

УДК 553.495:550.83

## НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКЗОГЕННО-ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА НА ПРИМЕРЕ САКСАГАНСКО-СУРСКОГО РУДНОГО РАЙОНА УЩ

**Калашник А. А.**

(ГРЭ № 37, г. Кировоград, Украина)

*Розглянуто результати досліджень нових закономірностей розміщення екзогенно-інфільтраційних родовищ урану Саксагансько-Сурського рудного району Українського щита (УЩ). Обґрунтовано розширені комплекси критеріїв мілко- та середньомасштабних стадій прогнозування промислового уранового зруденіння «пісковикового» типу. Представлено результати прикладного застосування нового підходу в технології прогнозування екзогенно-інфільтраційних родовищ урану.*

*The results of studies of new regularities the distribution of geologically-structural features of uranium exogenously-infiltration deposits in the Saksagansko-Sursky ore region of the Ukrainian shield (UkrSh) were considered. Extended complexes of criteria small- and medium-scale of stages for prognosis of industrial uranium deposits the «sandstone's» type are expounded in the paper. Results of applications of new approach of technology prognosis exogenous infiltration uranium deposits are presented.*

### **Введение**

Имеющаяся в Украине минерально-сырьевая база урана сопоставима по масштабам с сырьевыми базами ведущих уранодобывающих стран мира (Канады, Австралии, Казахстана), но значительно уступает им по качеству и стоимости руд. Месторождения урана Украины ведущего метасоматического геолого-промышленного типа характеризуются низким содержанием ура-

на в руде [1]. Это обстоятельство определяет высокую себестоимость производства и, как следствие, высокую чувствительность сырьевой базы урана Украины к изменению экономических условий. Решение этой проблемы требует возобновления полномасштабных геологоразведочных работ на поиски высококорентабельных месторождений урана, что необходимо для повышения устойчивости сырьевой базы ядерной энергетики Украины к изменению экономических условий. Эксплуатация месторождений экзогенно-инфильтрационного типа является высококорентабельной, что вызывает объяснимый интерес их интенсивного поиска, разностороннего изучения. Реальные предпосылки выявления новых урановых месторождений песчаникового геолого-промышленного типа и неравномерная степень специализированной изученности территории УЩ делают этот регион одним из привлекательных для проведения поиска месторождений, пригодных для отработки методом подземного выщелачивания (ПВ). Ряд месторождений этого типа в Украине уже отработан, поэтому задачей государственной важности является разработка новых критериев и признаков поиска месторождений урана этого типа, выполнения обоснованных прогнозов на основе разработки новых методологических приемов, для более экономичного и быстрого восстановления утраченных устойчиво рентабельных ресурсов урана, как основного источника сырья для стабильной работы атомной энергетики Украины на современном этапе.

### **Обзор публикаций и нерешенные части общей проблемы**

Вопросы генезиса и закономерностей размещения экзогенно-инфильтрационных месторождений урана в осадочном покрове УЩ с рассмотрением механизма концентрации металла до промышленного уровня рассмотрены в ряде работ [2, 3]. Урановорудные концентрации в осадочном чехле разнообразны по закономерностям локализации и генетическим особенностям. Применительно к гидрогенному классу месторождений урана рассматривают два основных типа эпигенетических процессов: восстановительной и окислительной направленности. Отнесение рассматриваемых месторождений из всей совокупности промышленных урановорудных объектов к экзогенным эпигенетическим основано на доказательствах определяющей роли экзогенных вод

в их формировании на финальной стадии рудоотложения. В то же время необходимо подчеркнуть условность отнесения ряда конкретных объектов к чисто экзогенным либо эндогенным в связи с тем, что между двумя этими типами оруденения нет четких, общепризнанных границ, особенно при изучении стадии рудоподготовки формирования месторождений гидрогенного типа. Исходя из принятой модели образования экзогенно-эпигенетических месторождений урана, разработанной Г. Чурзиным и Н. Макаренко [4], основным критерием при прогнозировании урановых месторождений песчаникового типа для Днепробасса является наличие зон грунтово-послойного окисления в проницаемых угленосных отложениях осадочного чехла УЩ, сформированных ураноносными водами глубинной зоны поверхностного (современного грунтового) окисления. По мнению данных авторов, основную роль в формировании эпигенетического уранового оруденения в угленосных отложениях Днепробасса принадлежит экзогенным факторам. Предположение о связи среднеазиатских экзогенно-эпигенетических месторождений и с глубинными процессами было высказано Е. М. Шмариовичем [5] и Х. Б. Абдулкабировым [6]. По обобщению Г. В. Грушевого и И. Г. Печенкина [7] крупнейшие кайнозойские гидрогенные месторождения Средней Азии и Китая находятся в протяженном урановорудном поясе, который на протяжении 10 тысяч километров примыкает к Средиземноморско-Гималайской зоне коллизии, при этом локально месторождения в чехлах смежных платформ по фиксации контролируются локальными палеогеографическими условиями.

Выявленные нами геолого-структурные особенности размещения месторождений урана песчаникового типа в Южно-Бугском и Ингуло-Ингулецком рудных районах Днепробасса Украинского щита (УЩ) позволили сделать выводы [8, 9], что месторождения этого типа размещаются в зонах глубинных долгоживущих разломов преимущественно широтного простирания и это указывает, что в зонах разломов, которые характеризуются интенсивной тектонической проработкой пород системами зон дробления и трещиноватости, подновляющихся при каждой последующей тектонической активизации разломов, при неотектонических движениях, возникали условия, которые способствова-

ли интенсивной мобилизации (выщелачиванию) урана и его активному транзиту, привнесу ураноносных растворов. На стадии рудоподготовки тектонический фактор для этого типа уранового рудообразования в Южно-Бугском и Ингуло-Ингулецком рудных районах Днепробасса УЩ играл существенную роль [8, 9]. Определяющее влияние на миграцию урана при формировании урановых месторождений в осадочных толщах оказывают окислительно-восстановительные и щелочно-кислотные условия вод. Однако при выявлении источника рудного вещества, для понимания своеобразия миграции урана в ландшафтных условиях каждого конкретного региона, необходимо учитывать все особенности геологического развития региона, включая особенности разломно-блоковой тектоники, в том числе роль влияния глубинных разломов, металлогению и т. д. Блоковое строение, как правило, сказывается на латеральном распределении фациальных комплексов. На границе блоков обычно изменяется фациально-геохимическая обстановка, мощности отдельных толщ, проницаемость пород, выклиниваются отдельные горизонты и т. д.

#### **Цель исследований**

Усовершенствование технологии прогнозирования промышленных экзогенно-инфильтрационных месторождений урана, наработка новых критериев, отражающих специфику формирования промышленного оруденения песчаникового типа с учетом проявления тектонического фактора в отличие от существующей методологии, в основе которой лежат исключительно экзогенные факторы рудообразования, что в комплексе с литологическими и геохимическими критериями дает обоснованную возможность значительно локализовать площади уранорудоперспективных участков для эффективного проведения дальнейших геологоразведочных работ по наращиванию устойчиво рентабельных запасов сырьевой базы урана Украины.

#### **Методика исследований**

Для решения поставленных задач использовался комплекс геофизических, радиогеохимических и структурно-геологических методов исследований. Выполнен анализ геолого-структурных условий формирования месторождений урана экзогенно-инфильтрационного типа в углистой формации палеогена Сакса-

ганско-Сурского рудного району УЩ на основе синтеза и анализа всей имеющейся геолого-геофизической информации. Проанализированы особенности литолого-фациальных комплексов основных месторождений урана данного типа, выполнено обобщение материалов по их связи с зонами глубинных разломов. Рассмотрены возможные источники рудного вещества на основе изучение закономерностей распределения урана и элементов-спутников в разновозрастных породах и в зонах глубинных разломов, имеющих влияние на металлогению урана в породах осадочного чехла. Учитывая результаты предыдущих исследований и комплекс выделенных благоприятных критериев и признаков оруденения данного типа, установленные основные закономерности размещения месторождений песчаникового типа в пределах Саксаганско-Сурского рудного района результаты комплексного анализа структурных, литолого-стратиграфических, радиогидро-геохимических особенностей рудного района, проявлений неотектонических движений, механизма формирования уранового оруденения экзогенно-инфильтрационного типа, нами намечены наиболее перспективные участки для проведения дальнейших исследований с целью поиска промышленных объектов оруденения данного типа. Выделение перспективных объектов осуществлялось с соблюдением принципов системности, последовательных приближений и соответствия изучаемых объектов масштабам исследований.

### **Геолого-структурные и геохимические особенности месторождений экзогенно-инфильтрационного типа Саксаганско-Сурского урановорудного района**

Саксаганско-Сурский урановорудный район расположен в северо-восточной части Днепробасса и включает в себя верховья Александрийской, Попельнастовской, Куцеваловско-Солошинской, Пятихатской, Саксаганской, Верховцевской, Верхне-Днепровской, Сурской и Синельниковской палеодепресий северного склона УЩ (рис. 1).

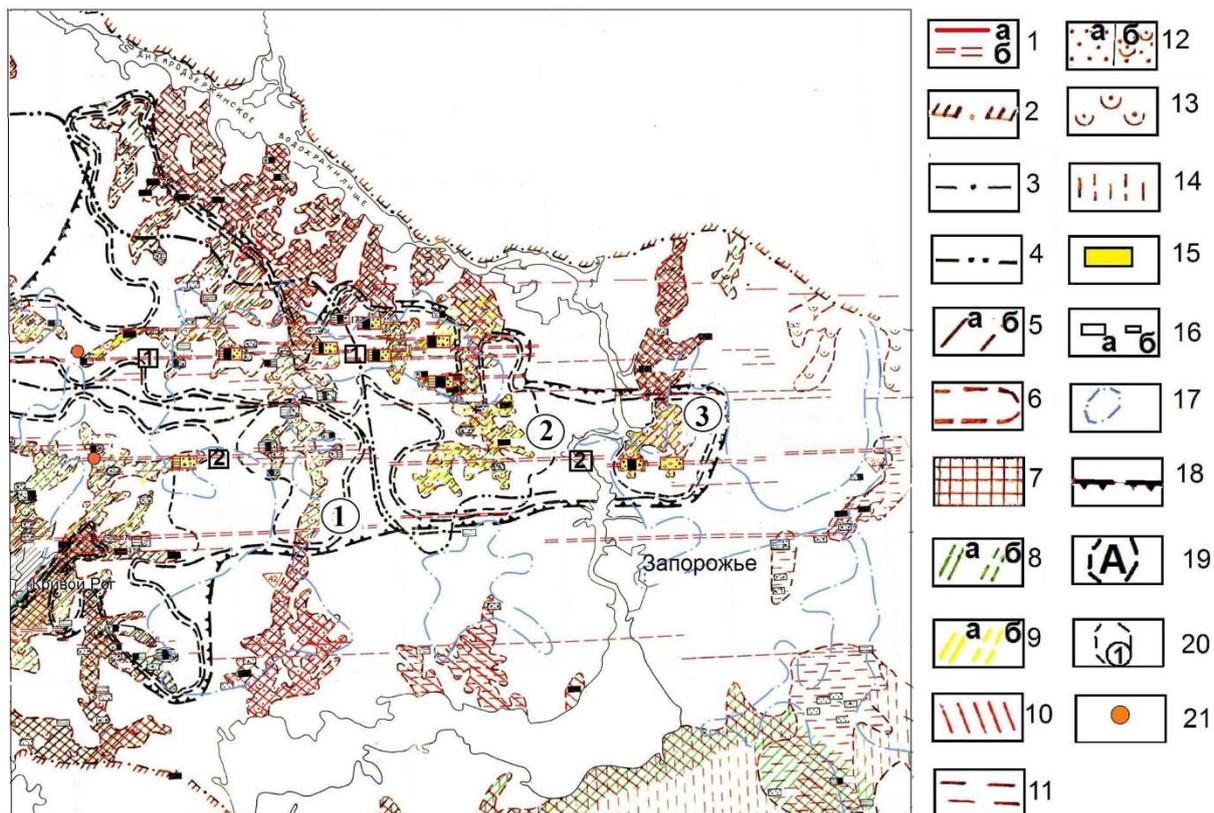


Рис. 1. Схема совмещенных критериев и признаков уранового оруденения в отложениях угленосной формации палеогена Днепробасса УЩ (по материалам А. В. Кузьмина, Л. Н. Сухининой КП «Кировгеология», 2000 г.) с дополнениями и изменениями автора

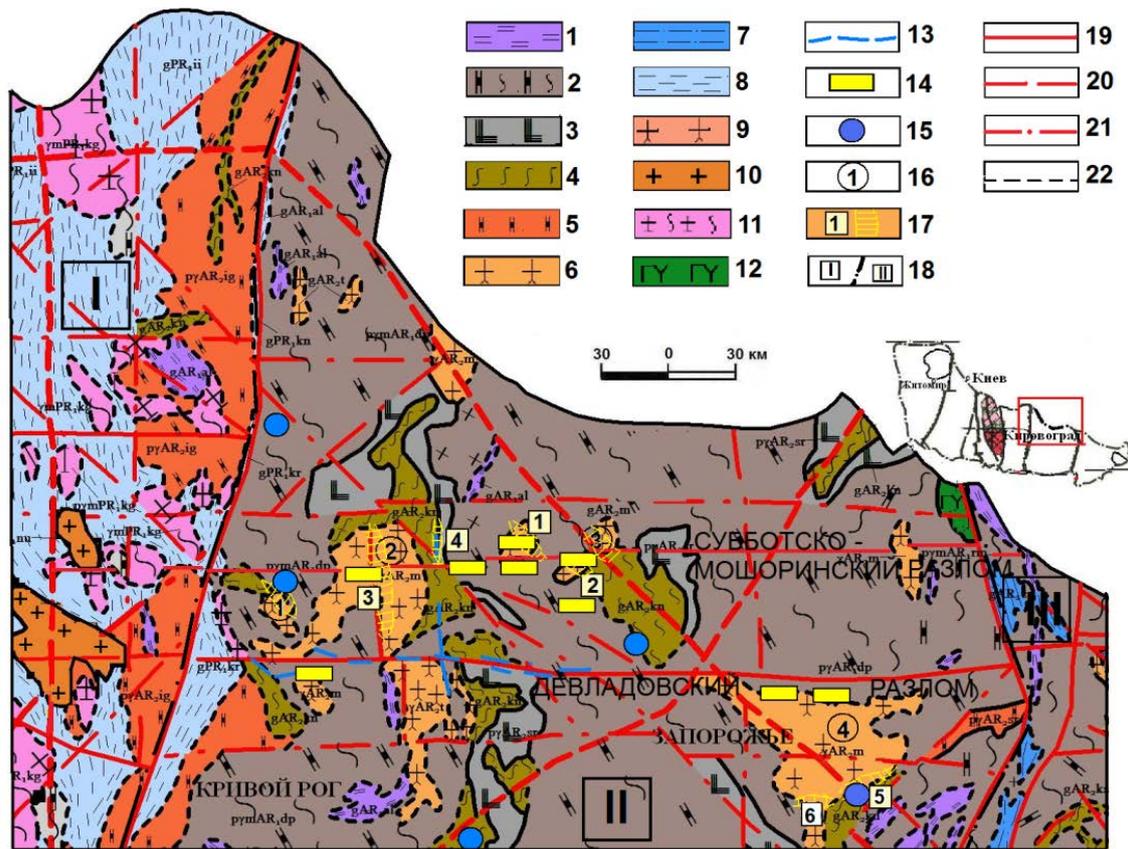
1 – лінеаменти широтних розломів: а – испытывавших неотектонические подвижки и контролирующих промышленное урановое оруденение (цифры в квадратах) 1 – Субботско-Мошоринский, 2 – Девладовский, б – иные, 2 – граница развития морских отложений бучакского яруса, 3 – палеогеновый региональный водораздел, 4 – современный региональный водораздел, 5 – участки депрессий с развитием углисто-глинистой пачки в верхней части разреза бучакского яруса: а – сплошное площадное развитие, б – в виде линз; 6 – палеодепрессии в фундаменте УЩ, выполненные отложениями угленосной формации палеогена; 7 – участки размыва континентальных угленосных отложений палеогена в четвертичное время; 8 – участки палеодепрессий с развитием верхнего водоупора, сложенного мергельно-глинистой толщей киевского яруса: а – сплошное развитие, б – в виде линз; 9 – участки палеодепрессий с развитием верхнего водоупора, сложенного глинисто-карбонатной толщей сарматского яруса: а – сплошное развитие, б – в виде линз; 10 – участки палеодепрессий с уровнем под-

земных вод в углистых отложениях, ниже регионального базиса эрозии в верхнеплиоцен-четвертичное время; фациальный состав континентальных угленосных отложений: 11 – озерно-болотный лито-фациальный комплекс водораздельных замкнутых или полужамкнутых водоемов, 12 – речной литофациальный комплекс с преобладанием в разрезе а – русловых, б – пойменных фаций; 13 – лагунно-лиманный литофациальный комплекс; 14 – отложения неясной фациальной принадлежности; ранжирование рудных объектов: 15 – месторождения, 16: а – рудопроявления, б – проявления; 17 – контуры радиогидроаномалий высокого и повышенного содержания урана в подземных трещинных водах пород фундамента; 18 – граница Бугско-Днепровской металлогенической области; 19 – границы Саксаганско-Сурского рудного района; рудные и потенциально-рудные площади: 1 – Никопольская, 2 – Пятихатско-Сурская, 3 – Синельниковская; 21 – эндогенные месторождения урана в карбонатно-натриевых метасоматитах.

Входящие в контур района части депрессий лишь в самых своих верховьях и мелких ответвлениях выполнены угленосными отложениями речного комплекса второго типа разреза со свойственной плохой сортировкой обломочного материала, отсутствием четкой ритмичности с переходом к северу в образования лагунно-лиманного комплекса. Для данной группы палеодепрессий характерно развитие водоупорных отложений разного уровня сплошности, выполненных отложениями киевского, а в восточной части (Верхне-Днепровская, Сурская, Синельниковская) и сарматского яруса над угленосной толщей. В низовьях и средних частях палеодепрессий угленосные отложения находятся ниже регионального базиса эрозии. Новогурьевское, Хуторское месторождения сосредоточены в палеодолинах, заполненных речными отложениями. Сурское и Червоноярское месторождения приурочены к лагунно-лиманному комплексу пород.

Депрессии Саксаганско-Сурского рудного района главным образом приурочены к участкам развития сети разнонаправленных разрывов и зон повышенной трещиноватости, что обуславливает их сложную морфологию. При этом на общем структурном фоне четко проявлены осложнения Сурской депрессии Девладовским широтным глубинным разломом, Саксаганской, Верховцевской, Верхне-Днепровской палеодепрессий Субботско-Мошоринским и Девладовским широтными глубинными разломами. Все выявленные месторождения и рудопроявления экзо-

генно-инфильтрационного типа Саксаганско-Сурского рудного района группируются в широтную полосу шириной до 75 км и протяженностью более 270 км, ограниченную с юга Девладовским, а с севера – Субботско-Мошоринским региональными широтными разломами (рис. 2). К этой полосе приурочены многочисленные широтные осложнения депрессий и основная масса выявленных в указанных палеодепрессиях и их притоках проявлений урановой минерализации и радиоактивных аномалий. За пределами данной широтной полосы установлены лишь единичные радиоактивные аномалии и лишь одно проявление урановой минерализации. С нашей точки зрения это обусловлено существенным влиянием на формирование оруденения экзогенно-инфильтрационного типа тектонического фактора рудоконтроля, влияния в указанной полосе многочисленных широтных разрывов, создающих тектонически ослабленную зону широтной ориентировки. В районе верховий и средних частей палеодепрессий по результатам радиогеохимических исследований в породах фундамента установлен ряд ореолов повышенных концентраций урана, вытянутых в виде полосы шириной до 10 км вдоль зоны широтного Девладовского разлома. Породы кристаллического фундамента в зоне Девладовского разлома характеризуются повышенными первоначальными и современными концентрациями урана. Часть урана по данным свинцово-изотопных исследований связана с его привносом в эпоху 2800–2600 млн лет [3]. В широтной полосе вдоль зоны Девладовского разлома установлены многочисленные тела аплит-пегматоидных гранитов палеопротерозойского возраста с повышенным содержанием урана. На участке Первозвановского месторождения урана песчаникового типа и в целом к востоку от Первозвановской палеодепрессии в зоне Девладовского разлома установлены признаки регионального привноса урана и в более позднее время, проявленные в виде жильной урановой минерализации.



1 – метаморфізовані вулканогенно-осадочні формації ( $AR_1$ ); 2 – формація ультраметаморфічних тоналітів і тронджемітів ( $AR_1$ ); граніт-зеленокаменна асоціація: 3 – формація інтрузивних діоритів і плагіогранітів ( $AR_2$ ), 4 – зеленокаменна товща: ( $AR_2$ ); 5 – формація ультраметаморфічних плагіогранітів ( $AR_2$ ); 6 – формація ультраметаморфічних гранітів ( $AR_2$ ); 7 – метаморфізовані осадочні і вулканогенно-осадочні формації ( $AR_3$ ), 8 – метаморфізовані осадочні і вулканогенно-осадочні формації ( $PR_1$ ); 9 – формація регресивних ультраметаморфічних гранітів ( $PR_1$ ); 10 – формація інтрузивних чарнокитоїдів і трахітоїдних гранітів ( $PR_1$ ), 11 – формація ультраметаморфічних гранітів ( $PR_1$ ), 12 – габбро-сієнітова формація ( $PR_2$ ); 13 – девладовський комплекс ( $AR_3$ ); 14 – місорождения урана гідрогенного типу; 15 – рудопроявлення урана гідротермального типу; 16 – гранітні масиви: 1 – Демури́нський, 2 – Кудашевський, 3 – Кри́ничанський, 4 – Мокромосковський; 17 – тектоно-метасоматическіє зони (внемасштабні): 1 – Кри́ничанська, 2 – Сухо-Хуторська, 3 – Новогу́рьєвська, 4 – Милорадовська, 5 – Беккерівська, 6 – Мокромосковська; 18 – границі мегаблоків: I – Інгульський, II – Среднепридніпровський, III – Приазовський; 19 – мантийні розломи, 20 – глибокі корові розломи, 21 – регіональні корові розломи, 22 – крупні локальні розломи.

Рис. 2. Схема розміщення місорождений і рудопроявлень урана різного генезису в межах площі Саксагансько-Сурського рудного району

В ответвлении Первозвановской палеодепрессии в пределах зоны широтного Девладовского разлома выявлено и Петромихайловское месторождение урана песчаникового типа.

Месторождения урана в угленосных отложениях палеогена в Саксаганско-Сурском районе сосредоточены в узлах пересечения палеодепрессий с тектонически мобильными долгоживущими глубинными Субботско-Мошоринским и Девладовским широтными разломами и тектоно-метасоматическими зонами различного, большей частью северо-западного простираний с интенсивно развитыми процессами дробления, милонитизации, катаклаза и проявлениями урановой минерализации. Эти узлы являются благоприятными участками для развития палеогидросети. Одновременно они зачастую приурочены к зонам развития тектоно-метасоматических зон с повышенным содержанием урана (рис. 2), которые размещаются в области питания вод палеогенового горизонта с активной динамикой палеогеновых водоносных горизонтов. Исходя из этого, участки тектоно-метасоматических зон в пределах долгоживущих Субботско-Мошоринского и Девладовского разломов служат одним из источников урана при формировании месторождений песчаникового типа в Саксаганско-Сурском рудном районе.

В Саксаганско-Сурском рудном районе хорошо проявлены неотектонические движения в породах осадочного чехла. Анализ третичных отложений вблизи ряда месторождений песчаникового типа позволил выявить резкие изменения их мощности на коротких расстояниях, выпадение сарматского яруса, киевской, бучакской свит, появление удвоения их мощностей и т. д. Это сопровождается значительным несоответствием в отметках подошвы и кровли горизонтов. Главной особенностью является то, что такие проявления обычно расположены над или вблизи тектонических зон в фундаменте, чаще близширотного простирания. В районах хорошо изученных Сурского и Новогурьевского месторождений отмечены многочисленные проявления неотектонических движений в породах чехла и фундамента. Здесь широко распространены тектонические швы с зеркалами скольжения и бороздами трения в третичных отложениях по всему разрезу от ко-

ры выветривания до позднемиоценовых отложений. Встречены интервалы перемятых пород мощностью до 10 м.

Рудные тела месторождений урана Саксаганско-Сурского района имеют сложную морфологию, что обусловлено их приуроченностью к породам речного комплекса с редуцированными мощностями песчаных слоев и области их перехода в лагунно-лиманный комплекс. Рудоносная толща представлена здесь пере-слаиванием песчаных, глинистых и углистых разностей, что привело к формированию сложных полироллов.

Вопрос об источниках урана (доминирующая роль экзогенного или эндогенного) в угленосных отложениях Днепробасса до сих пор остается дискуссионным. Наиболее распространены два предположения об первичных источниках урана в углистых отложениях Саксаганско-Сурского района: относительно повышенные концентрации урана в плагиомикроклиновых гранитоидах в области питания и разрушение первичных значимых эндогенных концентраций урана [3]. Поэтому проявления урана в углистых бучакских отложениях в свое время вызывали большой интерес не только как потенциальные урановорудные объекты инфильтрационного типа, но и как потенциальные ореолы от вероятных богатых урановых эндогенных оруденений. Вследствие этого они были изучены специализированными на уран поисковыми работами специалистами КП «Кировгеология», но ожидания обнаружения масштабных эндогенных урановых оруденений в зонах развития водородных месторождений и рудопроявлений урана в Саксаганско-Сурском районе при проведении этих работ так и не оправдались. Касаясь источников урана в отложениях угленосной формации, необходимо отметить следующее. В породах фундамента территории Саксаганско-Сурского рудного района не установлено эндогенных месторождений урана, лишь единичные рудопроявления. Однако здесь выявлены радиогеохимические аномалии и участки развития тектоно-метасоматических зон, что вероятно отразилось на образовании повышенных концентраций урана в трещинно-грунтовых водах. Крупные тектоно-метасоматические зоны здесь установлены в пределах и в экзоконтактах Демуриного, Криничанского и Кудашевского массивов (рис. 2). Они локализованы в широтной полосе, контролирующей

распространение микроклиновых и плигиомикроклиновых гранитов. Южным ограничением этой полосы является Девладовская зона широтных разломов, а северным – Субботско-Мошоринская зона разломов. Отметим, что Девладовский и Субботско-Мошоринский разломы имеют глубинную природу. Общая ширина Девладовской разломной зоны составляет 18–20 км. В западной части Среднеприднепровского блока она проявляется линейными магнитными аномалиями над дайками ультраосновных пород. Региональные масштабы зоны, связь с ней проявлений ультраосновных пород свидетельствуют о ее глубинном заложении.

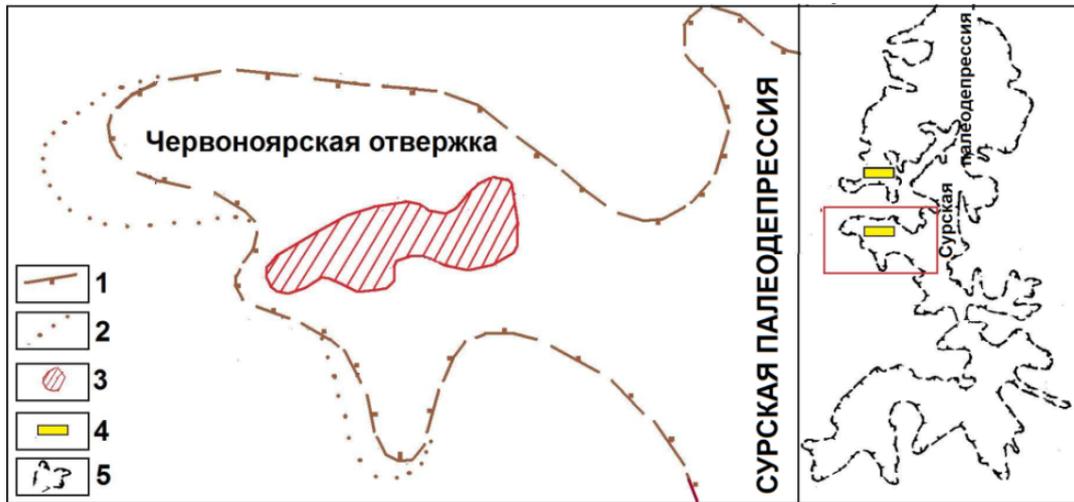
Геологическому строению Саксаганско-Сурского рудного района в целом и экзогенно-инфильтрационных урановых месторождений, сосредоточенных в осадочной толще отвечают особенности морфологии и интенсивность физических полей. Региональный контроль оруденения месторождений песчаникового типа в Днепробассе широтными Субботско-Мошоринской и Девладовской глубинными разломными зонами вполне определенно проявлен в магнитном и гравитационном полях.

Большинство месторождений урана песчаникового типа в Саксаганско-Сурском рудном районе сосредоточены в локальных близширотных отвержках палеодепрессий, которые коррелируют с широтными разломными зонами (рис. 3, 4).

Кристаллические породы Саксаганско-Сурского рудного района характеризуются низким фоновым содержанием урана до  $1,5 \times 10^{-4}$  %. На этом фоне отчетливо выделяются области распространения калиевых гранитоидов так называемых Криничанского, Кудашевского и Демуринаского массивов, кислые породы которых содержат в среднем соответственно,  $4,5 \times 10^{-4}$ ,  $3,5 \times 10^{-4}$  и  $2,5 \times 10^{-4}$  % урана.

Наблюдается приуроченность локальных участков с наиболее высокими содержаниями урана и урановыми ореолами к тектоническим узлам в сопряжениях крупных тектоно-метасоматических зон с глубинными разломами. При этом данные гидрогеологических исследований исключают возможность выноса урана с участков уранового оруденения в отложениях палеогена и вероятно обратная связь – тектоно-метасоматические зоны – ис-

точник концентрации урана в углистых отложениях палеогена [4]. Установлена отчетливая связь гидроорейолов с разломами, особенно радоновых ореолов [4].



1 – контур современного распространения углистых отложений; 2 – контур распространения углистых отложений в третичном периоде; 3 – площадь основного уранового оруденения в бучакских отложениях, 4 – месторождения урана экзогенно-инфильтрационного типа, 5 – контуры палеодепрессии среднеэоценового возраста.

Рис. 3. Схема уранового оруденения Червоноярского месторождения

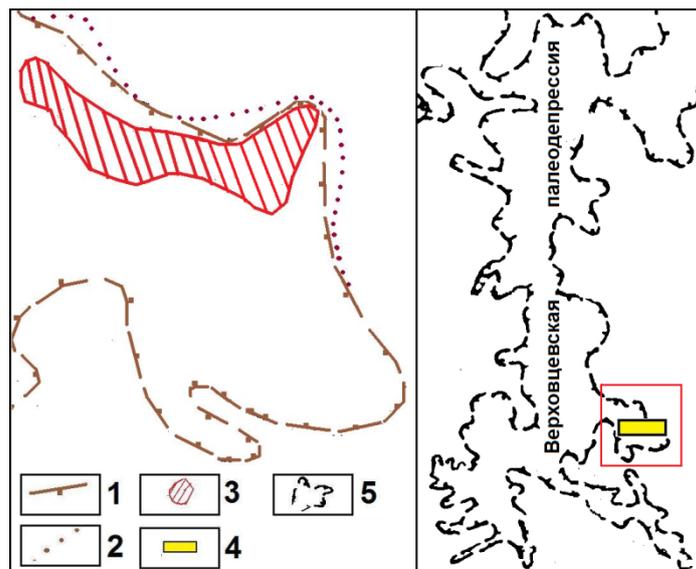
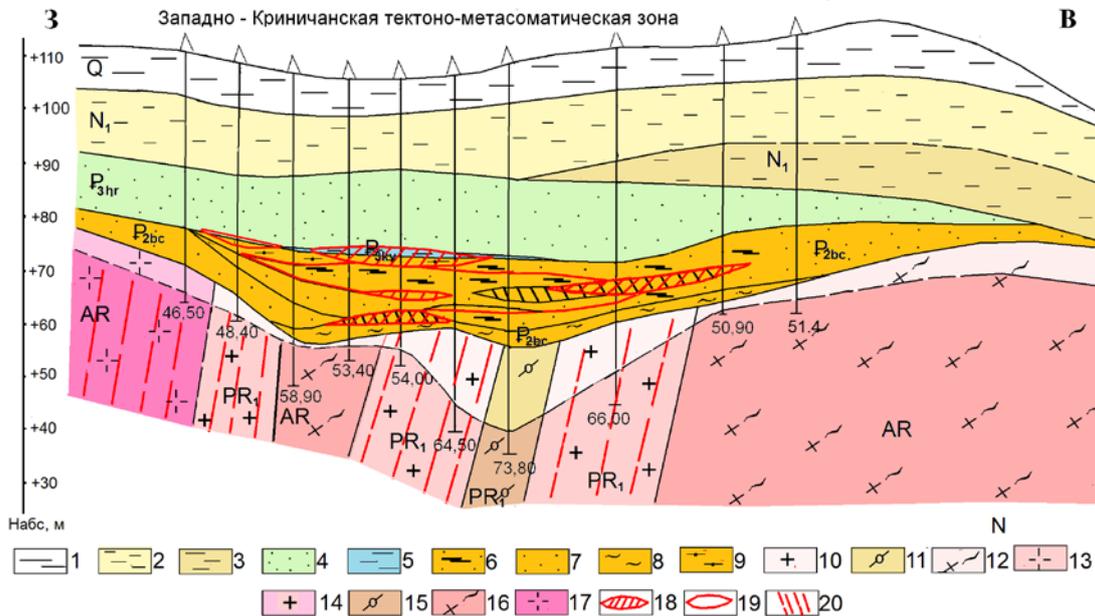


Рис. 4. Схема уранового оруденения Хуторского месторождения. Усл. обозначения см. рисунок 4

Положение и конфигурация палеодолин определяются древними зонами дробления, катаклаза и милонитизации, а также, дополнительно малоамплитудными сводово-глыбовыми движениями в процессе кайнозойского этапа тектоно-магматической активизации. В зонах долгоживущих разломов, неоднократно участвовавших в различных тектоно-магматических активизациях увеличивается количество выходов размываемых пород, а в рудовмещающих осадочных отложениях усиливается водообмен. Последнее свойство усиливает приток урансодержащих растворов к зонам геохимических барьеров. Характерной особенностью подстилающих пород фундамента, представленными чаще всего разнообразными гранитоидами, иногда щелочными гранитами, граносиенитами, сиенитами является повышенные дифференцированные содержания радиоактивных элементов и наличие локальных проявлений уранового и уран-ториевого оруденения гидротермально-метасоматического происхождения. Эти породы могут рассматриваться как один из источников урана. Значительная проявленность разломной тектоники, наличие кор выветривания в породах фундамента и обрамления палеодолин и депрессий создают в Саксаганско-Сурском районе благоприятные условия для циркуляции подземных и поверхностных вод, способствующих миграции урана из пород обрамления, фундамента, непосредственно из тектонических зон. Питание водоносного горизонта в бучакских отложениях происходило несколькими путями: за счет непосредственной инфильтрации атмосферных осадков, путем поступления вод по склонам палеодепрессий, а также за счет напорных трещинных вод, попадавшим по зонам разломов (рис. 5).

Прямых критериев, позволяющих оценить долю различных источников урана в образовании промышленного уранового оруденения в бучакских отложениях пока не существует. Однако имеется ряд признаков, свидетельствующих о большей доле урана, привнос которого осуществлялся по тектоническим нарушениям ураноносными растворами. Это и значительная (в отдельных случаях сопоставимая с содержанием урана) концентрация совместно с ураном ряда рудных элементов (селен, рений, иттрий и др.), источником которых не могут служить породы кристалли-

ческого фундамента и осадочного чехла района выявленных месторождений, отличающиеся фоновыми содержаниями этих элементов существенно ниже кларкового.



Осадочные отложения: 1 – суглинки, 2 – красно-бурые глины; 3 – серые и зеленовато-серые глины, 4 – пески серые, среднезернистые, 5 – голубовато-серые глины, 6 – пески углистые темно-серые, 7 – пески слабоуглистые, 8 – вторичные каолины, 9 – глины углистые; 10 – 13 кора выветривания по: 10 – гранитам плагиомикроклиновым, 11 – мигматитам розовым, 12 – мигматитам серым, 13 – аплит-пегматоидным гранитам, Докембрийские породы 14–17: 14 – граниты плагиомикроклиновые, 15 – мигматиты розовые, 16 – мигматиты серые, 17 – аплит-пегматоидные граниты; 18 – зоны богатого уранового оруденения, 19 – зоны уранового оруденения, 20 – гидротермально-метасоматическая зона.

Рис. 5. Геологический разрез через центральную часть Западно-Криничанской тектоно-метасоматической зоны Саксаганско-Сурского рудного района УЩ

Наиболее изученными в Саксаганско-Сурском районе являются Сурское, Червоноярское и Новогурьевское месторождения. Они имеют некоторые черты, сходные и отличные с исследованными нами ранее месторождениями Южно-Бугского рудного района [8]. Так, аналогично с Братским месторождением (Южно-

Бугский район) на Сурском месторождении вместе с ураном накапливались цирконий, молибден, никель, кобальт, медь, мышьяк с высокими коэффициентами концентраций в основном в виде сорбций и в меньшей мере в виде сульфидов. На Новогурьевском месторождении наряду со свинцом элементами-спутниками урана в рудном процессе являются накопленные иногда в сопоставимых с ураном концентрациях молибден, медь, цирконий. В разрезе аномальные концентрации рудных элементов преимущественно залегают в контуре урановых залежей и, чаще всего, при этом не устанавливается приуроченности аномальных концентраций рассматриваемых рудных элементов к какому-либо литолого-фациальному типу бучакских отложений и породам кристаллического фундамента. Однако отмечается развитие аномальных концентраций элементов-спутников урана над сильно обводненными зонами разломов в фундаменте, несущими местами повышенные содержания этих элементов и уран, что, по нашему мнению, свидетельствует о значительном их привносе совместно с ураном глубинными трещинными водами. По обогащению тектонических зон кристаллического фундамента под месторождениями (Новогурьевское, Хуторское месторождения) рядом элементов, формирование русловых месторождений урана региона не объясняется удовлетворительно только лишь разрушением первичных эндогенных проявлений урановой минерализации или радиоактивных гранитов. Этот факт свидетельствует об источнике урана, поставляемого с растворами по разноориентированным тектоническим зонам, которые контролируют палеодолины и сами являются рудоносными.

В соответствии с представлениями о генезисе оруденения в угленосных отложениях, необходимыми условиями формирования промышленных концентраций урана в Саксаганско-Сурском районе являлось сочетание следующих условий: благоприятный литологический состав вмещающих отложений, благоприятная эпигенетическая зональность, благоприятные гидродинамические и радиогидрогеологические условия. Однако формирование всех этих факторов находилось под существенным влиянием тектонического фактора рудоконтроля на стадии рудоподготовки. Так, зоны глубинных разломов, имели на протяжении фанерозоя по-

стоянный господствующий тектонический контроль над формированием прогибов, выполнением их фаціальными комплексами, в том числе, с благоприятной для осаждения фаціально-геохимической обстановкой, вертикальной зональностью главных типов подземных вод и областей их разгрузки. Тектонические зоны обеспечивали проявление энергичной гидродинамики в сфере водообмена и интенсивность эрозионных процессов. При возникновении малоинтенсивной тектонической активизации, формировались новые отвержки палеодолин и углубка уже существовавших, в проницаемых зонах разломов обеспечивалось проникновение химических реагентов и активное поступление урана к геохимическим барьерам как за счет усиления скорости фильтрации пластовых вод, так и за счет дополнительной поставки урана вследствие интенсивного увеличения реактивной растворяющей способности подземных вод в тектонометасоматических зонах древнего приразломного уранового оруденения и за счет глубинных растворов, обогащенных ураном. В структурных узлах, образованных пересечением разломами водоносных горизонтов, возможно, происходило смешение эндогенных трещинных растворов и экзогенных пластовых вод.

Выявленная закономерная связь формирования промышленных урановорудных концентраций с зонами разломов, испытывавших неотектонические активизации характерна для Саксаганско-Сурского, Ингуло-Ингулецкого [9] и Южно-Бугского [8] рудных районов и ее использование позволит при прогнозировании месторождений данного типа в угленосных отложениях осадочного чехла УЩ существенно минимизировать перспективные площади для эффективного проведения дальнейших геологоразведочных работ.

### **Уточненный комплекс региональных критериев и признаков уранового оруденения песчаникового типа**

В процессе изучения геолого-структурных закономерностей локализации месторождений урана экзогенно-инфильтрационного типа, нами выявлено решающее значение на формирование рудообразующих систем промышленных объектов уранового оруденения экзогенно-инфильтрационного типа Ингуло-Ингулецкого, Саксаганско-Сурского и Южно-Бугского рудных

районов тектонического фактора на стадии рудоподготовки, который наряду с экзогенными факторами оруденения во многом predetermined закономерности размещения и условия локализации месторождений урана в бучакской толще. Уточненные рациональные комплексы региональных критериев и признаков уранового оруденения в угленосных отложениях палеогена УЩ, синтезирующие все положительное, наработанное за многие годы специалистами Казенного предприятия «Кировгеология» [4] и выявленные нами закономерные связи оруденения этого типа в тесной связи с тектоническим фактором на стадии рудоподготовки имеют следующий вид:

*Стадия мелкомасштабного прогнозирования 1:500000, 1:200000*

*1. Тектонические и радиогидрогеологические критерии в тесной связи с разломной тектоникой.*

1.1. Зоны региональных долгоживущих разломов с установленными неотектоническими подвижками на участках пересечения с бучакскими палеодолинами, отличающиеся широким развитием радиогидрогеологических ореолов урана, являющиеся областями разгрузки восходящих потоков ураноносных растворов в вышележащие отложения.

1.2. Участки тектонических зон с радиохимической урановой специализацией в пределах долгоживущих разломов, служащие источниками разновозрастных концентраций урана, а также ураноносных флюидов.

*2. Литолого-фациальные.*

2.1. Палеодепрессии, вмещающие угленосную формацию.

2.2. Состав литолого-фациальных комплексов (в порядке убывания перспективности - речной, лагунно-лиманный, озерно-болотный), слагающих угленосную формацию.

2.3. Наличие водоупорных отложений, перекрывающих угленосную формацию.

*3. Гидрогеологические.*

3.1. Площади размещения угленосных отложений выше уровня региональных дрен.

*4. Радиогеохимические.*

4.1. Развитие в пределах водосборных площадей кристаллических пород фундамента с повышенным радиогеохимическим фоном.

4.2. Урановое оруденение в породах угленосной формации, в том числе наличие объектов, связанных с зонами пластового окисления.

4.3. Площади с аномальными концентрациями урана в пластово-трещинных водах.

На стадии среднемасштабного прогнозирования месторождений урана песчаникового типа тектонические критерии сохраняют ведущее значение, изменяется только масштаб их проявления.

*Стадия среднемасштабного прогнозирования 1:100000, 1:50000*

1. Зоны региональных долгоживущих разломов с установленными неотектоническими подвижками на участках пересечения с бучакскими палеодолинами, являющиеся областями разгрузки восходящих потоков ураноносных растворов в вышележащие отложения.

2. Участки зон с радиохимической урановой специализацией в пределах долгоживущих разломов, служащие источниками разновозрастных концентраций урана с благоприятными гидродинамическими условиями.

3. Области благоприятного литологического состава отложений (угленосность, преимущественно русловые фации).

4. Благоприятная эпигенетическая зональность (критические области).

5. Наличие водоупорных отложений, перекрывающих угленосную толщу.

6. Наличие повышенных концентраций урана в угленосных отложениях, вмещающих породах и породах водосборных областей питания.

7. Крупные водосборные площади (десятки, сотни кв. км), в пределах которых формируются грунтовые воды, питающие палеодепрессии.

8. Гидравлические уклоны от областей питания грунтовых вод до участков их разгрузки.

## **Оценка перспектив экзогенного промышленного уранового оруденения Саксаганско-Сурского рудного района**

Учитывая, что лишь 40 % территории Саксаганско-Сурского района изучено специализированными работами в масштабе 1:50000 и крупнее (участки месторождений), а остальные в масштабе мельче 1:200000 и он является наименее изученным из рудных районов Бугско-Днепровской металлогенической области, нельзя исключать возможность выявления здесь значительных концентраций урана в угленосных отложениях, на это указывает и обширный радиогидроореол аномального содержания урана в трещинных водах. Поэтому поиски месторождений, пригодных для отработки методом подземного выщелачивания необходимо сосредоточить в пределах перспективных участков Саксаганско-Сурского района. На основе выполненной прогнозной оценки заслуживают дальнейшего изучения верховья и средние части Александрийской, Попельнастовской, Пятихатской, Саксаганской, Сурской, Верхнеднепровской, Синельниковской палеодепрессий Саксаганско-Сурского рудного района и поиск их новых ответвлений в пределах выделенной полосы широтного простиранья зоны влияния широтных Субботско-Мошоринского и Девладовского глубинного разломов. Здесь могут быть выявлены новые месторождения в зонах пластового окисления, как отложений речного комплекса, так и в переходных к лагунно-лиманным образованиям.

Основная часть депрессий, входящих в контур Саксаганско-Сурского района сложена образованиями лагунно-лиманного комплекса и лишь в мелких ответвлениях и отвержках – отложениями речного комплекса второго типа (рис. 1). Фрагмент Сурской палеодепрессии, включающей Сурское и Червоноярское месторождения, Верхнеднепровской с Еленовским и Криничанским месторождениями, Верховцевской с Хуторским месторождением, Саксаганской с Новогурьевским месторождением находятся в пределах обширного аномального радиогидроореола содержания урана в трещинных водах пород фундамента широтного простиранья с концентрациями урана от  $1 \times 10^{-5}$ – $1 \times 10^{-4}$  г/л и выше. Верховья Сурской, Попельнастовской и западная ветвь Саксаганской депрессии находятся за пределами этого ореола и зоны вли-

яния глубинных разломов, характеризуются почти полным отсутствием проявления урановой минерализации в бучакских отложениях (вмещают только три радиоактивные аномалии и одно проявление урановой минерализации) и должны быть исключены из дальнейшего опоискования.

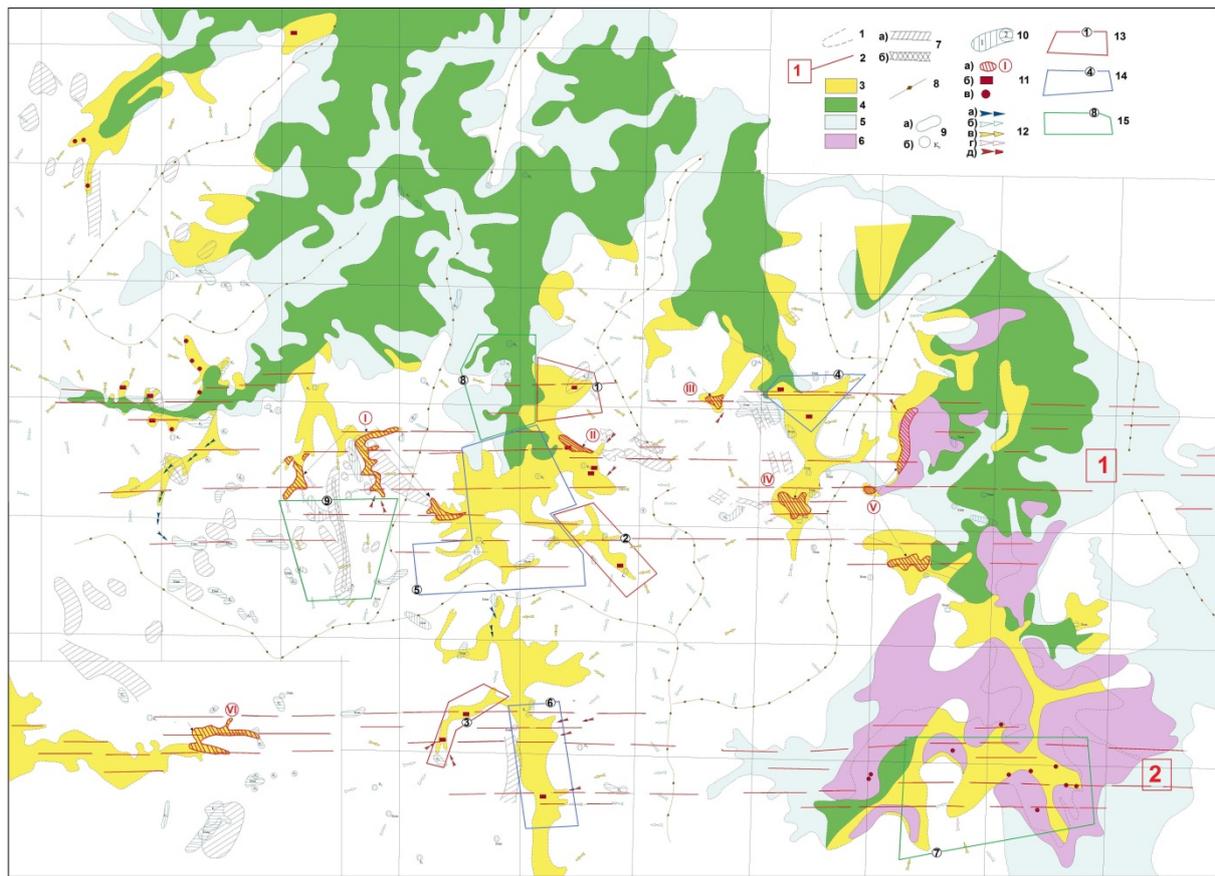
Согласно принятой модели уранового рудообразования экзогенно-инфильтрационного типа (Чурзин Г. Г., Макаренко Н. Н., КП «Кировгеология» [4]) основным поисковым критерием урановых месторождений в угленосных отложениях на стадии среднemasштабного прогнозирования принимается наличие областей выклинивания зон пластового окисления, сформированных ураноносными водами в угленосных отложениях. Из-за их незначительного площадного распространения выделение таких зон часто не представляется возможным. Но зоны пластового окисления являются составными частями глубинной зоны поверхностного окисления в областях ее контакта с угленосными отложениями. Эти области контакта имеют более широкое площадное распространение, чем зоны пластового окисления, но меньше площадей распространения угленосных отложений, что вызвано различным гипсометрическим уровнем их залегания (уровень залегания угленосных отложений погружается в сторону регионального дрена) и залегания подошвы глубинной зоны поверхностного окисления (контролируется глубиной вреза гидросети). Область контакта между глубинной зоной поверхностного окисления и угленосными отложениями называют критическими областями, так как они являются областями контакта генетически разнородных и противоположных по окислительно-восстановительному потенциалу сред, где происходит миграция различных элементов и их осаждение. Отметим на примере Саксаганско-Сурского района, что распределение выделенных критических областей и, самое главное, локализация на их участках уранового оруденения в угленосных толщах четко подчиняется структурному контролю Субботско-Мошоринского и Девладовского глубинных разломов, с установленными признаками неотектонических подвижек в их пределах (рис. 6). Учитывая такую закономерность площади для первоочередного опоискования в пределах выделенных критических областей, априори вмеща-

ющих зоны эпигенетической зональности сужаются, по меньшей мере, в два раза. В небольших по площади критических областях, установленных за пределами зон влияния указанных разломов не установлено концентрации урана даже в масштабе точки минерализации, поэтому они однозначно исключаются из опоискования. Возникновение промышленных скоплений урана на ролловом фронте обусловлено важнейшим условием – повышенным содержанием урана в водах. А это, в свою очередь, зависит от источников урана. Принимая во внимание, что содержание урана в кристаллических породах, подстилающих отложения Саксаганско-Сурского района очень низкие ( $1,5-2,0 \times 10^{-4} \%$ ), значимые эндогенные концентрации урана в бассейне водосбора отсутствуют, а основным источником, как мы установили, являются ураноносные трещинные воды зон глубинных разломов перспективные площади опоискования первой очереди можно локализовать областями благоприятного литологического состава среднеэоценовых отложений (угленосность, водопроницаемость их подошвы) и перекрывающей углистые осадки толщей (непроницаемая кровля), благоприятной эпигенетической зональности (критические области), в зонах влияния глубинных разломов с установленными ореолами радиогидрогеохимических аномалий урана в подземных трещинных водах пород фундамента (они локализованы, главным образом в широтных зонах Субботско-Мошоринского и Девладовского разломов) с благоприятными гидродинамическими условиями и, дополнительно, наличием повышенных концентраций урана в угленосных отложениях, вмещающих породы и породах водосборных областей питания, где, в совокупности, по комплексу критериев и признаков можно предположить наличие зон пластового окисления и урановое оруденение за счет комплексного источника урана. Перспективные участки второй очереди характеризуются наличием критических областей в зонах влияния глубинных разломов с относительной удаленностью бассейна разгрузки подземных вод при незначительном превышении поверхности угленосных отложений, что обуславливает пониженный напорный градиент подземных вод. Участки третьей очереди имеют не выясненную перспективность вследствие отсутствия геологических данных, но размеще-

ны в зонах влияния глубинных разломов и предположительного развития критических областей в угленосной толще.

Результаты среднемасштабного прогнозирования с выделением перспективных для опоискования участков первой, второй и третьей очереди на основе степени суммарной проявленности уточненного комплекса критериев и признаков уранового оруденения в угленосных отложениях для Пятихатско-Сурской рудной площади Саксаганско-Сурского рудного района представлена на рисунке 6. Все выделенные участки первой очереди опоискования характеризуются наличием критических областей с пластовым окислением в зонах глубинных разломов, повышенными концентрациями урана в угленосных отложениях, площадными радиогидроаномалиями с повышенным содержанием урана, с высоким напорным градиентом подземных трещинных вод. Участки II очереди опоискования (характеризуются наличием критических областей с радиоактивными аномалиями в угленосных отложениях в зоне глубинных разломов, вмещают площадную и точечные радиогидроаномалии в угленосных отложениях и трещинных водах пород фундамента, изучены по редкой сети скважин  $1600 \times 800$  м, отрицательный признак – невысокий напорный градиент подземных вод (не выше 4,4 м/км). Участки III очереди опоискования (находятся в зонах влияния глубинных разломов, но изучены лишь одиночными скважинами, характеризуются наличием площадных и точечных радиогидроаномалий в угленосных отложениях и трещинных водах пород фундамента, требуют дополнительного бурения).

Таким образом, на основе использования уточненного комплекса критериев уранового оруденения экзогенно-инфильтрационного типа в тесной связи с тектоническим фактором рудообразования, мы последовательно на первом этапе мелкомасштабного (масштаба 1:200 000) прогнозирования для Саксаганско-Сурского рудного района (рис. 1) оконтурили наиболее перспективные для выявления месторождений урана площади, вмещающие части палеодепрессий в пределах выделенных ранее урановорудных и потенциально урановорудных площадях рудных районов.



1 – контур распространения угленосных отложений, 2 – линеаменты широтных разломов, испытавших неотектонические подвижки: 1 – Субботско-Мошоринский, 2 – Девладовский; 3 – критические области, 4 – площади отсутствия критических областей, 5 – площади отсутствия окисления в корах выветривания, 6 – площади отсутствия глубинной зоны поверхностного окисления, 7 – ореолы урана в кристаллических породах: а – повышенные содержания, б – аномальные содержания, 8 – водоразделы поверхности фундамента, 9 – радиогидроаномалии: а площадные, б – точечные; 10 – аномальное содержание урана в подземных водах: 1)  $5-10 \times 10^{-4} \%$ , 2)  $1-5 \times 10^{-4} \%$ ; 11 – объекты с прямыми признаками ураноносности: а) месторождения; б) рудопроявления, в) проявления; 12 – направление движения подземных кислородных вод с увеличением содержания в них урана в порядке от а до д; перспективные участки для опоскования: 13 – I очереди; 14 – II очереди, 15 – III очереди.

Рис. 6. Схема прогноза месторождений урана в угленосной толще палеогена Пятихатско-Сурской рудной площади Саксаганско-Сурского рудного района УЩ (с использованием материалов Чурзина Г. Г. и др., КП «Кировгеология»)

На втором этапе – стадии среднемасштабного (масштаба 1:50 000) прогнозирования для Пятихатско-Сурской рудной площади Саксаганско-Сурского рудного района по максимальной проявленности критериев уранового оруденения в угленосных отложениях и степени специализированной изученности выделили участки I, II, III очередей опоискования, контролируемым среди прочих факторов рудообразования и региональными разломами, испытывавшими неотектонические подвижки. Это позволило локализовать перспективные площади для дальнейшего опоискования в пределах ранее выделенных потенциально-рудных и рудных площадей в среднем в два раза.

### **Выводы и перспективы дальнейшего развития в данном направлении**

1. Установлена закономерная связь формирования экзогенно-инфильтрационных месторождений Саксаганско-Сурского рудного района с неотектоническими подвижками Субботско-Мошоринского и Девладовского широтных долгоживущих разломов на участках пересечения с бучакскими палеодолинами. У всех экзогенно-инфильтрационных месторождений урана Саксаганско-Сурского рудного района отмечается четкая геотектоническая избирательность.

2. Выявлены признаки поступления большей части урана многокомпонентных руд месторождений экзогенно-инфильтрационного типа Саксаганско-Сурского рудного района с растворами по тектоническим зонам, которые контролируют палеодолины и сами являются рудоносными.

3. Выявлено решающее значение на формирование рудообразующих систем промышленных объектов уранового оруденения экзогенно-инфильтрационного типа Саксаганско-Сурского рудного района эндогенного тектонического фактора на стадии рудоподготовки, который наряду с экзогенными факторами оруденения во многом предопределил закономерности размещения и условия локализации месторождений урана в бучакской толще.

4. Уточнены комплексы критериев и признаков промышленного уранового оруденения песчаникового типа для стадий мелкомасштабного и среднемасштабного прогнозирования.

5. На основе использования расширенных комплексов критериев и признаков промышленного уранового оруденения песчаникового типа последовательно выполнены прогнозные построения и выделены перспективные для выявления экзогенно-инфильтрационных месторождений урана поисковые площади в пределах Саксаганско-Сурского рудного района. В пределах Пятихатско-Сурской площади Саксаганско-Сурского рудного района УЩ выделены участки для специализированных поисковых исследований I, II, III стадий перспективности по степени проявленности установленной благоприятной совокупности критериев и признаков промышленного уранового оруденения экзогенно-инфильтрационного типа, включая новый эндогенный, что позволило в среднем в два раза локализовать площади для дальнейших поисковых работ.

### СПИСОК ССЫЛОК

1. Синчук В. В. Взаимосвязь технологий добычи и переработки урановых руд и состояния балансовых запасов / Доклады Межд. научно-практ. конф. «Актуальные проблемы геологии, прогноза, поисков и оценки месторождений твердых полезных ископаемых». — (Симф.-Судак, 27 сент. — 3 окт. 2010 г.). — К. : Академперіодика, 2011 — С. 118—123. : табл. — Библиогр. : с. 123.
2. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / [Белевцев Я. Н. , Коваль В. Б., Баркаржиев А. Х. и др.]; под ред. Я. Н. Белевцева, В. Б. Ковалья. — К. : "Наукова думка". — 1995. — 376 с. — Библиогр. : С. 376—392. — ISBN 5-12-003632-5.
3. Металлические и неметаллические полезные ископаемые Украины. Том 1. Металлические полезные ископаемые / [Гурский Д. С., Есипчук К. Е., Калинин В. И. и др.]. — Киев-Львов : Изд-во «Центр Европы». — 2005. — 785 с. — Библиогр. : С. 753—783.
4. Макаренко Н. Н. Модель образования и перспективы развития в Украине сырьевой базы урановых месторождений песчаникового типа / Н. Н. Макаренко, Г. Г. Чурзин,

- А. В. Кузьмин : тез. докл. научно-практ. конф. «Кировгеологии – 60 лет: история, достижения, перспективы». — (Киев, 22–23 ноября 2007 года). — К, 2007 — С. 40—44. : табл. — Библиогр. : с. 44.
5. Шмариович Е. М., Максимов М. Ф. Пластовоинфильтрационное рудообразование. — М. : Недра, 1993. — 160 с.
  6. Абдулкабиров Х. Б. О глубинном происхождении растворов на урановых месторождениях в платформенных отложениях депрессионных структур // Геология Казахстана, 1998. — № 2. — С. 40—46.
  7. Грушевой Г. В., Печенкин И. Г. Металлогения ураноносных осадочных бассейнов Центральной Азии. — М. : Изд-во ВИМС, 2003. — 120 с.
  8. Калашник А. А. Геолого-структурные особенности экзогенно-инфильтрационных месторождений урана в Южно-Бугском рудном районе Украинского щита / А. А. Калашник // Зб. наукових праць УкрДГРІ. — 2012. — № 3. — С. 33—45.
  9. Калашник А. А. Геолого-структурные особенности экзогенно-инфильтрационных месторождений урана в Ингуло-Ингулецком рудном районе Украинского щита // Науковий вісник НГУ. — 2013. — № 3. — С. 11—18.