

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИИ И НЕФТЕГАЗОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**  
*Кафедра региональной геологии и полезных ископаемых*

**Л.М. СИТДИКОВА**

**СЕДИМЕНТОГЕННАЯ (ЭКЗОГЕННАЯ) СЕРИЯ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ  
ИСКОПАЕМЫХ**

**Часть II. Месторождения группы выветривания  
(остаточные, инфильтрационные месторождения)**

**Казань – 2014**

*Принято на заседании  
кафедры региональной геологии и полезных ископаемых  
Протокол №6 от 10 июня 2015 года*

**Рецензент:**

кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент кафедры региональной геологии и полезных ископаемых ИГиНГТ КФУ  
**В.Г. Изотов**

**Ситдикова Л.М.**

**Седиментогенная (экзогенная) серия месторождений полезных ископаемых. Часть II. Месторождения группы выветривания (остаточные, инфильтрационные месторождения): Учебное пособие / Л.М. Ситдикова. – Казань: Казан. ун-т, 2014. – 14 с.**

Во II части методического пособия «Седиментогенная (экзогенная) серия месторождений полезных ископаемых. Месторождения группы выветривания (остаточные, инфильтрационные месторождения)» дается характеристика седиментогенной (экзогенной) серии месторождений. Более подробно рассмотрены вопросы формирования, геологические особенности месторождений группы выветривания, промышленно-генетические типы руд.

При изучении конкретных месторождений полезных ископаемых детали их геологического строения усложняют восприятие информации в целом о классе месторождений. В связи с этим предлагается рассмотрение обобщенных геологических моделей месторождений и факторов, приведших к их формированию.

Методическое пособие рекомендовано для использования в ходе лабораторных занятий бакалавров специальности «Геология» по курсу «Геология твердых полезных ископаемых».

© Ситдикова Л.М., 2014

© Казанский университет, 2014

## СОДЕРЖАНИЕ

Седиментогенная серия	4
Месторождения группы выветривания	4
Процессы выветривания	4
Профили выветривания	7
Геологические условия образования кор выветривания	8
Остаточные месторождения	9
Инфильтрационные месторождения	12
Список литературы	14

## **СЕДИМЕНТОГЕННАЯ СЕРИЯ**

### **МЕСТОРОЖДЕНИЯ ГРУППЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ**

Накопление вещества полезных ископаемых в коре выветривания происходит двумя способами:

1) растворение и вынос поверхностными водами минеральной массы, не имеющей ценности, и концентрация в остатке вещества полезного ископаемого (остаточные месторождения);

2) растворение ценных составляющих горных пород, инфильтрация и переотложение в нижней части коры выветривания (инфильтрационные месторождения).

По форме и условиям нахождения тел полезных ископаемых месторождения выветривания подразделяются на три разновидности: площадные, линейные и карстовые.

### **Процессы выветривания**

Основными агентами преобразования горных пород в коре выветривания являются: вода, кислород, различные кислоты, микроорганизмы и колебания температур.

Вода наиболее действенный агент выветривания. Она осуществляет:

1) растворение, перенос и отложение природных химических соединений;

2) растворение твердых, жидких и газовых аггессоров (кислород, углекислота, кислоты и др.) и доставку их на участки преобразования горных пород;

3) разложение породообразующих минералов материнских пород;

4) регулирование физико-химической обстановки процессов преобразования горных пород, обусловленное вариациями ее кислотности – щелочности (рН), окислительно-восстановительного потенциала (Eh) и химического состава растворенных в ней веществ.

Главным источником воды в коре выветривания являются атмосферные осадки. При подземной циркуляции вода проходит три зоны:

- 1) аэрации;
- 2) полного насыщения с активным водоотливом;
- 3) полного насыщения с замедленным водоотливом (рис. 1).

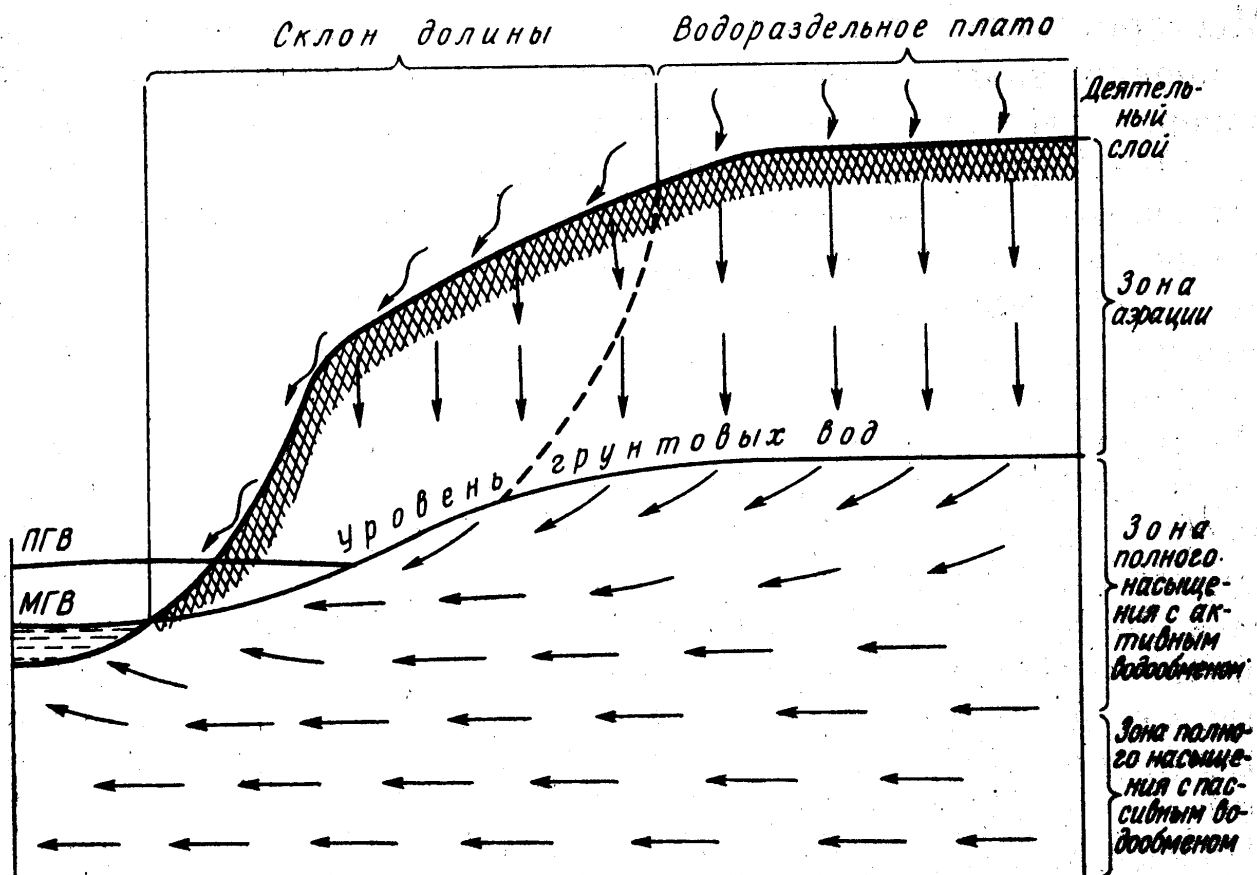


Рис.1. Схема циркуляции подземных вод при благоприятных условиях инфильтрации осадков. По А.Лыкошину (с добавлениями). Горизонты речной воды; ПГВ – паводковый, МГВ – меженный.

Наиболее активные реакции разложения горных пород с участием подземных вод происходит в зоне аэрации. В этой зоне формируются остаточные месторождения, а вблизи этого уровня и ниже его образуются инфильтрационные залежи.

Кислород играет главную роль в реакциях окисления в зоне аэрации при образовании коры выветривания.

Кислород трех видов участвует в реакциях окисления:

- 1) кислород атмосферы;
- 2) кислород, растворенный в воде;
- 3) кислород минеральных соединений окислительно-восстановительных реакций.

Кислоты активно участвуют в процессах окисления (углекислота) и разложения минералов горных пород в коре выветривания, придавая определенную химическую направленность процессам. Микроорганизмы, в основном бактерии, в приповерхностной части земли регенерируют кислород и углекислоту и поставляют ее в кору выветривания.

*Температура в коре выветривания.* Даже при незначительном интервале ее колебаний, увеличивается скорость разложения горных пород, при возрастании температур, и снижает, при понижении, до полного затухания (при отрицательных температурах).

Разложение коренных пород происходит в результате протекания реакций *окисления, гидратации, гидролиза.*

*Окисление* происходит при участии кислорода, воды, углекислоты, минеральных кислот. В процессе окисления минералы материнских пород, представленные безкислородными или закисными соединениями, переходят в более устойчивые в приповерхностных условиях окисные формы. Часть продуктов окисления переходит в растворимое состояние, и выносятся, другая часть, наоборот, становятся труднорастворимыми и накапливаются в остатке. В коре выветривания концентрируются окислы и гидроокислы ряда металлов (железо, марганец, алюминий и др.).

*Гидратация* – процесс, при котором вода входит в решетку минерала, образует твердый раствор или проникает в каналы решетки минерала. Гидратацией во многом обеспечивается поведение в коре выветривания алюминия, железа и др.

*Гидролиз* связан с обменными реакциями между основаниями минералов коренных пород и водородными ионами электролитически диссоциированной

воды. При гидролизе разрушаются силикаты, на их месте накапливаются глинистые минералы.

Подвижность химических элементов при выщелачивании характеризуется коэффициентом водной миграции, представляющим собой отношение среднего содержания элемента в воде реки (мг/л) к произведению его содержания в горной породе (%) на минеральный остаток воды реки (мг/л). На основании этого коэффициента выделены ряды миграции элементов горных пород (табл.1).

Таблица 1

**Ряды миграции элементов при выветривании  
(по Б. Полюнову и А.Перельману)**

Номер ряда	Степень подвижности	Элементы	Коэффициент водной миграции
I	Энергично выносимые	Cl, Br, I, S,	$n \cdot 10 - n \cdot 10^2$
II	Легко выносимые	Ca, Na, K, F	n
III	Подвижные	SiO <sub>2</sub> , P, Mn, Co, Ni, Cu	$n \cdot 10^{-1}$
IV	Инертные	Fe, Al, Ti	$n \cdot 10^{-2}$

**Профили выветривания**

В результате разложения горных пород и избирательной миграции химических элементов формируются коры выветривания с характерными для них месторождениями полезных ископаемых. Различают три основных профиля выветривания: 1) гидрослюдистый; 2) глинистый; 3) латеритный.

*Гидрослюдистый профиль* характеризуется изменением первичных силикатов без существенной миграции кремнезема (типоморфные минералы – гидрослюды, гидрохлориты, монтмориллонит).

*Глинистый профиль* характеризуется некоторым дефицитом кремнезема, частично вынесенным из коры выветривания (типоморфные минералы – каолин, галлуазит, нонтронит, кварц).

*Латеритный профиль* формируется при полном нарушении связей между глиноземом и кремнеземом и интенсивном выносе последнего из коры выветривания (типоморфные минералы – гиббсит, оксиды и гидроксиды железа).

### **Геологические условия образования кор выветривания**

Климат имеет существенное значение в формировании кор выветривания и, в итоге, месторождений полезных ископаемых. Главные элементы климатических условий – температура воздуха и количество осадков.

Низкая температура приполярных широт неблагоприятна для образования кор выветривания. Климат средних широт способствует образованию хорошо проработанных кор выветривания. Жаркий климат тропиков создает оптимальные условия для формирования зрелых кор выветривания.

Малая влажность полярных широт исключает образование кор выветривания, как и низких широт, свойственная пустынному климату. Среднее и регулярное выпадение осадков создает стабильное увлажнение верхней зоны земли и наиболее благоприятно для образования коры выветривания. Обильные осадки в виде ливней быстро промывают приповерхностную часть земли и не способствуют формированию кор выветривания.

Наиболее совершенные климатические условия для формирования кор выветривания складываются в тропиках с постоянно высокой температурой и длительными влажными периодами. В геологической истории Земли климат изменялся, и там где ранее были тропические условия, в настоящее время климат средних и даже северных широт. Наличие законсервированных кор выветривания с их полезными ископаемыми подтверждает это предположение.

Состав коры выветривания зависит от состава первичных пород. Ультраосновные и основные породы, в составе которых преобладают феррические минералы, разрушаются быстрее. На этих породах формируются



коры с мощной верхней зоной остаточных продуктов выветривания, состав которых определяется развитием оксидов и гидроксидов железа, марганца.

В нижней зоне полуразрушенных пород происходит накопление продуктов инфильтрации, представленных карбонатами кальция, магния, железа и силикатами никеля. На кислых породах, в составе которых преобладают силикатные минералы, формирование кор выветривания происходит медленнее.

В верхней зоне остаточных продуктов выветривания накапливаются глины или бокситы, с примесями оксидов и гидрооксидов железа и марганца. Инфильтрация продуктов разложения в зону полуразрушенных пород осуществляется в незначительных размерах и без участия в них никеля и кобальта. В коре выветривания кислых пород возникают месторождения глин и бокситов.

Сохранность кор выветривания и связанных с ними месторождений полезных ископаемых зависит от подвижности тектонических блоков, где они сформировались. При этом возникают три основные ситуации:

1) месторождения находятся на приподнятых блоках – они разрушаются эрозией и не сохраняются;

2) кора выветривания погружается вместе с опускающимся блоком, перекрывается мощными толщами молодых осадков и оказывается глубоко захороненной;

3) месторождения коры выветривания сохраняются под тонким покровом молодых отложений на стабильных тектонических блоках.

Возрастной интервал формирования кор выветривания: от древнейших до современных.

### **Остаточные месторождения**

К остаточным месторождениям принадлежат месторождения силикатных никелевых руд, бурых железняков, магнезита, марганца, бокситов, каолинов, апатитов, некоторых благородных и редких металлов.

Остаточные месторождения силикатных никелевых руд связаны с корами выветривания аподунитовых и апоперидотитовых серпентинитов, сформированных в обстановке в обстановке тропического и субтропического климата. Эти месторождения известны в России и за рубежом. Южноуральские месторождения приурочены к коре выветривания серпентинитовых массивов, сформированных на месте ультраосновных интрузивов нижнего и среднего палеозоя. Образование месторождений происходило в течение длительного континентального периода. Апоперидотитовые и аподунитовые серпентиниты состоят преимущественно из ферросерпентинита, представленного хризотилом, антигоритом и ревдинскитом, в меньших количествах присутствуют бастит и серпофит.

На ранней стадии формирования коры выветривания высвобождается магний и выносится за пределы зоны выветривания, Кремнезем мигрирует на всем интервале преобразования серпентина. В верхней части коры концентрируются остаточные продукты выветривания серпентина. Никель, находящийся в первичных породах, в оливине и отчасти в ромбическом пироксене переходит в серпентин (ревдинскит –  $(\text{Ni},\text{Mg})_6\{\text{Si}_4\text{O}_{10}\}\{\text{OH}\}_8$ ). Далее при выветривании серпентинита никель переходит в водный раствор и отлагается в виде вторичных никелевых минералов в глубоких частях коры выветривания.

В результате дифференцированной миграции элементов в коре выветривания возникает зональность (рис. 2):

1) остаточных продуктов выветривания, сложенная в основном гидроокислами железа (зона охр.), мощностью до 6м;

2) незавершенного выветривания, сложенная нонтронитом, феррибейделлитом и ферримонмориллонитом (нонтронитовая зона), содержит скопления гидроокислов марганца и кобальта, мощностью от 4 до 12 м;

3) полуразложенного выщелоченного серпентинита, обогащенного выделениями вторичных никелевых минералов. Минеральный состав: гарниерит  $\text{Ni}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}]_x(\text{OH})_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ; ревдинскит  $(\text{Ni},\text{Mg})_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$ , айдырит

$\text{NiAl}_4[\text{SiO}_4](\text{OH})_4 \cdot 5,5\text{Y}_2\text{O}$ , никельсодержащий феррибейделлит. В нижней части этой зоны накапливаются переотложенные карбонаты магния, кальция и железа. Содержание никеля в силикатных рудах коры выветривания составляет 0,5 – 5%, в среднем 1%, кобальта 0,03 – 0,07%.

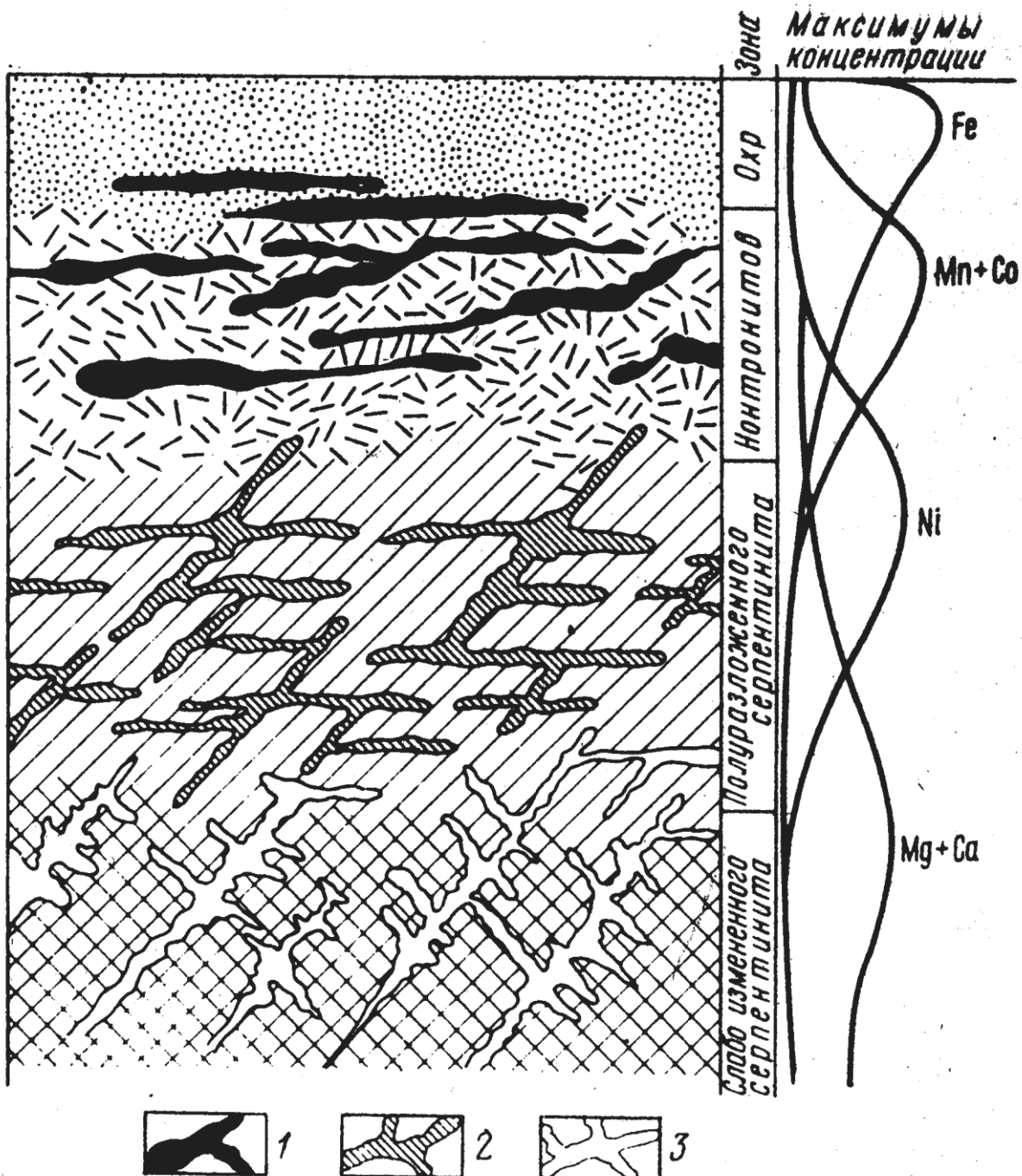


Рис. 2. Схема зонального строения остаточного месторождения силикатных никелевых руд в коре выветривания серпентинитов площадного типа:  
 1 – гидроксиды марганца с сорбированным кобальтом; 2 – гидросиликаты никеля;  
 3 – карбонаты магния и кальция.

## Инфильтрационные месторождения

К инфильтрационному типу относятся месторождения урана, меди, железа, серы.

**Месторождения урана.** Четырехвалентные соединения урана труднорастворимы характерны для глубоких зон земной коры. В коре выветривания эти соединения окисляются и переходят в шестивалентные легкорастворимые соединения, которые выносятся грунтовыми водами на значительные расстояния и переотлагаются с образованием инфильтрационных месторождений. Переотложение происходит на геохимических барьерах механического и физико-химического характера. Механические барьеры представлены водоупорами, при этом происходит замедление движения грунтовых вод. Физико-химические барьеры связаны с резким изменением химической обстановки, особенно щелочно-кислотных и окислительно-восстановительных условий.

Типичные инфильтрационные месторождения урана имеют зональное строение рудных тел. Зональность обусловлена изменением условий рудоотложения на пути миграции подземных вод.

Выделяются три зоны (рис.3):

1) тыловая, окисления и выщелачивания с положительным потенциалом (Eh);

2) центральная, инфильтрационного рудообразования на геохимическом барьере с резкой сменой восстановительной обстановки на окислительную и положительного значения Eh на отрицательное;

3) передовая, неизмененных пород с отрицательным значением Eh. В результате формируются урановые руды, в состав которых входят урановая чернь, урановая охра, медноурановые слюдки (гарбернит, цейнерит) и другие водные окислы урана желтого, оранжево-желтого цвета. Месторождения выветривания известны в конгломератах, песчаниках, углях фанерозоя.

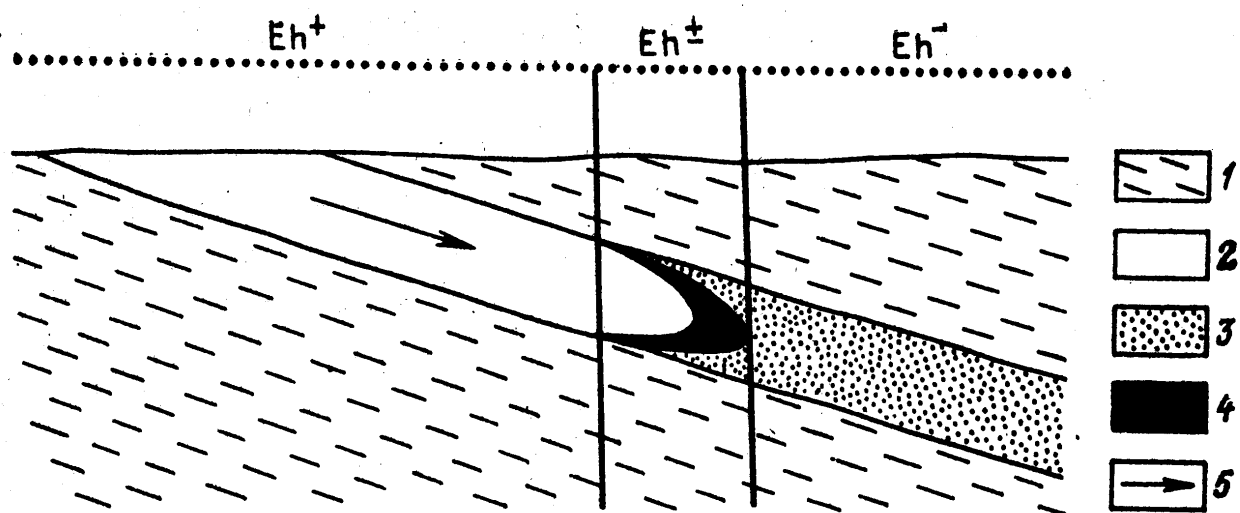


Рис. 3. Схема зонального строения инфильтрационного уранового месторождения:  
 1 – водоупорные породы (глины); 2 – выщелоченный песчаник; 3 – свежий песчаник;  
 4 – переотложенная урановая руда; 5 – направление движения грунтовых вод.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов, В.И. Геология полезных ископаемых / В.И. Смирнов // М.: Недра, 1976. – 688 с.
2. Смирнов, В.И. Геология полезных ископаемых: учебник для ВУЗов / В.И. Смирнов // М.: Недра, 1989. – 326 с.
3. Вещественный состав руд, их строение и минеральные парагенезисы: методическое пособие / Сост.: И.Н. Пеньков // Казань, 2002. – 19 с.
4. Минерагения и прогноз месторождений апатита / Сост.: Р.М. Файзуллин // М.: Недра, 1991. – 256 с.

*Учебное издание*

**Ситдикова Ляля Мирсалиховна**

**Седиментогенная (экзогенная) серия месторождений полезных  
ископаемых.**

**Часть II. Месторождения группы выветривания (остаточные,  
инфильтрационные месторождения)**