



УДК 551.351:552 (282.256)

## **Вещественный состав донных отложений в прибрежной зоне Иркутского водохранилища**

Г. А. Карнаухова

*Институт земной коры СО РАН*

**Аннотация.** На основе полученных автором в 1981–2015 гг. материалов комплексных полевых и лабораторных исследований Иркутского водохранилища – головного в каскаде ангарских водохранилищ – приведены результаты анализа гранулометрического, минералогического и геохимического составов донных отложений прибрежной зоны и исходного материала, представленного продуктами абразии берегов этого искусственного водоема. Установлено, что прибрежная зона водохранилища активно перехватывает большую часть абразионного материала, являясь седиментационной ловушкой. Литологические типы донных отложений и их вещественный состав распределяются в соответствии с литодинамическими обстановками и составом материала, слагающего абразионные берега водоема. Основными породами, слагающими абразионные берега водохранилища, являются песчаники юры и четвертичные делювиальные суглинки. По гранулометрическому составу осадки отмелей представлены песками, крупными алевритами, мелкоалевритовыми илами. В пределах прибрежной зоны происходит дифференциация осадочного материала с выпадением и концентрацией определенных групп минералов и элементов, являющихся индикаторами процесса осадконакопления. В минеральном составе во всех типах донных отложений лидирует легкая фракция, составляя от 99,1 до 99,7 % в каждом образце. Ведущими минералами в этой фракции, вне зависимости от состава питающего материала, являются кварц, плагиоклазы, калишпаты. При абразии берегов, сложенных песчаниками, в тяжелой фракции донных осадков отмечается преобладание роговой обманки и граната, а при абразии суглинков – роговой обманки и эпидота. Прибрежная зона является транзитной для оксидов железа и для большинства микроэлементов. Из микроэлементов более активное накопление V, Cr, Co наблюдается в песках и крупных алевритах. При этом на участках абразии песчаников в осадках лидируют V, Cr, на участках размыва суглинков – Co. Лучшими концентраторами оксидов являются крупные алевриты. В донных осадках прибрежных отмелей отмечается заметная концентрация рассеянных элементов, связанных с обломочными рудными и аксессуарными минералами тяжелой фракции (Zr, Y, Nb), а также с минералами легкой фракции (Sr, Rb, Ga).

**Ключевые слова:** водохранилище, прибрежная зона, осадконакопление, вещественный состав.

### **Введение**

Основы современных представлений о распределении химических элементов в донных осадках шельфа краевых и внутриконтинентальных морей заложены Н. М. Страховым [15–17]. Последующие исследования диффе-

ренциации химических элементов в осадках прибрежной зоны морей были отражены в работах [3; 6; 12; 18–20]. Слабо исследованной в этом плане остается прибрежная зона крупнейших искусственных водоемов, в которых все процессы происходят на наших глазах и значительно быстрее, чем в природных водоемах [4; 5]. Прибрежная зона, включающая берег и прибрежную отмель, является наиболее динамичной областью водохранилищ, где прибрежная отмель возникает в результате размыва берегов под действием ветровых волн и аккумуляции абразивного материала. Данная зона характеризуется активным поступлением с суши осадочного материала, интенсивным процессом его перемещения и дифференциации по гранулометрическому, минералогическому и геохимическому составам.

Цель данной статьи – проанализировать особенности дифференциации вещественного состава донных отложений в прибрежной зоне Иркутского водохранилища – головного в каскаде ангарских водохранилищ.

#### **Методы и объект исследования**

Основными методами изучения вещественного состава донных отложений в прибрежной зоне Иркутского водохранилища являлись комплексные исследования, включающие натурные наблюдения, лабораторно-аналитические методы, методы расчета. Натурные исследования представлены материалами, полученными автором при экспедиционных работах. Частично использованы материалы коллег по ИЗК СО РАН и данные гидрометеорологической сети Иркутского УГМС. Экспедиционные исследования включали отбор образцов донных отложений по семи профилям, привязанным к участкам наблюдений за формированием берегов водохранилища. Отбор образцов донных отложений проводился грунтоотборной трубкой, грунтоотборниками различных модификаций с борта экспедиционного корабля или лодки. После подъема трубки или грунтоотборника колонка донных отложений перемещалась на полиэтиленовую пленку, и проводилось подробное послойное описание текстуры, структуры, цвета, консистенции осадков и измерение их мощности. Затем образец упаковывался в полиэтиленовый пакет для дальнейшей обработки в стационарных условиях.

Гранулометрический, минералогический и химический составы донных отложений и пород береговых уступов были определены с помощью лабораторных методов. Методика определения включала методы подготовки образцов к анализу и собственно аналитические методы. Подготовка образцов состояла в высушивании до воздушно-сухого состояния, квартовании, отборе навесок и дезагрегации. Для определения гранулометрического состава был проведен гранулометрический анализ методами, включающими ситовой, Сабанина, пипеточный и комбинированный, рекомендованные в методиках по лабораторным исследованиям горных пород [7; 9]. Определение минералогического состава образцов состояло в просмотре под микроскопом частиц алевритовой размерности после их отмучивания и обработки бромформом с использованием иммерсионных препаратов. Деление материала, представленного на минералогический анализ, на тяжелую и легкую

фракции проводилось путем обработки его тяжелыми жидкостями. Иммерсионный метод позволил одновременно с показателем преломления минералов определять окраску и форму зерен. Для достоверности в каждом образце исследовались более 300 зерен. После определения минерального состава производился подсчет количества различных минералов как в легкой, так и в тяжелой фракциях. Определение глинистых минералов тонкодисперсной составляющей образцов донных отложений выполнено количественным рентгенофазовым анализом на дифрактометре «ДРОН-3.0» (излучение – Cu K $\alpha$ , Ni – фильтр. Напряжение  $V = 25 \text{ kV}$ , ток на трубке  $I = 20 \text{ mA}$ ). При изучении химического состава донных отложений и пород береговой зоны водохранилищ использовались методы традиционного полного химического анализа и инструментальные методы, в том числе метод количественного спектрального рентгенофлуоресцентного анализа (РФА), основным преимуществом которого является определение содержаний макро- и микроэлементов в исследуемых образцах без их разрушения. Концентрации породообразующих оксидов CaO, TiO $_2$ , MnO, Fe $_2$ O $_3$  (общее) и микроэлементов, в число которых входят V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Sn, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, определялись в образцах дисперсных осадков на энергодисперсионном спектрометре. Используемые условия возбуждения спектра: рентгеновская трубка с Mo-анодом (высоковольтный источник питания «ВИП 75–70 М»), потенциал 55 кВ, сила тока 20 мА, экспозиция 1000 с. Использовались линии K-серии спектра как наиболее интенсивные, исключение составляет свинец, его определения производились по линии L1. Интенсивность фона оценивалась для участка спектра с интервалом энергий 20,5–21,5 кэВ. Обработка интенсивностей пиков произведена с помощью программы AXIL. Определяемые содержания химических элементов составляют значения от нескольких ppm (ppm = 0,0001 %) до 100 %.

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Условиями, определяющими процессы осадкообразования и литологический состав донных осадков в прибрежной зоне Иркутского водохранилища, являются состав пород, слагающих берега водохранилища, и гидродинамика этого водоема.

*Источники осадочного материала.* Основным источником осадочного материала в прибрежной зоне Иркутского водохранилища являются его абразионные берега, составляющие 55 % общей протяженности береговой линии. Абразионные берега формируются в отложениях юрского и четвертичного возраста. По данным, приведенным в работах [10; 13; 14], протяженность абразионных берегов, сложенных песчаниками юры, – около 60 км и более 90 км – сложенных четвертичными супесями и суглинками.

По левобережью в средней и приплотинной частях Иркутского водохранилища песчаники, занимающие 55–75 % разреза, представлены присаянской и черемховской свитами юры, наиболее активный размыв которых наблюдается между Мельничной Падью и заливом Курма. Линейная величина отступления бровки берегового уступа при размыве юрских песчаников, по данным работы [8], составляет за год 0,1–0,5 м. В результате абразион-

ных процессов на построение прибрежной отмели идет большая часть материала размыва песчаников – ежегодно примерно 18 тыс. м<sup>3</sup>.

Юрские песчаники являются полевошпатово-кварцевыми и кварц-полевошпатовыми среднезернистыми с карбонатно-глинистым или глинисто-слюдистым цементом. Концентрация цемента может достигать 13–28 %, в его составе глинистые минералы представлены каолинитом, смектитом и иллитом [21]. Содержание кварца в легкой фракции может изменяться от 16,0 до 63,2 %, плагиоклазов – от 8,4 до 55,2 %, калишпатов – от 2,0 до 24,4 %. Количество слюдяного материала, состоящего по большей части из гидратизированного и хлоритизированного биотита, варьирует в пределах 8,4–61,6 %. Ведущими минералами тяжелой фракции являются гранаты (18,1–88,1 %), эпидот (1,0–34,4 %), рудные (0,4–38,7 %), присутствуют сфен (2,3–10,4 %) и лейкоксен (2,4–11,6 %) [1].

По нашим данным, юрские песчаники отличаются высоким содержанием кремнезема (88,20 %), количество глинозема составляет в среднем 11,32 %, окисей железа – 5,23 %, кальция – 2,18 %, магния – 0,82 %, марганца – 0,75 %, титана – 0,26 %. Концентрации микроэлементов в песчаниках невелики, что является характерным для данного типа пород. Разброс содержаний в ряду Co-Ni-Cr-Zn-V находится в интервале 37–55 ppm, или 37–40–50–55–55 ppm соответственно.

Берега, сложенные четвертичными отложениями аллювиального и делювиального генезиса, по правобережью в средней и приплотинной частях водохранилища составляют 92 км, т. е. примерно 21 % от общей протяженности береговой линии. Аллювиальные отложения включают в основном пойменные фации, в составе которых преобладают суглинки и супеси. По площади распространения ведущее положение среди рыхлых четвертичных отложений в береговой зоне занимают делювиальные разности. Делювиальные отложения береговой зоны Иркутского водохранилища представлены в основном лессовидными суглинками, мощность которых изменяется от 1 до 20 м [11]. Линейная величина размыва четвертичных отложений составляет 0,4–3,5 м/год, и максимальный их размыв происходит между пос. Патроны и плотиной Иркутской ГЭС [10]. Наши расчеты по данным многолетних наблюдений показали, что ежегодно на формирование отмели идет более 110 тыс. м<sup>3</sup> абразионного материала.

В четвертичных делювиальных суглинках ведущим минералом легкой фракции является кварц (60,2 %), значительно содержание полевых шпатов (30,1 %) и обломков пород (2,2 %). Основную массу (7,5 %) глинистой фракции составляют гидрослюда и каолинит. Отмечается небольшая примесь глауконита, хлорита, опала. В составе тяжелой фракции основными минералами служат роговая обманка (50,1 %), эпидот (19,5 %) и рудные (16,1 %) минералы, представленные магнетитом и ильменитом. Постоянно присутствуют гранаты (5,1 %), циркон (1,0 %), пироксены (0,7 %), титано-содержащие сфен и рутил, турмалин, бурые гидроокислы. В химическом составе делювиальных суглинков ведущими соединениями являются кремнезем (62,78 %), глинозем (15,79 %), а также окиси железа (7,30 %),

магния (3,06 %), кальция (2,64 %), титана (1,01 %). Суглинки сравнительно обогащены рассеянными элементами. Лидируют стронций (265 ppm) и цирконий (260 ppm), рублидия содержится 83 ppm, в небольших количествах представлены уран, ниобий, мышьяк (30, 15, 15 ppm соответственно).

Гидродинамика и осадконакопление. Направленность процесса становления вещественного состава донных отложений в прибрежной зоне определяют происходящие в водоеме гидродинамические процессы: колебания уровня воды, волновые процессы, течения. Колебания уровня воды в водохранилище определяются годовым ходом уровня на озере Байкал, режимом эксплуатации Иркутской ГЭС, степенью наполнения нижележащих водохранилищ Ангарского каскада – Братского, Усть-Илимского, Богучанского. Годовой ход уровня воды в водохранилище характеризуется плавным повышением в весенне-летний период (май – август) до отметок, близких к нормальному подпорному уровню (НПУ). Стояние уровня на отметках, близких к НПУ, наблюдается в сентябре-октябре, когда происходит максимальное наполнение водохранилища, и длится в среднем 9 сут. Затем следует осенне-зимняя сработка водохранилища с понижением уровня до минимальных значений, приходящихся на апрель-май. Продолжительность сработки составляет 90–221 сут. Минимальные весенние уровни длятся в среднем 36 сут. [2]. Характерной для водохранилища является многолетняя цикличность колебания уровня воды с чередованием максимумов и минимумов, связанных с неравенством притока из оз. Байкал и стоком через Иркутскую ГЭС.

Важнейшими факторами размыва берегов и дна водохранилищ, переноса материала размыва и дифференциации его по вещественному составу являются различные волновые процессы. На Иркутском водохранилище волновые процессы имеют слабую и умеренную активность. По площади волнение может распространяться на всю акваторию водохранилища, по глубине – только на верхнюю часть толщи воды. Мелководность и изрезанность береговой линии трансформируют волны и гасят их энергию. Прибрежные отмели являются зоной регулярного волнового воздействия, когда возможно массовое перемещение обломочных частиц различной крупности до глубины волновой базы и их аккумуляции. Первоначальное движение абразионного материала происходит в виде влекомых и взвешенных наносов. Средняя скорость перемещения крупнозернистых песчаных наносов составляет 30–35 % скорости течения, среднезернистых – 40–41 %, мелкозернистых – около 50 %. Скорости переноса пелитовых частиц совпадают со скоростями водного потока. При перемещении частиц песчаной размерности дополнительно наблюдается их дифференциация по плотности.

При размыве пород юры абразионный материал перемещается в составе влекомых наносов, формируются узкие отмели песчаного состава, имеющие крутой подводный склон, называемый также свалом глубин, который иногда может быть покрыт малым слоем крупноалевритового материала. При абразии суглинков и супесей образуются отмели шириной от 20 до 60 м. При этом на отмели четко выделяются две подзоны – верхняя и нижняя. В верхней подзоне отлагаются более крупнозернистые крупные алеври-

ты с хорошей сортировкой, в поле распространения которых встречаются пятна, сложенные песками. В нижней подзоне аккумулируются крупноалевритовые наносы более мелкозернистые, хуже сортированные, чем в верхней подзоне. На урезе в крупноалевритовом материале возрастает доля хорошо сортированных тонкозернистых песков. На подводном же склоне отмели аккумулируются мелкоалевритовые илы. Скорость накопления осадочного материала на отмелях составляет около 2 см/год.

Ежегодная сработка уровня воды в водохранилище приводит к осушению отмелей. Очередное же повышение уровня в период летнего наполнения вызывает размыв верхнего активного 5–35-сантиметрового слоя донных осадков отмелей. Часть материала в составе взвесей выносится за пределы отмелей, большая часть – наращивает ширину отмели до глубины 2 м и образует на внешнем крае отмели аккумулятивные призмы.

Гранулометрический состав и литологические типы донных осадков. По гранулометрическому составу осадки отмелей представлены песками, крупными алевритами, мелкоалевритовыми илами (рис. 1). Тип осадка и его фракционный состав зависят от исходного материала, слагающего абразионные уступы в береговой зоне водохранилища. По размеру зерен пески отмелей являются средне- и тонкозернистыми. Среди них наиболее тонкозернисты и хорошо сортированы пески, сформированные продуктами абразии юрских песчаников. Модальная вершина их находится во фракции 0,25–0,05 мм. По медианному диаметру пески приближены к крупным алевритам, зерна крупнее 0,25 мм мало встречаемы, пелитовый наполнитель составляет 8,4 %. Пески имеют очень хорошую сортированность и одновершинный гранулометрический профиль. В песках, формирующихся при размыве четвертичных отложений, в большей мере содержатся песчаная и крупноалевритовая фракции.

Одновершинность гранулометрического профиля с максимумом во фракции 0,05–0,01 мм характерна для крупных алевритов вне зависимости от состава исходного материала. Отличия существуют в распределении по фракциям. Алевритовая фракция наиболее представлена (80 %) в крупных алевритах на участках размыва суглинков. При этом незначительны в осадках доли песчаных (13,7 %) и пелитовых (6,3 %) частиц. На участках размыва песчаников алевритовая фракция значимо выражена в крупных алевритах только в пределах подводного склона отмелей (54,7 %), где осадки имеют и высокий процент пелитовой фракции (18,6 %). Медианный диаметр крупных алевритов прибрежной отмели составляет 0,033 мм, подводного склона – 0,024 мм.

Мелкоалевритовые илы вблизи берегов, сложенных размываемыми песчаниками, не встречаются. Накапливаться они могут в прибрежной зоне только на участках размыва четвертичных отложений. Ведущей фракцией в них является пелитовая (36 %), высоко количество частиц тонкопесчаной фракции (29,9 %).

*Минералогический состав донных осадков.* В минеральном составе во всех типах донных отложений лидирует легкая фракция, составляя от 99,1

до 99,7 % в каждом образце. Основными минералами во фракции, вне зависимости от состава питающего материала, являются кварц, плагиоклазы, калишпаты. Определенные отличия есть в крупных алевритах. Так, крупные алевриты, образующиеся из четвертичных суглинков, имеют высокое содержание плагиоклазов (31,5 %), но низкое – слюд (5,1 %) по сравнению с крупными алевритами, аккумулярующимися на участках размыва юрских песчаников (рис. 2).

Тяжелая фракция минералов более разнообразна по составу (рис. 3). Отмечается преобладание роговой обманки. Однако по левобережью водохранилища, где наиболее распространены абразионные берега, сложенные песчаниками, наравне с роговой обманкой ведущим минералом является гранат, содержание которого составляет от 26,7 в песках до 33,7 % в крупных алевритах. По правобережью же, с его преобладанием абразии берегов в отложениях четвертичного возраста, в донных отложениях за роговой обманкой, количество которой значительно больше, чем в осадках левобережья, следует эпидот, составляя 22,8–24,8 %. Количество граната не превышает 11 %. Осадки более насыщены ильменитом и магнетитом, сфеном.

*Геохимический состав донных осадков.* Химический анализ донных отложений показал, что содержание в них оксидов невелико (рис. 4). Концентрация оксида железа (4,36–5,63 %) в отложениях уступает их присутствию в исходных юрских песчаниках и четвертичных отложениях, следовательно, прибрежная зона для оксида железа является транзитной. Количество оксида кальция в донных отложениях (2,61–3,75 %) практически тождественно их концентрации как в юрских песчаниках (2,18 %), так и в четвертичных отложениях (2,64 %). В осадках в заметных количествах находится оксид титана (0,91–1,04 %), превышение содержания которого над исходным содержанием фиксируется только на участках, где абразионные береговые уступы сложены песчаниками. Наиболее насыщены MnO осадки, формирующиеся при разрушении четвертичных отложений. Лучшими концентраторами оксидов среди донных осадков являются крупные алевриты.

Состав исходного осадкообразующего материала отражается в концентрации микроэлементов в донных осадках. Так, низкие показатели содержания элементов в песчаниках дают невысокие их значения в материале, слагающем отмели. Периодическое волновое воздействие на отмель способствует устойчивому накоплению в песках только Cr (до 180 ppm), что связано с его осаждением в составе гранатовых песчаных частиц. Зона прибрежных отмелей является транзитной областью для большинства микроэлементов (рис. 5).

По левобережью с отмели выносятся Co, Pb, Ni, V, Mn, Ti, Zn, входящие в состав цемента размываемых песчаников. На подводном склоне отмели в крупных алевритах возможно накопление широкого спектра элементов, выше концентрация Zn (59 ppm), Ni (52 ppm), Cu (25 ppm) по сравнению с осадками самой отмели.

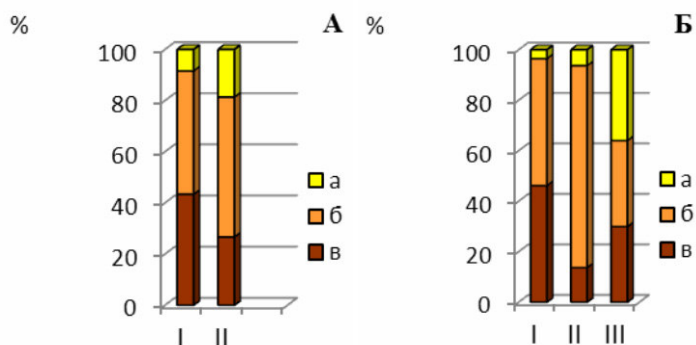


Рис. 1. Фракционный состав (%) донных осадков прибрежной зоны Иркутского водохранилища.

Условные обозначения: Исходный материал, слагающий абразионные береговые уступы: А – юрские песчаники, Б – четвертичные суглинки и супеси. Литологический тип осадка: I – пески, II – крупные алевриты, III – мелкоалевритовые илы. Фракции: а – пелитовая, б – алевритовая, в – песчаная

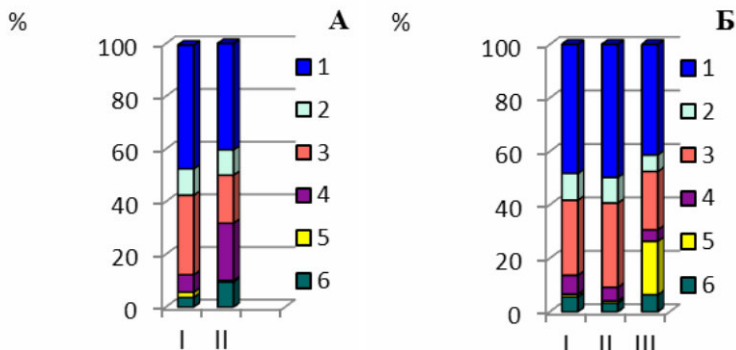


Рис. 2. Минералогический состав (%) легкой фракции донных осадков прибрежной зоны Иркутского водохранилища.

Условные обозначения: 1 – кварц; 2 – калишпаты; 3 – плагиоклазы; 4 – слюды; 5 – обломки, агрегаты; 6 – углефицированные растительные остатки. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

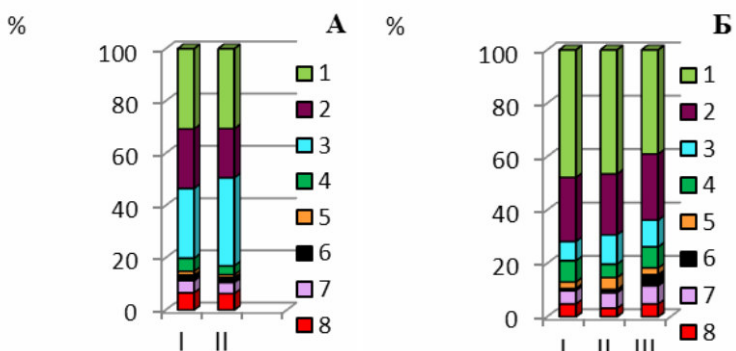


Рис. 3. Минералогический состав (%) тяжелой фракции донных осадков прибрежной зоны Иркутского водохранилища.

Условные обозначения: 1 – роговая обманка; 2 – эпидот; 3 – гранат; 4 – рудные; 5 – пироксены; 6 – циркон; 7 – сфен; 8 – прочие. Остальные условные обозначения см. на рис. 1



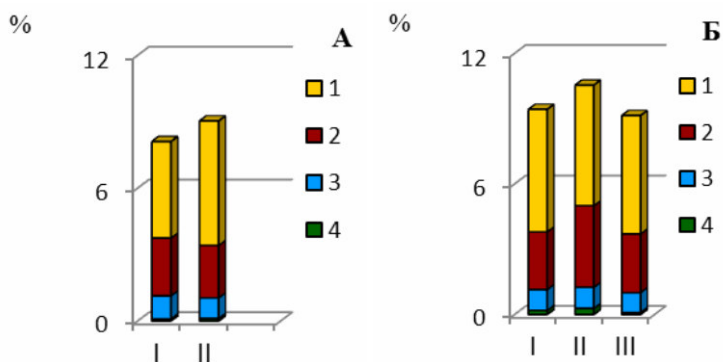


Рис. 4. Содержание оксидов (%) в донных осадках прибрежной зоны Иркутского водохранилища.

Условные обозначения: 1 –  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 2 –  $\text{CaO}$ ; 3 –  $\text{TiO}_2$ ; 4 –  $\text{MnO}$ . Остальные условные обозначения см. на рис. 1

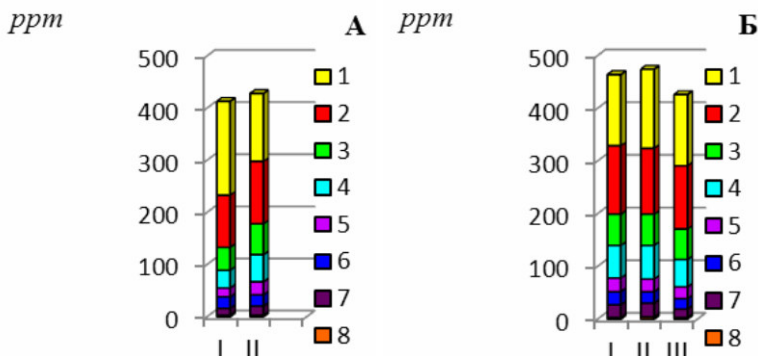


Рис. 5. Содержание микроэлементов (ppm) в донных осадках прибрежной зоны Иркутского водохранилища.

Условные обозначения: 1 – Cr, 2 – V, 3 – Zn, 4 – Ni, 5 – Cu, 6 – Pb, 7 – Co, 8 – Sn. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

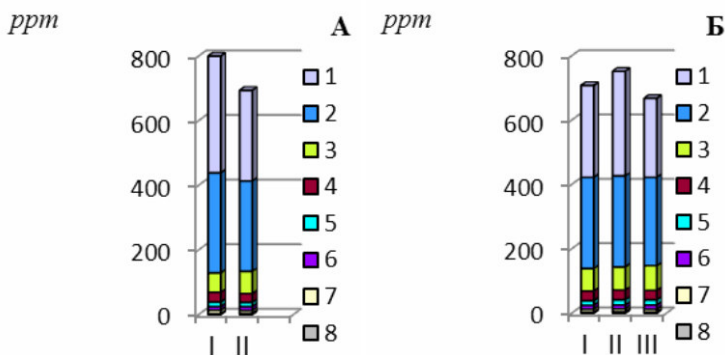


Рис. 6. Содержание рассеянных элементов (ppm) в донных осадках прибрежной зоны Иркутского водохранилища.

Условные обозначения: 1 – Zr, 2 – Sr, 3 – Rb, 4 – Y, 5 – Nb, 6 – Ga, 7 – Th, 8 – As. Остальные условные обозначения см. на рис. 1

Донные осадки, формирующиеся по правобережью на участках размыва четвертичных суглинков, имеют концентрации, значительно ниже их содержания в исходном материале, т. е. в суглинках. Однако эти осадки более насыщены микроэлементами по сравнению с осадками, образующимися из песчаников. Так, они превосходят по содержанию Co, составляющий в песках 24 ppm и 26 ppm в крупных алевритах, а также по содержанию Ni, количество которого в песках 62 ppm и 64 ppm в крупных алевритах. Концентрации же цинка, свинца, олова в осадках различного генезиса практически одинаковы (см. рис. 5).

Необходимо отметить, что механическая дифференциация материала в прибрежной зоне проявляется и в распределении рассеянных элементов (рис. 6). В осадках отмечается заметная концентрация элементов, связанных с обломочными рудными и акцессорными минералами тяжелой фракции (Zr, Y, Nb), а также с минералами легкой фракции (Sr, Rb, Ga). Для циркония и стронция характерно относительно повышенное содержание в осадках. Они слабо участвуют в водной миграции, аккумулируясь в осадках прибрежной отмели, которые накапливаются ближе к береговому уступу. По левобережью на глубине 0,5 м в осадках песчаного состава и по правобережью на глубине до 1 м в крупных алевритах зафиксировано наибольшее количество циркония (490 ppm и 410 ppm соответственно) и стронция (310 ppm и 290 ppm соответственно).

Такие элементы, как рубидий и уран, имеют изменчивые содержания. У урана выше концентрация в песках (30 ppm), а у рубидия – в мелкоалевритовых илах (72 ppm). Ниобий выносится из песков и несколько активнее концентрируется в крупных алевритах и мелкоалевритовых илах. В отложениях прибрежной зоны наблюдается устойчивый дефицит содержания следующих элементов – Ga (11–12 ppm), Th (8–10 ppm), As (3–4,9 ppm).

### **Заключение**

Зона контакта воды и суши является наиболее динамичной областью Иркутского водохранилища. Здесь происходят миграция и аккумуляция материала размыва берегов. Прибрежная зона водохранилища активно перехватывает большую часть абразионного материала, становясь для него седиментационной ловушкой. Литологические типы донных отложений прибрежной зоны водохранилища и их вещественный состав распределяются в соответствии с литодинамическими обстановками и составом материала, слагающего абразионные берега водоема. В пределах прибрежной зоны происходит дифференциация осадочного материала с выпадением и концентрацией определенных групп минералов и элементов, являющихся индикаторами процесса осадконакопления.

Прибрежная отмель служит местом интенсивного обогащения донных осадков кварцем и плагиоклазами, роговой обманкой и эпидотом. Содержание оксидов в осадках невелико, поскольку прибрежная зона является для них транзитной областью. Лучшие концентраторы оксидов среди донных осадков – крупные алевриты. Периодическое волновое воздействие на от-

мель способствует устойчивому накоплению в осадках хрома, ванадия, цинка, никеля. Механическая дифференциация материала в прибрежной зоне проявляется и в распределении рассеянных элементов. В осадках отмечается заметная концентрация элементов, связанных с обломочными рудными и аксессуарными минералами тяжелой фракции (цирконий, ниобий), а также с минералами легкой фракции (стронций, рубидий, галлий). Цирконий и стронций, являясь слабыми водными мигрантами, аккумулируются в осадках недалеко от берегового уступа.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-05-00079-а.*

#### Список литературы

1. Акулов Н. И. Юрские отложения южной части Иркутского осадочного бассейна / Н. И. Акулов, А. О. Фролов, И. М. Машук, В. В. Акулова // Стратиграфия. Геологическая корреляция. – 2015. – Т. 23, № 4. – С. 1–24.
2. Гидрометеорологический режим озер и водохранилищ СССР. Иркутское водохранилище. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – 140 с.
3. Емельянов Е. М. Барьерные зоны в океане. Осадко- и рудообразование, геоэкология / Е. М. Емельянов. – Калининград : Янтарный сказ, 1998. – 416 с.
4. Карнаухова Г. А. Формирование донных осадков в прибрежной зоне Ангарских водохранилищ / Г. А. Карнаухова, Т. М. Сквитина // Геоморфология. – 2013. – № 3. – С. 71–78.
5. Карнаухова Г. А. Прибрежная зона осадконакопления в ангарских водохранилищах / Г. А. Карнаухова // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2014. – Т. 10. – С. 67–77.
6. Лисицын А. П. Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия / А. П. Лисицын. – М. : Наука, 1978. – 392 с.
7. Ломтадзе В. Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований / В. Д. Ломтадзе. – Л. : Недра, 1990. – 328 с.
8. Максимишина Ю. С. Современное состояние береговой зоны Иркутского водохранилища / Ю. С. Максимишина // Z badan nad wplywem antropoaresji na srodowisko. – Sosnowiec, 2002. – Т. 3. – S. 57–63.
9. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород / под ред. Е. М. Сергеева, С. Н. Максимова, Г. М. Березкиной. – М. : Изд-во МГУ, 1968. – Т. 1. – 347 с.
10. Мирошниченко А. П. Формирование берегов Иркутского водохранилища за период эксплуатации / А. П. Мирошниченко, Ф. Н. Лещиков // Формирование берегов Ангаро-Енисейских водохранилищ. – Новосибирск : Наука, 1988. – С. 65–67.
11. Овчинников Г. И. Иркутское водохранилище / Г. И. Овчинников // Абразионно-аккумулятивные процессы в береговой зоне водохранилищ. – Сосновец ; Иркутск, 2002. – С. 7–60.
12. Патык-Кара Н. Г. Геохимические поиски месторождений твердых полезных ископаемых на континентальном шельфе / Н. Г. Патык-Кара, А. М. Иванова. – М. : Науч. мир, 2003. – 416 с.
13. Пинегин А. В. Некоторые особенности формирования берегов Иркутского водохранилища / А. В. Пинегин // Тезисы докл. V конф. молодых науч. сотр. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 1971. – С. 74–77.

14. *Прогноз* размыва берегов ангарских водохранилищ / Г. М. Пуляевский, Г. И. Овчинников, А. В. Пинегин, В. Л. Некрасов // *Формирование берегов ангарских водохранилищ*. – Новосибирск : Наука, 1976. – С. 53–69.
15. *Страхов Н. М.* К теории геохимического процесса в гумидной зоне / Н. М. Страхов // *Геохимия осадочных пород и руд*. – М. : Наука, 1968. – С. 104–134.
16. *Страхов Н. М.* Геохимия современного седиментогенеза / Н. М. Страхов // *Океанология. Геохимия океана*. – М. : Наука, 1979. – Т. 2. – С. 9–239.
17. *Страхов Н. М.* Осадкообразование в современных водоемах / Н. М. Страхов // *Избр. тр.* – М. : Наука, 1993. – 396 с.
18. *Хованский А. Д.* Геохимия аквальных ландшафтов / А. Д. Хованский. – Ростов н/Д : Изд-во Ростов. ун-та, 1993. – 240 с.
19. *Холодов В. Н.* Геохимия осадочного процесса / В. Н. Холодов. – М. : ГЕОС, 2006. – 608 с.
20. *Хрусталеv Ю. П.* Закономерности осадконакопления во внутриконтинентальных морях аридной зоны / Ю. П. Хрусталеv. – Ростов н/Д : Изд-во Ростов. ун-та, 1989. – 258 с.
21. *Шемелина О. В.* Определение содержания радиоактивных элементов в шламотстойниках и вмещающих грунтах / О. В. Шемелина, А. Е. Богуславский, Ю. П. Колмогоров // *Изв. РАН. Сер. физ.* – 2013. – Т. 77, № 2. – С. 220–223.

## Material Composition of the Bottom Sediment in the Coastal Zone of the Irkutsk Reservoir

G. A. Karnaukhova

*Institute of the Earth's Crust SB RAS*

**Abstract.** The results of the analysis of particle size distribution, mineralogical and geochemical composition of sediments of the coastal zone and the material presented products of coastal abrasion Irkutsk reservoir – head to Angara cascade reservoirs, obtained in 1981–2015 years by the author in conducting comprehensive field and laboratory studies. It is established that the coastal area of the reservoir is actively intercepts a large part of the abrasion material. Formation sediments and their material composition is in accordance with lithodynamic situation and composition of the material composing the abrasion shores of the reservoir. The main rocks that form the abrasion of the shores reservoirs are sandstones of Jurassic and Quaternary talus loams. According to granulometric composition of precipitation from shallow they are represented by sands, large silts, fine silty muds. Within the coastal zone is the differentiation of sedimentary material with the deposition and concentration of certain groups of minerals and elements that are indicators of the process of sedimentation. In the mineral composition in all types of bottom sediments leads the light fraction, making from of 99,1 to 99,7 % in each sample. The main minerals in the fraction, regardless of the composition of the feed material are quartz, plagioclase, qualispace. When abrasion of coasts composed of sandstones, the heavy fraction of sediments marked predominance of hornblende and garnet, and when erosion of the loam – hornblende, and epidote. The coastal area is a transit for the iron oxides and most trace elements. Of greater accumulation of trace elements V, Cr, Co observed in sands and silts large. At the same time in areas of abrasion sandstone sediments in lead V, Cr, at sites of erosion loam – Co. The best hubs oxides are the major siltstone. In the bottom sediments

of the coastal shallows, there is a noticeable concentration of trace elements associated with detrital ore and accessory minerals of the heavy fraction of the, as well as with the minerals of the light fraction.

**Keywords:** reservoir, coastal zone, sedimentation, material composition.

#### References

1. Akulov N.I., Frolov A.O., Masuch I.M., Akulova V.V. And. Jurassic deposits of the southern part of Irkutsk sedimentary basin [Yurskie otlozheniya yuzhgoj chasti Irkutskogo osadochnogo bassejna]. *Stratigraphy. Geological correlation – stratigrafiya. Geologicheskaya korrelyaciya*, 2015, vol. 23, no 4, pp. 1-24.
2. *Gidrometeorologicheskij rezhim ozer I vodohranilishh SSSR. Irkutskoe vodohranilishhe* (Hydrometeorological regime of lakes and reservoirs of the USSR. The Irkutsk reservoir). Leningrad, 1980. 140 p.
3. Emelyanov E.M. *Bar'ernye zony v okeane. Osadko- i rudoobrazovanie, geojekologiya* (Barrier zones in the ocean. Rain and ore formation, Geoecology). Kaliningrad, 1998. 416 p.
4. Karnaukhova G.A., Skovitina T.M. Formation of sediments in the coastal zone of the Angara reservoirs [Formirovanie donnyh osadkov v pribrezhnoj zone Angarskih vodohranilishh]. *Geomorphology – Geomorfologiya*, 2013, no 3, pp. 71-78.
5. Karnaukhova G.A. Coastal area is sedimentation in the Angara reservoirs [Pribrezhnaya zona osadkonakohleniya v Angarskih vodohranilishhah]. *News of Irkutsk state University. Ser. "Earth science" – Izvestiya IGU. Seriya "Nauki O Zemle"*, 2014, vol. 10, pp. 67-77.
6. Lisitsyn A.P. *Processy okeanskoj sedimentacii. Litologiya i geohimiya* (Processes of oceanic sedimentation. Lithology and Geochemistry). Moscow, 1978. 392 p.
7. Lomtatze V.D. *Fiziko-mehaniicheskie svoystva gornyh porod. Metody laboratornyh issledovanij* (Physical and mechanical properties of rocks. Laboratory methods). Leningrad, 1990. 328 p.
8. Maximishina Y.S. *Sovremennoe sostoyanie bergovoj zony Irkutskogo vodohranilishha* [The current state of the coastal zone of the Irkutsk reservoir]. (Z badan nad wplywem antropoesji na srodowisko). Sosnowiec, 2002, vol. 3, p. 347.
9. Ed. by Sergeev E.M., Maksimov S.N., Berezkin G.M. *Metodicheskoe posobie po in;inzhenerno-geologicheskomu izucheniyu gornyh porod* (Methodological manual on engineering-geological study of rocks). Moscow, 1968, vol. 1, 347 p.
10. Miroshnichenko A.P., Leshikov F.N. Formation of the shores of the Irkutsk reservoir during the period of operation [Formirovanie beregov Irkutskogo vodohranilichha za period jekspluatacii]. *Formirovanie beregov Angara-Yenisei reservoirs* (Formation of the shores of the Angara-Yenisei reservoirs). Novosibirsk, 1988, pp. 65-67.
11. Ovchinnikov G.I. The Irkutsk reservoir [Irkutskoe vodohranilishhe]. *Abrasionno-akkumuljativnye processy v beregovoj zone vodohranilishh* (Abrasion-accumulative processes in the shore zone of the reservoir). Sosnowiec-Irkutsk, 2002, pp. 7-60.
12. Patyk-Kara N.G., Ivanov A.M. *Geohimicheskie poiski mestorozhdenij tverdyh poleznyh iskopaemyh na kontinentalnom shel'fe* (Geochemical exploration of solid mineral deposits on the continental shelf). Moscow, 2003. 416 p.
13. Pinegin A. V. Some peculiarities of formation of the shores of the Irkutsk reservoir [Nekotorye osobennosti formirovaniya beregov Irkutskogo vodohranilishh]. *Tezisy. Pyataya konferenciya molodyh nauchnyh sotrudnikov* (Abstracts. V Conf. young scientific). Irkutsk, 1971, pp. 74-77.

14. Pulyaevskiy G.M., Ovchinnikov G.I., Pinegin A.V., Nekrasov V.L. Prediction of river Bank erosion in the Angara reservoirs [Prignoz razmyva beregov angarskih vodohranilishh]. *Formirovanie beregov angarskih vodohranilishh* (Formation of the shores of the Angara reservoirs). Novosibirsk, 1976, pp. 53-69.

15. Strakhov N.M. The theory of geochemical process in the humid zone [K teorii geohimicheskogo processa v gumidnoj zone]. *Geohimiya osadochnyh rud I porod* (Geochemistry of sedimentary rocks and ores). Moscow, 1968, pp. 104-134.

16. Strakhov N.M. Geochemistry of modern sedimentation [Geohimiya sovremenogo sedimentogeneza]. *Oreanologiya. Geohimiya okeana* (Oceanology. Geochemistry of the ocean). Moscow, 1979, no 2, pp. 9-239.

17. Strakhov N.M. *Osadkoobrazovanie v sovremennyh vodojomah* (Modern sedimentation in the reservoirs). Moscow, 1993. 396 p.

18. Khovanskiy A.D. *Geohimiya akval#nyh landshaftov* (Geochemistry of aquatic landscapes). Rostov-on-Don, 1993. 240 p.

19. Kholodov V.N. *Geohimiya osadochnogo processa* (Geochemistry of the sedimentary process). Moscow, 2006. 608 p.

20. Khrustalev Y.P. *Zakonomernosti osadkoobrazovaniya vo vnutrikontinental#nyh morjah* (Regularities of sedimentation in the intracontinental seas of the arid zone). Rostov-on-Don, 1989. 258 p.

21. Chemelina O.V. Determining the content of radioactive elements in the slime-pits and surrounding ground [Opredelenie sodержaniya radioaktivnyh jelementov v shlamootstojnikah i vmeshhayushhih gruntah]. *News of RAS. Ser. Physical – izvestiya ran. Ser. Fizicheskaya*, 2013, vol. 77, no 2, pp. 220-223.

*Карнаухова Галина Александровна*  
доктор географических наук  
научный сотрудник  
Институт земной коры СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128  
тел.: 8(3952) 42-71-82  
e-mail: karnauh@crust.irk.ru

*Karnaikhova Galina Alexandrovna*  
Doctor of Sciences (Geography)  
Research Scientist  
Institute of the Earth's Crust SB RAS  
128, Lermontov st., Irkutsk, 664033  
tel.: 8(3952) 42-71-82  
e-mail: karnauh@crust.irk.ru