

Е.Г. Сущук

ГУ «Институт геохимии окружающей среды НАН Украины»

РУДООБРАЗУЮЩАЯ РОЛЬ ПРОЦЕССОВ ОГЛЕЕНИЯ В ОСАДОЧНЫХ ФОРМАЦИЯХ УКРАИНЫ

Оглеение – экзогенный процесс в водоносных горизонтах осадочного чехла, связанный с деятельностью бескислородных и бессероводородных подземных вод. Суть процесса заключается в восстановлении и выносе окисного железа и одновременном выщелачивании ряда рудных элементов, с последующей концентрацией их на восстановительных барьерах. На территории Украины в истории развития осадочного чехла выделяется юрская глеевая эпоха, в течение которой сформировались зоны грунтового и пластового оглеения красноцветных отложений разного возраста. Процессы оглеения являются важным этапом в формировании рудоносных растворов и, в дальнейшем, гидрогенных месторождений.

Введение. Под оглеением понимают экзогенные процессы в водоносных горизонтах осадочного чехла, связанные с деятельностью бескислородных и бессероводородных подземных вод, содержащих повышенное количество закисного железа, углеводороды, углекислый газ и азот, а зачастую и водород. Этот термин широко применяется специалистами по гидрогенному рудообразованию, в первую очередь, урановому. Детальная характеристика физико-химических условий процессов оглеения приведена в работах А.И. Перельмана [1] и других исследователей урановых месторождений [2, 3, 4]. В самом общем виде она заключается в следующем.

Суть процесса оглеения в восстановлении окисного железа и выносе его из пород одновременно с другими компонентами, в том числе рудными, в результате чего в зоне гипергенеза формируются зоны выщелачивания, которые особенно характерны для почв, кор выветривания и водоносных горизонтов. При изучении гидрогенных месторождений урана зоны выщелачивания представляют особый интерес, так как они в ряде случаев служат областью питания ураноносных растворов, формирующих рудные тела месторождений. Известны три основных типа зон выщелачивания: окислительный тип, глеевый и сероводородный. В зонах глеевого выщелачивания глеевые воды (без кислорода и сероводорода) могут быть кислыми ($\text{pH}=3-6,5$), нейтральными ($\text{pH}=6,5-8,5$) и щелочными (содовыми) с $\text{pH} > 8,5$. Соответственно выделяются зоны кислого, нейтрального и щелочного глеевого выщелачивания. В кислых глеевых водах легко мигрируют элементы, образующие катионы – в основном металлы. В щелочных водах более подвижны элементы, образующие анионы (неметаллы и часть металлов). Некоторые элементы (уран, молибден, алюминий, цинк и др.) могут мигрировать и в катионной, и в анионной форме, в зависимости от pH. В резкоглеевых водах уран мало подвижен и практически не выщелачивается [1].

Осаждение металлов происходит на восстановительных барьерах любого типа, в том числе и на глеевых, где происходит резкое уменьшение интенсивности миграции ряда рудных элементов и, как следствие, их концентрация. Различают несколько типов глеевых барьеров: кислые, щелочные и содовые. На кислых глеевых барьерах осаждаются медь, уран, молибден, ванадий, на щелочных – молибден, уран, селен, рений, на содовых – только молибден и уран. Уран концентрируется в условиях резко глеевой среды в отсутствие сероводорода, где халькофильные элементы не осаждаются.

Восстановительная глеевая обстановка в подземных водах чаще всего создаётся в участках затруднённой циркуляции и застойного режима, в глубоких горизонтах артезианских бассейнов. Латеральная миграция таких вод по водопроницаемым пластам или внедрение их по разломам из глубоких горизонтов осадочного чехла в вышележащие являются причинами восстановительных глеевых преобразований осадочных пород. Кроме того, эти процессы могут быть связаны и с поступлением в водоносные горизонты снизу по разломам газообразных восстановителей – водорода и углеводородных газов.

Глеевые барьеры широко распространены в зоне гипергенеза, в том числе и на месторождениях в трещинных зонах изверженных и метаморфических пород. Месторождения урана, связанные с процессами оглеения, формируются как в результате инфильтрации нисходящих вод, так и в процессе восходящей миграции глубинных вод, в связи с чем их генезис нередко трактуется с эндогенных позиций. Для первого типа месторождений А.И. Перельманом предложено понятие «зона пластового оглеения» [1].

Палеогеографические условия образования зон оглеения в осадочных формациях Украины. На территории Украины в осадочном чехле на склонах Украинского щита (УЩ) и в обрамляющих его прогибах развиты зоны грунтового и пластового оглеения красноцветных отложений разного возраста: рифейского, девонского, пермского, триасового [5]. Палеогеографические, структурно-тектонические и литолого-фациальные исследования позволяют определить время образования этих зон, как поздний триас – средняя юра, а повсеместное их распространение даёт основание выделять в истории развития осадочного чехла Украины юрскую глеевую эпоху.

В это время на территории Украины существовал континентальный режим, проявлялись относительно слабые дифференцированные тектонические движения, был тёплый гумидный климат, способствующий бурному развитию растительности. Поверхностные воды в юрскую эпоху содержали значительное количество продуктов разложения растительного органического вещества (гуминовые и фульвои кислоты, CO_2) и практически не содержали кислорода, который затрачивался на окисление органики. То есть, эти воды представляли собой бескислородные слабокислые растворы и вызывали восстановление железа, растворение карбонатов, кислотное изменение полевых шпатов, вовлекая при этом в миграцию ряд металлов. Мигрируя вниз, глеевые слабокислые растворы нейтрализовались грунтово-поровыми водами красноцветов, которые имели, вероятно, слабощелочной и слабоокислительный характер. В результате формировались глеевые барьеры различного типа, на которых отлагались новообразованные минералы, в том числе рудные.

Поднятые блоки кристаллического фундамента Украинского, Воронежского и Белорусского массивов служили областями питания водоносных горизонтов артезианских бассейнов окружающих прогибов, для которых, очевидно, был характерен инфильтрационный режим. Масштабы процессов оглеения были весьма велики. Протяженность зон оглеения вдоль склонов УЩ достигает 100-200 км, мощность – до 135 м, глубина распространения – 200-220 м. Область распространения оглеенных пород облекает Донецкий кряж, вытягиваясь по оси Днепровско-Донецкой впадины.

Прослеживается отчётливая связь **грунтовых** зон оглеения с древней мезозойской поверхностью, субпараллельность нижней границы изменённых пород этой поверхности, вертикальная зональность, отражающая постепенное уменьшение интенсивности изменений сверху вниз, приуроченность наиболее интенсивных изменений к водопроницаемым породам. Установлено увеличение мощности оглеенных пород под эрозионными «окнами», образованными в глинистых отложениях под руслами юрских рек [6]. **Пластовая** эпигенетическая глеевая зональность наблюдается в пределах проницаемых пластов между водоупорами; она развита по падению пластов и образована напорными пластовыми водами. Известна также глеевая зональность, формирующаяся в процессе восходящей (эксфильтрационной) миграции глубинных вод, не связанных с магматизмом. Этот тип глеевой зональности широко распространён в зонах развития купольных структур в северо-западном Донбассе и Днепровско-Донецкой впадине.

Минералого-геохимическая характеристика процессов оглеения. Как уже говорилось выше, суть процессов экзогенного оглеения заключается в восстановлении окисного железа, окрашивающего породы в красный цвет, и выносе двухвалентного железа, в результате чего оглеенные породы приобретают белую или серую окраску различных оттенков и формируется эпигенетическая зональность в толще пород. Минералого-геохимическое изучение изменённых пород, проведенное нами в различных регионах Украины,

позволило установить общую закономерность для зон грунтового и пластового оглеения в красноцветях любого возраста. Она заключается в выщелачивании рудных элементов (железа, урана, марганца, бериллия, кобальта, ванадия, хрома, никеля и др.) из верхней подзоны разложения алюмосиликатов и интенсивного оглеения, выносе их из оглеенных пород (особенно железа, урана, марганца, бериллия) и частичном накоплении в глеевой разновидности средней подзоны оглеения (преимущественно ванадия, хрома, никеля). В резкоглеевых водах теряет подвижность уран и может осаждаться на содовом глеевом барьере совместно с молибденом и железом.

Минералого-геохимические признаки глеевых преобразований обычно выражены не столь отчётливо, как в случаях проявления сульфидных процессов. В природных условиях обычно происходит неполный вынос железа, и сохранившаяся его часть фиксируется в форме новообразованных минералов закисного железа – сидерита, хлорита, железистых гидрослюдов, которые, таким образом, могут рассматриваться как типоморфные минералы глеевой обстановки. В первично красноцветных и эпигенетически лимонитизированных породах оглеение приводит к изменению красной, желтой, оранжево-желтой окраски на зеленовато-серую, светло-серую и даже белую, а в отдельных случаях, как, например, на купольных структурах ДДВ, – на сиреневую, бирюзово-зелёную, сизую.

В связи с тем, что в глеевых водах, кроме железа, повышенной миграционной способностью обладают марганец и халькофильные элементы, в ряде случаев отмечено обеднение ими пород, претерпевших оглеение. Поскольку солевой состав и кислотно-щелочные свойства подземных вод этого типа варьируют в весьма широких пределах, восстановление железа при оглеении может сопровождаться весьма разнообразными по своей направленности изменениями – декарбонатизацией, каолинизацией, гидрослюдизацией, сидеритизацией, кальцитизацией, сульфатизацией. В частности, на урано-битумных месторождениях в северо-западном Донбассе установлена сопряженность глеевых преобразований рудовмещающих красноцветных пород с процессом кислотного выщелачивания оснований [9].

Нами была детально изучена природа минералого-геохимической зональности в отложениях пермо-триаса северо-восточного склона Украинского щита, установленная при проведении структурно-профильного бурения вдоль левого берега Днепра примерно между городами Переяслав-Хмельницкий и Золотоноша [7]. Вертикальная зональность в мощной толще красноцветных песков и песчаников выражается сменой окраски пород. Сверху расположена зона песков грязно-белого цвета мощностью от 15 до 108 м. Грязно-белые пески постепенно переходят в расположенные ниже пески и песчаники светло-бежевого цвета, образующие зону мощностью от 3-5 до 25-30 м. Ещё ниже они постепенно сменяются породами кирпично- и буро-красного цвета, составляющими третью зону.

Несогласное положение границ выделенных зон с напластованием пород свидетельствует о том, что геохимическая природа образования зональности не связана с осадконакоплением. Наибольшая глубина распространения изменённых пород установлена в районе отсутствия перекрывающей пачки глин пермо-триаса, где угленосные отложения байоса залегают непосредственно на толще песков. Это позволяет предполагать, что зональность возникла в юрское время в результате нисходящего просачивания поверхностных вод.

Выделенные визуально зоны различной окраски были детально изучены минералого-петрографическими методами, а также с помощью рационального химического анализа по методу Н.М. Страхова и Э.С. Залманзон, который даёт возможность установить химические формы железа, коэффициент восстановленности по соотношению форм железа, содержание CO_2 , $\text{C}_{\text{орг}}$ и S и, таким образом, сделать выводы о геохимии процессов изменения пород [6, 7].

Неизменённые пески и песчаники преимущественно кирпично-красного цвета, обусловленного тонкораспылённым гидрогематитом. Песчаники полимиктовые, мелкозернистые до среднезернистых. Кластический материал плохо и неравномерно окатан, составляет 55-70% породы и представлен кварцем (25-40%), полевыми шпатами

(15-20%), обломками кремней, глин, реже — известняков (5-10%). Цемент преимущественно базального типа, карбонатный, глинисто-карбонатный или глинистый, составляет от 45 до 30% породы. Преобладает кальцитовый цемент, мелко- либо крупнозернистый, раскристаллизованный.

Характерной особенностью неизменённых песчаников и песков является постоянное присутствие в них 1-2% гидрогематита, который пропитывает глинистый цемент, образуя в нем своеобразные округлые выделения, иногда цементирует песчаник, разъедая кластический материал. Рудные минералы, помимо гидрогематита, представлены магнетитом, гематитом, мартитом, гидрогётитом, ильменитом, лейкоксеном; общее их содержание менее 1%. Список акцессорных минералов дополняют гранат, ставролит, циркон, рутил, турмалин, кианит; встречаются единичные знаки шпинели, эпидота, анатаза, хромита, монацита, пирропа.

Содержание окисного железа ($\text{Fe}^{3+}_{\text{раств.}}$) в неизменённых песках и песчаниках составляет 0,65% (весовых) или 70-75% от общего количества железа в породах (0,87-0,93% весовых). Окисное железо находится преимущественно в гидрогематите и гидрогётите. Некоторое его количество попадает в нерастворимую форму [7, 5]. Железо, содержащееся в ильмените и акцессорных силикатах, составляет не более 17,2-17,3% от общего его количества в породах. Содержание CO_2 : в песчаниках — 7-8% в глинисто-карбонатных и 0,5-0,6% в слабоглинистых; в песках — от 0,04 до 3,12% (в среднем — 1,58%).

Пески и песчаники белого, грязно-белого, зеленовато-белёсого цвета, образующие верхнюю зону в описываемой зональности, по структуре, составу и количеству кластического материала не отличаются от неизменённых пород. Цемент песчаников имеет некоторые особенности. Гидрослюды в цементе раскристаллизованы и в отдельных участках замещаются крупнозернистым кальцитом. Изредка в цементе развиваются хлорит, халцедон и хорошо огранённый доломит. В песках снежно-белого цвета, иногда отмечаемых в кровле песчаной пачки, наблюдается замещение полевых шпатов землистым каолинитом и крипточешуйчатой гидрослюдой.

В обелённых песках и песчаниках верхней зоны совершенно отсутствуют магнетит, гематит, гидрогематит, гидрогётит, мартит. Это сказывается на резком уменьшении количества окисного ($\text{Fe}^{3+}_{\text{раств.}}$) и валового железа, что особенно заметно в рыхлых песках (0,16 - 0,02% и 0,48%, соответственно). Одновременно возрастает содержание карбонатно-хлоритной формы железа ($\text{Fe}^{2+}_{\text{раств.}}$), которая составляет 54% от количества валового железа. По-видимому, двухвалентное растворимое железо находится в новообразованном хлорите и железистом доломите. Содержание железа нерастворимого практически не изменяется. В обелённых песках и песчаниках сохраняются ильменит, эпидот, лейкоксен, ставролит и другие устойчивые акцессорные минералы. В этой зоне появляются новообразованные пирит и барит. Пирит развивается как в цементе, так и по обломкам известняка и глин, образуя мелкие, хорошо ограненные кристаллики, иногда выросшие на ильмените, а также землистые скопления и конкреции. Барит представлен пластинчатыми, хорошо ограненными кристаллами в цементе песчаников. В одной из скважин встречены свежие кристаллы новообразованного галенита.

Таким образом, в верхней зоне оглеения происходило восстановление окисного железа, частичный вынос его из пород (из песков больший, чем из песчаников), а также фиксация в двухвалентной карбонатно-хлоритной и сульфидной формах. Отмечается также уменьшение содержания CO_2 (в песках — 0,14-0,33, в песчаниках — 1,49-7,97%) по сравнению с неизменёнными красноцветными породами.

Светло-бежевые пески и песчаники, образующие вторую сверху зону оглеения, также не отличаются по структуре и составу породообразующих минералов от неизменённых красноцветных пород. Для песчаников характерен карбонатный цемент, в котором иногда сохраняются реликты глинистого цемента, пропитанного гелеобразными гидроокислами железа. Содержание CO_2 в светло-бежевых песчаниках составляет 11,28 - 15,4%, то есть заметно выше, чем в красноцветных (7-8%).

Характерной особенностью песков и песчаников этой зоны является наличие как первичных, так и новообразованных минералов железа. Первичные минералы железа

представлены гидрогематитом, гидрогётитом, обломочным магнетитом, который в этой зоне заметно окислен. Эпигенетические минералы железа представлены лимонитом, образующим скопления в виде комочков и «рубашек» на кварце и кальците, а также гелеобразными светло-бурыми гидроокислами в цементе. Среди скоплений гелеобразных гидроокислов железа изредка наблюдаются мельчайшие кристаллики пирита, хотя в целом он для этой зоны не характерен. Двухвалентное железо содержится также в новообразованном доломите, утяжеленном сидеритовой молекулой (показатель преломления и удельный вес выше обычных). Доломит и кальцит развиваются в цементе нередко вокруг гнёзд новообразованного халцедона.

Химические анализы светло-бежевых песков и песчаников показывают увеличение общего содержания железа по сравнению с неизменёнными красноцветными породами, что связано с привнесением железа из обелённых пород и отложением его в виде новообразованных минералов. Наряду с этим происходит частичное восстановление гидрогематита, что отражается на уменьшении содержания трёхвалентного растворимого железа (до 12,4% в песчаниках) и заметном увеличении содержания Fe^{2+} раств. (до 75,2%) – карбонатно-хлоритной формы.

Проведенные исследования доказывают, что установленная зональность образовалась в результате нисходящего движения растворов. В верхней зоне происходило восстановление окисного железа, растворение кальцита, разложение полевых шпатов. Часть железа, вероятно, в гидрокарбонатной форме, растворённые карбонаты и кремнезём выносились в расположенную ниже зону, где отлагались в виде новообразованных Fe -содержащих карбонатов, силикатов, гелеобразных гидроокислов железа, кальцита и халцедона. Ещё ниже располагается зона неизменённых красноцветов.

Территориальная связь изменённых пород с эрозионным «окном» в глинах нижнего триаса, перекрывающих песчаную пачку, позволяет предположить, что изменение пород происходило в юрское время и связано с просачиванием поверхностных вод из отложений байоса, содержащих обильные растительные остатки и прослой угля, в водоносный горизонт пермтриаса. Континентальный режим, воздымание территории (врезание русел байосских рек), гумидный климат способствовали понижению уровня грунтовых вод в отложениях пермтриаса и инфильтрации метеорных вод. Последние представляли собой бескислородные (глеевые) слабокислые растворы, которые и вызвали образование описанной зональности.

Поверхностные и грунтовые воды в гумидноклиматических континентальных условиях почти не содержат сульфатов, что способствует переносу бария и объясняет малое количество сульфидов в оглеенных породах. Некоторое количество рассеянных сульфатов в красноцветах, подвергшихся оглеению, послужило основой для бактериальной сульфат-редукции с образованием небольшого количества сероводорода (осаждение пирита и галенита), а также способствовало связыванию бария (образование барита).

Поступая в толщу красноцветов, глеевые слабокислые растворы нейтрализовались грунтово-поровыми водами последних. В результате под обелёнными породами происходило отложение новообразованных минералов – доломита, кальцита, хлорита, халцедона. Неравновесность окислительно-восстановительных условий в этой зоне определяется сосуществованием пирита, хлорита, глауконита и гелеобразного гидрогётита.

В процессе кислого оглеения при разрушении породообразующих и акцессорных минералов высвобождались и мигрировали входящие в их состав микроэлементы, в том числе рудные, тем более что основными минералами-носителями большинства микроэлементов в неизменённых породах являются оксиды железа и железосодержащие акцессории. Как известно [8], в слабокислых глеевых водах влажных тропиков легко мигрируют медь, свинец, цинк, кобальт, никель, барий, уран, ванадий, серебро, реже золото, а в условиях болотных ландшафтов – железо и марганец. Концентрация рудных элементов на геохимических барьерах может приводить к формированию рудных залежей.

Закономерности формирования рудных концентраций в процессах оглеения. Процессы оглеения, вызывающие выщелачивание рудных элементов, их миграцию и

дальнейшую концентрацию на геохимических барьерах, могут играть определяющую роль в формировании рудных концентраций в благоприятных для этого условиях. Особенно чётко эти закономерности проявляются при изучении эпигенетических (водородных) месторождений урана в осадочных толщах. Как установлено большинством исследователей урановых месторождений [1, 2, 3, 4], оглеение пород – наиболее широко трактуемый тип эпигенетических процессов, протекающий в широком диапазоне геохимических условий. Группа глеевых (бессероводородных и бескислородных) вод, по-видимому, может служить для урана и средой миграции, и средой осаждения. Концентрации урана могут быть наложены на ранние зоны оглеения, либо быть весьма близкими к ним по времени, но не совпадать в пространстве. Вместе с тем они могут формироваться на глеевом восстановительном барьере.

Нами детально изучена эпигенетическая зональность на урано - битумных месторождениях и рудопроявлениях в районах развития купольных структур в северо-западном Донбассе, Днепровско-Донецкой впадине и северной части Припятской впадины. Урановые проявления приурочены к антиклинальным структурам, своды которых разрушены древней эрозией, разбиты разломами и нередко характеризуются внедрением соляных штоков, сопровождаемых диапировыми брекчиями. В северо-западном Донбассе, судя по геологическим и изотопным данным, месторождения урана сформировались в триасе (195 ± 5 млн. лет) из ураноносных кислородсодержащих грунтовых вод на флюидном восстановительном барьере, обусловленном внедрением в водоносные горизонты красноцветной дроновской свиты нефтеносных углекисло-гидрокарбонатных термальных растворов [9, 10, 11]. Процессы рудообразования сопровождались формированием эпигенетической зональности, которая в общем плане имеет концентрическое строение и занимает более обширную территорию, чем область распространения рудных залежей.

Кислые глеевые процессы обычно проявляются в самом начале многостадийных эпигенетических изменений. Оглеение развито по площади и в разрезе более широко, чем последующие изменения, и особенно сильно проявлено вблизи от тектонических нарушений, ограничивающих соляной шток. Здесь выделяется зона полного обеления пород, в которых общее содержание железа менее 1%. Из обелённых пород, состоящих практически из обломочного кварца и каолинита, параллельно с железом вынесены почти полностью все рудные элементы. Эти изменения могли возникнуть в красноцветных терригенных отложениях благодаря внедрению по разломам в данный водоносный комплекс слабокислых глеевых вод, содержащих восстановители (углеводородные газы и водород) и углекислый газ. Подобные воды обычно распространены в глубоких горизонтах артезианских бассейнов.

По нашим наблюдениям, обелённые породы в толще пестроцветов встречаются не только на купольных структурах, но и в межкупольных прогибах, мульдах, впадинах. Особенно широко они распространены в отложениях серебрянской серии триаса. Обелению подвергались, в основном, проницаемые пласты песчаников и гравелитов. Водоупорные слабопроницаемые горизонты глин и алевролитов, как правило, сохранили первичную красную, реже серо-зелёную окраску.

На купольных структурах обширную площадь занимают зеленоцветные породы глеевой зоны, в которых, наряду с уменьшением общего количества железа и отсутствием его сульфидных форм (по сравнению с неизменёнными красноцветами), происходит накопление ванадия (на 25%), хрома (на 100%), кобальта (на 30%), никеля (на 35%), меди (на 75%), вынесенных из подзоны разложения алюмосиликатов и интенсивного оглеения. Этому способствует существующая в данной зоне эпигенеза переходная от окислительной к восстановительной обстановка. ΔE_h пород зоны зеленоцветов составляет 20-40 мВ, а E_h современных вод колеблется от $-(10-50)$ до $+100$ мВ. [9]. Смешивание глубинных и пластовых вод и взаимодействие их с породами приводило к нейтрализации вод, благодаря чему в слабощелочной глеевой обстановке происходило образование зелёных гидрослюдов и сидерита, а также накопление микроэлементов на глеевом восстановительном барьере, в том числе и урана. Как показал баланс вещества, основная масса рассеянных металлов в зоне зеленоцветов концентрируется в глинах и глинистой фракции песчаников, а также в

различных минералах тяжелой фракции (элементы группы железа – в магнетите, титаномагнетите, ильмените, лейкоксене; халькофильные элементы – в сульфидах). При этом металлы, содержащиеся в глинистой фракции, находятся в подвижной форме и могут легко выноситься подземными водами. В некоторых участках происходило накопление гидроокислов марганца, образующего буровато-черные оторочки в пустотах и на границе между осветлёнными алевролитовыми и красноцветными глинистыми участками. Местами в оглеенных алевролитах наблюдаются мелкие (0,3-1 мм) конкреции барита.

В связи с новообразованиями хлорита и сидерита в оглеенных породах заметно возрастает содержание закисного железа (от 0,88% до 1,25%) и понижается содержание окисного (от 1,66% до 0,7%). Содержание карбонатов значительно увеличивается в оглеенных песчаниках и алевролитах по сравнению с красноцветными (с 17 до 33%), тогда как в глинах, менее проницаемых, оно остаётся неизменным. Существенных изменений в составе глинистых минералов при оглеении не происходит (за исключением зон интенсивного обеления). В зеленоцветных породах, как и в красноцветных, они представлены гидрослюдами диоктаэдрического типа и монтмориллонитом, что подтверждается рентгеноструктурным анализом. В глинистых и алевролитовых прослоях оглеение чаще всего развивается вокруг пустот от корней растений, трещин, ходов роющих животных, на контактах с песчаными линзочками и слоями. Это доказывает связь изменений пород с участками повышенной проницаемости.

Поскольку в оглеенных породах не сохранилось заметных следов органических веществ, можно предположить, что основным восстановителем здесь был водород. Восстановительные процессы в этой зоне затронули в основном гидроокислы железа, а не окисное железо в более труднорастворимых обломочных минералах. В целом в пластовых водах сохранялись слабощелочные условия, что способствовало возникновению описанной выше ассоциации эпигенетических минералов и дополнительной карбонатизации пород.

Центральная (внутренняя) зона наиболее восстановленных пород серого цвета располагается в сводовых частях куполов и вокруг соляных штоков. Она характеризуется резко восстановительной сероводородной обстановкой: ΔE_h пород 50-70 mv, E_h вод - (-200) mv, содержание в воде сероводорода – 50-100 мг/л. Поэтому здесь наблюдается полное преобладание сульфидных форм железа и увеличение его общего содержания (5-7% в песчаниках и 9-10% в глинах). В этой зоне локализованы тела ураноносных битумов, которые, кроме урана (от 0,01 до 1% и более), содержат молибден (0,7 - 1%), ванадий (до 1%), скандий (до 0,05%), хром (0,1 - 0,5%), никель (0,01-0,03%), цинк (0,3 - 1%), свинец (0,01 - 0,03%), ртуть (тысячные - сотые доли %, максимум – 2,05% на Славянском куполе). Ряд рассеянных металлов образует в зоне сероцветов самостоятельные минералы. Здесь установлены молибденит, иордизит, галенит, сфалерит, киноварь, хромсодержащий монтмориллонит (более 1% хрома). Последний концентрируется в породах с яркой бирюзовой окраской, развитых вдоль межслоевых нарушений. Так, на южном крыле Адамовского поднятия вблизи регионального Корульско-Дроновского разлома обогащенные хромом до 0,1 - 1% битуминозные песчаники дроновской свиты мощностью 10-20 м в плане имеют вид полосы протяженностью около 3 км вдоль нарушения. Хромсодержащий монтмориллонит подтверждён рентгеноструктурными и электронографическими исследованиями (препринт зелёный). Это минерал яркого бирюзово-зелёного цвета, образующий линзочки и прослойки по слоистости вмещающих пород, а также тонкие плёночки по трещинам новообразованного кальцита и, иногда, каёмки вокруг твёрдых битумов. В редких случаях (Новодмитровский участок) хромсодержащий монтмориллонит не только замещает цемент песчаников, но и развивается в виде прожилково-струйчатых образований в гидрослюдистых глинах. Средний показатель преломления минерала – 1,515 - 1,558. Хром содержится также в чёрных твёрдых и цветных битумах обычно в количестве тысячных и сотых долей процента, изредка достигая 0,1 и даже 1%. В золе битумов постоянно присутствуют в повышенных количествах ванадий, никель, кобальт. Единичны случаи находок самородных золота и меди [9, 12]. Отложение рудных компонентов в этой зоне происходило на сероводородном геохимическом барьере, который отличается

значительно большей контрастностью и продуктивностью по сравнению с глеевыми барьерами. Урановое оруденение является закономерным членом эпигенетической зональности.

В зонах грунтового оглеения на северо-восточном склоне УЩ процессы выщелачивания и накопления рудных элементов проявлены менее контрастно, чем в зонах пластового оглеения. Но тем не менее отмечена концентрация ванадия (около 100% начального количества) и хрома (50%), в меньшей мере – меди и свинца.

Таким образом, можно утверждать, что подземные глеевые воды имеют немалое рудообразующее значение. В Припятской впадине в связи с зонами оглеения встречаются повышенные содержания марганца (до 1-2%), меди (до 0,3%), свинца (до 0,06%) в отложениях пермо-триаса [5]. На территории УЩ грунтовые глеевые воды, промывающие угленосные аллювиальные отложения юрского возраста, явились причиной образования экзодиагенетических проявлений галенита, а также геохимических аномалий свинца, цинка, меди, золота [13, 14].

А.И. Перельман [1] определил геохимические барьеры, на которых может накапливаться большинство элементов, мигрирующих в глеевых водах. Так, при разгрузке глеевых вод в морские бассейны на щелочном барьере выпадали значительные количества железа. К ним относятся шамозитовые руды в песчаниках тоарского яруса ранней юры, прослойки и линзы сидерита, а местами оолитовые шамозит-сидеритовые руды в морских глинах байоса и бата [4].

Выводы. Эпигенетические преобразования восстановительного глеевого типа происходят в осадочных породах под воздействием бескислородных и бессероводородных подземных вод с повышенным содержанием закисного железа. Для газового состава таких вод характерны углеводороды, часто отмечается повышенное содержание углекислого газа и азота, а также присутствие водорода.

Восстановительная глеевая обстановка в подземных водах чаще всего создаётся в участках затруднённой циркуляции и застойного режима, в глубоких горизонтах артезианских бассейнов. Латеральная миграция таких вод по водопроницаемым пластам или внедрение их по разломам из глубоких горизонтов осадочного чехла в вышележащие являются причинами восстановительных глеевых преобразований осадочных пород.

Глеевые преобразования осадочных пород могут происходить и при инфильтрации поверхностных слабокислых вод, не содержащих или мало содержащих кислорода, в красноцветные породы, обогащённые окисным железом, в которых грунтово-поровые воды имеют щелочной или слабоокислительный характер. В результате ряд рудных элементов вовлекаются в миграцию и формируются зоны выщелачивания, которые могут служить областью питания рудоносных растворов.

На территории Украины в осадочном чехле на склонах Украинского щита и в обрамляющих его прогибах развиты зоны грунтового и пластового оглеения красноцветных отложений разного возраста. Палеогеографические, структурно-тектонические и литолого-фациальные исследования позволяют определить время образования этих зон, как поздний триас–средняя юра, а повсеместное их распространение даёт основание выделять в истории развития осадочного чехла Украины юрскую глеевую эпоху.

Интенсивность процессов оглеения зависит от ряда причин, среди которых важную роль играют окислительно-восстановительные реакции и смена окислительно-восстановительной обстановки, миграционная и реакционная способность элементов, сорбционные способности определённых групп минералов, гидродинамические и гидрогеохимические условия. В зоне гипергенеза широко распространены три типа геохимической обстановки: окислительная, восстановительная глеевая и восстановительная сероводородная. Они нередко сменяют друг друга в пределах одного месторождения, формируя окислительно-восстановительную зональность.

Осаждение металлов происходит на восстановительных барьерах, где происходит резкое уменьшение интенсивности миграции ряда рудных элементов и, как следствие, их концентрация. Различают несколько типов глеевых барьеров, в зависимости от

процессов, приводящих к концентрации элементов (окисление, восстановление и т.д.), а именно: кислые, щелочные и содовые. На кислых глеевых барьерах осаждаются медь, уран, молибден, ванадий, на щелочных — молибден, уран, селен, рений, на содовых — только молибден и уран. Уран концентрируется в условиях резко глеевой среды в отсутствие сероводорода, где халькофильные элементы не осаждаются.

Месторождения урана, в частности, связанные с процессами оглеения, формируются как в результате инфильтрации нисходящих вод, так и в процессе восходящей миграции глубинных вод, обогащённых газами-восстановителями. Возникающая при этом рудоконтролирующая геохимическая зональность является прямым поисковым признаком, поскольку рудные залежи являются закономерным членом этой зональности. И хотя наиболее продуктивные рудные залежи образуются на сероводородных восстановительных барьерах, глеевые процессы, как бы предваряющие основной этап рудообразования, не менее важны для изучения закономерностей рудообразования и прогнозирования поисков.

1. Гидрогенные месторождения урана. Основы теории образования / С.Г. Батулин, Г.В. Грушевой, О.И. Зеленова, Г.В. Комарова, И.А. Кондратьева, А.К. Лисицын, И.С. Оношко, А.И. Перельман. Под редакцией А.И. Перельмана. — М.: Атомиздат, 1980. — 270 с.
2. Данчев В.И., Стрелянов Н.П., Шиловский П.П. Образование экзогенных месторождений урана и методы их изучения. — М.: Атомиздат, 1966. — 215 с.
3. Шмариович Е.М., Белов Н.С. Проблемы рудного эпигенеза и перспективы выявления в породах осадочного чехла территории СССР новых эпигенетических месторождений. — М.: ВИМС, 1975. — 312 с.
4. Кисляков Я.М., Шёточкин В.Н. Гидрогенное рудообразование. — М.: ЗАО «Геоинформарк», 2000. — 608 с.
5. Металлогения платформенной части Украины / А.А. Гойжевский, В.И. Скаржинский, В.А. Шумлянский, Ю.А. Кузнецов, Е.Г. Сущук, С.Д. Лепкий, О.Е. Шевченко. Отв. ред. Ф.И. Жуков. — К.: Наук. думка, 1984. — 202 с.
6. Сущук Е.Г., Шумлянский В.А., Лепкий С.Д. О природе минералого-геохимической зональности в отложениях пермо-триаса северо-восточного склона Украинского щита // Докл. АН УССР. 1979. — №5. — С. 339-343.
7. Шумлянский В.А., Сущук Е.Г., Лепкий С.Д. Экзогенная эпигенетическая зональность в отложениях пермо-триаса на северо-восточном склоне Украинского щита // Геол. журнал. — 1979. — №5. — С. 92-100.
8. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. — М.: Высшая школа. — 1975. — 178 с.
9. Сущук Е.Г. Закономерности концентрации микроэлементов в верхнепалеозойских осадочных формациях северо-западного Донбасса. — Препринт ИГФМ АН УССР. — К. — 1976. — 34 с.
10. Генетические типы и закономерности размещения урановых месторождений Украины / Колл. авторов под редакцией Я.Н. Белевцева и В.Б. Ковалю. — К.: Наук. думка. — 1995. — 396 с.
11. Гидрогенное рудообразование в фанерозое Украины // В.А. Шумлянский, Е.Г. Сущук, О.М. Ивантишина, Е.И. Деревская, Т.В. Дудар, М.В. Безуглая // Збірник наук. праць ІГНС НАНУ. — 2003. — Вип. 8. — С. 82-105.
12. Сущук Е.Г. Распределение микроэлементов в верхнепалеозойских осадочных формациях северо-западного Донбасса. — Препринт ИГФМ АН УССР. — К. — 1975. — 49 с.
13. Гойжевський О.О., Шевченко О.Є. Проблеми металогенії осадового чохла Українського щита // Вісник АН УРСР. — 1982. — № 3. — С. 20-24.
14. Шевченко О.Е. Рудообразование ранних стадий литогенеза. — К.: Наук. думка, 1987. — 144 с.

Сущук К.Г. РУДОУТВОРЮЮЧА РОЛЬ ПРОЦЕСІВ ОГЛЕЄННЯ В ОСАДОВИХ ФОРМАЦІЯХ УКРАЇНИ.

Оглеєння — екзогенний процес у водоносних горизонтах осадового чохла, пов'язаний із діяльністю підземних вод, що не містять кисню та сірководню. Суть процесу міститься у відновленні та виносі окисного заліза та одночасному вилугуванні ряду рудних елементів, з подальшою концентрацією їх на відновлювальних бар'єрах. На території України в історії розвитку осадового чохла виділяється юрська глеева епоха, впродовж якої сформувалися зони ґрунтового та пластового оглеєння в червоноколірних відкладах різного віку. Процеси оглеєння є важливим етапом у формуванні рудоносних розчинів та, в подальшому, гідрогенних родовищ.

Sushchuk K.G. OREFORMING ROLE OF GLEYING PROCESSES IN SEDIMENTARY FORMATIONS OF UKRAINE

Gleying is an exogenous process in sedimentary cover's aquifers connected with activity of ground water that doesn't contain oxygen and hydrogen sulfide. The essence of the processes lies in reduction and evacuation of ferric iron and simultaneous leaching of a number of ore elements followed by their concentration on the reducing barriers. On the territory of Ukraine in sedimentary cover development history we distinguish the Jurassic gleying epoch when the zones of soil and layer gleying had been formed in red-colour deposits of different age. The gleying processes are an important stage in formation of ore bearing solutions and, later, of hydrogenous deposits.