

УДК 547.992.2 54.112

Изучение состава гуматно-фульватного комплекса донных отложений реки Енисей в ближней зоне влияния горно-химического комбината Росатома

Л.Г. Бондарева^{а*}, О.П. Калякина^б, Ю.Ю. Маркова^б

^а Институт биофизики СО РАН,
Академгородок, 50/50, Красноярск, 660036 Россия

^б Сибирский федеральный университет,
пр. Свободный, 79, Красноярск, 660041 Россия¹

Received 20.05.2009, received in revised form 27.05.2009, accepted 04.06.2009

Определен состав гуматно-фульватного комплекса (ГФК) естественно-влажных и воздушно-сухих образцов донных отложений р. Енисей, отобранных в ближней зоне влияния Горно-химического комбината Росатома. Установлено, что ГФК естественно-влажных образцов варьирует от фульватного (образец № 1) через фульватно-гуматный (образец № 2) до гуматного (образец № 3) типа, тогда как после высушивания ГФК относится только к гуматно-фульватному (образец № 1) и гуматному типам (образцы № 2, 3).

Ключевые слова: гуминовые вещества, фульвокислоты, анионы, спектрофотометрия, ионная хроматография.

Компоненты экосистемы реки - водные растения и животные, пойменные почвы, донные отложения - способны накапливать большие количества металлов, в том числе радионуклидов. Известно, что поступающие в результате деятельности Горно-химического комбината (ГХК) Росатома (г. Железногорск) техногенные радионуклиды ^{60}Co , ^{137}Cs , ^{152}Eu , ^{241}Am и другие в окружающую среду поймы большей частью поглощаются донными отложениями р. Енисей в непосредственной близости от места сброса технологических отходов комбината [2]. Ранее было получено, что от 20 до 80 % общего содержания радиоизотопов связывается с органической

компонентой донных отложений, с образованием потенциально мигрирующей формы [3]. Также было сделано предположение о том, что количество и тип поглощенных радионуклидов зависят от содержания и соотношения основных соединений, составляющих органическую фракцию донных отложений, а именно гуминовых, фульвокислот и гумина. Согласно литературным данным, совокупность специфических органических веществ называется гуматно-фульватным комплексом (ГФК) [4]. Гуминовые и фульвокислоты (“гумусовые кислоты”) представляют собой полиэлектролиты с большим числом различных функциональных групп: карбоксильных, фе-

* Corresponding author E-mail address: l-bondareva@mail.ru

¹ © Siberian Federal University. All rights reserved

нольных, аминогрупп, амидных, спиртовых, альдегидных, кетонных, метоксильных, хинонных, гидрохинонных. Гумин представляет собой высокомолекулярную и, вследствие этого, нерастворимую часть органической компоненты почв. ГФК имеет ряд особенностей по сравнению с другими компонентами поглощающего комплекса донных отложений. С одной стороны, гумусовые вещества при определенных условиях могут переходить друг в друга. С другой стороны, благодаря наличию разнообразных функциональных групп и возможности координации большого числа атомов неорганических элементов, они обладают высокой аккумулярующей способностью по отношению к металлам, в том числе и радионуклидам.

Имеются предположения по поводу возможных форм связывания металлов с гуминовыми веществами [1].

1. Образование при взаимодействии гумусовых кислот с атомами металлов обыкновенных солей (гуматы и фульваты) за счет наличия способных к обмену атомов водорода.

2. Образование металлоорганических комплексных соединений за счет комплексообразующей способности как металлов, так и некоторых функциональных групп гумусовых веществ.

3. Образование органо-минеральной частицы при одновременной координации атома металла и с молекулой органического вещества, и с минеральной породообразующей структурой.

Образование той или иной формы (их совокупности) при взаимодействии металлов, в том числе радионуклидов, с ГФК зависит, главным образом, от состава и соотношения частей ГФК донных отложений. А на состав и соотношение, в свою очередь, влияет изменение внешних физико-химических параметров (действие температуры, избыточное посту-

пление кислорода воздуха и пр.), что, вероятно, способно повлечь за собой значительные изменения в аккумулярующей способности ГФК.

Целью данной работы являлось изучение состава ГФК донных отложений р. Енисей в ближней зоне влияния Горно-химического комбината и влияние пробоподготовки на изменение соотношения компонентов.

Объекты исследований, реагенты и методы

Объекты и реагенты

Образцы донных отложений были отобраны на затопляемых в период весенне-осенних паводков участках поймы р. Енисей, в ближней зоне влияния ГХК (с. Атаманово - №1, №2 и д. Большой Балчуг - №3) (рис.1).



Рис. 1. Карта района отбора образцов донных отложений

После отбора часть пробы помещали на хранение в холодильник (при $t \sim -4$ °С) в герметично закрытых пакетах, остальное сушили при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния. В экспериментах использовали отобранные методом квартования навески массой 3 г (сухого веса). Непосредственно перед исследованиями образцы донных отложений были пропущены через сито с размером ячеек 0,25 мм для удаления неразложившихся органических остатков (корней,

листьев, веток), гальки и других неоднородностей.

По данным геолого-минералогических исследований, изучаемые образцы донных отложений состоят, главным образом, из кварца и значительных количеств кислого плагиоклаза. Из неслоистых минералов присутствовал амфибол. Слоистые силикаты представлены хлоритами Mg, Fe и слюдой (диоктаэдрической и мусковитового типа). В качестве примесей наблюдались пирит и магнетит.

Химические реагенты, использованные в исследованиях, имели классификацию «химически чистый» или «чистый для анализа».

Методика фракционирования органического вещества образцов донных отложений р. Енисей

Определение содержания общего органического углерода проводили по методу Тюрина и по методике дифференцированной термогравиметрии [5]. Исследование содержания отдельных групп и фракций органического вещества проводили путем последовательного выделения их из отдельных навесок образца по общепринятому в российском почвоведении методу Тюрина в модификации Пономаревой и Плотниковой [6]. Для этого из отдельных навесок образцов донных отложений определяли содержание органического углерода, входящего в состав гуминовых и фульвокислот, не связанных с кальцием (фракция 1, реагирование с 0,1 М NaOH). Из других навесок определяли: а) содержание органического углерода, входящего в состав низкомолекулярных и свободных фульвокислот, связанных с подвижными $R_2O_3 \cdot nH_2O$ (фракция 1а, реагирование 0,05 М H_2SO_4), б) содержание органического углерода, входящего в состав гуминовых и фульвокислот, связанных с кальцием и неподвижными $R_2O_3 \cdot nH_2O$ (фракция 2, реагирование с 0,1 М

NaOH), в) содержание органического углерода, входящего в состав гумусовых кислот, прочно связанных с глинистыми минералами и устойчивыми $R_2O_3 \cdot nH_2O$ (фракция 3, реагирование 0,02 М NaOH). В конце всех стадий фракционирования оставался негидролизуемый остаток – «гумин», содержание органического углерода в котором определяется как разность между общим содержанием органического углерода в пробе и суммами всех видов гуминовых и фульвокислот.

Соотношение твердой и жидкой фаз на всех этапах составляло 1:20. Фазы разделяли фильтрованием. Объем полученных фракций доводили до 100 мл. Разделение гуминовых и фульвокислот проводили осаждением гуминовых кислот раствором 0,05 М H_2SO_4 при pH 1-2. Осадок отделяли фильтрованием с последующим растворением гуминовой кислоты горячим раствором 0,1 М NaOH. Содержание общего органического углерода во всех фракциях гуминовых веществ рассчитывали по известным формулам после титриметрического и спектрофотометрического детектирования.

Методика дифференцированной термогравиметрии

Навески естественно-влажных исследуемых образцов донных отложений (1 г) помещали в фарфоровые тигли. Массу тигля предварительно доводили до постоянного веса прокаливанием в муфельной печи при 500 °С в течение 72 ч. Тигли с естественно-влажными образцами донных отложений выдерживали в сушильном шкафу при $t \sim 60$ °С до воздушно-сухого состояния пробы в течение 72 ч. После высушивания тигли помещали в муфельную печь. При $t = 105$ °С массы тиглей и навесками образцов также доводили до постоянного веса в течение 48 ч. В результате высушивания и прокаливании при $t = 105$ °С выделялась вода, которая была отнесена к

поровой (адсорбционной) H_2O . После определения содержания адсорбционной воды в образцах, тигли с навесками нагревали при $t = 450\text{ }^\circ\text{C}$, в течение 16 ч. В этом случае происходит выделение газообразных продуктов, образующихся при разложении органических веществ, входящих в состав образцов донных отложений. Определение воды, инкорпорированной в слои глинистых минералов, проводилось при последующем увеличении температуры до $600\text{ }^\circ\text{C}$ и прокаливании образцов в течение 8-9 ч. При увеличении температуры прокаливании до $900\text{ }^\circ\text{C}$ потеря веса образца обусловлена выделением CO_2 , образующегося в процессе разложения карбонатов. Во всех случаях взвешивание происходило только после того, как тигли с навесками образцов донных отложений были охлаждены до комнатной температуры в эксикаторе [5].

Содержание углерода, входящего в состав органического вещества донных отложений, рассчитывали по формуле:

$$y = 0,458x - 0,4,$$

где y – количество органического углерода, мг; x – убыль массы после прокаливании при $450\text{ }^\circ\text{C}$ [7].

Методика определения анионного состава образцов донных отложений с использованием ионной хроматографии

В ходе исследований определяли ионный состав водной фазы, находящейся в контакте с донными отложениями, а также водной вытяжки из предварительно высушенных донных отложений. Донные отложения высушивали двумя способами: при комнатной температуре до воздушно-сухого состояния и при $105\text{ }^\circ\text{C}$ до постоянной массы.

Водную вытяжку готовили следующим образом: навеску сухих донных отложений массой 10 г помещали в стакан емкостью 100

мл, добавляли 50 мл деионизованной воды, перемешивали содержимое стакана в течение 3 мин и отфильтровывали содержимое стакана через бумажный фильтр, собирая полученную вытяжку в чистый стакан. Перед вводом в ионный хроматограф пробы предварительно дополнительно фильтровали через мембранный фильтр с размером пор 0,2 мкм.

Для определения анионного состава растворов использовали высокоэффективный жидкостный хроматограф LC-20 Prominace (фирма Шимадзу, Япония) с кондуктометрическим детектором CDD-10 Avp/10 Asp. Хроматограф снабжен разделяющей колонкой 120×5 мм, заполненной центрально-привитым ионитом КанК-Аст с зернением 14 мкм, емкостью 0,01 мг·экв/л (ГЕОХИ РАН, г. Москва) и подавительной колонкой 200×6 мм, заполненной сорбентом КУ-2 с зернением 100-200 мкм и емкостью 0,01 мг·экв/л. Установлено, что наилучшее разделение анионов на применяемой хроматографической системе наблюдается при использовании элюента состава 2,4 мМ Na_2CO_3 и 3,0 мМ $NaHCO_3$ при скорости элюента 1,7 мл/мин. Исходные растворы анионов готовили из соответствующих натриевых солей [8]. Стандартные растворы смеси анионов готовили разбавлением исходных. Относительное среднее квадратичное отклонение выходящего сигнала по площади пиков не более 3 % и не более 5 % по времени удерживания.

Результаты и их обсуждение

Известно, что в результате химической адсорбции, включая механизмы хемосорбции, ионного обмена и соосаждения, происходит образование химических ассоциатов между ионами радионуклидов и (или) их соединениями в воде и поверхностью частицы донных отложений. Содержание некоторых компонентов поглощающего комплекса дон-

ных отложений, обладающих значительной реакционной способностью, может служить одним из главных показателей накопительной емкости исследуемых образцов по отношению к техногенным радионуклидам. Такими компонентами являются глинистые минералы и глины, специфические и неспецифические органические вещества, карбонаты [5].

Для определения содержания основных компонентов поглощающего комплекса донных отложений по потере веса образца за счет выделения газообразных продуктов термической реакции широко распространен метод дифференцированной термогравиметрии. Результаты дифференцированной термогравиметрии изучаемых образцов донных отложений приведены в табл. 1.

Как видно из представленных результатов, содержание поровой воды варьируется в очень узком интервале от 41,7 до 43,1 масс. %, что характерно для верхних слоев донных отложений. В этих слоях за счет постоянного промывания потоком воды происходит насыщение и обмен растворенными веществами. Кроме того, в этих слоях в конце вегетационного периода происходит интенсивное отложение остатков отмерших биологических объектов. За счет этого наблюдается значительное для донных отложений содержание органического вещества от 5,2 до 6,3 масс. %, тогда как общепринято, что содержание органического вещества в донных отложениях не более 4 масс. % [5]. Содержание воды, инкорпорированной в глинистые минералы, и карбонатов варьируется также незначительно и составляет около 3 масс. %. Обнаруженное содержание карбонатов является характерным для донных отложений поверхностных водоемов с преимущественно кальциевой гидрокарбонатной водой.

Для определения состава ГФК исследуемых образцов донных отложений проведено последовательное выделение гуминовых и фульвокислот, отличающихся по молекулярному весу, степени взаимодействия с металлами, радионуклидами и породообразующими структурами донных отложений [1]. Результаты определения состава органической компоненты естественно-влажных исследуемых образцов донных отложений р. Енисей приведены в табл. 2.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что около 50 % органического углерода содержится в пробе № 1 в виде фульвокислот, остальное составляет гумин (25 %) и гуминовые кислоты (22 %). При этом около 33 % ГФК образца № 1 связано с кальцием (фракция 2 - гуминовые и фульвокислоты). Около 20 % гуминовых веществ связаны с глинистыми минералами (фракция 3). И около 12 % гуминовых веществ входит в состав фракции, не связанной с кальцием (фракция 1). Во всех рассмотренных фракциях содержание органического углерода, входящего в состав фульвокислот, в 1,5-4 раза превышает содержание $C_{орг}$ в гуминовых кислотах. Чуть более 6 % органического углерода входит в состав свободных фульвокислот (фракция 1а). По соотношению $C_{ГК}:C_{ФК}$ ГФК данной пробы отнесен к фульватному типу.

Состав ГФК образцов № 2 и 3 в значительной степени отличается от ГФК пробы № 1. Так, образцы № 2 и 3 не содержат гумин. Кроме того, полностью отсутствует фракция фульвокислот, связанная с глинистыми минералами. В других фракциях содержание органического углерода, входящего в состав гуминовых кислот, сопоставимо или значительно больше содержания углерода в соответствующих фракциях фульвокислот. Это, в свою очередь, привело к тому, что общее содержание гуминовых кислот в 1,5-2,1 раза

Таблица 1. Результаты дифференцированно-термогравиметрического анализа образцов донных отложений

Образец	Температура, °С			
	105	450	600	900
	Потери веса, масс. % от сырого веса			
	Поровая вода	Органическое вещество	Вода, инкорпорированная в глинистые минералы	Карбонаты
с. Атаманово (№1)	42,8±0,2	6,3±0,3	3,2±0,2	2,7±0,2
с. Атаманово (№2)	43,1±0,1	6,7±0,2	3,0±0,1	2,6±0,1
д. Большой Балчуг (№3)	41,7±0,2	5,2±0,2	2,7±0,3	3,3±0,3

Таблица 2. Состав органической компоненты естественно-влажных образцов донных отложений р. Енисей, отобранных в зоне влияния ГХК

Проба	Доля от общего органического углерода, %									
	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты					Гумин
	1	2	3	Всего (С _{ГК})	1а	1	2	3	Всего (С _{ФК})	
№ 1	4,6	13,7	4,0	22,3	6,9	7,4	20,0	16,5	51,8	25,9
№ 2	21,6	18,9	20,0	60,5	20,3	15,1	4,1	н/о	39,5	н/о
№ 3	25,3	23,7	20,2	69,2	5,6	22,4	2,8	н/о	30,8	н/о

Таблица 3. Состав органической компоненты воздушно-сухих проб донных отложений р. Енисей, отобранных в ближней зоне влияния ГХК

Проба	С от общего органического углерода, %									
	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты					Гумин
	1	2	3	Всего (С _{ГК})	1а	1	2	3	Всего (С _{ФК})	
№ 1	11,9	н/о	8,1	20	1,4	18	2,4	5,9	27,7	52,3
№ 2	23,6	30,3	16,9	70,8	13,5	13,5	н/о	6,7	33,7	н/о
№ 3	31,3	21,1	8,1	60,5	14,8	4,1	н/о	н/о	18,9	20,6

Таблица 4. Зависимость концентрации Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻ - анионов в водных вытяжках из донных отложений от условий пробоподготовки (n = 2, P = 0,95)

Условия пробоподготовки	№ 1			№ 2		
	С±ΔС, мг/кг					
	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Исходный образец	8,62±0,44	<ПрО	164±43	5,67±0,32	<ПрО	205±53
Высушивание при комнатной температуре	9,09±0,48	<ПрО	139±36	10,37±0,54	<ПрО	380±99
Высушивание при 105 °С	17,06±0,89	<ПрО	410±110	15,41±0,79	<ПрО	470±120

<ПрО – ниже предела обнаружения.

больше общего содержания фульвокислот. По соотношению $C_{ГК}:C_{ФК}$ ГФК образца № 2 был отнесен к фульватно-гуматному типу, а образца № 3 – к гуматному типу.

На наш взгляд, принадлежность образца № 1 к фульватному типу может свидетельствовать о том, что, вероятно, при взаимодействии металлов и техногенных радионуклидов с таким типом почвы могут образовываться, главным образом, соединения, способные легко вымываться потоком воды. Тем самым существует вероятность переноса накопленных ранее металлов на другой участок поймы р. Енисей, расположенный ниже по течению. В образцах № 2, 3 доля образования такого типа соединений может быть значительно меньше с точки зрения соотношения гуминовых и фульвокислот, входящих в состав ГФК этих проб.

Для выработки методического аспекта в преимущественном использовании естественно-влажных образцов пойменных почв, для изучения физико-химических процессов, протекающих в геологических образованиях поймы р. Енисей, и аккумулярующей способности ГФК были проведены сравнительные исследования по определению состава ГФК в воздушно-сухих образцах № 1, 2, 3. Воздушно-сухие образцы наиболее часто используются российскими учеными для изучения миграционной способности техногенных радионуклидов в почвах и донных отложениях. Результаты исследований приведены в табл. 3.

Данные таблицы свидетельствуют о том, что в отличие от естественно-влажного образца №1, где ~25 % органического углерода находится в составе гумина, в воздушно-сухом образце содержание органического углерода в составе гумина увеличилось более чем в 2 раза (~52 %). Это произошло, в основном, за счет перераспре-

деления органического углерода из состава фульвокислот в естественно-влажном образце в состав гумина при высушивании в присутствии кислорода воздуха.

Существенные различия обнаружены в составе ГФК проб № 2 и 3. Так, в образце № 3 обнаружено наличие гумина. При этом, так же как и в случае с образцом № 3, эта фракция образовалась, главным образом, за счет перераспределения из органического углерода, входящего в состав фульвокислот, и лишь частично за счет перераспределения из органического углерода, входящего в состав гуминовых кислот. Содержание фульвокислот при этом уменьшилось до 19 %, содержание гуминовых кислот - до 60 %. В образце № 2 наблюдается только перераспределение органического углерода между типами гуминовых кислот и фульвокислот. По соотношению $C_{ГК}:C_{ФК}$ ГФК пробы № 1 отнесен к гуматно-фульватному типу, проб № 2, 3 – к гуматному типу.

Проведенные исследования воздушно-сухих образцов пойменных почв р. Енисей показали существенные различия в соотношении основных гуминовых и фульвокислот, входящих в состав ГФК изучаемых проб. При описании полученных данных по содержанию гуминовых, фульвокислот и «гумина» на аккумулярующую способность образцов с большей вероятностью могут быть получены ошибочные результаты, использование которых не позволит адекватно описать процессы, протекающие в реальных системах [9, 10].

Кроме того, геохимические процессы, протекающие при высушивании образцов в присутствии кислорода воздуха, влияют не только на соотношение компонентов, входящих в состав ГФК, но также и на анионный состав поровой жидкости, находящейся в тесном взаимодействии с минеральными

композициями донных отложений. В табл. 4 представлены результаты определения содержания основных анионов в водных вытяжках, полученных из исходных образцов, а также образцов, подверженных дополнительной пробоподготовке – высушиванию при различных температурах.

Как видно из данных таблицы, содержание хлорид-ионов в водной вытяжке и в жидкой фазе над донными отложениями различается незначительно. После высушивания проб при 105 °С наблюдается значительный рост концентрации SO_4^{2-} . Это связано с окислением серосодержащих органических соединений (например, содержание серы в микроорганизмах может достигать 0,5-2 %). Кроме того, происходит окисление неорганических сульфидов, входящих в состав минералов.

По полученным результатам было сделано следующее заключение. Содержание и соотношение компонентов ГФК донных отложений р. Енисей зависит от происхождения образцов, либо это образцы, состоящие, в том числе, из почв, смытых с незатопаемой части острова (образец донных отложений о. Атамановский), или из породообразующих

структур, составляющих непосредственно донные отложения. Доминирующее содержание какой-либо компоненты ГФК может свидетельствовать об образовании таких форм соединений металлов, в том числе и радионуклидов, которые при изменении физико-химических параметров могут либо прочно закрепляться с компонентами поглощающего комплекса донных отложений, либо образовывать растворимые соединения, способные достаточно легко переходить в поверхностные водоемы и переноситься на значительные расстояния от места сброса. Показано, что соотношение гуминовых и фульвокислот в ГФК, а также основных анионов (Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^-) существенно изменяется при высушивании образцов в присутствии кислорода воздуха. При этом существует вероятность того, что кроме перераспределения органического углерода происходит и изменение окислительно-восстановительных свойств некоторых металлов, присутствующих в образцах [11]. Поэтому для корректного описания процессов, протекающих в донных отложениях, особенно важно использование естественно-влажных образцов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов РФФИ 08-05-00137 и РФФИ «Сибирь» 09-05-98002.

Список литературы

1. Александрова Л. Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. - Л: Наука, 1980. - 274 с.
2. Болсуновский А.Я., Ермаков А.И., Мясоедов Б.Ф. и др. Новые данные по содержанию трансурановых элементов в донных отложениях реки Енисей // Доклады РАН. - 2002. - Т. 387. №2. - С. 233-236.
3. Бондарева Л.Г., Болсуновский А.Я., Сухоруков Ф.В. и др. Оценка миграционной способности трансурановых радионуклидов (^{241}Am , изотопов Pu) и ^{152}Eu в донных отложениях р.Енисей методом химического фракционирования: модельные эксперименты // Радиохимия. - 2005. - Т.47. № 4. - С. 379-384.
4. Перминова И.В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: Дисс. ... д-ра хим. наук. – М., 2000.

5. Kralik M. Collection and preparation procedure for environmental evaluation of polluted sediments: Collection and preparation of bottom sediment samples for analysis of radionuclides and trace elements. IAEA-TECDOC-1360, July 2003. 130 p.
6. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1992. 487 с.
7. Fujikawa Y. et al. Analysis of trace actinide elements in soil organic matter: optimization of sample processing to improve chemical separation of U and Pu // Journal of Radioanalytical and nuclear Chemistry, 2002. V.252, N 2. P.399-405.
8. Бондарева Л.Г., Калякина О.П., Болсуновский А.Я. Изучение влияния гуминовой кислоты на процессы поглощения-выделения в системе донные отложения – вода реки Енисей методами двухколоночной ионной хроматографии и гамма-спектрометрии// ЖАХ. - 2006. - Т. 61, №4. - С. 388-392.
9. Пономарева В. В., Плотникова Т. А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). - Л.: Наука, 1980. - 222 с.
10. Wolfgang Hummel. Binding models of Humic substances. In: Modeling in Aquatic Chemistry. USA. OECD Nuclear Energy Agency Data Bank Publications, 1997. 724 p.
11. Leland M. Yates III, Ray von Wandruszka. Effects of pH and Metals on the Surface Tension of Aqueous Humic Materials// Soil Sci. Soc. Am., 1999. 63. P. 1645-1649.

Investigation of the Composition of the Humate-Fulvate Complex in the Yenisei River Sediments from the Near Zone Affected by the Operation of the Mining-and-Chemical Combine of the Russian Agency of Atomic Energy

**Lydia G. Bondareva^a, Olga P. Kalyakina^b
and Yulia Y. Markova^b**

^a *Institute of Biophysics of SB RAS,
50/50 Academgorodok, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

^b *Siberian Federal University,
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041 Russia*

The composition of the humate-fulvate complex (HFC) has been determined in naturally wet and air-dry samples of sediments collected from the Yenisei River in the near zone affected by the operation of the Mining-and-Chemical Combine of the Russian Ministry of Atomic Energy. It has been found that the HFC of naturally wet samples varies from the fulvate type (Sample 1) through the fulvate-humate type (Sample 2) to the humate type (Sample 3); after the samples are dried, the HFC is of the humate-fulvate (Sample 1) and the humate (Samples 2 and 3) types only.

Keywords: humic substances, fulvic acids, anions, spectrophotometer, ion chromatography.
