

THE ANALYSIS AND GENERALIZATION OF THE SECOND ECHOSOUNDING DATA IN THE NORTHWEST SECTION OF THE BLACK SEA SHELF

YU.D. EVSYUKOV, V.I. RUDNEV

Summary

On the outer continental shelf of a northwest part of the Black Sea the detailed researches of bottom relief were fulfilled on two ranges. Bathymetric and geomorphological maps, schemes and survey profiles of a bottom surface were compiled. Shelf edge, submarine valleys and deltas of the Dnieper, Dniester, and other rivers, steps of the terraces formed during the sea regressions (80–100 and 130–140 m below sea level), rills and ridges are the most prominent forms. In the N-Q stage bottom relief formation was governed in the first place by neotectonic movements, and also by accumulation, abrasion, and erosion.

УДК 551.435.32→556.555.6(282.251.2)

© 2013 г. Г.А. КАРНАУХОВА, Т.М. СКОВИТИНА

ФОРМИРОВАНИЕ ДОННЫХ ОСАДКОВ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ АНГАРСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ¹

Введение

Строительство каскада ГЭС на Ангаре привело к затоплению речной долины на протяжении более 1000 км и созданию на юге Восточной Сибири серии водохранилищ – Иркутского, Братского, Усть-Илимского (рис. 1). Общая площадь, попавшая в зону затопления, составила 7500 км², а объем водохранилищ – 235 км³. Иркутское водохранилище является озерно-речным, Братское и Усть-Илимское – долинными. Ложе и береговая зона созданных водоемов сложены породами докембрия, палеозоя, мезозоя и кайнозоя, неоднородными по литологическому составу и инженерно-геологическим свойствам. При эксплуатации водохранилищ идут процессы, которые представляют собой “...переустройство профиля подводной и надводной частей берега ... водоема в результате волновой абразии, обвальных, осыпных, оползневых, просадочных, суффозионных, эрозионных и других процессов в зоне уреза воды, а также аккумуляции размытых и обрушившихся пород и перенос наносов вдольбереговыми течениями” [1, с. 112].

Обеспечивая регулирование водного стока, ангарские водохранилища задерживают и поступающий осадочный материал, одним из основных источников которого являются абразионные берега, поставляющие ежегодно более 224 млн. т. Интенсивность поступления осадочного материала и его аккумуляция находятся в зависимости, в первую очередь, от гидродинамических условий (волновой и уровенный режимы) и литолого-геохимического состава размываемых пород. От 40 до 90% абрадированного материала удерживается в прибрежной, наиболее динамичной, зоне водохранилищ, занимающей всего 1% их площади. Активное проявление здесь процессов перемещения и накопления осадочного материала не может не сказаться на распределении потоков последнего в ходе седиментации в самих водохранилищах. Поэтому исследование условий осадконакопления и состава донных осадков в прибрежной части водохранилищ является задачей представляемой работы. Данная работа базируется на результатах комплексных полевых исследований, проведенных нами в 1972–2012 гг. В этот период было отобрано более 500 образцов донных отложений с прибрежных

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-05-00194-а) и программы СО РАН (проект VII.59.3.5).

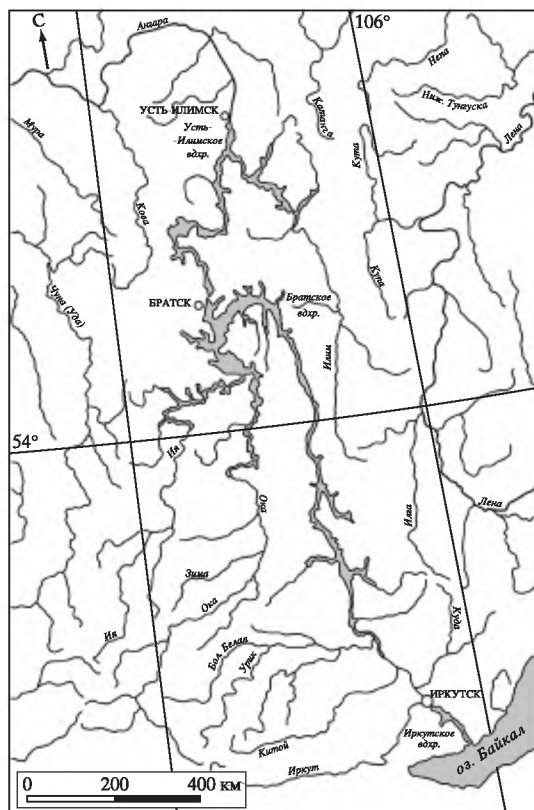


Рис. 1. Местоположение Ангарских водохранилищ на юге Восточной Сибири

отмелей, более 2700 – за пределами последних, около 600 из береговых уступов, а также более 3000 проб воды. Исследования также включали измерения скоростей и направления течений. В лабораторных условиях по существующим методикам [2–8] были определены гранулометрический, минералогический и химический составы донных отложений.

Условия формирования прибрежных отмелей

Протяженность береговой линии ангарских водохранилищ составляет около 8 тыс. км, из них около 30% приходится на абразионные берега. В большей степени подвержены абразии в различной степени выветрелые и слабо устойчивые палеозой–мезозойские глинистые и песчаниковые отложения, а также четвертичные суглинки, особенно делювиальные лёссовидные, обладающие высокой степенью просадочности. Песчано-глинистые породы кембрия обладают невысокой механической прочностью даже в невыветрелом состоянии. Наибольший линейный размыв отмечается на склонах, сложенных лёссовидными суглинками, составляя за год 7–10 м при объеме разрушения 80–120 м³ с 1 м береговой линии. В мень-

шей мере разрушаются песчаники, алевролиты, аргиллиты, объем их размыва составляет 12–26 м³ с 1 м береговой линии при отступании бровки берегового уступа на 2–2.5 м [9].

Среди глинистых пород абразионные берега по большей части сложены *аргиллитами*, содержащими значительное количество мелкого песка. В составе песчаных и алевроитовых фракций аргиллитов преобладает кварц и полевые шпаты. Аргиллиты высокодисперсные, пластичные, по химическому составу в них доминируют алюмосиликаты (SiO_2 – 63.25%, Al_2O_3 – 14.67%), содержание CaO , MgO , Fe_2O_3 не превышает 5%. Тяжелая фракция представлена в большей степени зернами граната, рудными минералами, пироксенами, турмалином, цирконом и рутилом. *Песчаники*, слагающие абразионные берега, мелко- и среднезернистые, кварцевые и кварц-полевошпатовые: содержание кварца более 70%, полевых шпатов – 5–12%. Цемент составляет 30–50% всей массы породы и, как правило, глинисто-карбонатный, в нем преобладают кальцит, эпидот, хлорит с примесью глинистого материала и гидроокислов железа. Минералы тяжелой фракции представлены роговой обманкой (более 30%), пироксенами (20–30%), цирконом (4–25%), гранатами (1–44%). По химическому составу песчаники имеют повышенное содержание SiO_2 – более 81%, Al_2O_3 – около 5%, MgO – более 4%. Делювиальные суглинки по инженерно-геологическим свойствам подразделяются на лёссовидные и необлессованные разности. Гранулометрический состав лёссовидной породы, образовавшейся на делювии юрских отложений, отличается более низким содержанием песчаной фракции и более высоким содержанием алевроитово-глинистых частиц. Наиболее песчанисты лёссовидные суглинки в поле развития верхнекембрийских пород. В легкой

фракции делювиальных суглинков береговой зоны водохранилищ преобладают полевые шпаты (31–36%) и кварц (58–60%). До 20% составляют обломки коренных пород. Доля тяжелой фракции не превышает 1–1.5%, она представлена в основном эпидотроговообманковой ассоциацией, содержание устойчивых минералов незначительно. Из глинистых минералов преобладают монтмориллонит и гидрослюда. По химическому составу в четвертичных суглинках доминирует CaO, достигая в лёссовидных их разновидностях 25.76%, далее следует Al_2O_3 [10–12].

В результате волновых процессов в водохранилищах происходит абразивная переработка береговой зоны и формирование профиля подводного склона, создание прибрежных отмелей. Другие аккумулятивные формы (косы, бары) не получили особого распространения на ангарских водохранилищах [13]. Подготовленный абразией осадочный материал начинает свое движение в виде влекомых и взвешенных наносов. Перемещение влекомых наносов характерно для отмелей, сложенных песчаным и галечным материалом. Волнение продолжительностью 6 часов при высоте волны 0.8 м вызывает вдольбереговое течение со скоростью 19–22 см/с. Средняя скорость перемещения крупнозернистых песчаных частиц составляет 30–35% скорости течения, среднезернистых – 40–41%, мелкозернистых – около 50%. При этом крупнозернистые песчаные частицы перемещаются до глубины 1.5 м, среднезернистые – до 2.0–2.5 м, мелкозернистые – до 3 м. Скорости перемещения алевритово-пелитовых частиц практически совпадают со скоростями водного потока и, как правило, они выносятся во взвешенном состоянии за пределы отмели. При размыве берегового уступа, сложенного суглинками, содержание взвешенных частиц изменяется от уреза к внешнему краю подводной отмели от 6.4 до 0.16 кг/м³, при размыве песков – от 5.1 до 0.05 кг/м³, выветрелых аргиллитов, известняков и доломитов – соответственно 0.6–0.05 кг/м³, песчаников – 0.25–0.1 кг/м³ [14].

Прибрежная зона водохранилищ является областью сверхбыстрой седиментации, где происходят как осаждение терригенного материала, так и его перемещение на более низкие гипсометрические уровни. Мощность ежегодно отлагающегося слоя донных осадков составляет 0.2–0.8 м в зависимости от состава размываемых пород. Ширина прибрежных отмелей и их уклон зависят от соотношения энергии волнения и состава размываемых пород. При равных волновых параметрах профиль равновесия будет круче и ширина отмели меньше при размыве более крупного материала. Так, при размыве песчаников и аргиллитов ширина отмели изменяется от 15 до 44 м при наклоне ее поверхности 10–19°, при размыве суглинков, супесей ширина отмели может быть от 64 до 136 м и уклон 2–4° [15].

На подводном склоне прибрежных отмелей ангарских водохранилищ осадконакопление протекает в основном при ведущей роли гравитационных процессов, среди которых наибольшее развитие получили разжиженные потоки, оползни и обвалы. Перемещение осадочного материала на подводном склоне происходит гораздо медленнее, чем на самих отмелях, исключение составляют оползни и обвалы, протекающие практически мгновенно. Возникновению гравититов из разжиженных потоков способствуют высокие для ангарских водохранилищ скорости накопления осадков на внешнем крае прибрежной отмели, их гранулометрический состав и свойства, обводнение с разрушением структурных связей и слабо уплотненное состояние осадков, а также угол наклона подводного склона (более 30°), превышающий угол естественного откоса для несвязных пород. Перемещение в виде разжиженных потоков происходит на участках, где отмели сложены материалом с высоким содержанием глинистой составляющей, здесь периодически происходит уменьшение высоты слоя наносов на внешнем крае отмели. Гравитационное перемещение осадков по подводному склону в виде разжиженных потоков усиливается в период штормов, когда на отмель поступают огромные массы размываемого материала, а внешний ее край и подводный склон становятся динамически неустойчивыми.

Состав донных осадков прибрежных отмелей

На различных участках прибрежных отмелей примерно одинаковый набор минералов, химических элементов и соединений, количественное же их соотношение определяется конкретным составом и свойствами размываемого материала. Нами были

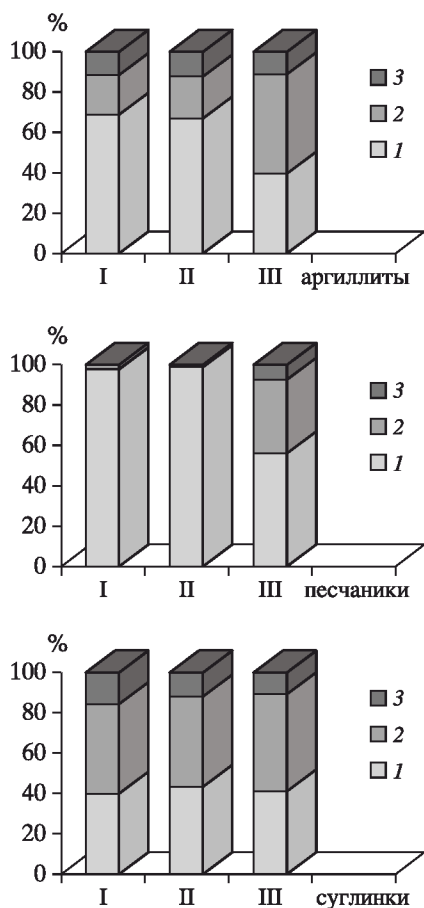


Рис. 2. Фракционный состав донных отложений прибрежной зоны Ангарских водохранилищ

Морфодинамическая зона: I – абразионный береговой уступ, II – прибрежная отмель, III – подводный склон прибрежной отмели; фракции: 1 – песчаная, 2 – алевритовая, 3 – пелитовая

минералов. Ведущим минералом тяжелой фракции, как и на отмели, остается роговая обманка. На подводный склон приходится максимальное накопление карбонатов (более 28%), особенно CaCO_3 , и рост содержания органического вещества. Сохраняются в основном те же аномалии концентрации элементов, что и на отмели, меньше фона содержание Fe, Pb, Ti за счет падения в осадках содержания рудных минералов.

При абразии берегов, сложенных *песчаниками*, формируются отмели песчаного состава с некоторой примесью частиц алевритовой фракции. Размываемые песчаники береговой зоны обеспечивают преобладание кварца среди минералов легкой фракции в донных отложениях. В тяжелой фракции примерно в равных количествах содержатся роговая обманка, гранаты и рудные минералы, однако почти отсутствует циркон, имеющий довольно высокое содержание в песчаниках. В малых количествах в осадках отмели присутствуют пироксены, эпидот и сфен (рис. 4). Зона прибрежных отмелей является транзитной областью для большинства элементов. С отмели выносятся

составлены обобщенные фациальные профили, показывающие соотношение гранулометрического, минералогического и химического состава верхнего слоя донных отложений с таковыми исходного материала. В качестве модельных были выбраны участки с активно размываемыми берегами, сложенными основными петрографическими типами пород рассматриваемого региона, представленными разновозрастными аргиллитами, песчаниками и делювиальными суглинками. В прибрежной зоне ангарских водохранилищ ведущими являются процессы накопления обломочных осадков терригенного ряда.

При абразии берегов, сложенных *аргиллитами*, на прибрежных отмелях происходит аккумуляция в основном слабосцементированного щебнисто-песчаного материала с пелитовым заполнителем, преобладает фракция >0.05 мм (рис. 2). В минералогическом отношении наносы отмели наиболее обогащены кварцем и полевыми шпатами. Практически полностью за пределы отмели выносятся слюды и глинистые минералы, находящиеся в агрегатном состоянии. Активно накапливаются роговая обманка, ильменит и магнетит, в меньшей степени гранаты, формируя локальные геохимические аномалии с повышенным содержанием Zn, Ti, Cr, V, Ni. Для отмели характерен вынос Fe в составе пироксенов и фоновое накопление Cu и Pb, уменьшается количество P и Mn. Происходит снижение содержания карбонатов, в основном CaCO_3 .

На подводном склоне отмели накапливаются крупные алевриты различной мощности, ведущей в донных отложениях становится фракция 0.05–0.01 мм. В минералогическом составе происходит снижение количества кварца и резкое увеличение содержания агрегатов глинистых минералов (рис. 3). Ускоряется седиментация слюд, интенсивно накапливается эпидот при активном снижении концентрации рудных

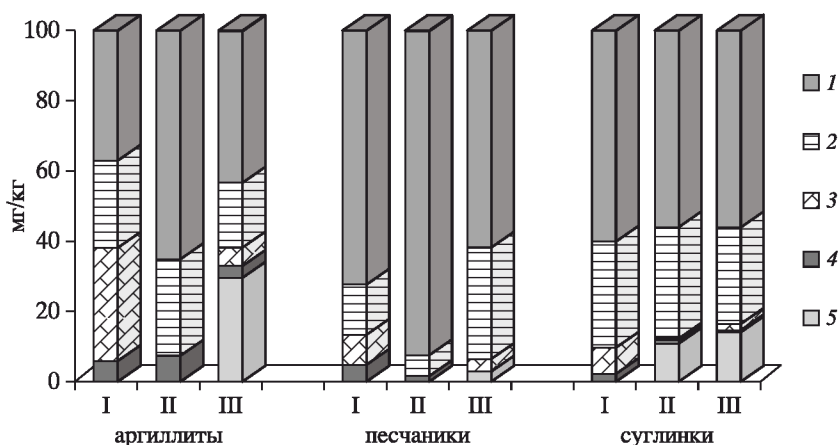


Рис. 3. Схема распределения минералов легкой фракции в донных отложениях прибрежной зоны Ангарских водохранилищ

Морфодинамическая зона – см. рис. 2; минералы: 1 – кварц, 2 – полевые шпаты, 3 – слюды, 4 – обломки пород, 5 – агрегаты

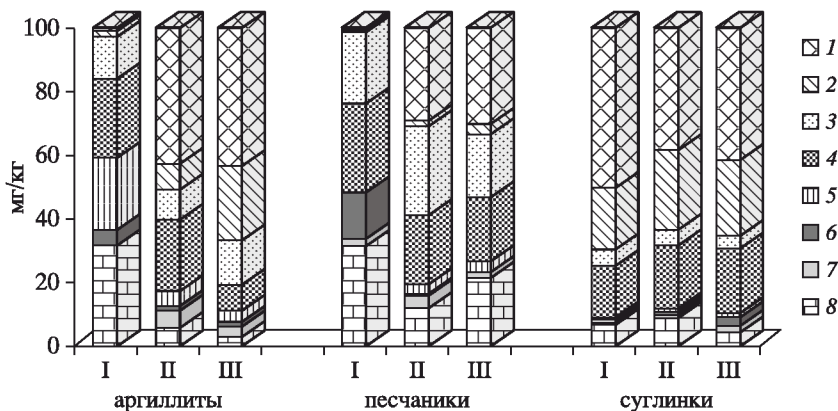


Рис. 4. Схема распределения минералов тяжелой фракции в донных отложениях прибрежной зоны ангарских водохранилищ

Морфодинамическая зона – см. рис. 2; минералы: 1 – роговая обманка, 2 – эпидот, 3 – гранаты, 4 – рудные, 5 – пироксены, 6 – циркон, 7 – сфен, 8 – прочие

Fe, Co, Pb, Ni, V, Mn, Ti, Zn, входящие в состав матрикса размываемых песчанников. Периодическое волновое воздействие на отмель способствует устойчивому фоновому накоплению в песках только Cr, что связано с его возможным осаждением в составе зерен граната [16]. На отмели также остаются карбонатные минералы и часть органического вещества из цемента песчанников.

На подводном склоне сформировался маломощный слой крупных алевритов, в которых главными минералами являются кварц и полевые шпаты. Однако, по сравнению с отмелью, на треть сокращается насыщение осадков кварцем при пятикратном росте доли полевых шпатов, увеличивается количество обломочного материала. Основным минералом тяжелой фракции является роговая обманка. Значительно сокращается присутствие гранатов, рудных минералов и сфена, но отмечается небольшой рост количества пироксенов и эпидота. В осадках подводного склона также не наблюдается повышенного накопления элементов, а отмечен широкий спектр элементов с содержа-

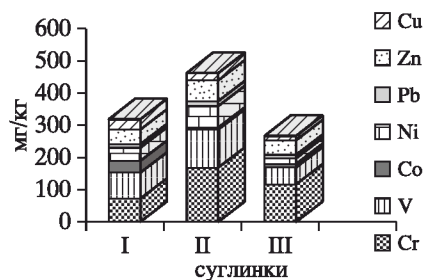
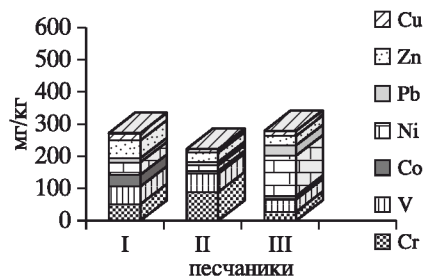
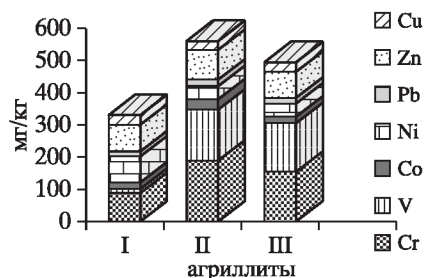


Рис. 5. Распределение микроэлементов в донных отложениях прибрежной зоны Ангарских водохранилищ
Усл. обозначения см. рис. 2

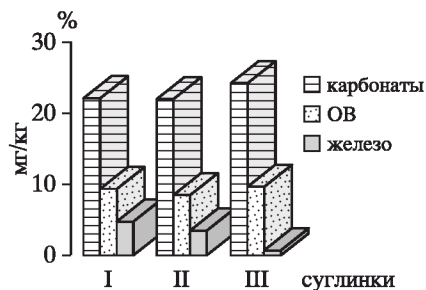
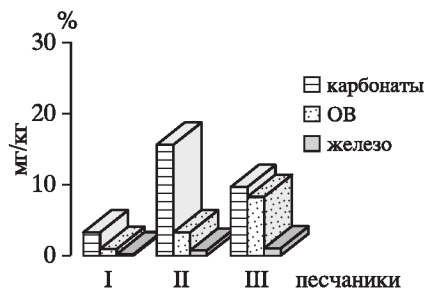
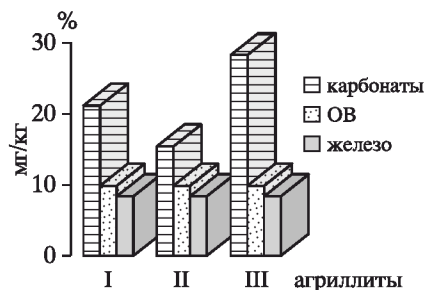


Рис. 6. Распределение карбонатов, органики и железа в донных осадках прибрежной зоны Ангарских водохранилищ
Усл. обозначения см. рис. 2

нием близким к фоновому, несколько выше фона концентрация Pb и Ti (рис. 5). Среди осадков прибрежной зоны только на подводном склоне отмели происходит наиболее активное накопление органики, рост количества P и Ti при снижении концентрации карбонатов кальция и магния.

При размыве суглинков отложения прибрежных отмелей представлены крупными алевритами. Это участки активного обогащения донных осадков роговой обманкой, а также минералами с большой плотностью – рудными и эпидотом. Кроме того, здесь происходит интенсивное выпадение глинистых минералов в виде агрегатов (они составляют около 11%) алевритовой размерности. Органика и карбонаты довольно равномерно распределяются в осадках подводной части прибрежной отмели и ее подводного склона (рис. 6). Количество карбонатов и фосфора в крупных алевритах практически равно их содержанию в исходном материале. В осадках накапливается широкий спектр элементов: Mn, Ti, Ni, Cr, Zn, V с аномальными концентрациями. Mn, Ti, Ni выпадают из взвешенного потока быстрее всего, Fe, содержание которого находится в пределах фона, более устойчив к осаждению.

На подводном склоне накапливаются крупные алевриты, но с несколько большим содержанием мелкопесчаных частиц, чем на отмели. Отмечается некоторое сниже-

ние в донных отложениях полевых шпатов при практически неизменном содержании кварца, слюды – мало. Происходит дальнейший рост количества агрегатов. Минералы тяжелой фракции содержатся почти в той же концентрации, что и на отмели, лишь в некоторой степени возрастает количество карбонатов и органического вещества. Элементы, выносимые с отмели в открытую область водохранилищ (Ni, Fe, Pb), частично осаждаются на подводном склоне, формируя в крупных алевритах аномальные концентрации Cr, Zn, V, Ti, Mn, Cu и Co, несмотря на снижение содержания Mn и Ni более чем в 3 раза, а Fe – в 2 раза.

Заключение

Интенсивная аккумуляция осадочного материала и формирование прибрежных отмелей в ангарских водохранилищах происходит на участках, где генетическим типом берегов является абразионный. Ежегодно абразия дает более 200 млн. т размытого материала, из которых примерно от 40 до 90% идет на создание прибрежных отмелей, занимающих всего 1% площади водохранилищ. Донные отложения прибрежных отмелей обогащены ассоциацией минералов с большой плотностью – рудными минералами, гранатами, эпидотом, сфеном. Активно накапливается кварц и роговая обманка, выносятся слюды и циркон. На подводном склоне содержание ведущих минералов прибрежных отмелей – кварца и роговой обманки – уменьшается. Здесь концентрируется большая часть минералов тяжелой фракции, особенно заметно повышение количества эпидота и устойчивых минералов – циркона, турмалина, рутила. В донных отложениях отмели наблюдаются устойчиво повышенные концентрации обладающего малой растворимостью хрома, который явно тяготеет к осадкам с высоким содержанием песчаной фракции. Некоторое повышение содержания железа в осадочном материале подводного склона на участках размыва песчаников и аргиллитов обусловлено садкой его гидроокислов, входящих в их состав. Карбонаты в донных отложениях ангарских водохранилищ являются типично терригенными образованиями, поступившими в результате абразии. Мелководно-прибрежная зона водохранилищ характеризуется лидированием CaCO_3 , что придает ей сходство по химическому составу с морскими отложениями. Осадки прибрежной части водохранилищ имеют пониженное содержание органического вещества, что, видимо, обусловлено большими объемами поступающего минерального вещества и активностью волновых процессов, выносящих органику.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. М.: Наука, 1986. 365 с.
2. Аригушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. 491 с.
3. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
4. Ломтадзе В.Д. Методы лабораторных исследований физико-механических свойств горных пород. Л.: Недра, 1972. 312 с.
5. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990. 328 с.
6. Унифицированные методы анализа вод / Ю.Ю. Лурье. М.: Химия, 1973. 376 с.
7. Методы исследования качества воды водоемов / А.П. Шицкова. М.: Медицина, 1990. 400 с.
8. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. Новосибирск: НИЦ ОИГГМ, 1997. 236 с.
9. Карнаухова Г.А. Гидродинамический механизм седиментогенеза в ангарских водохранилищах // Метеорология и гидрология. 2003. № 9. С. 82–93.
10. Карнаухова Г.А. Геохимический состав воды и донных отложений Братского водохранилища // Геохимия. 1999. № 1. С. 51–56.
11. Карнаухова Г.А. Роль состава абрадируемых пород в литогеохимической дифференциации донных отложений водохранилищ Ангарского каскада // Осадочные процессы: седиментогенез.

нез, литогенез, рудогенез / М-лы IV Всерос. литологич. совещ. Т. 1. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 331–333.

12. Карнаухова Г.А. Минералогическая специфика седиментогенеза в водохранилищах Ангарского каскада // Типы седиментогенеза и литогенеза и их эволюция в истории земли / М-лы V Всерос. литологич. совещ. Т. I. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2008. С. 280–282.
13. Карнаухова Г.А. Процессы осадкообразования в водохранилищах Ангарского каскада: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Иркутск: ИГ СО РАН, 2009. 44 с.
14. Пуляевский Г.М., Овчинников Г.И. Формирование берегов Ангарских водохранилищ // Моделирование и прогнозирование геофизических процессов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. С. 39–46.
15. Овчинников Г.И., Карнаухова Г.А. Прибрежные наносы и донные отложения Братского водохранилища. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. 68 с.
16. Карнаухова Г.А. Литолого-геохимическая дифференциация донных отложений водохранилищ Ангарского каскада // Геохимия. 2007. № 4. С. 439–449.
17. Карнаухова Г.А. Минералогические особенности седиментогенеза в Ангарских водохранилищах // ДАН. 2007. Т. 417. № 6. С. 828–829.

ФГБУН ИЗК СО РАН, Иркутск

Поступила в редакцию
25.01.2012

FORMATION OF THE BOTTOM SEDIMENTS IN ANGARA RESERVOIRS COASTAL ZONE

G.A. KARNAUKHOVA, T.M. SKOVITINA

Summary

It is shown that accumulation of sediments and formation of the coastal banks on the Angara reservoirs occur in the areas of predominant abrasion shores. Abrasion produces more than 200 Mt/y of loose sediments, 40% to 90% of which participates in formation of coastal banks occupying only 1% of the reservoirs' area. Granulometric composition, mineralogical and geochemical characteristics of the coastal banks sediments correlate with the abrasion shores rock composition.

УДК 551.435.1:551.4.012

© 2013 г. Е.А. ЛЬВОВСКАЯ, Р.С. ЧАЛОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВОДНОСТИ РЕК¹

Введение (постановка задачи)

Основным активным фактором русловых процессов является сток воды. Его изменения определяют соответствующие изменения морфометрических характеристик русла, его морфологических параметров, направленность и интенсивность переформирования. Речной сток, в свою очередь, зависит от климатических условий, которые обуславливают чередование во времени маловодных и многоводных периодов различной продолжительности – от 10–15-летних до столетий, а также увеличение/уменьшение водоносности рек и трансформацию их водного режима при глобальных изменениях природных условий и климата. С другой стороны, он определяется стоком наносов, который зависит не только от литологического строения бассейна и

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 12-05-00348) и программы президента РФ для поддержки ведущих научных школ (проект НШ-79.2012.5).