

ИЗМЕНЕНИЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВЫГОЗЕРА В РЕЗУЛЬТАТЕ МНОГОФАКТОРНОГО АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Приводятся ретроспективные и новые данные о литологическом, гранулометрическом и химическом составе донных отложений озера Выгозеро. Изучаемый водоем пребывал в естественном состоянии до 1933 года, став в результате антропогенного преобразования водохранилищем. Авторами выявлены гранулометрические фракции, являющиеся индикаторами смен условий осадконакопления, оценена ориентировочная скорость седиментации в водоеме в современное время и в доиндустриальную эпоху. Установлено содержание главных элементов и микроэлементов в верхних слоях донных отложений, что позволило подтвердить результаты гранулометрического анализа, а также проиллюстрировать современное влияние ЦБК города Сегежа на изучаемый водный объект. Выявлены элементы – индикаторы дальнего переноса загрязнителей на экосистему Выгозерского водохранилища.

Ключевые слова:

антропогенная трансформация, Выгозеро, водохранилище, гранулометрический состав, донные отложения, Республика Карелия, тяжелые металлы, ЦБК.

Потахин М.С., Белкина Н.А., Слуковский З.И., Новицкий Д.Г., Морозова И.В. Изменение донных отложений Выгозера в результате многофакторного антропогенного воздействия // Общество. Среда. Развитие. – 2018, № 3. – С. 107–117.

© Потахин Максим Сергеевич – кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск; e-mail: mpotakhin@mail.ru

© Белкина Наталья Александровна – кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск; e-mail: bel110863@mail.ru

© Слуковский Захар Иванович – кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск; e-mail: slukovsky87@gmail.com

© Новицкий Дмитрий Георгиевич – старший лаборант-исследователь, Институт геологии КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск; e-mail: mpotakhin@mail.ru

© Морозова Ирина Валерьевна – младший научный сотрудник, Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», Петрозаводск; e-mail: mpotakhin@mail.ru

Выгозеро является одним из крупнейших озер-водохранилищ бассейна Белого моря и относится к водосбору р. Нижний Выг (рис. 1). В естественном состоянии озеро существовало до начала 1930-х гг., при среднем уровне 82,7 м БС площадь его водной поверхности достигала 561 км² [19]. В процессе хозяйственного освоения Выгозеро дважды претерпело кардинальные изменения [16]. Первое преобразование связано со строительством Беломорско-Балтийского канала (ББК) и созданием Выгозерского вдхр. (1933 г.). В результате сооружения Надвоицкой регулирующей плотины уровень водоема был поднят на 6 м, его площадь увеличилась более чем в два раза (табл. 1), и Выгозеро стало частью ББК. Вторая трансформация связана с гидроэнергетическим освоением бассейна р. Выг и созданием Выгозерско-Ондского вдхр. (1957 г.). После строительства саморегулирующегося Майгубского канала с изменяющимся направлением течения, был соединен верхний бьеф Ондской ГЭС и Выгозерское вдхр. В результате этого в период весеннего половодья избытки ондских вод стали поступать в Выгозеро и аккумулироваться в нем, а в маловодный период воды из Выгозера стали подаваться на Ондскую ГЭС [10].

Превращение Выгозера в водохранилище сказалось на строении котловины водоема и его гидрологическом режиме: изменились морфометрические характеристики, увеличилась аккумулирующая способность, уменьшился водообмен, трансформировался внутригодовой ход уровня воды и т.д. [16]. Изменения морфо-гидрологических особенностей озера, а также влияние сточных вод Сегежского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК), действующего с 1938 г., отразилось на всех компонентах экосистемы водоема [15], в том числе и на донных отложениях как на конечном звене озерного накопления. Целью данного исследования является изучение трансформации донных отложений Выгозера в результате многофакторного антропогенного воздействия (создание водохранилища, деятельность ЦБК и др.).

Донные отложения озер представляют собой архивы природных событий, происходящих непосредственно в водоемах и на их водосборах [30; 34; 35 и др.]. В ряде случаев их можно рассматривать их как маркеры процессов носящих глобальный характер [31]. В настоящее время, в связи с повсеместным вовлечением компонентов природной среды в хозяйственную

деятельность, донные осадки выступают индикаторами антропогенных преобразований [6; 11; 14 и др.]. Поэтому исследование антропогенной трансформации донных отложений, в частности, изменения седиментационного режима озер в результате создания водохранилищ, весьма актуально.

Для познания процессов осадкообразования водоемов сочетают изучение поверхностного слоя и колонок донных отложений [32]. Поверхностные пробы дают представление о распределении типов донных отложений и отражают различия осадконакопления в отдельных частях водоема. Колонки характеризуют мощности слоя осадков различного типа, их текстуру, стратиграфию и отражают смену седиментационного режима. Сопряженное исследование поверхностных проб и колонок донных отложений весьма актуально для больших озер, так и для водоемов, испытавших смену гидрологического режима вследствие природных изменений и/или антропогенных преобразований.

Начало комплексного изучения Выгозера приходится на 1920-е гг., когда в ходе работы Олонецкой научной экспедиции были получены и первые сведения о грунтах озера [28]. Первое описание донных отложений водоема после создания водохранилища было дано сотрудниками Северного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства [19]. Большая работа по изучению донных отложений Выгозерского вдхр. была проведена отделом гидрологии Карельского филиала АН СССР в 1960–80 гг. В частности, осуществлялось картирование грунтов, изучались стратификация, механический и химический состав донных отложений, оп-

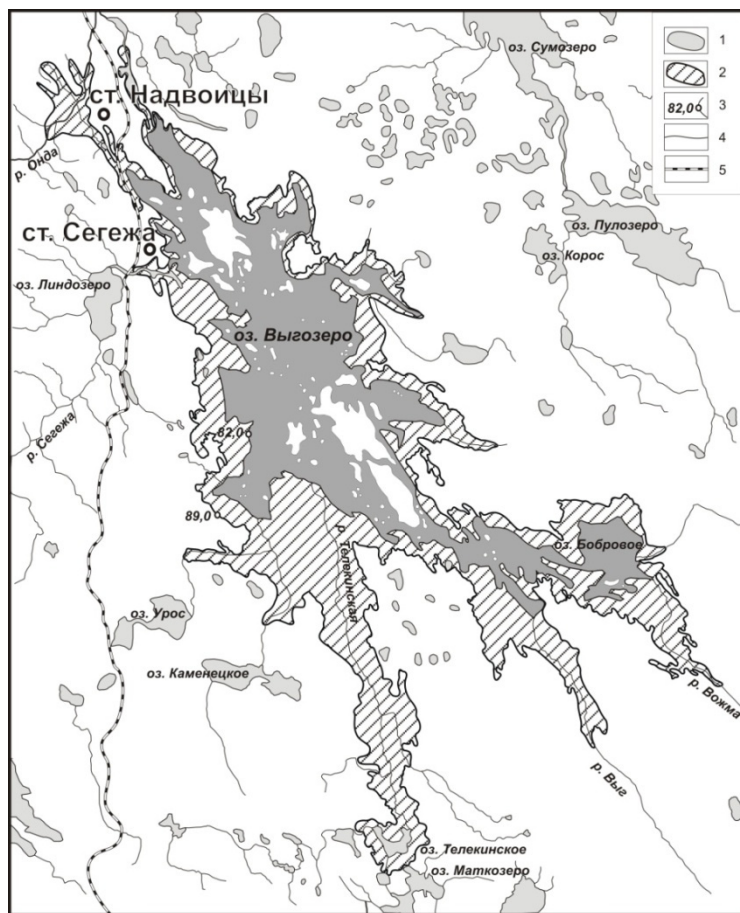


Рис. 1. Реконструкция береговой линии Выгозера по состоянию на 1930 г. [15]: 1 – границы Выгозера до поднятия уровня, 2 – современные очертания Выгозерско-Ондского вдхр., 3 – отметки уровня (м БС), 4 – реки, 5 – железная дорога.

Таблица 1

Основные морфометрические характеристики Выгозера в различные периоды эксплуатации [16]

Название водоема	оз. Выгозеро	Выгозерское вдхр.	Выгозерско-Ондское вдхр.
Период	до 1932 г.	1934–1955 гг.	1957–1974 гг.
Средний уровень, м БС	82,7	88,8	89,1
Площадь зеркала, км ²	561	1196	1270
Глубина, м	средняя	6,1	7,1
	наибольшая	18,0	25,0
Объем, км ³	3,4	8,7	9,1

ределялась интенсивность процессов осадконакопления [7; 22 и др.]. В 1990–2000 гг. Институтом водных проблем Севера (ИВПС) КарНЦ РАН в рамках программы мониторинга водных объектов Карелии изучался химический состав поверхностного слоя донных осадков Выгозерского вдхр. [3; 15; 20; 27; 29 и др.].

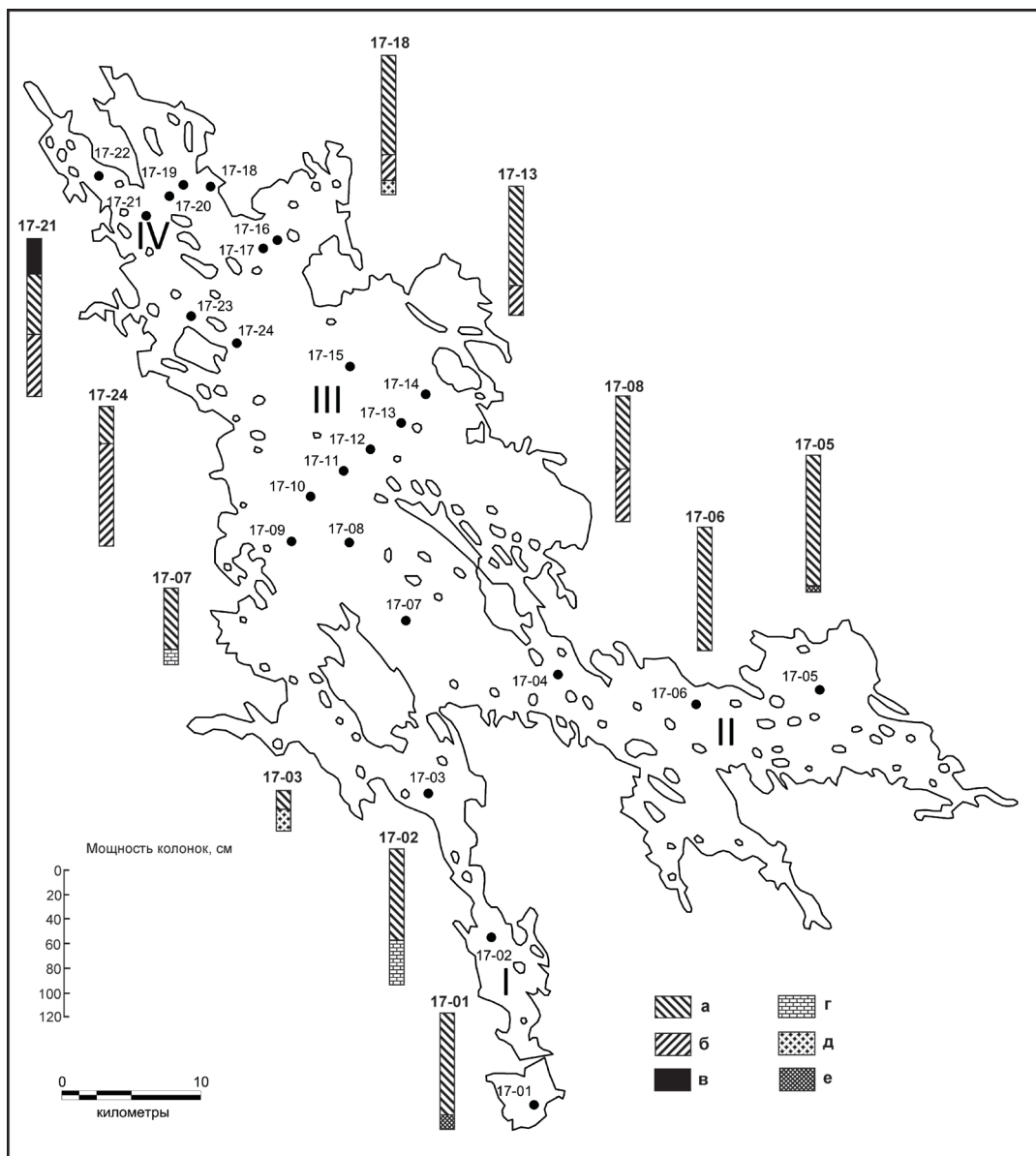


Рис. 2. Станции отбора проб и стратификация донных отложений и районы Выгозерского вдхр. Станции обозначены арабскими цифрами; районы: I – южный, II – юго-восточный, III – центральный, IV – северный). Тип грунта: а – бурый ил; б – зеленый ил (темно-зеленый, серо-зеленый); в – черный ил; г – торфянистые отложения; д – песок; е – глина.

Материалы и методы исследования

Летом 2017 года экспедицией ИВПС КарНЦ РАН были отобраны пробы донных отложений на 24 станциях, расположенных в различных районах Выгозерского вдхр. (рис. 2) [23]. Районы выделены в соответствии с морфологией котловины водоема и динамикой его вод [3; 15]. Южный район – озерно-речные системы, вошедшие в состав водохранилища в результате затопления (станции 17-01, 17-02, 17-03); юго-восточ-

ный – затопленные устьевые участки рек Верхний Выг и Вожма, озеро Бобровое (станции 17-04, 17-05, 17-06); центральный – глубоководная часть, дно Выгозера до затопления (станции 17-06, 17-07, 17-08, 17-09, 17-10, 17-11, 17-12, 17-13, 17-14, 17-15); северный – зона влияния реки Сегежи и сточных вод Сегежского ЦБК (станции 17-16, 17-17, 17-18, 17-19, 17-20, 17-21, 17-22, 17-23, 17-24). Отбор поверхностных проб донных осадков проводился дночерпате-

лем Экмана-Берджа, колонок – стратометром Limnos и трубкой ГОИНа. Непосредственно на месте проводилось детальное лито-стратиграфическое описание колонок и их фотофиксация, отбирались образцы на различные виды анализов (гранулометрический, химический, вещественный) для последующих лабораторных исследований.

Лабораторные исследования проводились на базе Аналитического центра Института геологии КарНЦ РАН в лаборатории палеолимнологии ИВПС КарНЦ РАН.

Гранулометрический состав донных отложений определялся при помощи многофункционального анализатора частиц серии LS13 320 (Beckman Coulter). Технические особенности прибора позволяют анализировать частицы размером от 0,04 мкм до 2,0 мм в соответствии со стандартом ISO 13320–1. В связи с тем, что точность определения гранулометрического состава непосредственно зависит от подготовки материала к анализу, выделение навесок включало тщательное усреднение материала методом квартования.

Содержание микроэлементов в пробах донных отложений определяли масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP-MS (Thermo Ficher Scientific). Разложение образцов озерных осадков для ICP-MS-анализа проводили путем кислотного вскрытия в открытой системе. Для анализа использовали аналитические навески образцов массой 0,1 г. Вместе с анализируемыми образцами проводили разложение холостых проб и одного стандартного (контрольного) образца (химический состав донного ила озера Байкал БИЛ-1 – ГСО 7126–94). Подробная методика подготовки проб донных отложений описана здесь [25].

Физические характеристики донных отложений (естественная влажность, пористость, удельная масса), потери при прокаливании и зольность определялись гравиметрическим методом [2].

Полученные в результате экспедиционных и лабораторных исследований данные, наряду с архивными и литературными материалами [1; 3; 7; 15; 19; 20; 22 и др.], были объединены в базу данных «Донные отложения Выгозерского водохранилища» [4] и легли в основу настоящего исследования.

Результаты

Составить первое представление о грунтах Выгозера в естественном состоянии, до превращения его в водохранилище (1920-е гг.), можно по краткому описанию, составленному С.И. Соколовым и Г.Ю. Верещагиным [28]. В нем отмечается, что дно озера заполнено преимущественно

рыхлым илом серо-зеленого цвета. Кроме того, значительное пространство покрыто железной рудой (бобовой, в виде пластинок или толстой корки).

Характеристика донных отложений водоема, после создания водохранилища (1930–1940 гг.), представлена в справочнике «Озера Карелии» [19]. Так, в прибрежной зоне водоема наиболее распространены каменисто-песчаные и каменистые грунты с древесными и торфяными остатками (пни, коряги, обрывки сплавин). На подводных склонах залегают каменисто-песчаные и каменистые грунты, покрытые древесными и травянисто-торфяными остатками. Заиление грунтов начинается с 4–7 м глубины. Глубже 7–9 м располагаются илы темно-коричневого или темно-зеленого цвета, содержащие мелкие растительные остатки. В северных частях водоема иногда в илах встречается железистая руда. Илы занимают около половины площади дна водохранилища.

Более подробное описание донных отложений Выгозерского вдхр. дано Ю.К. Поляковым [22] по результатам работ 1960–70 гг. Наиболее часто встречающимися грунтами водохранилища являются мелкоалевритовые илы бурого, коричневого и темно-зеленого цвета. Они занимают всю центральную (глубоководную) часть водоема, начиная с глубины 9–10 м. Во всех осадках преобладает алевритовая фракция, сортированность средняя, реже плохая. Среди алевритовых илов меньшими участками встречаются тонкоструктурные глинистые илы. В прибрежной (мелководной) зоне распространены крупно- и среднезернистые пески хорошей сортировки. На границе песка и ила, в зоне «смешения», залегают илисто-песчаные отложения, в которых преобладает мелкозернистый песок. В глубоководной части водоема в основании разреза залегает однородная глина серого цвета (в редких случаях песок), сверху эти отложения перекрыты илами, граница между ними четко выражена. Непосредственно на глинах залегают тонкоструктурный глинистые илы серо-зеленого цвета (мощность до 50 см). Над ним располагается илы темно-зеленого цвета аналогичной структуры (мощность 20–40 см). Верхний слой почти повсеместно представлен бурыми (коричневыми) жидкими илами, переходящими с глубиной в более плотные (мощность 20–30 см). На участках дна, затопленных при создании водохранилища, верхняя часть разреза представлена жидкими коричневыми илами (мощность до 30 см), перекрывающимися илы с растительными остатками (типа торф), либо бурыми илами с большим

количеством растительных остатков (мощность до 20 см), подстилаемыми песками.

Схожая картина распределения донных отложений по акватории водохранилища, а также их стратификация, была выявлена в результате экспедиционных исследований 2017 года. Практически во всех колонках донных осадков верхняя часть разреза представлена коричневыми (бурыми) илами мощностью 40–80 см (рис. 3). В глубоководном центральном и северном районе водоема под бурыми илами залегают илы зеленоватых оттенков (темно-зеленые и серо-зеленые), под ними в ряде случаев обнаруживались пески и глины (станции 17-18, 17-22 и др.). На некоторых глубоководных участках (станции 17-04, 17-14 и 17-20) фиксировались отложения железной руды. В мелководных участках южного района под коричневыми илами залегают торфянистые и песчаные грунты (станции 17-02 и 17-03). В глубоководных участках под бурыми илами залегают серые глины (станции 17-01 и 17-05). В западной части северного района водохранилища в верхних слоях донных осадков были зафиксированы черные илы мощностью 20–30 см (станции 17-21, 17-22 и 17-23). Описание ряда разрезов донных отложений Выгозерского вдхр. приводится ниже.

В результате гранулометрического анализа было выявлено, что в серой глине, подстилающей бурые илы на станции 17-01 (рис. 4), преобладают частицы < 0,005 мм (72,7%), остальные частицы отложений относятся к фракции 0,01–0,005 мм (рис. 4а). Отличие гранулометрического и химического состава слоя глины этой станции от состава всех исследованных осадков свидетельствует о том, что она формировалась в условиях позднеледниковья. Согласно палеорекострукциям, освобождение котловины Выгозера ото льда происходило в аллёрде между 14,0 и 13,3 тыс. л.н. [13; 21]. В этот период Выгозеро, наряду с Сегозером, входило в состав Онежского приледникового озера, площадь которого на максимальной стадии развития превышала 32 000 км² [40]. Около 13,3 тыс. л.н. приледниковый водоем получил сток на север, в котловину Белого моря [13], в результате чего произошло резкое падение уровня и изоляция Выгозера. Таким образом, в прогляциальных условиях на дне водоема должны были накапливаться серые ленточные глины, а в постгляциальных – серые алевриты. Так в районе Выгозера известны многочисленные выходы ленточных глин на высотах 90–95 м [5; 18].

Выше слоя глин на станции 17-01 залегают бурые илы (рис. 3), уплотняющиеся книзу. Они содержат 29% органическо-

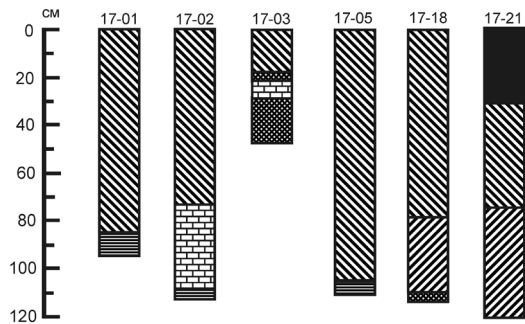


Рис. 3. Литостратиграфия разрезов донных отложений Выгозерского вдхр.

- Станция 17-01 (глубина 10 м)
0–85 см – коричневый уплотняющийся к низу ил;
85–95 см – серая глина.
- Станция 17-02 (глубина 6 м)
0–75 см – коричневый жидкий уплотняющийся к низу ил;
75–110 см – ил с растительными остатками (торф);
110–112 см – серая глина.
- Станция 17-03 (глубина 5 м)
0–18 см – коричневый жидкий ил;
18–20 см – песок;
20–27 см – ил с большим количеством растительных остатков;
27–50 см – песок.
- Станция 17-05 (глубина 13 м)
0–108 см – коричневый плотный ил;
108–111 см – серая глина.
- Станция 17-18 (глубина 13,5 м)
0–80 см – коричневый ил с растительными остатками;
80–95 см – темно-зеленый ил с органикой и песком;
95–107 см – серо-зеленый ил с песком;
107–114 см – серый песок.
- Станция 17-21 (глубина 23,5 м)
0–30 см – черный жидкий ил;
30–75 см – коричневый ил;
75–120 см – серо-зеленый ил.

го вещества (зольность 67%), содержание железа ниже кларковых значений (2,2%), марганца – выше кларка (0,2%). Эти илы накапливались на дне небольшого изолированного озера Телекинского. Оно образовалось в результате регрессии приледникового водоема, а в дальнейшем опять вошло в состав Выгозера в результате повышения уровня и создания водохранилища (рис. 1). Изоляция оз. Телекинского произошла в аллёрде (около 13,3 тыс. л.н.), однако накопление органических илов могло начаться только в голоцене, в пребореале (12,0–10,5 тыс. л.н.) [33]. Таким образом, средняя скорость седиментации для

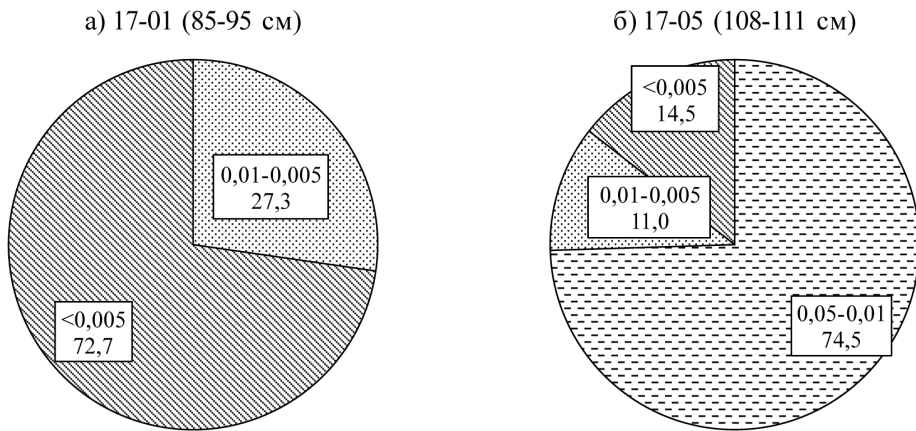


Рис. 4. Гранулометрический состав глины в слое 85–95 см на станции 17–01 (а) и в слое 108–111 см на станции 17–05 (б).

небольшого изолированного озера, оцененная по мощности слоя органического ила, составляет 7–8 мм за 100 лет.

В подстилающей бурый ил серой глине на станции 17–05 преобладает алевритовая фракция отложений 0,05–0,01 мм (74,5%), а остальное приходится на частицы фракций 0,01–0,005 мм и < 0,005 мм (рис. 4б). Это дает основание классифицировать описанный тип отложений как глинистый алеврит. Формирование данного типа осадка, по всей вероятности, проходило в позднем дриасе (13,0–12,0 тыс. л.н.), когда произошла изоляция Выгозера от Онежского приледникового водоема и была утрачена связь последнего с краем ледника. В пробе на контакте с коричневым плотным илом, маркирующим изменение условий седиментации, также преобладают частицы размером 0,05–0,01 мм (49,3%), однако в этом типе отложений практически отсутствуют глинистые частицы, а значения содержаний фракций > 0,05 мм постепенно убывают по мере возрастания крупности частиц до фракции 1,0–0,5% (рис. 5). Данный контакт маркирует переход от условий позднеледниковья к голоцену (около 12 тыс. л.н.), когда началось накопление органических отложений, однако привнос минеральных частиц остался достаточно существенным [33]. Таким образом, средняя скорость седиментации для Выгозера в естественных условиях, оцененная по мощности слоя органического ила, составляет 9 мм за 100 лет. Современные осадки станции 17–05 характеризуются как органические высокогумусные (п.п.п. 44%, удельная масса 0,82 г/см³).

На других станциях периферийных зон Выгозерского вдхр., например, в затопленной долине р. Телекинской (рис. 1), где

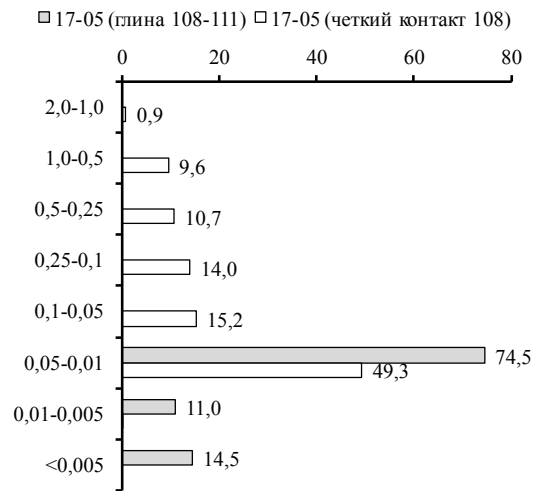


Рис. 5. Гранулометрический состав отложений на глубине 108–111 см на станции 17–05.

илловые отложения залегают на торфянистых отложениях (17–02) и песках (17–03), и в северной части, где наблюдается смена типов илов (17–18), в коричневом иле отмечается значительное содержание фракции 0,05–0,01 мм (от 16% до 26%) (рис. 6). Причем в южной части водохранилища на станциях 17–02 и 17–03 (рис. 3) доля этой фракции достигает максимальных значений из всех исследованных осадков. Необходимо также отметить, что в бурых илах, залегающих в южной части водохранилища, присутствует большое количество неразложившегося детрита (содержание органического вещества составляет 50–60%, концентрации азота и фосфора достигают 0,7 и 0,3%, соответственно). Однако ведущая роль в формировании донных отложений водохранилища отводится частицам более крупного размера (0,25–0,1 мм) (рис. 6). Особенно эти час-

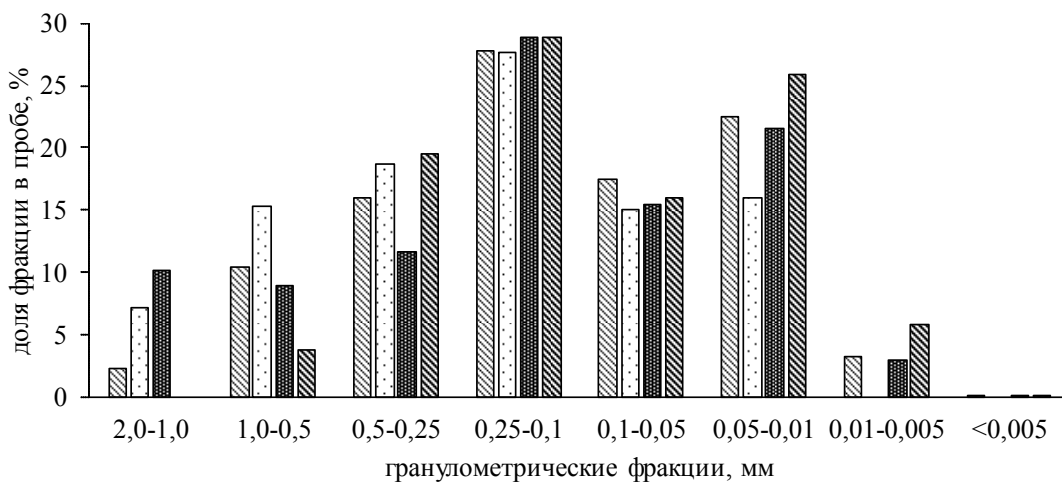


Рис. 6. Гранулометрический состав коричневого ила на станциях 17-02, 17-03 и 17-18 (в скобках указаны слои, см).

тицы преобладают в слоях до от 0 до 30 см, где изменение доли фракции крупных частиц служит хорошим индикатором смены седиментационного режима. Например, на станции 17-18 (рис. 6-8) – темно-зеленый ил с органикой и песком более обогащен частицами крупнее 0,25 мм (зольность 73%, п.п.п. 11%, удельная масса 1,32 г/см³), чем залегающий на нем коричневый ил (зольность 68%, п.п.п. 29%, удельная масса 1,16 г/см³). При этом ниже, в слое 95–107 см, где отмечен серо-зеленый ил с песком картина вновь меняется – значительно снижается представительство фракций > 0,5 мм и увеличивается представительство фракций 0,05–0,01 мм и 0,25–0,1 мм до 32% и 28% соответственно (зольность 80%, п.п.п. 13%, удельная масса 1,26 г/см³). В сером песке, залегающем в основании колонки ниже темно-зеленого ила, преобладает фракция 0,25–0,1 мм, что позволяет классифицировать этот тип отложений как мелкозернистый песок (зольность 96%, п.п.п. 1%, удельная масса 2,11 г/см³). Глинистых частиц во всех типах отложений разреза на станции 17-18 не выявлено. Изменение гранулометрического состава, физических и химических характеристик донных отложений по вертикали колонки является индикатором изменения гидродинамических условий седиментации, указывает на неравномерный характер поступления и перераспределения терригенного материала, поступившего в результате затопления прибрежных территорий в этом районе водоема. Мелкопесчаные отложения с высокой удельной массой, по-видимому, отлагались в период существования озера Выгозера под

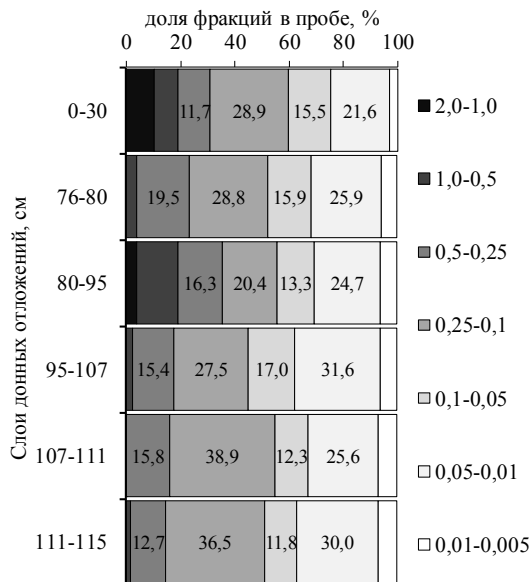


Рис. 7. Распределение гранулометрических фракций разных типов отложений из колонки станции 17-18.

действием естественного стокового течения в русловой части, формировавшейся в этом районе р. Нижний Выг. Повышение уровня водоема привело к размыву песчаных озеро-ледниковых отложений, широко распространенных в северо-восточной части Выгозера [5; 38], а изменение направления стокового течения – к усложнению динамики вод в этой части водоема, что в свою очередь изменило процесс формирования донных отложений. В настоящее время особенностью донных отложений этого района явля-



Рис. 8. Физические характеристики донных отложений станции 17–18.

ется неравномерное накопление в донных отложениях разно-размерного материала и органического вещества. Средняя скорость седиментации для Выгозерского вдхр., оцененная по мощности слоя коричневого ила, доходит до 10 мм за год.

Как уже было описано выше, в верхней части колонки донных отложений станции 17–21 (рис. 3), расположенной в аккумуляционной зоне северного Выгозера, выделяется слой черных илов. Формирование этого слоя связано с введением в эксплуатацию станции биологической очистки и рассеивающего выпуска сточных вод ЦБК, результатом которого явился перенос и накопление мелкодисперсных трансформированных органических взвесей по понижениям дна на пути распространения сточных вод. В гранулометрическом составе черных илов (около 40% органического вещества и 10% железа, удельная масса 1,15 г/см³), преобладающее значение имеют фракции от 0,01 до 0,25 мм (рис. 9). От коричневых илов указанные отложения отличаются крайне малым количеством частиц > 0,5 мм и большим по сравнению с коричневыми илами содержанием фракций 0,1–0,05 мм и 0,05–0,005 мм (рис. 6 и 9).

Детальный разбор колонки отложений мощностью 36 см позволил выявить определенную динамику в накоплении частиц различного размера в черных илах. Так, фракции 0,1–0,05 мм и 0,05–0,01 мм имеют значительный вес в нижней части разреза (слой от 22–35 см) и в верхней части разреза (слой от 0–10 см). В средней части разреза происходит заметное снижение представительства частиц указанных фракций и снижение концентрации органического вещества (рис. 9). С другой стороны, в средней части разреза зафиксировано увеличенное накопление частиц фракций > 0,1 мм.

Корреляция данных гранулометрического анализа образцов из слоя черных

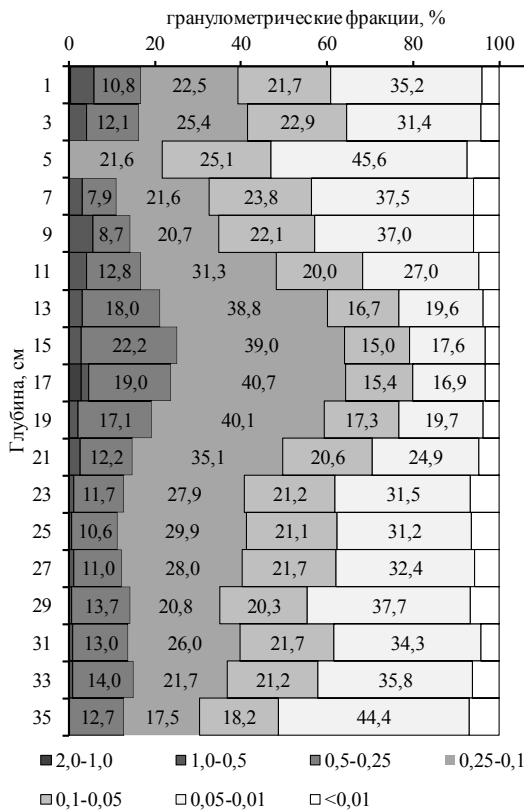


Рис. 9. Вертикальное распределение гранулометрических фракций черного жидкого ила станции 17–21.

илов станции 17–21 с данными содержания макро- и микроэлементов (рис. 10 и 11) позволяет предполагать, что вариации отдельных гранулометрических фракций отложений связаны с активным воздействием техногенного фактора на экосистему водохранилища. Установлено, что начиная со слоя 22–24 см в колонке донных отложений на станции 17–21, синхронно происходит заметное увеличение содержания

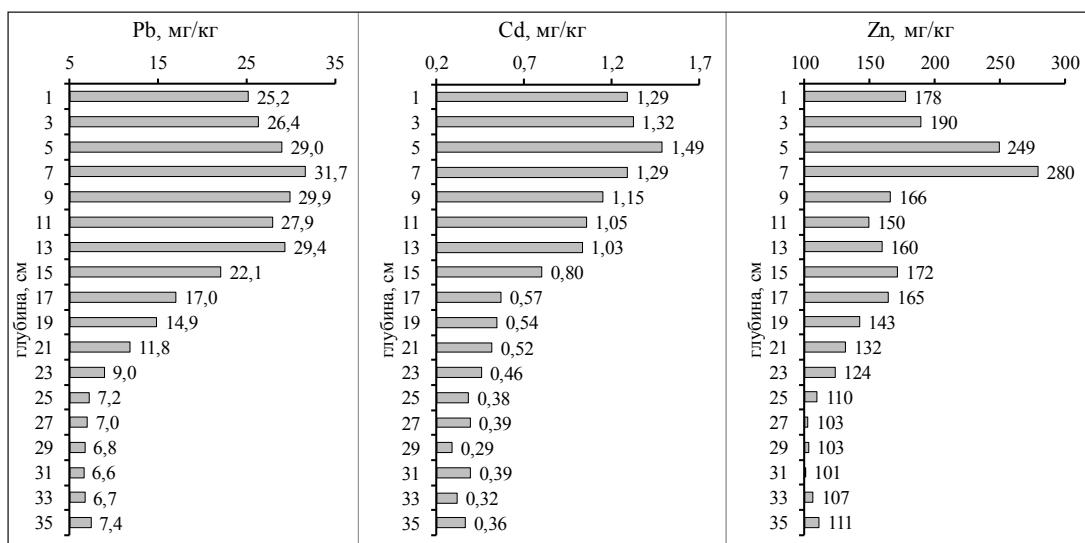


Рис. 10. Вертикальное распределение концентраций свинца, кадмия и цинка в колонке донных отложений оз. Выгозеро (ст. 17–21).

органического вещества и тяжелых металлов (свинца, кадмия, цинка, меди, сурьмы, олова и др.) до самого верхнего слоя осадков. Уровень содержания указанных элементов в верхней части разреза в два и более раз превышает фоновый уровень для донных отложений доиндустриального периода развития водоема (рис. 11).

Основными источниками поступления тяжелых металлов в донные отложения являются промышленные выбросы предприятий. В качестве локального источника антропогенных выбросов выступает ОАО «Сегежский ЦБК», а предприятия Республики Карелии и сопредельных регионов – в качестве источника дальнего переноса различных загрязнителей через атмосферу [8; 12; 36]. Кроме того, одним из источников поступления в водную среду свинца являются выбросы автомобильного транспорта, так как соединения этого тяжелого металла активно использовались в качестве добавки к бензину в период с 1930-х до 2000-х гг., что подтверждается многочисленными исследованиями [11; 37; 39]. Факт значительного влияния автомобильного транспорта на распространение свинцового загрязнения на территории Карелии подтверждается аналогичным распределением этого металла в донных отложениях городских озер региона [26].

Пики ванадия и никеля (рис. 11) в самых верхних слоях изученной колонки отложений (0–10 см), вероятно, связаны с деятельностью ЦБК, где на ТЭЦ-1 в качестве топлива используется мазут [24]. Известно, что в состав мазута входят ванадий, никель,

хром, железо и другие химические элементы [9]. Отмечается тесная связь почти всех тяжелых металлов в колонке донных отложений станции 17–21 с органическим веществом (по ППП, рис. 11). Это свидетельствует о закреплении загрязнителей, попадающих в водную среду, органическими комплексами, в первую очередь гуминовыми и фульвовыми кислотами.

Заключение

Создание водохранилищ является одним из наиболее значительных видов вмешательства человека в естественные процессы эволюции ландшафта. С момента образования искусственного водоема начинается длительный путь формирования его экосистемы. На первых этапах он во многом зависит от процесса трансформации огромного количества твердого материала органической и неорганической природы, одновременно поступившего в результате затопления территорий и продолжающего поступать в результате перестроения берегов и ложа водоема. Донные отложения являются индикаторами этих преобразований, поскольку по своей природе сохраняют информацию о любых событиях, происходящих в водоеме и на их водосборе. Для Выгозерского вдхр., испытавшего кардинальные изменения гидрологического режима в процессе гидротехнического освоения бассейна р. Выг, был применен стратиграфический метод изучения колонок донных отложений, позволивший разделить периоды естественного существования озера, формирования нового ложа водохранилища и

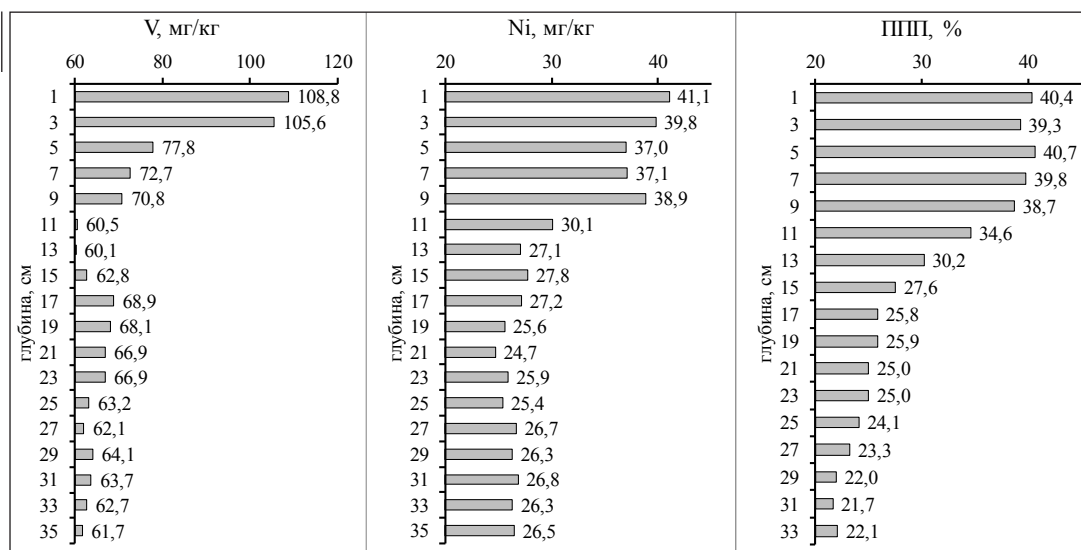


Рис. 11. Вертикальное распределение концентраций ванадия и никеля и значение потерь при прокаливании в колонке донных отложений оз. Выгозеро (ст. 17–21).

функционирования водоема в новых условиях. На основе лито-стратиграфического анализа донных отложений, выполненного совместно с гранулометрическим, вещественным и химическим анализом осадков, акватория Выгозерского вдхр. была разделена на три основных района: Южное, Центральное и Северное Выгозеро.

Южное Выгозеро – зона наибольшего затопления, представляющая собой вошедшие в состав водохранилища участки долин рек Вожмы, Выга и Телекинской. Здесь верхняя часть колонки отложений представлена коричневыми илами с большим количеством неразложившегося детрита, мощностью до 20–30 см, залегающими на торфянистых илах, либо песчаных отложениях. На глубоководных участках южного района, образовавшихся на месте небольших заливов и озер (Бобровое, Телекинское), мощность бурых илов превышает 80 см, а в их основании залегают серые алевроиты и глины, формировавшиеся в условиях позднеледниковья. В Центральном Выгозере (основную площадь района занимает дно озера Выгозера до создания водохранилища) накапливаются иловые отложения.

Граница между бурым органическим высокогумусным илом и зеленым илом разделяет период формирования осадка в условиях водохранилища и озера. Скорость осадконакопления в результате создания водохранилища в этом районе водоема увеличилась на 2–3 порядка, изменился количественный и качественный состав осадочного материала. Северное Выгозеро является зоной абразии и техногенного воздействия. Здесь вертикальная структура донных отложений схожа с осадками центральной части водохранилища (коричневые илы залегают на зеленых илах). Однако северо-восточные участки отличает повышенное содержание в илах мелкопесчаных фракций, что является следствием процесса абразии берегов, сложенных песчаными озерно-ледниковых отложениями. Для северо-западных участков характерно наличие в верхних слоях осадков черных илов (мощность до 20–30 см), связанных с деятельностью Сегежского ЦБК. Техногенные илы отличаются высоким содержанием органических веществ, а также железа и других макро- и микроэлементов (свинец, кадмий, цинк, медь, сурьма, олово и др.).

Список литературы

- [1] Авакян А.Б., Салтанкин В.П., Шарапов В.А. Водохранилища. – М.: Мысль, 1987. – 325 с.
- [2] Ариуншкрина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: МГУ, 1982. – 490 с.
- [3] Белкина Н.А. Ретроспективная оценка состояния донных отложений Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы. Т. 41. – 2014, № 3. – С. 270–279.
- [4] Белкина Н.А., Потахин М.С. Донные отложения Выгозерского водохранилища / Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2017621382. 2018.
- [5] Бискэ Г.С. Четвертичные отложения и геоморфология Карелии. – Петрозаводск: Гос. изд-во КАССР, 1959. – 307 с.
- [6] Буторин Н.В., Зиминова Н.А., Кудрин В.П. Донные отложения верхневолжских водохранилищ. – Л.: Наука, 1975. – 158 с.

- [7] Васильева Е.П. Характеристика химического состава донных отложений Выгозерского водохранилища // Водные ресурсы Карелии и их использование. – Петрозаводск, 1978. – С. 63–79.
- [8] Виоградова А.А., Иванова Ю.А. Загрязнение воздушной среды в центральной Карелии при дальнем переносе антропогенных примесей в атмосфере // Известия РАН. Серия Географическая. – 2013, № 5. – С. 98–108.
- [9] Гоголашвили Э.А., Гарифзянов А.Р. Проблемы анализа ванадия в сточных водах тепловых электростанций // Энергетика Татарстана. – 2007, № 3. – С. 60–63.
- [10] Григорьев С.В. Внутренние воды Карелии и их хозяйственное использование. – Петрозаводск: Гос. изд-во КАССР, 1961. – 140 с.
- [11] Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озера. – Мурманск: МГТУ, 2012. – 242 с.
- [12] Даувальтер В.А. Халькофильные элементы (Hg, Cd, Pb, As) в донных отложениях водных объектов водосбора Белого моря в пределах Кольского полуострова // Геохимия. – 2006, № 2. – С. 237–240.
- [13] Демидов И.Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменении его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. – Петрозаводск, 2006. – С. 171–182.
- [14] Ключева В.А., Долженко Г.П. Осадконакопление в водохранилищах бассейна Нижнего Дона. – Ростов: РГУ, 1983. – 142 с.
- [15] Крупнейшие озера-водохранилища Северо-запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях / Под ред. Н. Н. Филатова. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. – 375 с.
- [16] Литвиненко А.В., Филатов Н.Н., Богданова М.С., Карпечко В.А., Литвинова И.А., Сало Ю.А. Антропогенная трансформация и хозяйственное использование озера Выгозеро // Водные ресурсы. Т. 41. – 2014, № 4. – С. 419–428.
- [17] Логвиненко Н.В., Сергеева Э.И. Методы определения осадочных пород. – Л: Недра, 1986. – 240 с.
- [18] Митрофанова З.Т., Филинцев Г.П. Глины Карелии. – Петрозаводск: Гос. изд-во КАССР, 1956. – 160 с.
- [19] Озера Карелии. Природа, рыбы, рыбное хозяйство. Петрозаводск: Гос. изд-во КАССР, 1959. – 619 с.
- [20] Озера Карелии. Справочник / Под ред. Н. Н. Филатова, В. И. Кухарева. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2013. – 464 с.
- [21] Онежское озеро. Атлас / Отв. ред. Н. Н. Филатов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. – 151 с.
- [22] Поляков Ю.К. Донные отложения Выгозера // Водные ресурсы Карелии и их использование. – Петрозаводск, 1978. – С. 57–63.
- [23] Потахин М.С., Белкина Н.А., Слуковский З.И. Исследование донных отложений Выгозера в рейсе НИС «Эколог» летом 2017 года // География Арктических регионов 2017: материалы Международной научно-практической конференции. – СПб., 2017. – С. 49–53.
- [24] Сежежский целлюлозно-бумажный комбинат // Карелия официальная. Официальный интернет-портал Республики Карелия. – Интернет-ресурс. Режим доступа: <http://www.gov.karelia.ru/Power/Committee/Complex/segeza04.html> (15.06.2018)
- [25] Слуковский З.И. Нормирование по литию концентраций тяжелых металлов в донных отложениях озер Ладожское и Четырехверстное (Республика Карелия) // Химия в интересах устойчивого развития. Том 23. – 2015, № 4. – С. 397–408.
- [26] Слуковский З.И., Ильмаст Н.В., Суховская И.В., Борвинская Е.В., Гоголев М.А. Геохимическая специфика процесса современного осадконакопления в условиях техногенеза (на примере оз. Ламба, Петрозаводск, Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. – 2017, № 10. – С. 45–63.
- [27] Современное состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1992–1997 гг. / Под ред. П. А. Лозовик. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. – 188 с.
- [28] Соколов С.И., Верещагин Г.Ю. Лимнологический очерк оз. Выгозера // Труды I Всероссийского гидрологического съезда. – Л., 1925. – С. 198–200.
- [29] Состояние водных объектов Республики Карелия. По результатам мониторинга 1998–2006 гг. / Под ред. П. А. Лозовика. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. – 210 с.
- [30] Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. – М.: АН СССР, 1962. Т. 1. – 212 с.; Т. 2. – 574 с.; Т. 3. – 550 с.
- [31] Субетто Д.А. Донные отложения озер: Палеолимнологические реконструкции. – СПб.: РГПУ, 2009. – 339 с.
- [32] Субетто Д.А., Прыткова М.Я. Донные отложения разнотипных водоемов. Методы изучения. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2016. – 89 с.
- [33] Шелехова Т.С., Лаврова Н.Б. Донные отложения озер Карелии: палеоэкологические и палеоклиматические реконструкции // Геология Карелии от архая до наших дней. – Петрозаводск, 2011. – С. 204–212.
- [34] Cohen A.S. Paleolimnology: the history and evolution of lake systems. – New York, 2003. – 500 p.
- [35] Hakanson L., Jansson M. Principles of lake sedimentology. – Berlin, 1983. – 316 p.
- [36] McConnell J. R., Edwards R. Coal burning leaves toxic heavy metal legacy in the Arctic // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2008, № 34. – P. 12140–12144.
- [37] Nriagu J.O. The rise and fall of leaded gasoline // Science of The Total Environment. – 1990, vol. 92. – P. 13–28.
- [38] Quaternary deposits of Finland and northwestern part of Russian Federation and their resources. Scale 1:1 000 000 / Eds J. Niemela, I. Ekman, A. Lukashov. – Petrozavodsk: Geol. Surv. of Finland and Rus. Acad. of Sci. Institute of Geology, 1993.
- [39] Thomas V.M. The elimination of lead in gasoline // Annual Review of Energy and the Environment. – 1995, vol. 20. – P. 301–324.
- [40] Zobkov M., Tarasov A., Subetto D., Potakhin M. GIS-modeling of Lake Onego shoreline in the Holocene and Late Pleistocene // Environment. Technology. Resources. Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference. Vol. I. – Rezekne, 2017. – P. 316–319.