

УДК 556.182

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ИСЕТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

© 2014 г. О.С. Ушакова, А.Н. Третьякова

ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург

**Ключевые слова:** Исетское водохранилище, качество воды, донные отложения, биогенные вещества, соединения металлов.



О.С. Ушакова



А.Н. Третьякова

Представлены результаты определения содержания биогенных веществ и соединений металлов в донных отложениях Исетского водохранилища. Выявлены отличия химического состава донных отложений прогреваемой области и области с естественным тепловым режимом. Обнаружены изменения химического состава донных отложений по сравнению с 1983–1986 гг.

В настоящее время Исетское водохранилище испытывает большую антропогенную нагрузку. На берегах водоема расположено несколько населенных пунктов: г. Среднеуральск, пос. Мурзинка, Коптяки, Исеть. По берегам юго-западной и юго-восточной частей водоема размещено несколько детских оздоровительных лагерей и баз отдыха с капитальными строениями и пирсами для катеров и лодок. Большую часть территории западного берега занимает гранитный карьер. По водосборной территории проходят крупная автомобильная трасса – Серовский тракт и железнодорожная северная ветка. Главное назначение Исетского водохранилища – прием и охлаждение теплых вод, поступающих из теплообменников Среднеуральской гидроэлектростанции (Среднеуральская ГРЭС). Вдоль канала, по которому сбрасываются теплые воды на охлаждение, расположен старый рекультивированный золоотвал. В самом канале – садковое рыбное хозяйство. В настоящее время водоем также активно используется местным населением для рекреационных целей.

Вещества, поступающие в водоем с водосборной территории, осаждаются, участвуют совместно с другими факторами в формировании донных отложений, которые являются составной частью водной экосистемы и нахо-

Водное хозяйство России № 5, 2014

# Водное хозяйство России

дятся в непрерывной взаимосвязи с водной толщей. Они представляют собой сложную многокомпонентную систему, которая в зависимости от складывающихся в водоеме условий, от сорбционных свойств самих отложений и от свойств поступающих в воду веществ может быть аккумулятором химических соединений и источником их вторичного поступления в воду.

Цель исследования – оценка влияния донных отложений на формирование качества воды Исетского водохранилища. В данном сообщении представлены результаты исследования химического состава донных отложений водоема, позволяющие в перспективе планировать лабораторные эксперименты по оценке поступления ингредиентов из них в водное тело водоема. Проведен сравнительный анализ химического состава донных отложений, отобранных из водохранилища в 1983–1986 и 2011 гг.

### Объект и методы исследования

Материалом для исследования послужили донные отложения из Исетского водохранилища. Места отбора проб донных отложений (5 точек) выбраны с учетом различной закономерности их распределения и перемещения по водоему (рис. 1, табл. 1).

Участки 3 и 5 наиболее подвержены тепловому воздействию Среднеуральской ГРЭС. Донные отложения со всех участков были отобраны дночерпателем Петерсона (поверхностный, наиболее активный слой) методом «конверта». Отобранные пробы донных отложений анализировали на содержание компонентов, по которым возможно вторичное загрязнение в конкретных условиях исследуемого водоема. Содержание компонентов определяли по методикам, указанным в табл. 2.

Выявленные закономерности сравнивали с данными 1986 г., опубликованными в отчете [1]. Определение концентрации азота общего, фосфора общего в 1986 г. проводили по методикам, аналогичным вышеприведенным, содержание минеральных веществ, валовое содержание соединений

**Таблица 1.** Расположение точек отбора донных отложений Исетского водохранилища

Участок	Описание	Координаты
1	Предплотинный участок к северу от о. Красенький	N 56.972492° E 60.395179°
2	Центр водохранилища напротив г. Среднеуральск	N 56.991807° E 60.413375°
3	Участок напротив водозабора Среднеуральской ГРЭС	N 57.001765° E 60.44805°
4	Участок за Соловецкими островами	N 57.001532° E 60.403075°
5	Участок возле мыса Еловый напротив водосбросного канала ГРЭС	N 57.024757° E 60.42419°

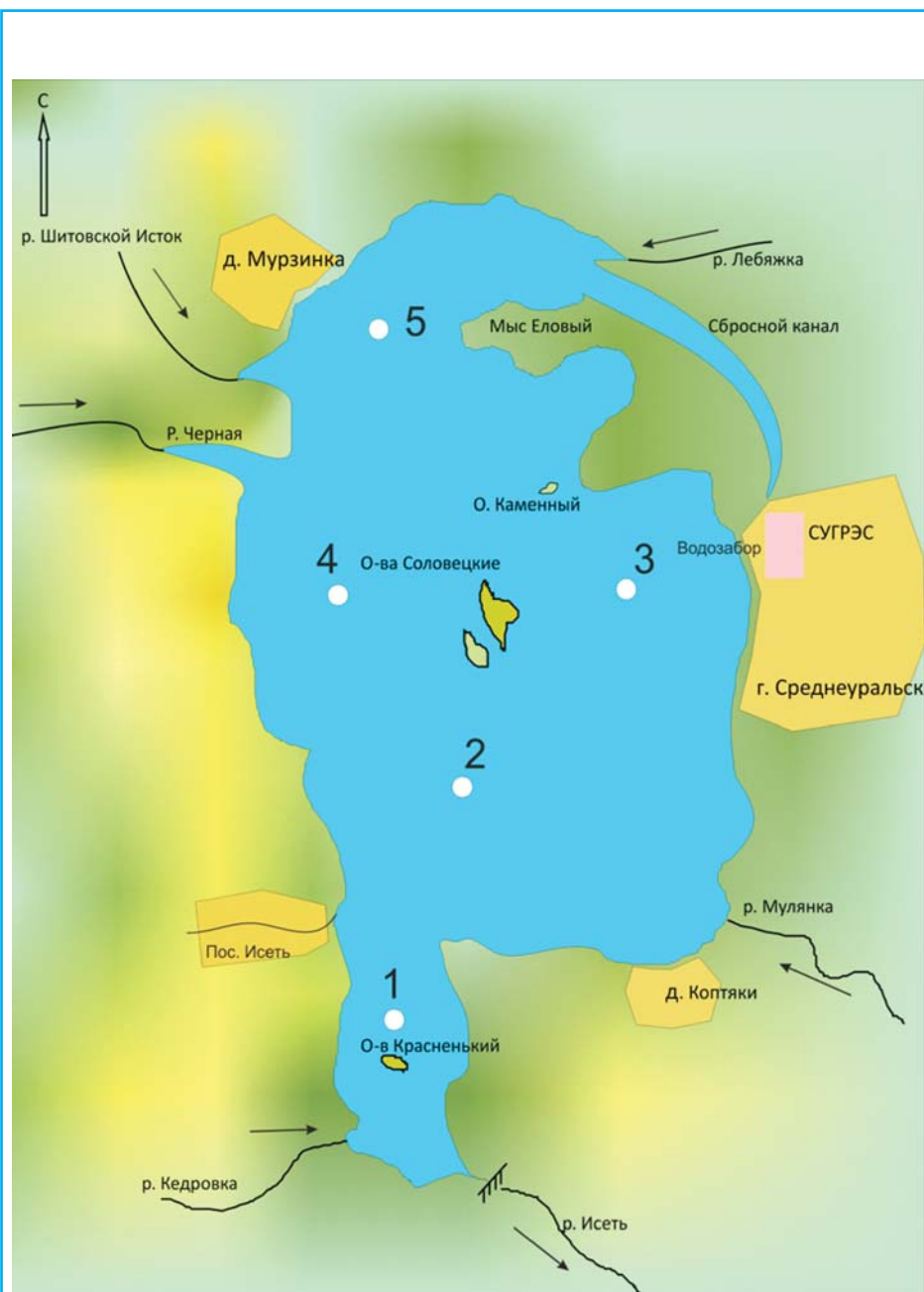


Рис. 1. Схема расположения точек отбора донных отложений Исетского водохранилища.

**Таблица 2.** Методики измерений компонентов донных отложений Исетского озера

Компонент	Методика измерений
Содержание минерального вещества*	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.29-02
Азот общий	ГОСТ 26107–84
Азот аммонийный	ПНД Ф 16.2.2:2.3:3.30-02
Фосфор общий	ГОСТ 26261–84
Валовое содержание соединений железа, марганца, кальция, магния, натрия	РД 52.18.685-2006
Валовая и водорастворимая формы соединений меди, цинка, кадмия, свинца, ртути	ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.48-06

\* *Примечание:* содержание органических веществ определялось по разнице общего содержания солей и концентрации минеральных веществ.

**Таблица 3.** Содержание компонентов в донных отложениях Исетского озера по данным 1986 г., в мг/кг

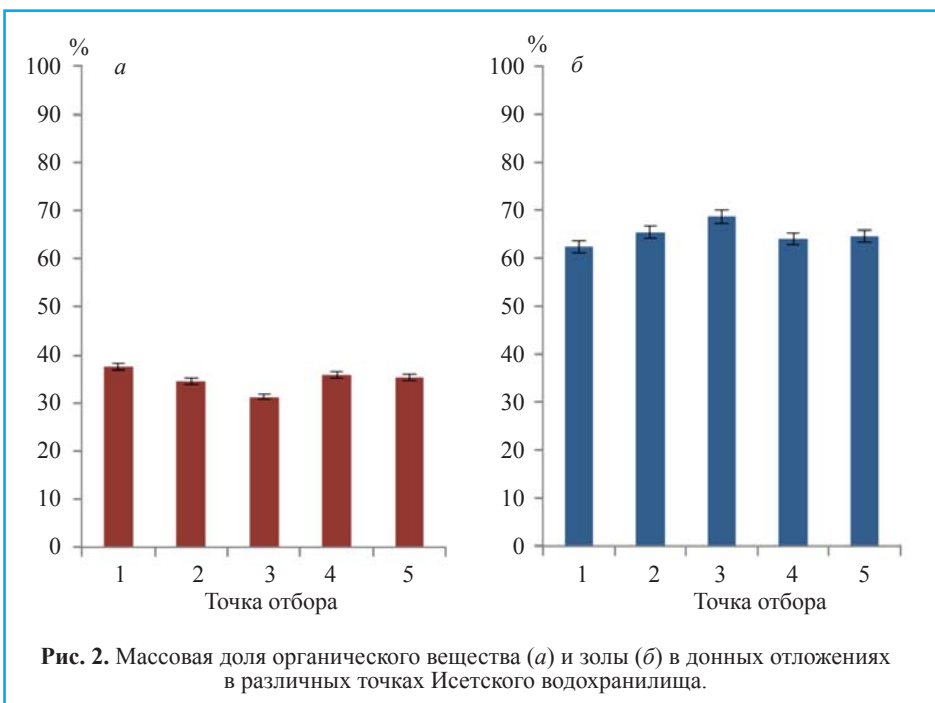
Участок	Органическое вещество, %	Фосфор общ.	Азот общ.	Валовое содержание соединений				
				железа	марганца	меди	цинка	кадмия
1	35,20	640	9630	22 750	570	70	210	7
2	15,44	440	2190	20 210	560	50	140	4
3	31,54	580	5780	24 550	590	60	140	10
4	29,72	1000	7040	46 280	600	80	110	10
5	17,47	1360	9600	24 810	560	130	160	10

железа, марганца, меди, цинка, кадмия и свинца выявляли в идентичных условиях, описанных в соответствующих методиках. Концентрации ингредиентов, определяемых в 1986 г., приведены в табл. 3.

#### **Химический состав донных отложений Исетского водохранилища**

Донные отложения Исетского водохранилища имеют илистую тонкодисперсную структуру. В точке 1 (приплотинный участок) – сапропелеподобную структуру и запах сероводорода. В других точках отложения подобных свойств не имели, были илистыми с примесью песка, цвет во всех точках отбора темно-серый.

Отобранные пробы донных отложений характеризуются высоким содержанием органического вещества (30–40 %) и сравнительно низкой

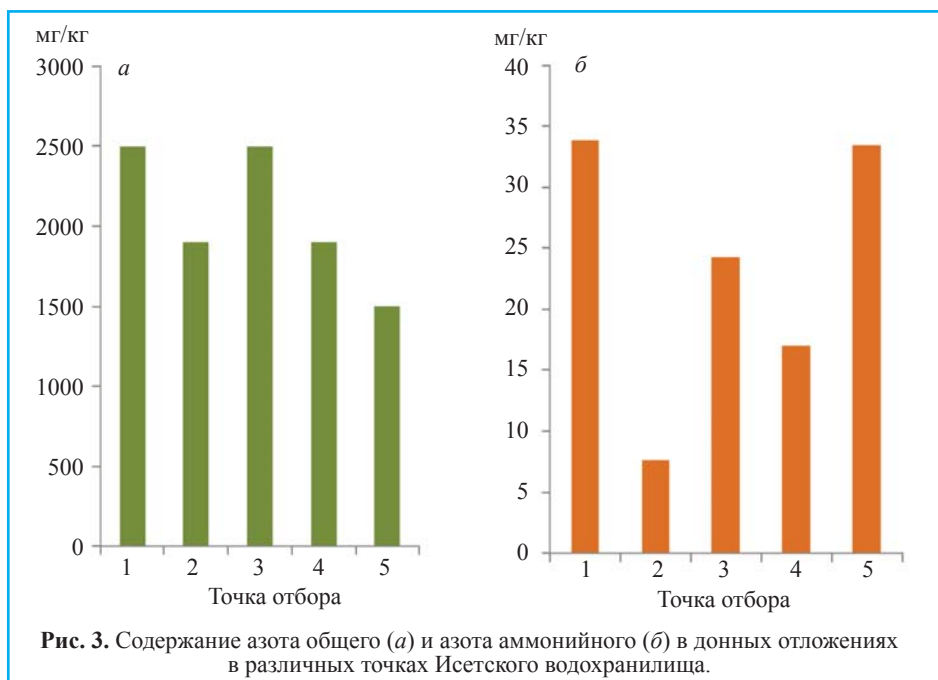


минерализацией (содержанием золы). Максимальное содержание органического вещества (37,5 %) характерно для донных отложений, отобранных в точке 1. Минимальное (31,3 %) – для отложений в точке 3, приближенной к г. Среднеуральску (рис. 2). По данным 1983–1986 гг. прослеживалась аналогичная тенденция: на участках водоема, подверженных влиянию теплых вод, в донных отложениях наблюдалось меньше органических веществ, чем на участках с естественным режимом. Однако содержание органических веществ в донных отложениях 30 лет назад было заметно ниже – от 15,44 до 33,84 % [1].

Максимальное содержание азота общего характерно для донных отложений, отобранных в точках 1 и 3 (2500 мг/кг), минимальное 1500 мг/кг – в точке 5 (рис. 3а). В исследованиях 1983–1986 гг. прослеживалась аналогичная тенденция: в илах с естественным режимом концентрация азота выше, чем в тепловодных участках. Концентрация общего азота в 1983–1986 гг. в донных отложениях значительно выше – 9000 мг/кг [1].

В настоящее время содержание аммонийного азота составляет 0,4–2,2 % от концентрации общего (рис. 3б).

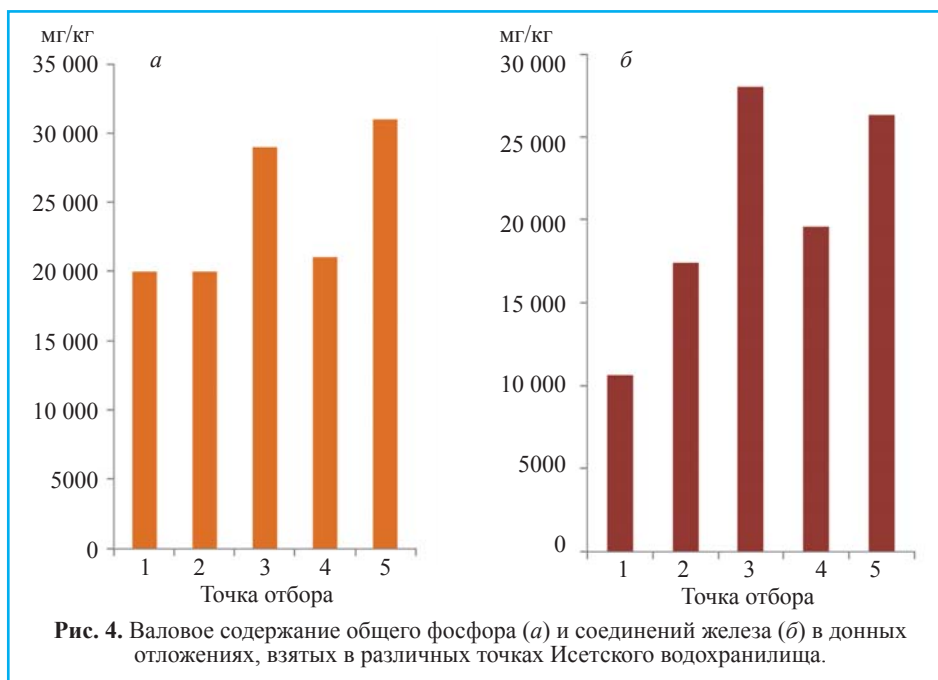
В донных отложениях Исетского водохранилища отмечены высокие концентрации валового фосфора (20 000–31 000 мг/кг) (рис. 4а). В исследованиях 1983–1986 гг. концентрации валового фосфора значительно ниже



440–2920 мг/кг. Максимальные значения концентраций валового фосфора в 2011 г. характерны для зоны теплового воздействия, что также отмечено в исследованиях 1983 – 1986 гг. [1].

Согласно данным отчета ФГБУ Государственного гидрологического института [2], содержание валового фосфора выше кларкового значения для осадочных пород (0,077 % от их сухого веса) говорит о процессе накопления соединений фосфора в донных отложениях.

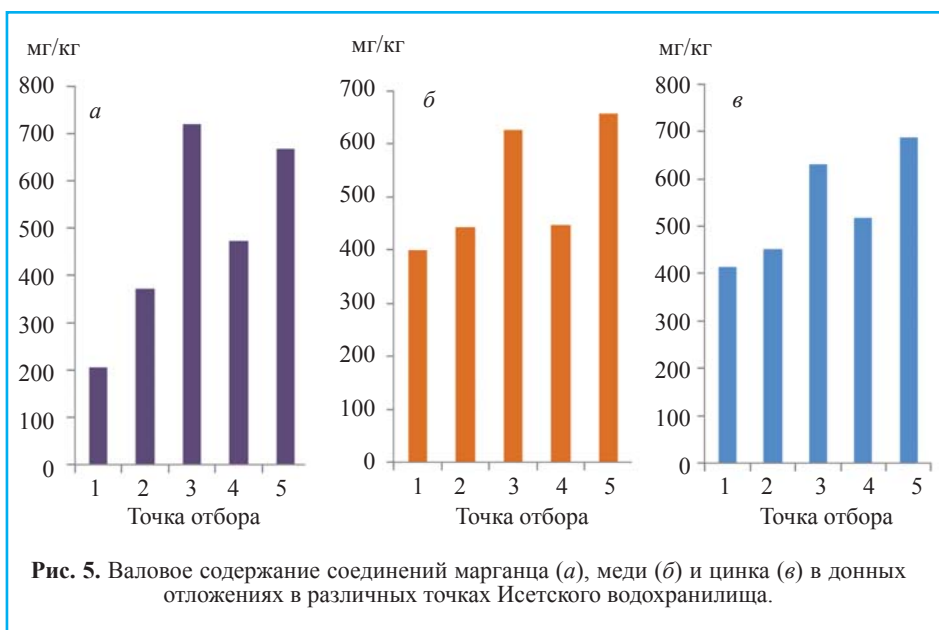
Многие исследователи указывают на тесную взаимосвязь обмена соединений фосфора и железа в водоемах [3, 4]. При высоких рН железо выпадает в виде гидроокиси и депонируется в донных отложениях. Гидроксиды железа обладают сорбционными свойствами и играют важную роль в самоочищении водоемов. С фосфором железо образует в аэробных условиях нерастворимый фосфат железа. Железо обладает высокой комплексообразующей способностью с органическими лигандами, но основные формы присутствия железа в водах – взвешенные и коллоидные [5]. Валовое содержание соединений железа в исследуемых донных отложениях составляет 10 000–28 025 мг/кг (рис. 4б). Максимальные концентрации соединений железа обнаружены в прогреваемой части водоема – точки 3 и 5. В точках на непрогреваемой части водоема по сравнению с 1986 г. концентрация соединений железа снизилась, в точках прогреваемого участка концентрация этого компонента незначительно выросла либо осталась на прежнем уровне.



Другим распространенным сорбентом веществ в донных отложениях является гидроксид марганца. Процессы круговорота ряда элементов воды и донных отложений связаны с гидроксидами железа и марганца, являющимися хорошими адсорбентами элементов из водных растворов вследствие высоких отрицательных значений заряда, большой удельной поверхности частиц и высокой емкости катионного обмена.

Прослеживается тенденция повышения валового содержания соединений марганца в донных отложениях в прогреваемых частях водоема (рис. 5а). Содержание его в донных отложениях Исетского водохранилища в настоящее время в точках 3 и 5 (680–700 мг/кг) выше, чем в непрогреваемой части водоема (200–450 мг/кг). Согласно данным 1986 г., валовая концентрация соединений этого компонента колебалась от 560 до 640 мг/кг, существенной разницы между прогреваемым участком и участком с естественным режимом выявлено не было [1]. В настоящее время в непрогреваемых частях водоема концентрация соединений марганца в седиментах снизилась, а в прогреваемых – повысилась (по сравнению с 1986 г.).

Донные отложения Исетского водохранилища характеризуются высокими валовыми концентрациями соединений меди. Содержание валовой формы соединений меди превышает ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК) в почвах (132 мг/кг) [6] в три раза в точке 1; в 3,3 раза в точках 2 и 4; в пять раз в точках 3 и 5 (рис. 5б). Водорастворимых форм соединений



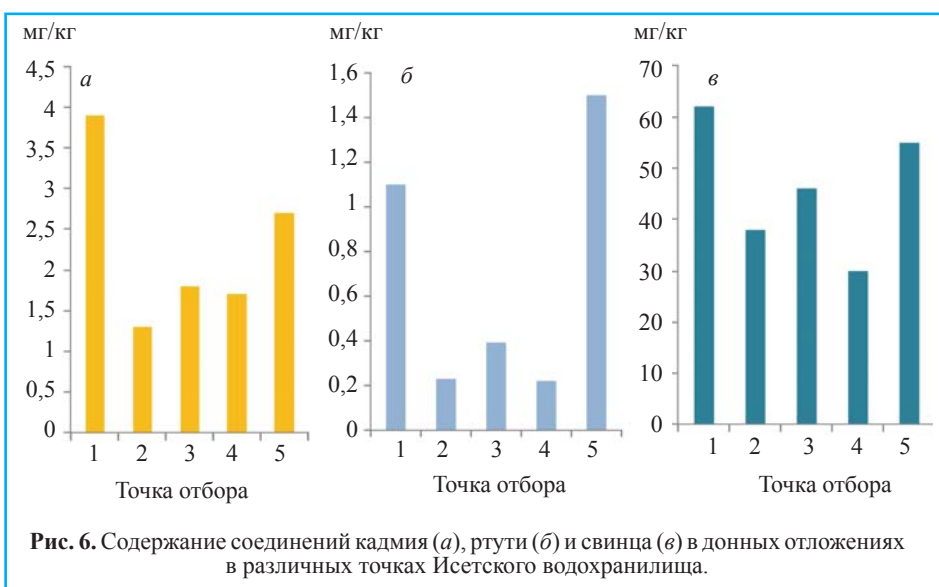
меди в донных отложениях не обнаружено, следовательно, этот металл находился в основном в связанном состоянии.

В 1986 г. концентрация соединений меди в донных отложениях в целом была намного ниже: до 130 мг/кг в прогреваемой части, 50–70 мг/кг в непрогреваемой части.

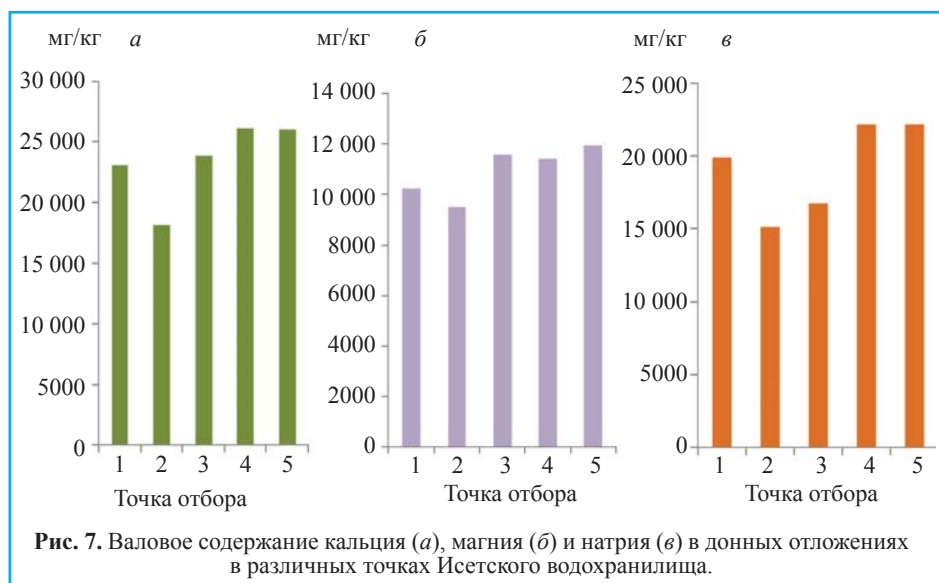
Прочность связей ионов цинка с донными отложениями меньше, чем у меди, что характеризует цинк как более подвижный элемент [5]. В 2011 г. валовое содержание соединений цинка в донных отложениях превышает ПДК в почвах (220 мг/кг) [7] в два раза в точках 1 и 2; в шесть раз в точках 3 и 5 (рис. 5в). Водорастворимых форм соединений цинка в донных отложениях не обнаружено, следовательно, этот ион находился в основном в связанном состоянии. В 1986 г. валовая концентрация соединений цинка в донных отложениях Исетского водохранилища была ниже 110–200 мг/кг. Определенных закономерностей в распределении соединений этого металла по акватории в 1986 г. выявлено не было.

В донных отложениях водоема также были обнаружены соединения кадмия, ртути и свинца (рис. 6). Валовое содержание соединений кадмия превышало ОДК (2 мг/кг для почв) [6] в отложениях, отобранных в точках 1 и 5. Водорастворимых форм соединений кадмия не обнаружено. По данным 1986 г. валовая концентрация соединений кадмия в седиментах была значительно выше современного уровня: 4–10 мг/кг, максимальные концентрации были приурочены к прогреваемым участкам.





Валовое содержание соединений ртути было повышенным только в седиментах, отобранных в точках 1 и 5, но не превышало ПДК (2,1 мг/кг) в почвах [7] (рис. 6б). Валовое содержание соединений свинца не превышало ОДК во всех точках (130 мг/кг для почв) [6]. Водорастворимые формы соединений свинца не обнаружены. В 1986 г. соединения свинца в донных отложениях Исетского водохранилища также не были отмечены.



Магний, кальций и натрий являются одними из основных компонентов ионного состава природных вод. Вследствие слабой растворимости солей кальция они выпадают в осадок. Их осаждению способствует высокая температура воды [5]. В зоне теплового воздействия в донных отложениях обнаружены высокие валовые концентрации соединений кальция (рис. 7а) и магния (рис. 7б). В этой же зоне отмечено высокое содержание ионов натрия в донных отложениях (рис. 7в).

### Заключение

Как показали исследования, донные отложения Исетского водохранилища характеризуются высоким содержанием органического вещества, соединений азота, фосфора, железа и марганца. Отмечено превышение ПДК тяжелых металлов для почв (медь, цинк, кадмий, свинец). Однако эти металлы находятся в связанном состоянии, концентрация их водорастворимых форм ниже предела обнаружения. В соответствии с [8] донные отложения Исетского водохранилища во всех точках принадлежат к IV классу, а именно – считаются опасно загрязненными соединениями меди. В соответствии с [9] донные отложения классифицируются по суммарному показателю (СПЗ) как умеренно-опасные в точках 1–4 и опасные в точке 5. Основная доля загрязнения вносится соединениями меди, кадмия и цинка.

Химический состав донных отложений в зоне, подверженной тепловому воздействию (точки 3 и 5), отличается от донных отложений, взятых в зоне нормального теплового режима (точки 1, 2 и 4). В точках 3 и 5 обнаружены повышенные концентрации фосфора общего, соединений железа, тяжелых металлов, а также кальция и магния.

По сравнению с данными 1983–1986 гг. также обнаружено изменение химического состава отложений. Концентрация азота общего в настоящее время ниже, чем в 1980-е годы, а концентрация общего фосфора, напротив, значительно повысилась. Также произошло повышение валовой концентрации соединений натрия, магния, кальция, меди и цинка. Повышение валовой концентрации соединений железа и марганца отмечено только в прогреваемой зоне (точки 3 и 5), в остальных исследованных точках обнаружено снижение содержания соединений этих компонентов по сравнению в 1986 г.

По данным 1986 г. закономерностей в распределении тяжелых металлов в донных осадках Исетского водохранилища не отмечено. В представленных исследованиях выявлено, что в прогреваемой зоне повышены валовые концентрации соединений железа, марганца, цинка, меди, а также кальция, магния и натрия.

Донные отложения имеют слабощелочную реакцию, что снижает подвижность ионов тяжелых металлов, они характеризуются высоким содер-

жанием органического вещества, фосфора, соединений железа и марганца. Это указывает на высокую способность донных отложений к сорбированию соединений металлов и снижает вероятность вторичного загрязнения водной толщи при отсутствии резких изменений состава воды. Высокое содержание соединений железа и кальция приводит к удержанию соединений фосфора в донных отложениях.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Разработка прогноза качества воды водохранилищ-охладителей системы Свердловэнерго и рекомендации о предельно допустимых площадях на них садковых рыбных хозяйств (заключительный том 2) // Отчет по НИР / УралНИИВХ, рук. А.Н. Попов. Свердловск. 1986. С. 81.
2. Механизмы выделения и накопления азота и фосфора в донных грунтах эвтрофирующегося водоема, испытывающего высокую внешнюю нагрузку // Отчет по НИР (информационный) / ГГИ, рук. Б.Г. Скакальский. Ленинград. 1991. С. 54.
3. *Мартынова М.В.* Донные отложения как составляющая лимнических экосистем. М.: Наука, 2010. 243 с.
4. *Нахшина Е.П.* Тяжелые металлы в системе «вода – донные отложения» водоемов // Гидробиологический журнал. 1985. Т. 21. № 2. С. 80–90.
5. *Даувальтер В.А.* Оценка токсичности металлов, накопленных в донных отложениях озер // Водные ресурсы. 2000. Т. 27. № 4. С. 469–476.
6. ГН 2.1.7.2042-06. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Рег. номер 7456 от 7 февраля 2006 г.
7. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Рег. 7470 от 7 февраля 2006 г.
8. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив: утв. Главным государственным санитарным врачом по Санкт-Петербургу 17.06.1996 и Комитетом по охране окружающей среды и природных ресурсов Санкт-Петербурга и Ленинградской области 22.07.1996.
9. Стандарт организации СТО ФГБУ «ГГИ» 52.08.31-2012 Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. СПб.: Глобус, 2012. 140 с.

#### Сведения об авторах:

Ушакова Ольга Сергеевна, инженер, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГУП РосНИИВХ), 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; e-mail: darilindan@gmail.com

Третьякова Алла Николаевна, младший научный сотрудник, сектор технического регулирования водопользования, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГУП РосНИИВХ), 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; e-mail: tret-alla-n@yandex.ru