

АНАЛИЗ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ПРОЦЕССОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ САК-ЭЛГА

**С.Г. Ницкая, А.В. Буланова, В.В. Авдин,
М.А. Осипова, Д.А. Учаев, М.Г. Вахитов**

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Представлены результаты лабораторных исследований физико-химического и элементного состава донных отложений. Проанализирован дисперсный состав донных отложений. Обнаружено протекание двух процессов при отстаивании – осаждения и выщелачивания. Доминирование того или иного процесса зависит от времени контакта донных отложений с водой: начальная стадия отстаивания характеризуется преобладанием процессов осаждения, увеличение длительности контакта способствует развитию выщелачивания, и как следствие, – увеличению концентрации растворенных элементов тяжелых металлов.

Ключевые слова: концентрации загрязнений, донные отложения, взвешенные вещества, элементный состав, выщелачивание, вторичное загрязнение.

Введение

Качество природных вод отражается их химическим и биологическим составом и определяет характер водопользования. В природных водах химические элементы находятся в виде неорганических и разнообразных органических соединений как в растворенном, так и нерастворенном состоянии. Использование водных объектов для различных целей определяется качеством воды водоёма.

При организации запруд в устье небольших рек с целью регулирования объёма сброса и количества загрязняющих веществ (неорганических ионов и взвешенных веществ) в водоток-приёмник возникает необходимость анализа качества воды перед плотиной, т. е. в малоподвижной (непроточной) части устья.

При небольших скоростях течения в водотоке, а также при организации малоподвижных участков наблюдается осаждение нерастворенных (взвешенных) частиц, что способствует образованию донных отложений.

Одним из важнейших показателей, характеризующих процессы оседания частиц в водоёме, является мутность – показатель качества воды, обусловленный присутствием в воде нерастворенных мелкодисперсных и коллоидных веществ неорганического и органического происхождения. Это различные по происхождению и составу илы, кремнезём, глинозём, оксигидроксиды железа, органические коллоиды, микроорганизмы и планктон. Вертикальное распределение мутности воды в нижнем течении равнинных рек часто имеет равномерный или обратный характер вне зависимости от фазы водного режима, при этом основным фактором изменения мутности по глубине служит транспортирующая способность потока.

В руководящем документе [1] отмечается, что для донных отложений характерна аккумуляция большей части органических и неорганических загрязняющих веществ, которые при определенных условиях (ветровое взмучивание, изменение рН, минерализация воды и т. п.) могут переходить в водную толщу, вызывая её вторичное загрязнение. Процесс накопления и токсическое действие загрязняющих веществ в донных отложениях зависят от многих факторов: природы и физико-химических свойств, типа донных отложений, температурного режима, окислительно-восстановительных условий, наличия высокодисперсных частиц и их сорбционных способностей и т. п. Небольшие глубины, особенности водосбора, характер поступления сточных вод, присутствие взвешенных веществ, характерных для большинства водотоков и водоёмов, способствуют седиментации сорбированных взвешенными веществами загрязняющих веществ без существенного изменения их химического состава и интенсивному накоплению на дне, где процессы биохимического окисления протекают гораздо медленнее.

В ряде работ [2–4] показано, что в природных водах взвешенные вещества могут как обладать, так и не обладать агрегативной устойчивостью. При движении воды, как правило, массообменные и русловые процессы предопределяются характером потока. Процессы распространения и осаждения примесей, поступающих в речной поток, зависят от распределения скоростей и турбулентности речных водотоков.

Как правило, в природной воде взвесь представляет собой полидисперсную систему, поэтому характер осаждения такой взвеси устанавливается экспериментально. Известно, что время осаждения взвеси зависит от высоты слоя воды, размера, формы, плотности, шероховатости частиц, режима движения и вязкости воды.

В работе [5] описано перераспределение тяжелых металлов между водой и донными отложениями технологического пруда в период нештатной ситуации и дана количественная оценка процессов выщелачивания тяжелых металлов из донных отложений и вторичного загрязнения воды.

Река Сак-Элга Челябинской области является притоком реки Миасс и одним из водотоков, проходящих через территорию, подвергнутую техногенной нагрузке. Сток реки Миасс зарегулирован Аргазинским и Шершнёвским водохранилищами, основным назначением которых является обеспечение водоснабжения г. Челябинска и Челябинского промышленного узла.

С целью определения влияния стока р. Сак-Элга на качество воды Аргазинского и Шершневского гидроузлов был проведен физико-химический и элементный анализ состава донных отложений и возможность выноса взвешенных веществ при организации плотины в устье реки Сак-Элга.

Экспериментальная часть

Пробы донных отложений и воды были отобраны в следующих характерных точках: на р. Сак-Элга – на территории без антропогенного влияния (точка 7), до впадения (точка 2) и ниже впадения (точка 3) технологического ручья, в районе устья (точки 5 и 5-1), а также на реке Миасс – выше (точка 6) и ниже (точка 8) впадения р. Сак-Элга. рН проб воды измерили иономером Professional Metter PP-25. Для определения дисперсного состава донные отложения массой 100 г высушивали при температуре 220 °С в течение 3 ч. Сухие пробы взвешивали и подвергали ситовому рассеиванию на фракции. Данные представлены в табл. 1.

Исследования морфологии и кинетики осаждения донных отложений контрольных точек проводили в стационарных условиях. Известно, что время осаждения взвеси зависит от высоты слоя пробы воды, а также от таких характеристик, как размер, форма, плотность, шероховатость частиц. Данные закономерности были учтены при планировании исследования поведения донных отложений при постановке эксперимента.

Донные отложения помещали в стеклянные сосуды одинакового диаметра и высоты: толщина слоя отложений составляла 10 мм, глубина столба воды над отложениями 60 мм. Для проведения эксперимента использовалась вода соответствующих контрольных точек.

Были поставлены две серии экспериментов. Пробы воды с донными отложениями подвергали перемешиванию в течение 2 ч, с последующим отстаиванием в течение 2 и 24 ч. Концентрацию взвешенных веществ и мутность воды определяли согласно методике [6]. Полученные данные представлены в табл. 2. С целью определения влияния гранулометрического состава частиц донных отложений на скорость осаждения анализировали изменение мутности воды в процессе отстаивания, данные представлены в табл. 3 и на рисунке.

Для оценки содержания растворенных веществ определено содержание сухого остатка в воде после различного времени контакта донных отложений с водой. Данные представлены в табл. 4.

Элементный состав донных отложений определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа на спектрометре Rigaku Supermini. Элементный состав донных отложений и воды после различного времени отстаивания представлены в табл. 5 и 6.

Обсуждение результатов

Анализ представленных данных дисперсного состава донных отложений в исходном состоянии (табл. 1) показал наличие двух групп – мелкодисперсные частицы (0,25 мм и менее), составляющие 25–30 % и частицы размером более 3,2 мм – в количестве 15–30 %, за исключением точки 7, где основная масса частиц (около 90 %) представлена частицами размером 0,3–3,2 мм и более.

Таблица 1

рН проб воды и гранулометрический состав частиц донных отложений

№ точки	рН	Доля частиц различных размеров (мм), %								
		< 0,25	0,25	0,315	0,50	1,00	1,2	1,5	2,0	3,25 и более
2	6,5–6,8	32,15	3,74	12,9	9,86	11,89	3,62	6,11	2,71	17,02
3	5,1–5,5	22,78	3,61	7,14	8,18	15,18	4,61	6,46	1,58	30,46
4	3,7–4,5	25,76	2,07	8,67	8,98	16,18	4,16	6,29	1,44	26,45
5	4,0–4,4	23,76	3,76	7,45	8,53	15,84	0,49	6,74	1,65	31,78
5-1	4,0–4,4	38,21	2,37	12,18	12,51	18,99	4,42	5,98	0,64	4,7
6	7,5–8,7	13,51	1,97	7,18	4,99	9,31	2,73	4,91	1,24	54,16
7	6,2–7,2	1,05	1,89	43,38	38,42	14,21	0,55	0,26	0	0,24
8	7,3–7,9	25,85	6,19	21,06	7,67	9,81	1,44	1,66	0,46	25,86

Таблица 2

Содержание частиц различных размеров в донных отложениях после отстаивания

№ точки	Время отстаивания, ч	Доля частиц различных размеров (мм), %								
		<0,25	0,25	0,315	0,5	1,0	1,2	1,5	2,0	3,25 и более
3	2	28,29	4,13	7,83	8,98	16,29	4,55	6,29	2,06	21,58
	24	25,35	4,49	9,39	7,86	16,42	5,09	6,73	1,53	23,14
	исх.	22,78	3,63	7,14	8,17	15,18	4,6	6,46	1,58	30,46
5	2	40,17	2,61	11,58	10,18	15,27	4,9	7,06	1,2	7,03
	24	68,64	4,32	3,51	4,12	8,07	1,72	3,52	0,74	5,36
	исх.	23,76	3,76	7,46	8,54	15,85	0,49	6,73	1,64	31,77
5-1	2	39,56	2,77	11,29	8,37	18,34	4,08	6,17	1,16	8,26
	24	39,83	2,54	10,24	9,16	17,91	4,65	6,17	1,28	8,22
	исх.	38,22	2,37	12,18	12,51	18,99	4,41	5,97	0,64	4,71
6	2	9,88	4,08	15,07	8,07	15,25	4,45	5,69	1,64	35,87
	24	12,33	5,45	19,34	9,57	17,25	4,03	5,15	1,39	25,49
	исх.	13,54	1,96	7,17	4,99	9,32	2,72	4,9	1,24	54,16
8	2	16,57	5,17	20,24	7,69	11,29	2,53	2,99	0,54	32,98
	24	25,03	6,45	17,83	5,25	6,02	1,32	1,74	0,74	35,62
	исх.	25,85	6,19	21,06	7,66	9,83	1,45	1,66	0,46	25,84

Таблица 3

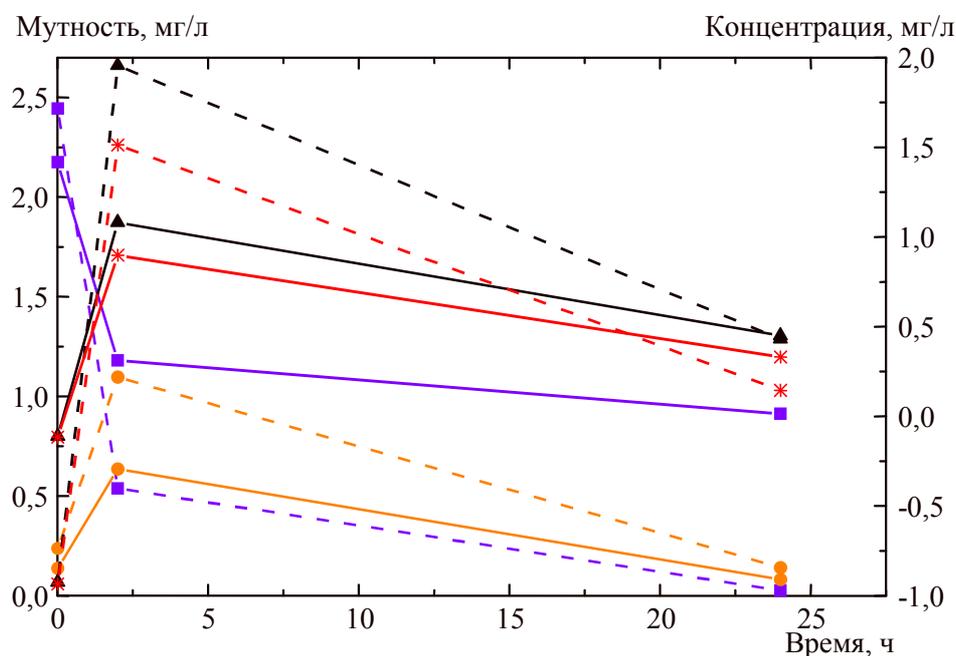
Изменение мутности воды в процессе отстаивания донных отложений

№ точки	Время отстаивания, ч	Мутность, мг/л	Концентрация взвешенных веществ, мг/л
4	2	0,538	0,312
	24	0,026	0,0151
	исх.	2,445	1,4181
5-1	2	0,812	0,47096
	24	0,104	0,06032
	исх.	0,176	0,1021
6	2	2,463	1,4285
	24	1,192	0,6914
	исх.	0,063	0,0365
8	2	2,094	1,2145
	24	0,954	0,5533
	исх.	0,055	0,0319

В результате проведенных экспериментов установлено, что мутность воды с течением времени для всех вариантов понижается. Наиболее интенсивное снижение мутности наблюдается для воды р. Миасс (точки 6 и 8), которая характеризуется достаточно широким диапазоном размеров донных отложений. Однако даже после 24 ч концентрация взвешенных частиц остаётся в диапазоне 0,5–0,6 мг/л. Для р. Сак-Элга (точки 4 и 5-1), в которой донные отложения по грану-

Физическая химия

лометрическому составу подразделяются на две группы – частицы с размером менее 0,25 мм и размером более 3,25 мм, в первые два часа отмечается более высокая интенсивность снижения мутности. С течением времени интенсивность снижения мутности снижается и концентрация взвешенных веществ после отстаивания до 24 ч составляет 0,01–0,06 мг/л.



Зависимость концентрации взвешенных частиц (—) и мутности (---) от времени отстаивания для образцов т. 4 (■), т. 5.1 (●), т. 6 (▲), т. 8 (⊠)

Таблица 4
Сухой остаток после выщелачивания

Номер точки	Время отстаивания, ч	Содержание сухого остатка, мг/л
3	2	544
	24	583,3
5-1	2	986
	24	1288
6	2	730
	24	502
8	2	606
	24	448

Анализ полученных данных свидетельствует о повышении концентрации растворенных веществ с течением времени отстаивания для воды р. Сак-Элга (580–1280 мг/л), в то время как для образцов воды р. Миасс наблюдается снижение концентрации растворенных веществ с 600–700 г/л до 400–500 г/л.

Представленные данные свидетельствуют о том, что при длительном контакте донных отложений с водой в р. Сак-Элга будут наблюдаться два процесса. С одной стороны, концентрация взвешенных веществ, в том числе и дисперсных частиц размером около 0,25 мм, в процессе отстаивания будет понижаться – спокойные (стоячие) воды способствуют процессу дальнейшего осаждения (осветления). С другой стороны, с увеличением времени контакта донных отложений с водой наблюдается процесс выщелачивания тяжелых металлов донных отложений, который способствует увеличению концентрации растворённых веществ, приводя тем самым к вторичному загрязнению.

Таблица 5

Элементный состав донных отложений в процессе отстаивания (масс. %)

Химический элемент	Точка 3	Точка 5-1	Точка 6	Точка 8
Na	0	0	0,0774	0
Mg	1,10015	1,37305	1,4769	1,1264
Al	4,0604	6,8001	7,7366	6,475
Si	19,54675	27,1489	35,6784	31,8684
P	0,48475	0,74325	0,99885	1,10285
S	12,7577	1,43445	0,4151	4,1819
Cl	0,00105	0,0078	0	0,0135
K	0,9206	5,16165	5,2312	3,90085
Ca	3,59	2,14825	11,1543	7,9577
Ti	2,43195	1,4108	2,8027	2,02315
V	0	0,01555	0,01315	0
Cr	0,4015	0,1134	0,72385	0,4124
Mn	0,20595	0,1098	0,5315	0,48165
Fe	50,7518	47,3277	32,53935	38,2761
Ni	0,0769	0,3266	0,14795	0
Cu	0,74545	0,9251	0,1165	0,6313
Zn	0,59045	0,80815	0	1,02705
Rb	0	0,0489	0	0
Sr	0,14815	0,4664	0,3562	0,26015
Ba	2,24935	2,5456	0	0
Pb	0,48125	1,39685	0	0
Zr	0	0	0	0,2007

Таблица 6

Элементный состав воды после контакта с донными отложениями (масс. %)

Химический элемент	Точка 3		Точка 5-1		Точка 6		Точка 8	
	Время отстаивания							
	2 ч	24 ч	2 ч	24 ч	2 ч	24 ч	2 ч	24 ч
O	59,79	63,69	56,4	55,195	58,285	60,725	59,97	61,18
Na	1,665	1,535	1,545	1,66	2,075	4,28	3,815	4,06
Mg	5,07	5,82	4,74	4,945	4,385	6,875	5,94	6,265
Al	1,11	0,645	0,22	0	6,11	2,7	2,655	1,49
Si	3,425	2,24	1,615	1,75	13,795	7,595	7,43	4,705
P	0	0	0	0	0	0	0,075	0
S	13,69	13,605	16,3	17,285	1,54	4,61	3,475	3,925
Cl	0,775	0,875	1,05	0,975	1,38	2,93	2,7	2,785
K	0,585	0,575	0,91	1,075	1,54	1,06	1,15	0,935
Ca	9,06	8,205	4,59	4,035	4,14	6,25	7,235	11,035
Ti	0	0	0	0	0,18	0	0	0
Mn	0,335	0,415	0,345	0,19	0,135	0,43	0,24	0,295
Fe	1,755	1,305	12,13	12,715	6,225	2,555	5,095	3,01
Cu	0,44	0,415	0,15	0	0,205	0	0,225	0,31
Zn	0,755	0,69	0	0,17	0	0	0	0

Анализ элементного состава донных отложений показывает, что значительных изменений в концентрации основных элементов в донных отложениях для р. Сак-Элга не наблюдается (точки 3 и 5-1), в донных отложениях р. Миасс (водоема – приёмника) (точки 6 и 8) отмечается увеличение содержания таких элементов, как кальций, кремний, медь, в то же время концентрация железа и серы (вероятно, в виде сульфатов) несколько уменьшается. Полученные данные для р. Сак-Элга свидетельствуют о том, что протекающие процессы выщелачивания для вод, находящихся в состоянии покоя (например, водохранилище, в котором отсутствуют придонные и ветровые движения воды или они незначительны), приходят в состояние динамического равнове-

сия, при котором концентрация растворенных веществ может находиться на определенном уровне в зависимости от таких величин, как состав донных отложений, рН, морфологии, дисперсности донных отложений и др.

В воде р. Миасс отмечено незначительное изменение концентрации железа, меди, серы с увеличением времени отстаивания. Концентрация растворенных веществ в данном случае почти в 2 раза меньше, чем в воде р. Сак-Элга.

Заключение

Установлено, что донные отложения в р. Миасс и в устье р. Сак-Элга по дисперсному составу отражают характер территорий расположения контрольных точек на водных объектах. Дисперсный состав донных отложений в исходном состоянии преимущественно представлен двумя группами: мелкодисперсные частицы (0,25 мм и менее) 25–30 % и частицы размером более 3,2 мм 15–30 %. Исключение составляет дисперсный состав донных отложений р. Миасс (точка 7), где около 90 % частиц представлено достаточно широким диапазоном размеров – 0,3–3,2 мм и более.

Эксперименты по выщелачиванию донных отложений показывают протекание двух процессов – осаждения и выщелачивания. С увеличением длительности контакта донных отложений с водой процесс выщелачивания способствует увеличению концентрации растворенных веществ, особенно в отсутствие взмучивания. Происходит образование оксигидроксидов тяжелых металлов, выпадение их в осадок и адсорбция на них ряда других примесей.

Элементный анализ частиц почв исходных образцов и образцов в процессе отстаивания показывает наличие не только основных элементов, составляющих почвы (кремний, кальций, алюминий, магний), но и наличие до 0,5–1,0 % масс. титана, меди, цинка и свинца. В процессе выщелачивания отмечается изменение в образованном осадке концентрации элементов: кремния, алюминия, кальция, железа и других обнаруженных элементов. Колебания в концентрациях элементов в процессе выщелачивания характеризуют не только неоднородность частиц по химическому составу, но и отражают разнообразие их агрегативной и седиментационной устойчивости.

Литература

1. РД 52.24.609-2013. Организация и проведение наблюдений за содержанием загрязняющих веществ в донных отложениях водных объектов.
2. Байков, В.Н. Речная гидравлика и свойства русловых отложений на урбанизированных территориях / В.Н. Байков, В.А. Курочкина, Д.В. Писарев // Вестник МГСУ. – 2011. – № 2. – С. 221–227.
3. Курочкина, В.А. Формирование и экологические свойства русловых отложений в водотоках на урбанизированных территориях: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.А. Курочкина. – М., 2012. – 20 с.
4. Алешин, В.С. Теоретические и экспериментальные предпосылки процесса осаждения взвеси в низкотемпературной воде Эшкакского водохранилища / В.С. Алешин, А.В. Алешин // Интернет-журнал «Науковедение». – 2013. – № 3. – http://elibrary.ru/item.asp?id=20194762&2013_3/. (дата обращения: 05.12.2016).
5. Количественная и качественная оценка роли донных отложений в процессах формирования состава контактирующих с ними водных масс / Т.Н. Михеева, Г.Ф. Шайдулина, А.Н. Кутляхметов и др. // Георесурсы. – 2012. – Вып. № 8 (50). – С. 51–56.
6. ГОСТ 3351-74*. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности.

Ницкая Светлана Георгиевна – доцент, кандидат технических наук, доцент, кафедра экологии и химической технологии, химический факультет, Южно-Уральский государственный университет, 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76. E-mail: nitckaiasg@susu.ru

Буланова Александра Владимировна – заведующий лабораторией НОЦ «Нанотехнология», химический факультет, Южно-Уральский государственный университет, 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76. E-mail: bulanovaav@susu.ru

Авдин Вячеслав Викторович – доктор химических наук, заведующей кафедрой экологии и химической технологии, химический факультет, Южно-Уральский государственный университет, 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76. E-mail: avdinvv@susu.ru

Осипова Мария Андреевна – магистрант, кафедра экологии и химической технологии, химический факультет (ЕТ-242), Южно-Уральский государственный университет, 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76. E-mail: gen_exp_lab@mail.ru

Учаев Даниил Анатольевич – магистрант, кафедра экологии и химической технологии, химический факультет (ЕТ-144), Южно-Уральский государственный университет, 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76. E-mail: uchaevda@susu.ru

Вахитов Максим Григорьевич – магистрант, кафедра экологии и химической технологии, химический факультет (ЕТ-144), Южно-Уральский государственный университет, 454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76. E-mail: vakhitovmg@susu.ru

Поступила в редакцию 11 ноября 2016 г.

DOI: 10.14529/chem170106

ANALYSIS OF PHYSICAL AND CHEMICAL COMPOSITION AND LEACHING PROCESS FOR THE BOTTOM SEDIMENTS OF THE SAK-ELGA RIVER

S.G. Nickaya, nitckaiasg@susu.ru

A.V. Bulanova, bulanovaav@susu.ru

V.V. Avdin, avdinvv@susu.ru

M.A. Osipova, gen_exp_lab@mail.ru

D.A. Uchaev, uchaevda@susu.ru

M.G. Vakhitov, vakhitovmg@susu.ru

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The results of laboratory studies of physicochemical and elemental composition of bottom sediments were presented. The particulate composition of the sediments was analyzed. It has been noted that two processes take place during the sedimentation: precipitation and leaching. The predominance of a particular process depends on the contact time of bottom sediments with water: the initial stage of sedimentation is characterized by predominance of precipitation processes, increasing the contact time helps leaching and increasing the concentration of dissolved elements of heavy metals as a consequence.

Keywords: contaminant concentrations, bottom sediment, suspended matter, elemental composition, leaching, secondary pollution.

References

1. RD 52.24.609-2013 *Organizatsiya i provedenie nablyudeniya za sodержaniem zagryaznyayushchikh veshchestv v donnykh otlozheniyakh vodnykh ob"ektov* [Organization and Carrying out Observation of the Content of Pollutants in Sediments of Water Objects]. (in Russ.).

2. Baykov V.N., Kurochkina V.A., Pisarev D.V. [River Hydraulics and Properties of Bottom Sediments in the Urbanized Area]. *Vestnik MGAU* [Fouder of Russia], 2011, no. 2, pp. 221–227. (in Russ.)

3. Kurochkina V.A. *Formirovanie i ekologicheskie svoystva ruslovykh otlozheniy v vodotokakh na urbanizirovannykh territoriyakh* [Formation and Ecological Properties of Fluvial Sediments in Watercourses in Urban Areas. Avtoref. cand. diss. Abstract of diss. for the degree of candidate of technical sciences]. Moscow, 2012, 20 p.

4. Aleshin V.S. *Teoreticheskie i eksperimental'nye predposylki protsessa osazhdeniya vzvesi v nizkotemperaturnoy vode eshkakonskogo vodokhranilishcha* [Theoretical and Experimental Preconditions of

the Deposition Process of Suspended Matter in the Low-temperature Water Reservoir Eshkakonskaya]. Internet Journal "Naukovedenie", 2013, no. 3. Available at: http://elibrary.ru/item.asp?id=20194762&/2013_3/. (accessed 05.12.2016).

5. Miheev T.N., Shaidulina G.F., Kutliahmetov A.N., Safarova V.I., Kudasheva F.H., Kurbangaleev V.S. [Quantitative and Qualitative Assessment of the Role of Bottom Sediments in the Formation of the Composition of Water Masses which Contacting with them]. *Journal "Georesources"*. 2012, no. 8 (50), pp. 51–56. (in Russ.)

6. GOST 3351-74 * *Voda pit'evaya. Metody opredeleniya vkusa, zapakha, tsvetnosti i mutnosti* [State Standard 3351-74 *. Drinking water. Methods for Determining the Taste, Odor, Color and Turbidity].

Received 11 November 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Анализ физико-химического состава и процессов выщелачивания донных отложений реки Сак-Элга / С.Г. Ницкая, А.В. Буланова, В.В. Авдин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Химия». – 2017. – Т. 9, № 1. – С. 49–56. DOI: 10.14529/chem170106

FOR CITATION

Nickaya S.G., Bulanova A.V., Avdin V.V., Osipova M.A., Uchaev D.A., Vakhitov M.G. Analysis of Physical and Chemical Composition and Leaching Process for the Bottom Sediments of the Sak-Elga River. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Chemistry*. 2017, vol. 9, no. 1, pp. 49–56. (in Russ.). DOI: 10.14529/chem170106
