урана на фланге река-прибрежье** рассматриваются нами на основании анализа результатов изучения гидрогенных (грунтово-инфильтрационных) урановых месторождений и рудопроявлений в осадочном покрове УЩ [28, 29].

Правомерность такого приема аргументируется синхронностью (в аспекте геологического времени): наличие оруденения данного типа в отложениях бучакской свиты среднего эоцена и палеоцен-эоценовое время образования ЧМ\*, а также ныне продолжающееся в этих отложениях, как и в донных отложениях моря, накопление урана.

Оруденение Днепровского урановорудного бассейна (Днепробасса) приурочено к среднеэоценовым угленосным отложениям бучакской свиты, заполняющим палеодолины, которые врезаются в кристаллические породы УЩ и их кору выветривания на глубину до 70-90 м. Угленосные отложения перекрываются морскими отложениями эоцена-олигоцена или непосредственно прибрежно-морскими песками миоцена. Палеодолины образованы реками, стекавшими на север, в морской бассейн ДДВ, или на юг, в морской бассейн Тетиса. Часть палеодолин полностью заполнена речными отложениями, в других они имеют небольшую мощность и залегают лишь в основании осадочного чехла, перекрываясь лагунно-лиманскими или озерно-болотными отложениями.

К комплексу речных отложений Днепробасса приурочены основные урановые месторождения и рудопроявления – Садовое, Братское, Сафоновское, Девладовское, Новогурьевское, Христофоровское, Хуторское.

\* Начиная с майкопа, в погружение вовлекаются не только глубоководные котловины, но и прибрежные области Черноморья [26].

Известны урановые залежи долинного типа, распространенные по всей ширине палеорула (Новогурьевское, Девладовское, Братское), и прибортового типа, размещенные в виде нешироких извилистых полос вдоль борта палеодолины (Садовое, Ташлыкское, Хуторское). Такое размещение рудных залежей связано с развитием рудоконтролирующей грунтово-пластовой окислительной зональности: от верховьев или от бортов палеодолины. Урановые залежи размещаются по всему разрезу речных отложений, часто захватывая верхнюю часть коры выветривания, наиболее мощные и богатые рудные тела тяготеют к нижней и средней части разреза. Преобладают оруденелые углистые пески, в меньшей мере оруденение встречается в углистых глинах и бурых углях.

Озерно-болотный комплекс в северо-западной и центральной частях Днепробасса заполняет мелкие (глубиной до 20 м) пологие впадины. Его отложения представлены, в основном, углистыми алевролитами и глинами, бурыми углями с подчиненными прослоями песков, наименее ураноносны, а уранопроявления расположены в периферических частях озерно-болотных бассейнов. Концентрации урана контролируются грунтовой окислительной зональностью и локализованы в кровле угленосных отложений (углистых глинах, бурых углях).

Лагунно-лиманый фациальный комплекс, преимущественно распространенный в палеодолинах северо-восточной, восточной и юго-восточной частей Днепробасса, состоит из глинисто-углистых пород с подчиненными прослоями мелкозернистых песков и песчаников. Характерна высокая угленасыщенность, распространение мощных, выдержанных угольных залежей (Верховцевская, Сурская и другие палеодолины). В отложениях комплекса обнаружены многочисленные проявления и два месторождения урана – Сурское и Червоноярское. Концентрации урана повышены по всей площади крупных палеодолин, но наиболее значительные приурочены к бортам, отвержкам или дельтовым разветлениям основной палеодолины. Урановое оруденение в большинстве случаев приурочено к верхней части бучакской свиты, локализуясь в песчаных бурых углях, реже – в углистых песках и глинах. Отмечается также оруденение грунтово-пластовой окислительной зональности. Рудные залежи состоят из двух – четырех параллельных рудных тел малой мощности, реже образуют небольшие рудные роллы.

Среднее содержание урана в рудах месторождений рассматриваемого типа колеблется от 0,015% до 0,03%, что отвечает категории убогих руд (менее 0,05%). Зона уранового оруденения совпадает с зоной эпигенетического восстановления, сероводородного и сорбционного осаждения некоторых других элементов [29]. Сульфидизация развита в различных литофациональных типах угленосных отложений и приурочена к выклиниванию зон пластового окисления. Сульфиды образуют вкрапленность, порошокватые налеты, тонкие прожилки, стяжения и желваки в глинисто-углистых разновидностях пород, иногда цементируют зерна породообразующих минералов. Среди сульфидов установлены: марказит, пирит, мельниковит, виоларит, иордизит, сфалерит, бравоит. В углистых породах, примыкающих к области выклинивания зоны пластового окисления, локализованы

аномальные концентрации, % : U-0,2; Se-0,05; Mo-0,1; Co-0,03; Ni-0,1; Zn-0,3; Cu-0,1; Pb-0,03; V-0,02; Tl-0,03; Re- до нескольких г/т. Наиболее высокие кларки концентрации характерны для урана, селена, молибдена, таллия и некоторых редкоземельных элементов. Приуроченность уранового оруденения к зонам грунтового и связанным с ними локальным зонам грунтово-пластового окисления свидетельствует [28, 29] о рудообразовании в результате оживления гидродинамики при вскрытии водоносного горизонта речной сетью. Формирование последней было обусловлено неотектонической активизацией. Особо благоприятные климатические и тектонические предпосылки для рудообразования усматриваются в плиоцене, когда откладывались элювиально-делювиальные красно-бурые глины и суглинки. Они знаменуют новое поднятие УЩ, изменение базиса эрозии крупных рек-дрен и являются индикатором засушливого климата.

Все инфильтрационные урановые месторождения расположены на пути движения подземных вод от водоразделов второго порядка к областям разгрузки. На приводораздельных участках содержание урана в грунтовых водах бучакского водоносного горизонта составляет  $1 \cdot 10^{-5}$  г/л, но в области транзита от водоразделов к дренам увеличивается до  $3 \cdot 10^{-5}$  г/л за счет выщелачивания урана из пород.

В тех участках, где воды протекают по коре выветривания фундамента, особенно в местах распространения пород с повышенным содержанием урана, концентрация его в зонах грунтового окисления в среднем повышается до  $7 \cdot 10^{-5}$  г/л, достигая  $(1,5-3,0) 10^{-4}$  г/л, то есть возрастает в 6-25 раз по сравнению с содержанием элемента в водах четвертичных отложений.

В современной гидрогеохимической зональности кислородосодержащие ураноносные воды вниз по потоку сменяются сероводородными, несущими в 10 раз меньше урана. Это указывает на формирование уранового оруденения на восстановительном геохимическом барьере и в настоящее время.

Следует отметить, что природа ураноносности бучакских отложений, обусловленная эпигенетической геохимической зональностью в осадочном покрове УЩ, наиболее детально изучена на отработанном Братском месторождении, и некоторые данные представляются нам важными в плане исследования условий накопления урана на профиле река – побережье – пелагиаль (табл. 2).

Присутствующий в рудах ильменит вряд ли эпигенетический, исходя из очень низкого содержания растворенного и взвешенного титана на флан-

Таблица 2

Баланс урана в рудах Братского месторождения [10]

Вещество-концентратор урана	Доля от общего количества урана, %
Углистый растительный детрит	Более 35 (от п до 82)
Глинистое вещество (каолинит + гидрослюда)	Около 25 в песках 23-70 в глинах
Урановая чернь	Около 17
Лейкоксен (по ильмениту)	Около 5
Гидроксиды железа	Около 3



ге река – прибрежная часть моря, равного 0,002 и 0,021 соответственно (для урана в тех же обстановках оно равно 2,45 и 19,4) [17]. Вероятнее всего, ильменит в данном случае является синседиментационным обломочным минералом, свидетельствующим о соответственном накоплении доли урана, т.е. реализации эпигенетической урановорудной формации «на фоне» потенциально ураноносной фации.

Во-вторых, в пластовых водах месторождения 82% урана находится в форме уранилдиаквакарбоната  $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2]^{2-}$ , 10% – уранилтрикарбоната  $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$  и 8% – в форме катиона  $\text{UO}_2\text{OH}^+$ , что в общем коррелируется с рассмотренными далее данными о формах нахождения урана в черноморской воде.

**Условия накопления урана на пелагическом фланге** наиболее основательно рассмотрены в работах Е.Ф.Шнюкова и А.Ю.Митропольского с соавторами [27, 17].

Согласно результатам этих коллективных исследований в воде кислородной зоны ЧМ при  $\text{pH}=7,0$  ведущей является форма  $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2]^{2-}$ , составляющая 79,4%, а при  $\text{pH}=8,0$  – 89% представлены формой  $[\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3]^{4-}$ ; катионная форма весьма незначительна (%):  $10^{-3}$  и  $10^{-5,9}$  при соответственных значениях  $\text{pH}$ .

По данным А.Е. Бабинца с соавторами [4] концентрация урана в воде ЧМ в кислородной зоне (глубина 0–200 м) колеблется в пределах  $(0,93–3,24) \cdot 10^{-6}$  г/л, в сероводородной зоне (глубина 200–2000 м) –  $(0,95–2,61) \cdot 10^{-6}$  г/л, в наддонном слое воды (глубина 260–2200 м) –  $(0,29–2,99) \cdot 10^{-6}$  г/л. Как можно видеть, имеет место некоторое понижение концентрации элемента в морской воде сероводородной зоны (в частности в наддонном слое) по сравнению с кислородной зоной моря.

Приведенные данные свидетельствуют о переходе урана в поровый раствор осадков в восстановительных условиях сероводородного заражения, где 6-валентный уран восстанавливается до 4-валентного, образует гидроксид  $\text{U}(\text{OH})_4$  и активно выводится в осадок за счет сорбции.

Констатировано следующее распределение урана в поровых растворах осадков различного типа: в терригенных илах –  $(0,58–6,8) \cdot 10^{-6}$  г/л, кокколитоных –  $(1,89–36,4) \cdot 10^{-6}$  г/л, в сапропелевых –  $(6,52–149) \cdot 10^{-6}$  г/л.

С наиболее высокой обогащенностью ураном поровых растворов согласуется таковая современных и древнечерноморских отложений ЧМ (табл. 3).

Накопление урана в жидкой фазе черноморских осадков связано, прежде всего, с содержанием его в биогенных осадках, в которых уран переходит в воду при разложении органического вещества [13, 3].

Таким образом, в раннем диагенезе уран, осаждающийся из морской воды, при седиментогенезе накапливается в биогенных осадках, частично переходит в поровый раствор восстановленных донных отложений, что обуславливает его перераспределение в твердой и, особенно, жидкой фазах морских осадков.

При рассмотрении распределения урана в современных черноморских осадках очевидна его корреляция с органическим веществом (рис 3, 4). Однако такого рода корреляция в колонках осадков не устанавливается: максимум органического вещества находится в древнечерноморских осадках, а

Таблица 3

Среднее содержание U, CaCO<sub>3</sub> и C<sub>орг</sub> в глубоководных осадках Черного моря [9]

Отложения		Содержание			Относительное содержание* в пересчете на бескарбонатное вещество		
		п·10 <sup>-4</sup> , %	%				
		U	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>орг</sub>	U	CaCO <sub>3</sub>	C <sub>орг</sub>
Современные	а	7,7	36,96	3,02	9,5	2,5	6,4
	б	16	–	5,61			
Новочерноморские кокколитовые	а	7,7	18,14	7,07	5,0	1,23	10,1
	б	8,6	–	8,76			
Древнечерноморские: сапропелевые, глинистые и глини- сто-известковые	а	12	13,23	10,67	7,8	0,9	14,0
	б	13	–	12,16			
Новоэвксинские	а	3,6	24,43	2,69	2,5	1,59	5,3
	б	4,2	–	4,65			
	а	1,5	14,75	0,75	1	1	1
	б	1,7	–	0,87			

Примечания. Содержание: а - в натуральном осадке; б - в бескарбонатном веществе. Индексация осадков принята в соответствии с новейшей схемой.

максимум урана – в современных. Последние обогащены ураном даже по сравнению с сапропелевыми илами (см. табл. 3). Таким образом, не подтверждается общеизвестное представление об исключительной сорбции урана на органическом веществе. Как было показано [7], сорбция урана на органическом веществе не превышает таковой на минеральной составляющей взвеси. \*\*

Схема геохимической эволюции урана на стадиях поступления в бассейны, седиментации и начальной стадии диагенеза представляется в виде следующей модели (рис. 5).

Допускается, что в современных осадках связь урана с C<sub>орг</sub> обусловлена их одинаковой формой миграции в реках и море. Находясь в основном

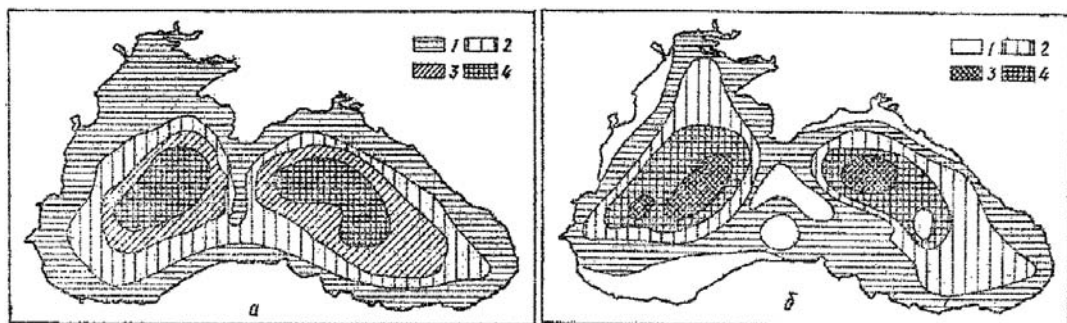


Рис. 3. Распределение урана в верхнем слое осадков Черного моря, п·10<sup>-4</sup>, % [17]: а - в натуральных осадках (1 - 1-3; 2 - 3-5; 3 - 5-10; 4 - 10-20); б - в бескарбонатном веществе осадков (1 - 3-5; 2 - 5-10; 3 - 10-20; 4 - >20)

\* Содержание в новоэвксинских отложениях принято за единицу.

\*\* Корреспондируется с флангом река – побережье (см. табл. 2).

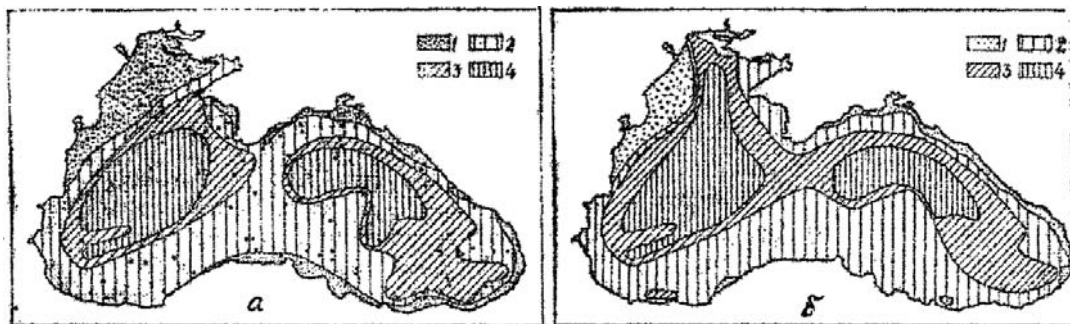


Рис. 4. Распределение  $C_{орг}$ , % [17]: а – в натуральных осадках (1 – <1; 2 – 1-2; 3 – 2-3; 4 – >3); б – в бескарбонатном веществе осадков (1 – <1; 2 – 1-2,5; 3 – 2,5-5; 4 – >5)

в растворенном состоянии, они – по законам механической дифференциации – отлагаются в осадках центральных зон бассейна.

Распределение абсолютных масс урана отличается от таковых органического вещества, что также указывает на отсутствие между ними идеальной связи [17]. Этот факт доказывает, что накопление урана в современных глубоководных осадках происходит за счет его осаждения из воды. Формирование здесь областей с относительно высокими концентрациями урана происходит при отсутствии разбавляющего действия грубого терригенного материала. Как показано на рисунках 3, 4, абсолютные массы урана, осевшие за современный период развития Черного моря, сдвинуты в пелагиаль относительно максимума абсолютных масс терригенного вещества.

В интерпретации авторов при выветривании пород и последующей миграции урана в составе речного стока происходит его дифференциация на растворенный и взвешенный; примерно 33% урана переносится во взвеси. При попадании в море, вследствие повышения щелочности и Eh, уран практически полностью переходит в раствор и благодаря своей подвижности мигрирует к центральной части бассейна. Встречая на своем пути сероводородный барьер по периферии халистаз – областей средних частей мест круговых течений, характеризующихся малой подвижностью воды, – уран выпадает здесь и в области раздела халистаз, не обнаруживая связи с органическим веществом.

Концентрации урана в кислородной зоне равномерны и составляют в среднем 2,0 мкг/л. Основные формы его нахождения в растворе кислородной зоны –  $UO_2(CO_3)_2^{2-}$  и  $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ . Ниже границы сероводородной зоны происходит уменьшение концентрации урана до 1,2 мкг/л в результате его восстановления. Вследствие этого увеличивается сорбционная способность элемента и он более эффективно выводится в осадок. В осадках пределы концентрации урана имеют величину  $(2,0-15,0) \cdot 10^{-4}\%$ . Относительно повышенные содержания его тяготеют к центральным частям халистаз.

Концентрация урана в осадках контролируется в первую очередь физико-химическими условиями среды – величиной pH, Eh, концентрацией  $H_2S$ .

Относительно повышенные содержания урана в современных отложениях обусловлены наличием в современный период развития Черного моря наиболее восстановительной обстановки в придонной воде и перераспреде-

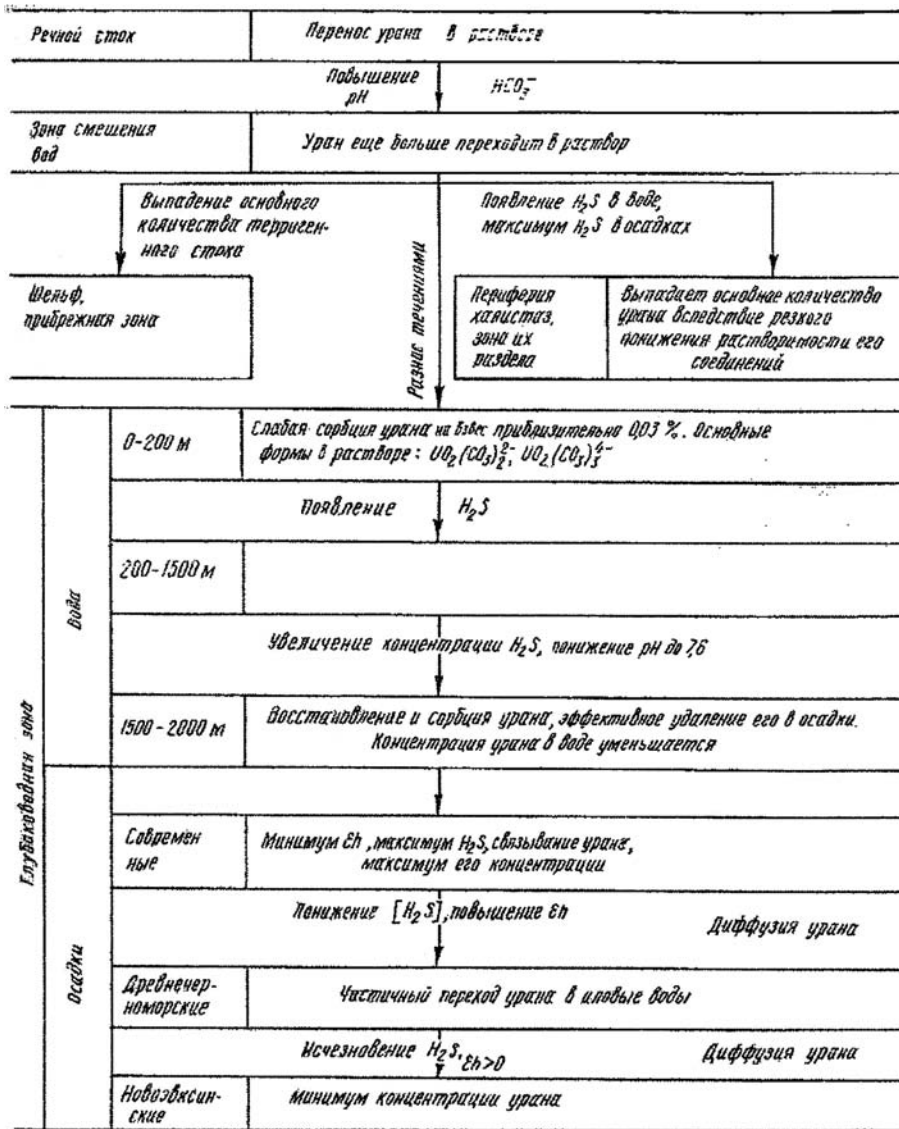


Рис. 5. Схема геохимической эволюции урана на стадиях поступления в бассейн, седиментации и начальной стадии диагенеза [27]

лением урана в ходе диагенеза путем диффузии элемента из иловых вод нижерасположенных отложений.

Оптимальные условия концентрирования в осадках урана по заключению Е.Ф. Шнюкова с соавторами [27]: высокая концентрация элемента в воде, наличие тонкопелитовой взвеси, минимум терригенной седиментации, низкие темпы осадкообразования, постоянное интенсивное обновление придонных вод. Все эти условия имеются в областях халистаз, и концентрация урана в них относительно более высокая. Максимальное же его количество приходится на континентальный склон и области раздела халистаз.

**Взгляд назад.** Для сопоставления с распределением урана и  $S_{орг}$  в донных отложениях ЧМ (см. рис. 3, 4), мы преднамеренно вынесли на схему расположения месторождений и рудопроявлений урана на территории Ук-

раины (см. рис. 1) контур графитоносной области в центральной части УЩ. Последняя в ретроспективе рассматривается как эпикратонный палеотерозойский седиментальный бассейн, эволюционировавший в ороген, осевая зона которого представлена Новоукраинским антиклинорием с анорогенным Корсунь-Новомиргородским плутоном [20]. Можно видеть, что все урановые месторождения как бы «выплеснуты» из центра этого бассейна в разломные зоны. При этом только оруденение уран-натриевой формации (посторогенный этап: 1,8-1,7 млрд. лет) не имеет реальной связи с графитом [30], тогда как: 1) оруденение в конгломератах, обогащенных органическим веществом, сопровождается ураноносным битумом из группы керита (до-, или раннеорогенный этап, 2,4–2,3 млрд. лет); 2) железо-урановая формация (вероятно, того же этапа) тесно ассоциирует с углеродистыми породами; 3) наиболее богатое оруденение уран-калиевой формации (орогенный этап, 2,0–1,9 млрд. лет) локализуется на контакте с графитовыми гнейсами, в чем даже усматривается восстановительная роль углерода [10].

Обоснование Н.М. Страховым [22, 23] группы элементов – уран вместе с  $C_{орг}$ , а также Fe, Mn, Ni, Co, Cu, Mo, W, As, Se, Au,  $CaCO_3$ , P, в поступлении которых с речным стоком отчетливо прослеживается роль растворов, и обобщенные результаты изучения геохимии Черноморского бассейна [17] открывают возможность исследования – в аспекте обратной связи – геохимической цикличности элементов, определяющих минерагению УЩ. Наработки такого плана имеются [21].

**Выводы.** Ураноносность донных отложений украинской части ЧМ определяется комплексом часто прямо или косвенно взаимосвязанных факторов и предпосылок, реальных на профиле река – побережье – пелагиаль: наличием питающей провинции и водного стока, геоморфологическими и гидрогеологическими (обусловленными тектоническими), климатическими, литофациональными, геохимическими условиями. Последние являются наиболее многообразными и показательными при своего рода универсальности окислительно-восстановительных и сорбционных геохимических багьеров.

Уровень ураноносности черноморских донных отложений соответствует «эмбриональной» стадии процесса осадочного рудообразования, а рудно-литогенное их «созревание» определяется фактором геологического времени.

**Благодарности.** Идейным вдохновителем и консультантом предлагаемого исследования является академик Евгений Федорович Шнюков, руководитель Отделения морской геологии и осадочного рудообразования НАН Украины, которому я искренне благодарен.

1. Афанасьева И.М. К геохимии органического вещества в породах Карпатского флиша // Геол. журнал., 1980. – Т. 40, №5. – С. 74-79
2. Бабинец А.Е., Безбородов А.А., Митропольский А.Ю. Формы нахождения урана в черноморской воде // Геол. журн., 1977. – Т.37, №5. – С. 103-108.
3. Бабинец А.Е., Жоров В.А., Безбородов А.А. и др. Уран в Черном море // Геол. журн., 1975. – Т.35, №6. – С. 16-26.
4. Бабинец А.Е., Митропольский А.Ю., Сухоребрый А.А. Новые данные о распределении урана в жидкой фазе донных осадков Черного моря // Докл. АН УССР. Сер. Б., 1981. – №11. – С. 7-10.

5. Батурин Г.Н. Уран в современном морском осадкообразовании - М.: Атомиздат. –1975. – 152 с.
6. Батурин Г.Н., Коченов А.В., Шимкус К.М. Уран и редкие металлы в колонках донных осадков Черного и Средиземного морей // Геохимия.– 1967. – №1. – С. 44-50.
7. Безбородов А.А., Митропольский А.Ю. Геохимическая эволюция микроэлементов в Черном море – Киев: Препринт Ин-т геол. наук АН УССР, 1978. – 60 с.
8. Виноградов А.П. Введение в геохимию океана – М.: Наука, 1967. – 215 с.
9. Волков И.И. Основные закономерности распределения химических элементов в толще глубоководных осадков Черного моря //Литол. и полезные ископаемые.– 1973. – №2. – С. 3-22.
10. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины (Отв. ред. Белевцев Я.Н., Коваль В.Б.) – Киев: Наук. думка, 1995. – 396 с.
11. Жукова А.М. О формах нахождения урана в метаморфических породах // Геол. журн.– 1979. – Т. 39, №6. – С. 10–18.
12. Комплексна металогенічна карта України. Масштаб 1:500000. Пояснювальна записка (Войновський А.С., Бочай Л.В., Нечаєв С.В. та ін.) – Київ: УкрДГРІ, Держ.геол служба Мінекоресурсів України, 2002. – 336 с.
13. Коченов А.В., Батурин Г.Н., Ковалева С.А. Уран и органическое вещество в осадках Черного и Средиземного морей // Геохимия, 1965. – №3. – С. 302-313.
14. Краускопф К. Осадочные месторождения редких металлов // Проблемы рудных месторождений. – М.: Изд-во иностр. лит-ры., 1959. – С. 388-440.
15. Ларченков Е.П. Нефтегазоносность Черного моря. Геология Черного и Азовского морей. – Киев: ОМГОР НАНУ, 2000. – С. 18-26.
16. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Т.1. Металлические полезные ископаемые / Гурский Д.С., Есипчук К.Е., Калинин В.И., и др. – Львов: Центр Европы, 2005. – 785 с.
17. Митропольский А.Ю., Безбородов А.А., Овсяный Е.И. Геохимия Черного моря. – Киев: Наук. думка, 1982. – 144 с.
18. Нечаев С.В. Геолого-геохимическая природа оруденения в осадочном чехле западной части Восточноевропейской платформы / Отв. ред. Шнюков Е.Ф. – Киев: Наук. думка, 1978. – 192 с.
19. Нечаев С.В. Черносланцевые формации Европы и связанное с ними оруденение // Геол. журн.– 1982. – №6. – С. 65-75.
20. Нечаев С.В. Минерагения геодинамических систем и комплексов Украинского щита в аспекте эволюции рудообразования // Геологія і генезис рудних родовищ України: сучасний стан, нові підходи, проблем та рішення. – Київ: УкрДГРІ, 2004. – С.25-27.
21. Нечаев С.В., Наумов Г.Б. Региональная зональность оруденения Украинского щита: современный план и палеотектонические реконструкции // Геология руд. месторождений.– 1998. – №2. – С. 124-136.
22. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза.– М.: Изд-во АН СССР, 1960 – Т. 1. – 210 с.
23. Страхов Н.М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. – М.: Наука, 1976. – 300 с.
24. Страхов Н.М., Белова И.В., Глаголева М.А, Лубченко И.Ю. Распределение и формы нахождения элементов в поверхностном слое современных черноморских отложений //Литол. и полезные ископ.– 1971. – № 2. –С. 3-31.
25. Тугаринов А.И. О причинах формирования рудных провинций // Труды геохим. конфер. «Химия земной коры», посвящ. 100-летию со дня рожд. В.И. Вернадского.– М., 1963. – С. 153–177.

26. Туголесов Д.А., Горшков А.С., Мейснер Л.Б. и др. Тектоника мезокайнозойских отложений Черноморской впадины. – М.: Недра, 1985. – 215 с.
27. Шнюков Е.Ф., Безбородов А.А., Мельник В.И., Митропольский А.Ю. Геохимическая эволюция урана в Черном море // Геол. журн.– 1979. – Т. 39, № 6. – С. 1-9.
28. Шумлянський В.А., Бакаржигев А.Х., Макаренко Н.Н. Экзогенная металлогения урана в Украине // 36.наук праць Ін-т. геохімії навкол.середовища, 2002. – Вип.5/6. – С. 218-226.
29. Шумлянський В.А., Суцук Е.Г., Макаренко Н.Н. и др. Генезис и закономерности размещения рифейских и фанерозойских месторождений урана // Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины. – Киев: Наук. думка, 1995. – С. 308- 370.
30. Nechaev S., Pastukhov V. Links between the Proterozoic anorthosite – rapakivi-granite plutons and ore-forming events in the Ukrainian Shield (ores of titanium, uranium, rare metal and gold). GEODE field workshop on ilmenite deposits in the Rogaland anorthositic province, S. Norway. – Trondheim: Geol. Survey of Norway; 2001. – P. 92-104.

*Ураноносність донних відкладів української частини Чорного моря визначається комплексом прямо або посередньо взаємопов'язаних факторів і передумов, реальних на профілі ріка – прибережжя – пелагіаль: наявність. постачальної провінції і водного стоку; геоморфологічними та гідрогеологічними (обумовлені тектонічними), кліматичними; літофаціальними; геохімічними. Останні є найбільш різноманітними і показовими за свого роду універсальності окислювально-відновних і сорбційних геохімічних бар'єрів. Рівень ураноносності чорноморських донних відкладів відповідає «ембріональний» стадії процесу осадового рудоутворення, а рудно-літогенічне їх «визрівання» визначається фактором геологічного часу.*

*Uranium-potention in seabed sediments within the Ukrainian part of the Black Sea clarifies itself by complex of straight or indirect interrelated factors and preconditions that are real in profile river – littorall- pelagic basin, such as: availability feeding area and drainage, geomorphological, hydrogeological, climatic, lithofacial, geochemical conditions. The latter are the most various and demonstrative owing to universality of oxidizing-reducing and sorption geochemical barriers. Uranium potention standard for the Black Sea bottom sediments corresponds with «embryonic» stage of sedimentary ore-forming process, and ore-lithogenous «ripening» of bottom sediments is government by the geological time factor.*

Поступила 08.02.2012 г.