

## К ВОПРОСУ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИИ И ФАЦИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

А. Н. КОНДАКОВ

(Представлена проф. А. М. Кузьминым)

В работе сравнением геохимического фона однотипных разновозрастных осадков устанавливаются четкие геохимические отличия по ряду элементов отложений итатской свиты (средняя юра) в объеме до пласта Итатский-Березовский и надитатской пачки (средняя-верхняя юра), включающей осадки тяжинской и кровли итатской свит, развитых в районе хребта Арга, Канско-Ачинского бассейна. Основываясь на поведении в гипергенных процессах каждого из рассмотренных элементов, делается заключение о зависимости геохимического фона пород от стадии формирования коры выветривания в определенных климатических условиях, поставляющей взвешенный и растворенный материал потоков.

Полученные выводы позволяют рекомендовать привлечение данных геохимии к стратиграфическому расчленению толщи по изложенной методике. С целью устранения влияния наложенных процессов, искажающих первоначальный геохимический фон, рассматриваются некоторые особенности инфильтрационного осаждения элементов в углях и углистых породах.

В геохимических построениях фигурируют данные 200 полуколичественных спектральных анализов. Анализы проб выполнены в Центральной лаборатории одной из геологических организаций города Новосибирска. Практическая точность анализов не ниже 1% для калия, 0,01% для магния и кальция, 0,001% для железа, марганца, цинка, бария, стронция, ванадия, свинца, кобальта, никеля и хрома, 0,0001% для молибдена. Расположение скважин, керн которых подвергался геохимическому опробованию, показано на рис. 2—4 [6].

### Геохимическая характеристика отложений верхней и средней юры

Накопление осадков верхней и средней юры происходило в близких фациальных обстановках [6]. Песчано-алевритовые осадки присущи, главным образом, руслово-пойменным отложениям, тогда как глинистые осадки формировались в озерных или болотно-озерных водоемах поймы.

Различия в среднем содержании элементов однотипных осадочных пород континентального происхождения, накопленных в близких фациальных условиях, обусловлены главным образом климатическими и тектоническими причинами, действующими совместно. Определенным

климатическим условиям отвечает соответствующий профиль выветривания, с тектоническими причинами связан уровень денудации, соответственно которому процессы выветривания или опережают эрозионный снос, достигая заключительных стадий формирования коры выветривания, или отстают, останавливаясь на промежуточных стадиях.

По Н. М. Страхову [9], именно возможностями химического выветривания водосборных площадей, а не цепью переываний и переотложений объясняется полимиктовый или олигомиктовый характер осадков, причем в континентальных отложениях устанавливается корреляция в составе песчано-алевритистых и глинистых осадков. Олигомиктовой песчано-алевритистой толще соответствуют глинистые каолиновые продукты заключительных стадий формирования коры выветривания. Совсем недавно в литературе пользовалось широким распространением мнение о том, что глинистые минералы отражают физико-химическую обстановку бассейна осадконакопления. Своими работами Н. М. Страхов [8, 9] убедительно показал, что в современных водоемах глинистые минералы, так же как и песчано-алевритовые осадки, в главной массе заносятся в бассейн во взвешенном состоянии и что в своей основе ход седиментации обломочного материала в древних водоемах протекал аналогично осадконакоплению современных водоемов. Таким образом, фоновые содержания элементов в разновозрастных, но в фациально однотипных толщах характеризуют стадию выветривания и уровень денудации геологических образований, эрозией которых формируется взвешенный и растворенный материал потоков.

В качестве отправного момента предполагаем, что средние содержания элементов в песчаных породах характеризуют долю переноса элементов в решетках минералов обломочной фракции. Легко подвижная часть мигрирующего элемента в виде истинных и коллоидных растворов достигает конечных водоемов стока и высаживается, сорбируясь глинами и другими сорбентами, а также химическим или биохимическим путем. Массовая миграция каждого отдельного элемента начинается в определенную стадию формирования коры выветривания и при определенных физико-химических условиях транспортирующей среды.

Как видно из табл. 1, песчаные и глинистые породы надитатской пачки по отношению к соответствующим породам угленосной подсвиты итатской свиты характеризуются более высокими средними содержаниями ряда элементов, однако отношения содержаний разных элементов для определенных пород непропорциональны, и по возрастанию отношений элементы располагаются в следующей последовательности:

для песчаников

Mo,	Ba	V	Mg	K	Fe	Na	Mn
0,90 '	0,90 '	0,95 '	1,00 '	1,13 '	1,22 '	1,26 '	1,33 '
	Ca	Cu	Zn	Sr	Pb		
	1,38 '	1,38 '	1,43 '	1,64 '	1,80 '		

для глин (аргиллитов)

Pb	Zn	V	K	Cu	Ba	Mg	Fe
0,55 '	0,70 '	0,72 '	0,80 '	0,90 '	1,35 '	1,37 '	1,55 '
	Mn	Ca	Na	Mo	Sr		
	1,60 '	1,66 '	1,68 '	2,60 '	2,72 '		

Таблица 1

Средние содержания элементов в отложениях средней и верхней юры Березовской и Назаровской мульд  
(по результатам полуколичественных спектральных анализов)

Возраст	Петрографический состав	Средние содержания элементов в породах в %													Количество проанализированных проб
		<i>n</i>				$n \times 10^{-1}$	$n \times 10^{-2}$			$n \times 10^{-3}$				$n \times 10^{-4}$	
		Mg	Ca	Fe	K	Na	Mn	Zn	Ba	Sr	V	Cu	Pb	Mo	
Надитатская пачка (J <sub>2</sub> —J <sub>3</sub> )	Песчаники и пески	0,9	1,1	3,3	1,7	7,1	2,4	1	1	5,1	9,7	3,4	2,9	н/о	7
	Аргиллиты и глины	1,1	1,5	3,4	1,2	2,7	3,5	0,7	1,3	5	7,5	2,8	0,9	1,3	17
Итатская свита (угленосная под-свита) (J <sub>2</sub> <sup>2</sup> )	Песчаники и пески	0,9	1,4	2,7	1,5	5,6	1,8	0,7	1,1	3,1	10,2	2,5	1,6	1,9	37
	Аргиллиты и глины	0,8	0,9	2,2	1,7	1,6	2,2	1	1	1,8	10,5	3,1	1,7	0,5	17

Примечание: н/о— не обнаружено

В ходе осадконакопления отлагающийся глинистый материал является главным образом продуктом коры выветривания, а следовательно, отражает тот максимальный уровень, которого достигают процессы выветривания. Максимальный уровень выветривания определяет в конечном итоге момент начала массовой миграции любого из элементов. Миграция элементов в решетках минералов обломочной фракции носит пассивный характер, тогда как в глинистой фракции, наряду с пассивной, накапливается главным образом активная часть мигрирующего компонента. Принимая приближенно разницу в уровне выветривания обломочного материала глин по свитам для того или иного элемента равной отношению содержаний элементов в песчаных породах, выводим коэффициент активной миграции, поделив отношения содержаний элементов в глинистых породах соответственно на отношения элементов в песчаных породах. Такой способ позволяет учесть в какой-то степени разницу в вещественном составе песчаных и глинистых пород. Получаем следующий ряд:

Pb	Zn	Cu	K	V	Ca	Fe	Na
0,30	0,48	0,66	0,70	0,75	1,20	1,28	1,35
		Mg	Ba	Sr	Mo		
		1,37	1,50	1,68	1,69		

Отсюда видно, что отложения надитатской пачки обогащены щелочными и основными металлами, которые свидетельствуют о приостановлении процессов выветривания на щелочной стадии. Калий является исключением из правила, так как он накапливается в остаточных и почвенных продуктах коры выветривания. Резкое понижение содержания в аргиллитах свинца, цинка и меди, по мнению А. И. Перельмана [3], А. П. Виноградова [1] и др., указывает на щелочную стадию формирования коры выветривания, а также на нейтральный или основной характер вод, приносящих эти элементы в бассейн.

В отличие от надитатской пачки процессы выветривания в период накопления толщи угленосной подсвиты завершились кислой стадией с выносом свинца, цинка и меди, а условия транспортировки характеризовались, по-видимому, кислой средой болотных вод, благоприятной для миграции молибдена, ванадия, а также и для свинца, цинка и меди.

Четкая дифференциация отложений угленосной подсвиты средней юры и надитатской пачки, включающей нерасчлененные осадки средней и верхней юры, по содержанию ряда элементов позволяет рекомендовать использование материала геохимических исследований при решении вопросов стратиграфии. Наиболее целесообразно для этих целей привлечение данных по содержанию свинца, цинка, меди, ванадия, кальция, железа, натрия, стронция и молибдена. Пробный материал необходимо отбирать из восстановленной части разреза, так как в зоне окисления наблюдается инфильтрационное обогащение пород некоторыми элементами.

#### **Некоторые особенности инфильтрационного обогащения элементами углистых пород и углей**

В зоне окисления обнаруживается изменение геохимического фона пород (табл. 2), в частности, наблюдается привнос ряда элементов, попадающих в новую физико-химическую обстановку.

Отчетливое обогащение молибденом, ванадием, никелем, хромом, свинцом и медью устанавливается в углях, однако и в песчаниках и аргиллитах содержание данных элементов также повышено. Как правило,

наиболее высокие содержания устанавливаются в породах, обогащенных углефицированными растительными остатками, что позволяет предполагать однотипную природу осаждения.

В пробах шурфа, вскрывающего сажистые угли, выявляется определенная последовательность выпадения элементов с глубиной (рис. 1). В зоне окисления и в глеевых средах в пробах песчаников с признаками инфильтрационного обогащения также устанавливается нечеткая пространственная дифференциация в содержаниях данных элементов, причем наиболее глубоких горизонтов достигает только молибден (до 1—

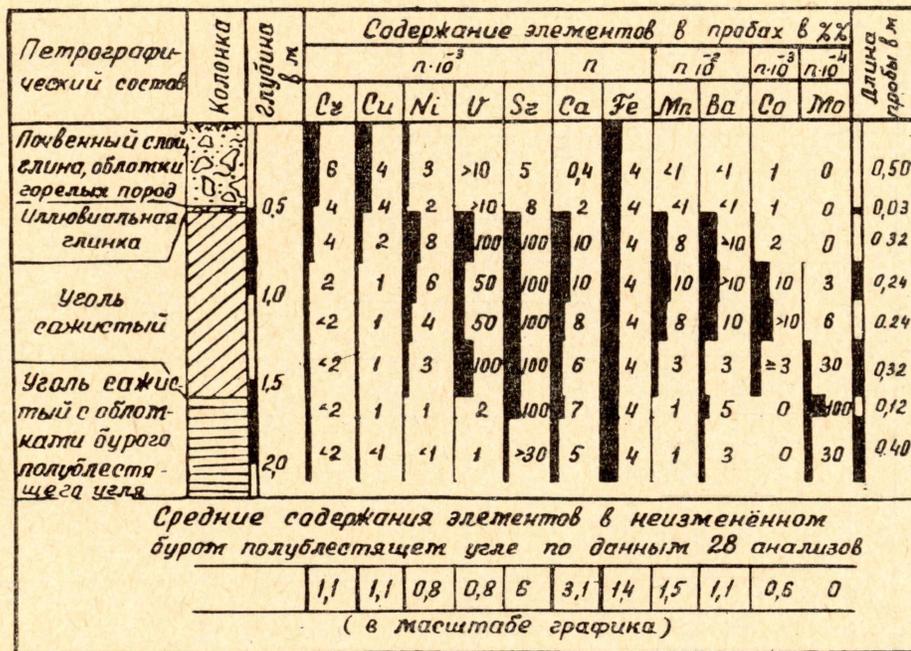


Рис. 1. Последовательность осаждения (слева направо) элементов в сажистом угле на выходе угольного пласта Березовский под четвертичные отложения (результаты опробования стенки шурфа).

1,5 км по падению). По отношению максимального содержания в сажистом угле к среднему содержанию элементов в неизменных углях степень обогащения сажистого угля для разных элементов различна и по убыванию ее элементы располагаются в следующий ряд:

$$\text{Mo} > \text{V} > \text{Co} = \text{Sr} > \text{Ni} > \text{Ba} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Ca} = \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Cu}.$$

$$>250 \quad 250 \quad 17 \quad 17 \quad 10 \quad 9 \quad 6,5 \quad 3,5 \quad 3 \quad 3 \quad 2,5 \quad 2$$

По составу угли бассейна относятся к гумусовым бурым углям с высоким содержанием гуминовых и вульфокислот (до 20%). В природных процессах твердые кислоты благодаря диссоциации карбоксильной группы с отщеплением иона  $\text{H}^+$  выступают типичными катионитами [5], за исключением аминокислот, относящихся к амфолитоидам. Механизм осаждения элементов в бурых углях является достаточно сложным, чтобы пытаться свести его к какой-либо одной стороне процесса, однако многочисленные исследования в этом направлении позволяют предполагать ведущую роль полярной обменной сорбции вплоть до химического взаимодействия с образованием прочных металлоорганических соединений.

Средние содержания элементов в окисленных и неизмененных породах средней и верхней юры (по результатам полуколичественных спектральных анализов)

Возраст	Петрографический состав	Средние содержания элементов в породах в %															Количество проанализированных проб		
		$n$				$n \times 10^{-1}$	$n \times 10^{-2}$			$n \times 10^{-3}$						$n \times 10^{-4}$			
		Mg	Ca	Fe	K	Na	Mn	Zn	Ba	Sr	V	Cu	Pb	Ni	Co	Cr		Mo	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Район дер. Ильинка																			
Надитатская пачка ( $J_2-J_3$ )	Песчаники			3,4			3	1	1,1	3,3	5,8	3	1,4	2,6	1	6,3	+	38	
	Песчаники в зоне окисления			3,7			2,9	1,3	0,8	3,4	6,2	3,1	2,6	3	1,8	5,2	2,5	13	
	Аргиллиты углистые			4			4	1	1,9	4,6	4,1	3,2	1,6	2,6	1,1	3,8	+	13	
	Аргиллиты углистые в зоне окисления			3,2			1,9	1,5	0,8	3,3	6,1	3,7	2,6	3,3	1,5	7,2	34	9	
Район дер. Глинка																			
Надитатская пачка ( $J_2-J_3$ )	Аргиллиты глины	1,1	1,5	3,4	1,2	2,7	3,5	0,7	1,3	5	7,5	2,8	0,9					1,3	17
	Аргиллиты и глины в зоне окисления	1,1	1,5	4	1,1	5,1	4,3	1	1,3	4,8	10	3,5	2,5					1,7	6

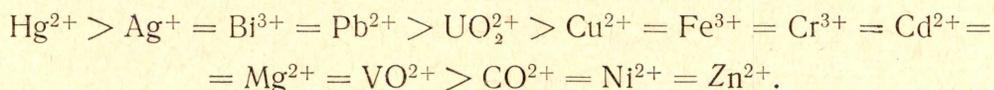
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Район дер. Глинка																		
Итатская свита (угленосная под-свита) ( $J_2^3$ )	Песчаники и пески	0,9	1,4	2,7	1,5	5,6	1,8	0,7	1,1	3,1	10,2	2,5	1,6				1,9	33
	Песчаники и пески в зоне окисления	1,1	1,2	3	1,2	6	1	0,7	1	3,3	13,3	3	3,1				6	5
	Угли	0,8	3,1	1,4	0,7	1	1,5	н/о	1,1	6	0,8	1,1	н/о				н/о	29
	Угли в зоне окисления	0,8	3,9	1,5	0,7	1	1,8	н/о	1,4	10,9	6,5	1,2	н/о				3,3	11

Примечание: н/о—не обнаружено; + — следы

Большая часть из приведенных элементов в зоне гипергенеза, по А. П. Виноградову [1], мигрирует в виде анионов или анионных карбонатных комплексов, несущих одноименный с органическими сорбентами знак. В связи с этим необходимым условием сорбции является предварительное разрушение ионов с переводом в катионную форму, для чего в некоторых случаях достаточно смены рН среды, а в других требуется понижение окислительно-восстановительного потенциала. Природные воды характеризуются довольно узкими пределами колебаний рН среды (5,5—7,2 для наших условий), поэтому влияние концентрации водородного иона на последовательность выпадения элементов ограничено и для элементов, характеризующихся переменной валентностью, с высоким геохимическим фактором обогащения обнаруженная последовательность (рис. 1) связана с границами существования окисленно-восстановленных пар ионов.

Близкую последовательность расположения для элементов с наиболее высоким фактором обогащения природного ряда можно вывести по диаграммам Краускопфа и Гаррелса [3] от высоких к низким значениям окислительно-восстановительного потенциала в реальных пределах рН.

Некоторые несоответствия, по-видимому, объясняются частными причинами, к которым относятся концентрационные явления, различная активность и гидратация ионов, наложение физической адсорбции и др. Этими же причинами, по-видимому, объясняется некоторое несоответствие природного сорбционного ряда выведенному по экспериментальным данным Г. Б. Гапон [2], В. Л. Золотавиной и А. И. Краевой [4] для сульфогля:



Несомненно одно, что в условиях, благоприятных для миграции, сорбция элементов, характеризующихся переменной валентностью, подчиняется законам окислительно-восстановительных равновесий, чему благоприятствует длительность геологических процессов.

При поисках ореолов рассеяния, связанных с сорбционными процессами, рекомендуется (Е. В. Рожкова и М. Б. Серебрякова [7]) составление сорбционных рядов для разных сорбентов. Выведение сорбционных рядов для сорбентов с резко меняющейся окислительно-восстановительной обстановкой (угли, торф, почвы) необходимо сопровождать дополнительными исследованиями для выяснения оптимальных условий сорбции элемента. Как видно из рис. 1, случайно взятые при металлотрии пробы могут привести к ошибочному представлению о сорбционных возможностях сорбента по отношению к тому или иному элементу.

Как уже было сказано, искажения геохимического фона пород в связи с инфильтрационным осаждением значительны и при выявлении его для стратиграфических корреляций следует подвергать опробованию породы за пределами зоны окисления. Ширина зоны окисления по материалам наших исследований колеблется от нескольких десятков метров в угольных пластах до 2—3 км в аллювиальных слабосцементированных песчаниках.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. П. Виноградов. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. Изд. АН СССР, 1950.
2. Е. Н. Гапон, Г. М. Шуваева. ДАН СССР, 70, 1007, 1950.

3. Л. С. Евсеева и А. И. Перельман. Геохимия урана в зоне гипергенеза, Госатомиздат, 1962.
  4. В. Л. Золотавина и А. И. Краева. Определение положения иона ванадила в сорбционных рядах на некоторых сорбентах. Тр. Комиссии по аналитической химии, т. VI/IX, Изд. АН СССР, 1955.
  5. С. П. Кравков. Почвоведение. Сельхозгиз, 1937.
  6. А. Н. Кондаков. Фациальные условия осадконакопления юрских отложений запада Канско-Ачинского бассейна. Изв. ТПИ, т. 151, 1965.
  7. Е. В. Рожкова и М. Б. Серебрякова. Возможная роль сорбции в образовании ореолов рассеяния. Сов. геология, № 4, 1958.
  8. Н. М. Страхов и др. Образование осадков в современных водоемах. Изд. АН СССР, 1954.
  9. Н. М. Страхов. Основы теории литогенеза (т. 1, II). Изд. АН СССР, 1962.
-