

УДК 556.557

Особенности накопления и свойства иловых отложений на участках распространения гипсовых берегов Камского водохранилища*

Н.Н. Назаров

Пермский государственный университет

Введение. В последние годы в связи с повышением интереса со стороны экологов и природоохранных ведомств к водохранилищам особое внимание при их изучении стало уделяться тонкодисперсным иловым отложениям – наиболее активным участникам обмена веществом и энергией между твердым субстратом ложа водоема и водными массами. Анализ публикаций, посвященных наносам искусственных водоемов, показывает, что пока нет однозначных ответов на вопросы о пространственно-временных закономерностях концентрации илов в водоемах.

Актуальность решения проблемы сегодня увеличивается и в связи с изменением взгляда у большинства современных исследователей водохранилищ на продолжительность периода активного переформирования берегов [4]. На некоторых участках водохранилищ по истечении полувека их функционирования поступление автохтонного минерального вещества в акваторию не только не сократилось, но и выросло. В результате размыва поверхностей пологонаклонных подводных береговых склонов (прибрежных отмелей), до этого относившихся к элементам «нейтральных» берегов, происходило формирование абразионного уступа, с предшествующей этому сначала трансформацией (деградацией) затопленных почв, а затем их удалении со всей поверхности прибрежной отмели. В результате отмель из элемента берегового склона, пассивного в отношении образования минеральных взвесей, постепенно превращалась в активного поставщика. Все больше появляется аргументов в пользу наметившейся в последние годы тенденции увеличения скорости осадконакопления в акваториях искусственных водоемов по сравнению с предшествующим периодом их развития [5].

Особый интерес при изучении осадконакопления в камских водоемах вызывают нижний (приплотинный) район Камского водохранилища, Чусовской и Сылвинский заливы. Основным отличием этих районов от других является особый набор геолого-геоморфологических условий береговой зоны. Здесь широкое распространение получили берега, сложенные хорошо растворимыми породами – гипсами иренского горизонта кунгурского яруса, стратиграфически соответствующими трем верхним гипсовым пачкам: луневской, демидковской и шалашнинской.

Переформирование берегов. По последним данным [3] общая протяженность гипсовых берегов Камского водохранилища составляет 116

© Н.Н. Назаров, 2008

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 06-05-64213).

км, или около 9,8 % от его периметра. Мощные толщи сульфатных отложений, как правило, приурочены к вогнутостям макроизлучин речных долин, встречаясь попеременно на правом и левом берегах водоема. Около половины протяженности склонов, сложенных гипсом и ангидритом, локализуется в долине р. Чусовой. Другая их часть примерно поровну распределяется в долинах рек Камы и Сылвы.

Своеобразие условий и процессов переформирования гипсовых берегов определяется, прежде всего, морфолого-морфометрическими характеристиками склонов – значительной высотой (до 60 м) и крутизной (до 90°), а также практически полным отсутствием прибрежных отмелей [7]. Основными процессами, моделирующими надводную и подводную часть берегового склона (ПБС), являются карст и абразия. Деятельность других процессов, определяющих общую направленность морфолитогенеза береговой зоны и прилегающей к ней части глубоководной зоны акватории: оползнеобразование, аккумуляция наносов, выветривание для гипсовых берегов является второстепенной, хотя на отдельных небольших по протяженности участках может стать ведущей.

Абразионно-карстовый тип переформирования гипсовых берегов является главным и наиболее распространенным типом их экзодинамической моделировки. Специфической особенностью переформирования таких берегов является взаимодействие процессов выщелачивания и механического ветроволнового воздействия на горные породы. Наибольшим распространением среди карстовых форм в приурезовой зоне пользуются ниши выщелачивания. В результате подрезки склона и достижения неустойчивого состояния гипсовый склон обычно разрушается обвалами глыб или отседаниями крупных блоков (рис. 1).

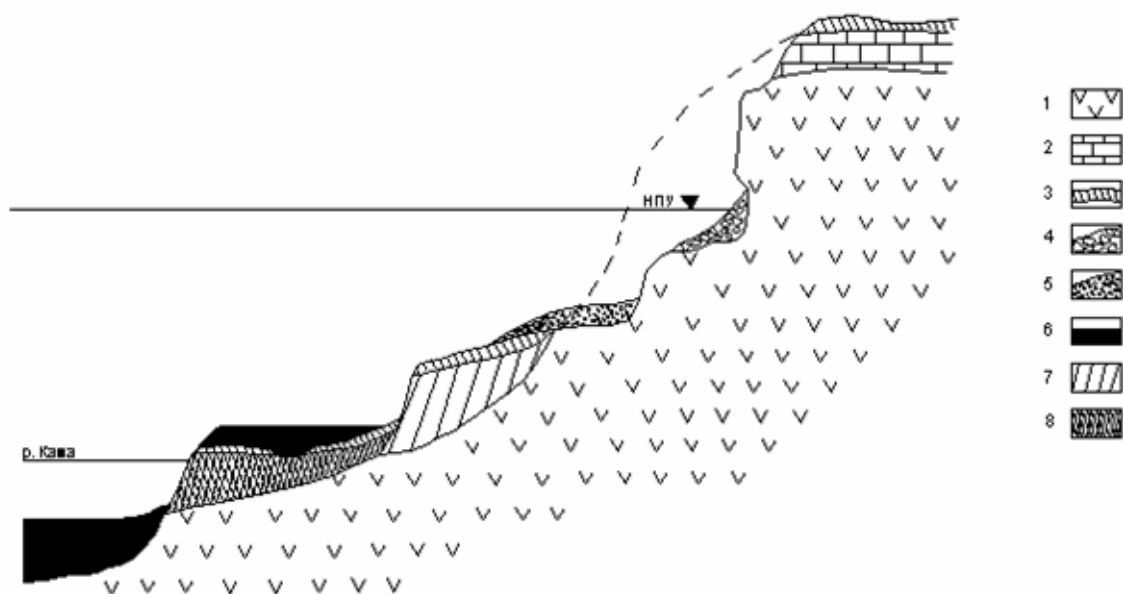


Рис. 1. Принципиальная схема переформирования гипсовых берегов и накопления илов в нижней зоне Камского водохранилища: 1 – гипсы, ангидриты; 2 – известняки,

доломиты; 3 – почвы, в т.ч. деградированные; 4 – крупнообломочный материал;
5 – обломки (щебень, древесина) нерастворимых горных пород; 6 – илы;
7 – нерасчлененный комплекс отложений первой надпойменной террасы;
8 – нерасчлененный комплекс отложений поймы

При современных условиях переформирования берегов обнаженный гипсовый береговой уступ обычно имеет почти отвесную крутизну и наибольшую среди всех других типов высоту (до 60 м). В данных обстоятельствах даже незначительной линейной величине отступления берега соответствуют большие объемы обрушенных пород. Средняя скорость разрушения береговых уступов в гипсах в последние годы составляет 0,3 м/год, а объем перемещенной породы – 2,8 м³/м пог. год. Максимальные же величины значений этих показателей составляют соответственно 4,2 м/год и 39,9 м³/м пог.год [3]. Для сравнения: в первые десятилетия функционирования водоема средние значения этих показателей по данным И.А. Печеркина [7] составляли 2,2 м/год и 38 м³/м пог.год. Такие большие различия в активности разрушения берега в прошлом и настоящем можно отнести за счет выположенности и большей расчлененности берега на начальной стадии их переформирования, а также выветрелости и повышенной трещиноватости горных пород первичных склонов.

Обследования прибрежной зоны при низких уровнях в ранневесенний период, показали, что в настоящее время, также как и в первые десятилетия, в непосредственной близости от подошвы уступа (клифа, ниши) глубины при НПУ составляют 2–3 м и более. Крутизна самого нижнего элемента ПБС, морфологически представляющая собой свал глубин, составляет 35–40°. Рудиментарные образования собственно прибрежных отмелей вдоль гипсовых берегов (самый верхний наиболее пологий элемент ПБС) имеют среднюю ширину всего 6–8 м.

Внутренняя (приурезовая) пологонаклонная часть ПБС обычно сложена крупнообломочным материалом (рис. 2), который уже через несколько метров в направлении ее внешней границы довольно быстро измельчается.



Рис. 2. Обнажившаяся подводная часть берегового склона (зона осушки)
В непосредственной близости от крутого перегиба ПБС преобладающими грунтами выступают сначала щебень, а еще ближе к перегибу дресва из местных слаборастворимых пород. При сравнительно близком нахождении источников наносов из аллювиальных отложений (до 6–8 км) на самом верхнем элементе ПБС иногда встречаются временные накопления песка небольшой мощности (до 20 см) в виде полос шириной 1–3 м.

Собственно свал глубин обычно бывает представлен скоплениями мелкообломочного материала или обнажениями коренных пород со следами поверхностного выщелачивания (каррами). Сопоставление морфолого-морфометрических характеристик подводных склонов гипсовых берегов за разные периоды их развития показывает, что активность «бокового» выщелачивания крутосклонных элементов ПБС, в результате которого происходит направленное уменьшение ширины абразионной части отмели, соизмерима со скоростью переработки надводной части берегового склона (уступа).

В редких случаях перекрытия гипсов соликамскими плитчатыми карбонатно-терригенными породами обычно наблюдается избыток обломочного нерастворимого материала. При возрастании мощности соликамских «плитняков» (до 50 % и более высоты абразионного уступа) обломки гипсов растворяются, а плитчатый карбонатно-терригенный материал расходуется на формирование абразионной отмели.

Аналогично берегам, сложенным рыхлыми отложениями, волновые процессы у гипсовых берегов также образуют вдольбереговую перенос наносов, в результате которого в местах огибания потоком береговых выступов или искусственных преград формируются небольшие

аккумулятивные тела. Последние обычно представлены мелкой (до 5–7 мм) дресвой, состоящей в основном из обломков карбонатных пород.

В отличие от других типов берегов, для которых ширина акватории или принадлежность к участкам побережий с ограниченным воздействием волн (заостровные участки, заливы, узости) являются лимитирующими факторами скорости абразионного разрушения, гипсовые берега характеризуются достаточно высокой активностью переработки и на участках берегов, находящихся в волновой тени. Даже у берегов, расположенных в глубоких заливах, где *механическое* воздействие волнового прибоя незначительно, обычно не наблюдается большого снижения геодинамических показателей.

В переформировании гипсовых берегов ведущую роль играет *химическая* абразия (по терминологии некоторых исследователей *химическая псевдоабразия* – Н.Н.). Поступление с волновым прибоем агрессивных слабоминерализованных вод увеличивает интенсивность растворения в ней гипсов. Энергия волнения, обуславливающая объем и скорость поступления в прибрежную зону растворяющих агрессивных вод и вынос «отработанных» вод, обогащенных сульфат-ионом, способствует их перемешиванию и разбавлению сульфатной минерализации, что в конечном итоге повышает растворяющую способность вод. Гидрохимические опробования поверхностных вод в местах распространения гипсовых берегов показали, что уже на удалении в 100 м от берега концентрация сульфат-иона в них снижается в 1,8–2 раза.

Абразионно-оползневой тип переформирования закарстованных берегов на Камском водохранилище встречается сравнительно редко. Одиночные оползневые массивы и отдельные оползни в настоящее время фиксируются на обоих берегах Камского, Чусовского и Сылвинского плесов. На данных участках иренские гипсы почти всегда пронизаны густой сетью глинистых прослоек и перекрыты соликамскими плитчатыми карбонатно-терригенными породами: преимущественно мергелями, реже известняками, доломитами и песчаниками. Иногда на них залегают песчано-гравийно-галечные (еще выше суглинистые) аллювиальные фации третьей надпойменной террасы (Чусовской залив).

На всех участках, где фиксируются оползни, непосредственное абразионное воздействие испытывают гипсы. Факторы химического и отчасти механического воздействия на них абразии совершенно аналогичны описанным для берегов, развивающимся по абразионно-карстовому типу.

Состав и особенности формирования береговых наносов. Как уже отмечалось выше, в литологическом отношении гипсовые берега не представляют собой однородного образования. В том или ином качестве и количестве в них кроме гипса присутствуют слабо или частично растворимые породы: известняки, доломиты, мергели, песчаники, слагающие ниже или выше лежащие относительно гипсов другие пачки иренского горизонта: туйскую, елкинскую, неволинскую или иногда перекрывающий их соликамский горизонт. Загипсованность этих пород в виде мелких

включений, кристаллов, цемента или заполнителя трещин может достигать 15,9–35,2 % [2].

В качестве нерастворимого остатка, составляющего основную часть наносов, переносимых в глубокие части водоема в результате продольного или поперечного переносов, выступают глинистые продукты (каллоидные вещества) переменного состава.

Количество нерастворимого материала, поступающего в водоем в результате постепенного разрушения исходных обломков пород из «зоны обвала», составляет около 5 % для известняков и 25–50 % для мергелей [8]. Процессы расцементирования полимиктовых песчаников и алевролитов, активно протекающие в пределах все зоны осушки со скоростью 10–15 см/год, также ведут к их разрушению и вовлечению в осадконакопление [7].

Изучение обнажений, которые сегодня характеризуют состав пород, подвергающихся переработке в пределах гипсовых берегов, показало, что в подавляющем большинстве случаев они на 90–95 % представлены растворимыми породами (гипсами, известняками, доломитами).

Исходя из материалов наблюдений за переработкой берегов разных типов и геологического строения [3,4], можно сделать вывод, что в настоящее время количество наносов, поступающих в прибрежную и глубоководную зоны акватории с одного погонного метра гипсового берега, в десятки и сотни раз меньше чем у абразионных берегов, представленных суглинками, песками или верхнепермскими красноцветами.

Распределение и мощность иловых отложений. Изучение характера распространения илов в акватории Камского водохранилища показало наличие зависимости между их размещением и уровенным режимом. Для ложа нижней (приплотинной) зоны водоема стопроцентное заполнение илами характерно лишь для его самой глубокой части – затопленного речного русла. По данным опробываний донных грунтов, проведенных в 2005–2007 гг., установлено, что мощность вторичных отложений здесь везде превышает 1 м. Подобные значения были зафиксированы на всем протяжении русла, начиная от устьев рр. Иньвы и Косьвы (средний район) до Пермского гидроузла. Снижения мощности илов (менее 1 м) не было отмечено и в районе распространения гипсовых берегов (Полазна, Демидково, Заозерье).

Важной особенностью формирования илов в водоеме за пределами старого русла является пространственная дифференциация их мощности. Установлено, что толщина слоя илов на затопленной пойме и надпойменных террасах контролируется глубиной водоема. В период самых низких отметок уровней (5–7 м ниже НПУ) в безледоставное время – поздней осенью (октябрь) и ранней весной (апрель–май) в результате волнения и деятельности других процессов (воздействие льда, ветра, линейной эрозии) из зоны осушки, нижележащих частей ПБС и смежных с ними участков ложа осуществляется удаление глинистых частиц, алевролитов, мелкого песка с последующим их переотложением в глубоководную часть водоема.

По результатам опробываний донных отложений, проведенных со льда в середине апреля в районе дачного участка «Демидково», глубины, на которых были зафиксированы первые илы, составили около 10–12 м (все значения глубин здесь и ниже представлены в пересчете от отметки НПУ). На глубине 12,5 м на одной из точек профиля мощность ила составила 18 см. В 50 м от нее ближе к руслу на глубине 15 м толщина ила была 40 см (рис. 3).



Рис. 3. Первичные грунты (почва) и колонка ила с глубины 15 м (Демидково)
Дальнейшее повышение мощности иловых отложений происходило последовательно с увеличением глубин. В районе бровки бывшего русла она достигла значений более 1 м и не изменялась до противоположного склона русла.

Более высокие значения мощности илов по сравнению со средними (характерными) величинами для фиксированных глубин отмечаются в «ловушках» наносов, в качестве которых выступают бывшие озера, карстовые воронки, русла притоков и другие природные и искусственные понижения на поверхности поймы или первой надпойменной террасы. В приустьевой части старого русла р. Полазны, на глубине около 13,5 м была отобрана колонка донного грунта с мощностью ила около 80 см (рис. 4).



Рис. 4. Первичные грунты (почва) и колонка ила с глубины 13,5 м (Полазна)

Приведенные примеры говорят о довольно высокой скорости накопления иловых отложений на участках распространения гипсовых берегов в приплотинной зоне водоема. В русловой части ложа водохранилища, ширина которой здесь составляет около 500–600 м, а глубины достигают 18–22 м, она превышает 2 см/год. Ближе к берегу скорость накопления ила постепенно уменьшается, а на глубинах около 10–12 м имеет уже практически нулевые значения.

Характеристика иловых отложений. Изучение иловых отложений включало в себя определение механического состава, содержание органического вещества и микроэлементов. В результате анализа 9 проб было установлено, что наибольшая массовая доля в донных отложениях приходится на фракции, сложенные частицами диаметром 0,05–0,01 мм и менее 0,001 мм (табл. 1). Подобное распределение фракций свидетельствует о значительной неоднородности гранулометрического состава донных отложений. Слабая сортированность илов вообще характерна для большинства крупных водоемов с регулируемым стоком, в которых постоянные изменения условий седиментации взвешенного вещества обусловлены внутригодовыми колебаниями уровней [1].

Таблица 1

Средние значения микроагрегатного состава илов на участках распространения гипсовых берегов (опробования 2005–2007 гг.), %

Фракций, мм									
3-1	1-0.5	0.5-0.25	0.25-0.05	0.05-0.01	0.01-0.005	0.005-0.001	<0.001	<0.01	>0.01
0,1	1,2	0,8	2,8	43,5	1,7	7,8	42,1	51,9	48,1

Рассматриваемая нами зона является наиболее подчиненной частью акватории Камского водохранилища и, как следствие, конечным звеном процесса переноса и седиментации взвешенного вещества, что обуславливает характер поступающего в нижнюю зону грунтообразующего материала. В качестве основных источников материала выступают наносы, поступившие с водосбора (сток наносов рек Камы, Иньвы, Косьвы, Обвы), и взвесь, образовавшаяся в результате переработки берегов, главным образом в средней (озеровидной) части водохранилища. Доля материала, поступающего в водоем в результате переработки местных берегов, по-видимому, крайне незначительна. Из расположенных выше районов со стоковыми течениями сюда поступают главным образом тонкодисперсные частицы, которые осаждаются лишь в глубоководье на участках с малой гидродинамической активностью.

Отличительной чертой гранулометрического состава иловых отложений является достаточно высокое содержание мелкопелитовой фракции (< 0,001 мм), достигающее в среднем 42,1 % от всей массы наносов.

Сравнительный анализ микроэлементного состава илов нижнего и среднего районов водохранилища показал определенную схожесть их концентраций по многим из 26 определяемых элементов (микроэлементный валовый состав донного грунта определялся методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрографе ДФС-1 путем сжигания пробы в кратере угольного электрода и просыпке с приставкой «Полнос»). В то же время зафиксировано устойчивое снижение концентраций Mn, Sc, Cu, Ag и некоторых других элементов. Если для участка водоема, расположенного в средней зоне (Пожва, Кыласово, Чермоз, Висим, Усть-Гаревая), средняя концентрация Mn (в целом по колонке керна) в илах составляла 2468 мг/кг, Sc – 16,3, Cu – 94,6, Ag – 0,37, то в нижней зоне на участках распространения гипсовых берегов она уменьшалась соответственно до 994,0 (в 2,5 раза), 9,8 (1,7), 55,0 (1,7) и 0,11 мг/кг (3,4) (табл. 2). Снижение содержания большинства металлов одновременно с уменьшением концентрации марганца (соосаждение металлов с гидроокислами Mn) показывает, что он является основным «поставщиком» металлов в донные отложения водохранилища.

Таблица 2

Валовое содержание химических элементов в илах Камского водохранилища на участке распространения гипсовых берегов, мг/кг

Химические элементы	Участок отбора проб илов					
	«Демидково» глубина 12,5 м		«Демидково» глубина 15 м		«Полазна» глубина 13,5 м	
	2	1	3	1	3	

Ni	77,00	87,00	81,90	71,00	80,00
Co	38,50	34,80	27,30	28,40	32,00
Cr	154,00	174,00	163,80	142,00	120,00
Mn	1155,00	17,40	637,00	639,00	800,00
V	231,00	174,00	182,00	213,00	160,00
Ti	4625,00	5220,00	5460,00	3550,00	4800,00
Sc	7,70	8,70	13,65	7,10	12,00
P	1540,00	1740,00	910,00	1420,00	1600,00
Ge	1,16	1,31	0,00	1,07	1,20
Cu	53,90	60,90	54,60	49,70	56,00
Zn	138,60	130,50	81,90	106,50	144,00
Pb	30,80	26,10	27,30	21,30	32,00
Ag	0,12	0,10	0,09	0,11	0,14
Sb	23,10	26,10	27,30	21,30	32,00
Bi	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mo	1,16	1,57	1,37	1,06	1,44
Ba	462,00	522,00	637,00	355,00	400,00
Sr	154,00	261,00	364,00	355,00	400,00
Sn	3,08	3,48	3,64	2,13	3,20
Be	2,31	3,48	3,64	3,55	3,20
Zr	138,60	130,50	273,00	142,00	144,00
Ga	13,86	13,92	16,38	10,65	14,40
Y	38,50	43,50	54,60	35,50	40,00
Yb	3,85	4,35	6,37	3,55	4,00
La	11,55	13,05	13,65	7,10	12,00
Nb	15,40	13,05	18,20	10,65	14,40
Зольность, %	76,98	87,17	91,03	70,63	80,20

Примечание: 1 – верхняя часть колонки илов (верхние 1–10 см); 2 – средняя часть; 3 – нижняя часть колонки илов (нижние 1–10 см)

Главной причиной снижения концентраций металлов в илах на участке распространения гипсовых берегов служит общее уменьшение количества взвешенных наносов (концентрации взвеси), что ведет не только к снижению скорости седиментации в этой части акватории (местные берега практически не участвуют в «строительстве» илов), но и к уменьшению сорбционного потенциала водных масс.

По результатам анализа верхние горизонты илов характеризуются наибольшими концентрациями марганца, содержание которого постепенно снижается вглубь колонки донного грунта. Объяснением данному факту служат свойства данного элемента, который чувствителен к окислительно-восстановительным условиям и в глеевой обстановке обладает большой подвижностью, переходя в раствор поровых вод [6]. В результате происходит увеличение градиента концентрации между верхним окислительным и нижним восстановительным слоями донных отложений, что в конечном итоге приводит к диффузии ионов марганца в верхний слой. Здесь на кислородном барьере, теряя свою подвижность, он активно выпадает в осадок.

Заключение. Отличные от других участков Камского водохранилища свойства и особенности илонакопления в местах распространения гипсовых берегов обусловлены рядом факторов, среди которых ведущую роль играет тип переформирования берегов. Химическая абразия (химическая псевдоабразия) является главным агентом разрушения берегов. Частично и слабо растворимые породы, перекрывающие гипсы на некоторых участках берега, поставляют ограниченное количество материала, участвующего в формировании илов.

Важной особенностью образования илов является пространственная дифференциация их мощности. Максимальная толщина слоя вторичных отложений (более 1 м) характерна для русловой части ложа водоема, где глубины достигают 18–22 м и более. На затопленной пойме и надпойменных террасах мощность илов в направлении берега постепенно уменьшается и достигает нулевых значений на глубинах около 10–12 м.

Наибольшее содержание в иловых отложениях приходится на две фракции – 0,05–0,01 мм и менее 0,001 мм. Средние значения их суммарной доли превышают 85 %. Слабая сортированность донных отложений обусловлена внутригодовыми колебаниями уровней, которые ведут к сезонной дифференциации дисперсности наносов, участвующих в формировании состава илов.

Основными путями аккумуляции тяжелых металлов в донных отложениях служат седиментация в адсорбированном виде на гидроокислах марганца и глинистых частицах. Содержание металлов в донных отложениях водохранилища контролируется объемом и дисперсностью осадков. Основной причиной снижения концентраций металлов в илах на участке распространения гипсовых берегов по сравнению с другими участками водоема является общее уменьшение количества взвешенных наносов.

Библиографический список

1. *Денисова А.И.* Донные отложения водохранилищ и их влияние на качество воды / А.И. Денисова, Е.П. Нахшина, Б.И. Новиков, А.К. Рябов. Киев: Наукова думка, 1987. 164 с.

2. *Максимович Н.Г.* Безопасность плотин на растворимых породах (на примере Камской ГЭС) / Н.Г. Максимович. Пермь: ПС «Гармония», 2006. 212 с.

3. *Назаров Н.Н.* Карстовые берега Камского водохранилища: распространение, интенсивность переработки, классификация / Н.Н. Назаров // Карстоведение XXI век: теоретическое и практическое значение. Пермь, 2004. С. 122–130.

4. *Назаров Н.Н.* Переработка берегов равнинных водохранилищ России на современной стадии развития (конец XX в. - начало XXI в.) / Н.Н. Назаров // География и природные ресурсы. 2006. № 4. С.12–19.

5. *Назаров Н.Н.* Пространственно-временная дифференциация иловых отложений Воткинского водохранилища / Н.Н. Назаров, А.В. Сунцов //

Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Пермь, 2007. Т. 1. С. 159–163.

6. *Перельман А.И.* Очерки геохимии ландшафта / А.И. Перельман. М.: Гос. изд-во геогр. литературы, 1955. 392 с.

7. *Печеркин И.А.* Геодинамика побережий камских водохранилищ / И.А. Печеркин. Пермь, 1969. Т.2. 308 с.

8. *Рыжиков Д.В.* О выветривании известняков / Д.В. Рыжиков // Тр. горно-геолог. ин-та УФАН СССР. 1959. Вып. 43. С. 24-37.