

Санкт-Петербургский государственный университет

БОГДАНОВ Тимофей Валерьевич

Выпускная квалификационная работа

***Эколого-геохимическая оценка состояния донных осадков системы озёр Озерявки
национального парка «Себежский»***

Уровень образования:

Направление *05.03.06 «Экология и природопользование»*

Основная образовательная программа *СВ.5024 «Экология и природопользование»*

Научный руководитель:
доцент, кафедра геоэкологии,
к.г.-м.н., Зеленковский Павел Сергеевич

Рецензент:
научный сотрудник, государственное бюджетное
учреждение «Национальный парк «Себежский»,
к.б.н. Хохряков Владимир Рафаэлевич

Санкт-Петербург

2023

Оглавление

Введение	- 3 -
1. Литературный обзор	- 5 -
1.1 Тяжелые металлы.....	- 5 -
1.2. Донные отложения озер	- 10 -
1.3. Научные исследования на территории национального парка «Себежский» и близлежащих территориях.....	- 12 -
2. Физико-географическое описание	- 16 -
2.1. Климатическая характеристика.	- 16 -
2.2. Водный режим.....	- 18 -
2.3. Ландшафт и геоморфологические условия	- 20 -
2.4. Геологические условия.....	- 21 -
2.5. Почвенный покров	- 22 -
2.6. Растительный мир	- 23 -
2.7. Животный мир.....	- 23 -
2.8. Антропогенное воздействие.....	- 24 -
3. Материалы и методы	- 26 -
3.1. Полевой этап.	- 26 -
3.2. Камеральный этап.....	- 31 -
3.3 Анализ полученных результатов.....	- 32 -
4. Результаты исследования	- 35 -
4.1. Анализ закономерностей распределения тяжелых металлов.....	- 35 -
4.2. Распределение тяжелых металлов в разрезе донных отложений.....	- 39 -
4.3. Анализ закономерностей распределения тяжелых металлов в поверхностных пробах	- 53 -
4.4. Результаты расчета суммарного показателя превышения медианных значений..	- 58 -
4.5. Сравнение полученных результатов с другими озерами парка	- 60 -
Выводы	- 64 -
Заключение	- 65 -
Библиография	- 66 -
Приложения	- 71 -

Введение

Наблюдения за состоянием донных отложений являются неотъемлемой частью экологического мониторинга. Проведение таких работ имеет приоритетное значение при изучении особо охраняемых территорий, на которых хорошо развита гидрологическая сеть. Одной из таких территорий является национальный парк «Себежский», который находится на юге Псковской области.

Парк характерен наличием на его территории гидрологической сети, которая объединяет в себя наиболее крупные озера особо охраняемой природной территории. Одним из таких озер является Озеро Озерявки, расположенное на расстоянии 8 километров к югу от города Себеж. Это озеро имеет незначительные размеры относительно других озер парка, что придает особое значение необходимости изучения состояния его донных отложений, поскольку его результаты могут быть интересны для мониторинга. Озерявки являются транзитным пунктом, через который проходят воды из нескольких более крупных озер, впоследствии поступающие в озеро Нечерица. Расположенные выше по гидрологической сети крупные озера, такие как Себежское и Ороно, прилегают своими берегами к городу Себеж. Таким образом, на водную сеть национального парка вероятно будет оказываться антропогенное воздействие, влияние которого может отразиться на озере Озерявки путем поступления загрязняющих веществ в донные отложения.

Вместе с этим, на берегах исследуемого озера расположен одноименный эколого-просветительский центр «Озерявки». В его задачи входит экологическое просвещение населения путем информирования о природе национального парка. На его территории расположена экологическая тропа и информационные тренды. Вместе с этим ЭПЦ представляет собой туристическую стоянку, которая пользуется популярностью у отдыхающих в летний период года. Наличие данного фактора также обуславливает необходимость исследования Озерявок на предмет антропогенного воздействия.

Одним из основных показателей такого воздействия является загрязнение тяжёлыми металлами. В связи с этим проведение исследования по изучению содержания и распределения тяжелых металлов является приоритетной задачей при первоначальном мониторинге состояния озера.

Научная новизна данной работы заключается в первичном проведении подобных исследований для озера Озерявки, ранее работ по описанию этого озера не проводилось.

Актуальность работы выражается в необходимости оценки текущего состояния донных отложений озера, вопрос о проведении которой в условиях антропогенного воздействия встает особенно остро.

Цель работы: дать оценку текущему состоянию донных отложений озера Озерявки путем анализа содержания тяжелых металлов в них.

Задачи работы:

- Произвести отбор проб донных отложений, проанализировать их на содержание тяжелых металлов;
- Рассчитать медианные значения для озера, сравнить их с результатами анализа;
- Выявить закономерность распределения тяжелых металлов в отложениях;
- Определить роль озера Озерявки в гидрологической сети путем сравнения с другими озерами (Белое, Нечерица).

1. Литературный обзор

1.1 Тяжелые металлы

Термин «тяжелые металлы» упоминался различными учеными начиная с первой четверти 19-го века. Впервые он упоминается в работах химика Леопольда Гмелина (Habashi, 2009) в 1817 году, и предполагает под собой сугубо химический термин, который используется в контексте классификации металлов. К ним относились все металлы, которые имели атомную массу больше 50.

С течением времени и развитием геоэкологии и геохимии, данный термин перестал нести сугубо химическое значение. Важнейшую роль стало играть токсикологическое значение конкретного металла по отношению к живым организмам и в особенности – к человеку. Также, немаловажным параметром является способность металла к биоаккумуляции. С химической точки зрения, на сегодняшний день учитывается не только атомный вес, но и плотность каждого металла. Таким образом, для отнесения металла к категории тяжелых он должен не только обладать определенными химическими свойствами, но и быть значимым в отношении воздействия на геосистемы и биоценозы. Это объясняется тем, что на сегодняшний день тяжелые металлы являются одними из наиболее токсичных загрязняющих веществ (Alengebawu et al, 2021).

Одним из основных определений тяжелых металлов является трактовка Реймерса. Согласно его определению, к тяжелым металлам следует относить такие металлы, которые обладают плотностью более 8 г/см^3 и при этом обладают высокой токсичностью для живых организмов при относительно небольших концентрациях металла. Немаловажным фактом является способность металла к биоаккумуляции и биомагнификации. В соответствии с данным определением Реймерса, к тяжелым металлам следует относить Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Cr, Sb, Sn, Bi, Hg. (Реймерс, 1990).

Некоторые металлы, в связи с особо высокими показателями токсичности, выделяются в отдельную приоритетную группу. В нее входят Cu, Ni, Cr, Pb, Cd, Hg, именно эти элементы способны оказать наиболее ощутимое негативное воздействие на окружающую среду. Также, тяжелые металлы классифицируются по токсичности и степени опасности для человека. Токсичность каждого тяжелого металла также будет зависеть от реакционной способности элемента и его химической формы, то есть соединения, в состав которого он входит (Водяницкий, 2008).

В качестве примера можно привести соединения хрома, поскольку его токсичность будет напрямую зависеть от степени окисления. Cr^{+6} имеет значительно большую подвижность, поскольку его соединения легкорастворимы и легкоподвижны, что

обуславливает высокую проникающую способность и токсикологическое воздействие на организм человека. При этом, соединения, содержащие Cr^{+3} малорастворимы и обладают значительно меньшей подвижностью, и, как следствие, токсикологическим эффектом. Подобная дифференциация по степени окисления достаточно характерна для многих тяжелых металлов (Brown et al, 1999).

Токсикология. Тяжелые металлы, как и прочие химические элементы, являются неотъемлемой частью нормального функционирования как человеческого организма, так и в целом большинства живых существ. Однако, их количество, необходимое для нормального функционирования строго ограничено и не должно быть превышено. При накоплении тяжелых металлов в излишне высокой концентрации они оказывают токсикологическое воздействие (Вертинский, 2020). Пониженные концентрации отдельных элементов также негативно сказываются на живых организмах, провоцируя появление микроэлементозов.

Особенно опасны для человеческого организма те металлы, которые не входят в состав биомолекул. В первую очередь это Hg, Pb, Cd. Они образуют связи с белковыми формами, что в несколько раз повышает их проникающую способность и, как следствие, токсикологические характеристики. В последствии, их накопление в организме способно оказывать канцерогенный эффект, вызывать различные заболевания и провоцировать генетические мутации (Зинина, 2001).

На сегодняшний день тяжелые металлы являются одной из основных групп токсикантов, которые обуславливают антропогенное воздействие на окружающую среду. Ежегодно возрастающие объемы промышленного производства провоцируют все большее воздействие тяжелых металлов, которое может быть обусловлено эффектом накопления в организме человека, появлением эффекта суммации с прочими загрязнителями, что может приводить к негативным последствиям даже при малых концентрациях тяжелого металла. В связи с этим выступает необходимость в особом наблюдении за поступлением тяжелых металлов в окружающую среду и их отнесении к числу приоритетных (Гулиева и др., 2018).

Каждый отдельный металл при избыточных или недостаточных его концентрациях в тканях и органах будет по-разному влиять на организм человека, что приводит к необходимости рассматривать эффект от воздействия каждого конкретного металла отдельно.

Pb (свинец). Этот химический элемент в больших концентрациях является крайне агрессивным нейротоксином. Он может вызывать нарушения в работе мозга, разрушать молекулы РНК и создавать предпосылки к развитию психологических заболеваний. При хроническом накоплении в организме и накоплении данного металла в тканях происходит

снижение коэффициента интеллекта, ослабление внимания, потеря работоспособности и гиперактивность. Особенно негативно влияние свинца сказывается на беременных женщинах и маленьких детях, поскольку избыточное количество элемента провоцирует преждевременные роды, внутриутробную гибель плода, а также хронические заболевания мозга и умственную отсталость у новорожденных детей. Помимо этого, свинец способен блокировать деятельность некоторых ферментов, а также поражать деятельность почек. Его токсичность значительно увеличивается при недостатке в организме Ca и Fe (Зинина, 2001).

До недавнего времени поступление свинца в окружающую среду было в основном обусловлено движением автомобильного транспорта, поскольку еще несколько десятков лет назад в бензин добавлялся тетраэтилсвинец для повышения октанового числа. Соответственно, свинец являлся одним из компонентов выхлопных газов. На сегодняшний день добавление тетраэтилсвинца в автомобильное топливо запрещен. Также, источниками антропогенного поступления данного металла в окружающую среду могут быть промышленность и объекты производства, в технологических процессах которых участвует свинец.

Zn (цинк). Этот микроэлемент является важнейшим компонентом в организме, поскольку он входит в состав более чем 20 ферментов и участвует при протекании более чем сотни биохимических реакций. Поэтому, в первую очередь крайне опасным будет микроэлементоз, то есть недостаток цинка в организме. Это может приводить к гормональным нарушениям, нарушениям функций эритроцитов и избыточному синтезу инсулина. При избытке цинка в организме возможны серьезные нарушения в работе иммунной системы и метаболическом равновесии. В частности, изменение соотношения цинк-медь в организме в пользу цинка способно приводить к развитию ишемической болезни сердца. Помимо этого, цинк является активным участником передачи нервных импульсов, и изменение его количества в организме способно вызывать изменение рецепторов чувств (осязание, запах, зрение, вкус и тд.) (Оберлис и др., 2008).

Среди антропогенных факторов поступления цинка в окружающую среду в первую очередь следует упомянуть промышленное производство, выплавку данного металла. Немаловажным является фактор бытовой деятельности человека, поскольку в обиходе используется большое количество оцинкованных вещей (ведра, оцинкованные крыши, инструменты и тд.). Это связано с тем, что оцинкованная поверхность металла меньше подвержена коррозии. Также, цинк может поступать в окружающую среду при складировании бытовых отходов и сжигании мусора (Егорова и др., 2013). В целом, цинк является одним из наиболее ярких индикаторов воздействия человека на окружающую среду.

Cu (медь). Этот металл в организме входит в состав более чем 30 белков и ферментов, которые отвечают за катализацию окислительно-восстановительных реакций. Одной из задач также является формирование таких гормонов, как тирозин, дофамин и меланины. Наличие меди в организме является важнейшим фактором его нормального существования, поскольку при недостатке меди возможно формирование гормональных нарушений, а на стадии формирования плода при беременности – развитие альбинизма. Присутствие меди в избыточных количествах может стать фактором канцерогенеза, в частности – появления меланомы (активного рака кожи). Хроническое накопление данного тяжелого металла в тканях способно приводить к токсикозу, остановке роста, снижению содержания гемоглобина и общей дегградации тканей (Гулиева и др., 2018).

Основным источником поступления меди в окружающую среду при антропогенной деятельности является добыча медно-никелевой руды и ее переработка. Промышленность, которая основывается на выплавке меди производит существенный выброс данного металла в атмосферу, после чего он способен накапливаться в почвах (Ульрих, 2016). Помимо этого, массовое использование медных изделий способствует поступлению данного металла в окружающую среду при хозяйственно-бытовой деятельности, что позволяет отнести загрязнение медью к одному из приоритетных индикаторов антропогенного воздействия.

Cr (хром). Жизненно важный микроэлемент, который также необходим для нормального функционирования живых организмов. Он является участником синтеза жиров и обмена углеводов, отвечает за регуляцию уровня глюкозы в крови, способствует выведению из организма различных токсинов, в том числе солей прочих тяжелых металлов. Одной из ключевых задач хрома в организме является метаболизм сахарозы и углеводов. Недостаток хрома способствует нарушению данных процессов в организме, что выражается в утомляемости, повышенном беспокойстве, головных болях и бессоннице. Однако при избытке хрома в организме он может проявлять себя как токсикант. Он становится фактором канцерогенеза, приводит к формированию опухолей и раздражению слизистых оболочек. Повышается риск развития дерматита и экземы, бронхиальной астмы и аллергий (Реутина, 2009). Вместе с этим, высокая токсичность хрома обусловлена его способностью к изменению валентной формы, что обеспечивает его высокую проникающую способность.

Источниками поступления хрома в окружающую среду являются отработанные газы двигателей внутреннего сгорания, поэтому загрязнение хромом зачастую локализовано в местах прохождения автомобильных дорог. Также, он входит в состав хромированной стали, которая активно используется в хозяйственно-бытовой деятельности человека так

как обладает высокой прочностью. Вместе с этим, источником хрома являются предприятия химической промышленности, так как они занимаются производством хроматов и бихроматов, выступающих в роли консервантов и активных реагентов (Бессонова и др., 2011).

Ni (никель). Этот металл является одним из наиболее распространенных тяжелых металлов. В организме человека он участвует в функционировании клеточных компонентов и их синтезе: ДНК, РНК, различные белки. Вместе с этим он выступает в роли гормонального регулятора. Соответственно, при недостатке элемента в организме возможны крайне непредсказуемые изменения, выражающиеся в ослаблении иммунитета, нарушении белкового обмена и тд. При избытке содержания никеля происходит раздражение слизистых и появление заболеваний, связанных с этими тканями. Повышается вероятность канцерогенеза, поскольку происходит воздействие на формирование Т-лимфоцитов, отвечающих за иммунологический ответ организма (Землянова и др, 2012).

Данный металл активно используется при производстве нержавеющей и высокопрочной стали. Именно производство и эксплуатация такого типа стали является основным источником поступления металла в окружающую среду. Вследствие этого накопление никеля в компонентах среды зачастую может быть обусловлено хозяйственно-бытовой деятельностью человека. Также, металл активно используется в химической промышленности в форме ацетата, что провоцирует его переход в летучую форму. Добыча же никелевой руды и ее обработка оказывает наибольшее локальное воздействие на окружающую среду (Иванищев, 2021).

As (мышьяк). Данный элемент принадлежит к классу металлоидов и на сегодняшний день лишь частично относится к перечню тяжелых металлов. Однако его крайне сильное токсикологическое воздействие на живые организмы ставит необходимость в его учете как одного из возможных источников антропогенного воздействия. При контакте с кислородом мышьяк образует крайне ядовитый мышьяковистый ангидрид, который обладает высокой проникающей способностью. После попадания в организм он вызывает сильное отравление, что негативно сказывается на функционировании желудка, печени и почек. При хроническом отравлении происходит накопление мышьяка в организме, что может приводить к нарушению метаболизма из-за разрушения ферментов, а также развитию злокачественных опухолей. При особо остром воздействии вероятными становятся нарушения в работе нервной системы.

Источниками антропогенного поступления мышьяка в окружающую среду являются предприятия металлургической, стекольной и радиоэлектронной промышленности. Также,

его попадание в среду возможно вместе с выхлопными газами автомобилей (Гулиева и др., 2018).

1.2. Донные отложения озер

На сегодняшний день изучение донных отложений относится к одному из основных этапов экологического мониторинга, необходимому для описания функционирования того или иного водоема. Непосредственно *донные отложения* относятся к продуктам современного осадконакопления. Под данным термином следует понимать как современные осадки, так и более древние осадочные отложения. При этом под *донными осадками* понимаются продукты, отложившиеся в результате физических, химических и биологических процессов, еще не превращенные в горные породы и лежащие на поверхности отложений в зоне современного осадконакопления (Опекунов, 2012). Два этих термина в одинаковой мере применимы для обозначения современных донных осадков.

В понимании В.А. Даувальтера, донные отложения озер могут рассматриваться как своего рода геосфера, так же, как и гидросфера в узком понимании – прерывистая поверхностная оболочка, состоящая из вод морей, океанов, поверхностных водоемов и твердой воды. Там, где существуют все эти основные части гидросферы, там существуют и донные отложения (за исключением ледников, отложения которых – моренные) (Даувальтер, 2012).

Формирование донных отложений – это сложный и многофакторный процесс, который по своей сути схож с формированием почвенного покрова. На их образование влияет множество факторов: климатических, гидрологических, механических, физических, химических, биологических и прочих. Эти процессы протекают во времени и на определенной площади, что в итоге приводит к формированию донных отложений в озере.

Территория национального парка «Себежский» относится к холодной гумидной зоне, для которой характерно избыточное увлажнение (см. главу «физико-географическое описание»). Это обстоятельство имеет принципиальное значение, поскольку вода в данном случае проявляет ряд специфических и благоприятных с седиментологической точки зрения свойств (Страхов, 1963). Во-первых, за счет текучести и подвижности воды и ее потенциалом к гравитационному перемещению происходит интенсивная транспортировка мелко- и крупнодисперстных частиц по дну водотоков, при этом происходит механическая дифференциация материала. Во-вторых, воды воздействует на сами минералы, растворяет их и образует более сложные коллоидные растворы, что провоцирует протекание различных физико-химических процессов. В-третьих, вода – место обитания живых организмов, которые также выступают в роли биологического и физико-химического фактора, преобразуя минеральные комплексы осадка.

Таким образом, на формирование и скорости осадконакопления донных отложений озер национального парка будет влиять многообразный комплекс факторов, обусловленный физико-географическими особенностями местности. Итоговый продукт отложений есть следствие закономерного течения процессов их образования. Непосредственно для национального парка «Себежский» отсутствуют данные о скоростях осадконакопления в озерах. В связи с этим для исследования используются данные, полученные в Полистовском заповеднике, который также расположен в Псковской области. По данным научных исследований (Карпухина и др, 2018), средние темпы седиментации на озерных водоемах центральной части Псковской низменности составляют 0,2-0,3 мм/год. Данные скорости осадконакопления применимы и для озера Озерявки, поскольку описанные в данной статье озера имеют схожие условия формирования, режим проточности и глубины.

Донные отложения являются хранилищем многих тяжелых металлов и поэтому должны быть тщательно исследованы. Это происходит по причине способности отложений к фиксации геохимических условий на территории водосбора водоема. В случае изменения физико-химических условий среды (например, при смене кислотно-щелочных условий (рН) или изменении содержания растворенного кислорода) отложенные элементы могут активно переходить в толщу воды. Помимо этого, отлагающиеся безвредные вещества могут контактировать с другими и переходить в различные формы, образуя более токсичные соединения. Таким образом, при определенных условиях донные отложения могут выступать одним из источников загрязнения водной среды. В связи с этим появляется необходимость в их исследовании, описании и оценке (Даувальтер, 2012).

Существует множество разработанных и утвержденных методик оценки состояния донных отложений. Однако большинство из них направлено на оценку от одного определенного источника потенциального воздействия. Например, методика оценки биологического состояния донных отложений, которая разработана Институтом биологии моря им. П.П. Ширшова РАН, позволяет оценить биологическое состояние донных отложений на основе данных макробентосных исследований (Бакаева и др., 2015). Также существует методика оценки экологического состояния донных отложений в районах нефтегазодобычи, разработанная Российским геологическим институтом РАН, благодаря которой предоставляется возможным оценить степень воздействия нефтехимического компонента на донные отложения (Макаренкова, 2007).

В рамках данной работы была применена методика оценки состояния донных отложений путем анализа содержания в них тяжелых металлов. Подробная методика исследования представлена в главе «материалы и методы».

Для получения достоверных сведений о степени загрязнения озера, необходимо производить отбор проб исключительно из зон аккумуляции. Это связано с тем, что именно в этих зонах оседают мелкодисперсные частицы (размером менее 0,01 мм), в которых с наибольшей долей вероятности будет присутствовать загрязняющее вещество. В разных озерах эта зона может находиться в разных местах, это зависит от условий формирования озера, его размера и глубины (Hakanson, 1980).

Отбор проб и исследование отложений с фракцией 0,01 мм и менее (илистые отложения, глинистые и пылеватые частицы) обосновано тем, что именно эта фракция содержит в себе загрязняющие вещества. Обосновано это тем, что данный размер фракции наиболее близок к размеру материала, который находится во взвешенном состоянии. Имеются экспериментальные подтверждения необходимости использования для анализа данной фракции, поскольку просеивание через сито с ячейками диаметром 0,01 мм и менее не приводило к удалению загрязняющих веществ из пробы (Forstner et al, 1981).

1.3. Научные исследования на территории национального парка «Себежский» и близлежащих территориях

Национальный парк «Себежский» представляет собой уникальную природную зону, на которой представлены типичные ландшафты Псковского Поозерья. За историю существования парка было проведено большое количество научных исследований, в первую очередь направленных на описание животного и растительного мира этой территории.

Так, национальный парк представляет собой крайне перспективную зону для проведения орнитологических исследований, которые проводятся на этой территории уже порядка 20 лет. Происходит как уточнение видового состава, так и научное изучение уже известных видов птиц. Ежегодно выпускается множество исследований, в которых орнитологи описывают животный мир национального парка. Одно из наиболее интересных в данном отношении исследований статья Фетисова и др. «Встречи охраняемых видов птиц в Псковском Поозерье и национальном парке «Себежский» в 2021 году», где были описаны некоторые виды краснокнижных птиц, ранее не встречавшиеся на территории парка (Фетисов и др., 2022).

Ранее тот же автор опубликовал труд «Значение национального парка «Себежский» в сохранении редких и исчезающих видов птиц России и Республики Беларусь», где говорится о том, что на территории парка зарегистрировано 16 видов птиц, включенных в Красную книгу Российской Федерации, 34 вида из Красной книги Псковской области, а также 48 видов, включенных в Красную книгу Республики Беларусь (Фетисов, 2013). Это говорит о значимости национального парка в сохранении этих видов, поскольку на его

территории сформировались необходимые природные условия для их комфортного существования.

Немаловажна роль флористических исследований, поскольку благодаря формированию уникальных ландшафтов поозерья на территории парка создаются условия для произрастания редких видов растений. По состоянию на 2012 год на его территории были зафиксированы 44 вида сосудистых растений, включённые в Красную книгу Псковской области, 4 из них – включены в Красную книгу Российской Федерации (Конечная, 2013). На 2020 год таких растений было уже обнаружено 53 и 6 соответственно (Конечная, 2020). Таким образом, наряду с орнитологическими исследованиями выступает важнейшая задача по сохранению и изучению редких видов растений, произрастающих на территории парка.

Также, в национальном парке проводятся прочие научные исследования различной направленности. Среди них - изучение планктона для выявления редких видов и оценки кормовой базы (Яковлева, 2007), ихтиологические наблюдения вследствие большого популяционного разнообразия рыб в водоемах парка (Лобырев и др., 2023), изучение динамики ландшафтов для реконструирования процессов, происходивших на этой территории в прошлом (Куприянов и др., 2022) и прочие наблюдения. Однако в целом выделяется общая направленность исследовательской деятельности на изучение орнитофауны и прочих живых компонентов природы парка.

Касательно тематики данной работы – исследования донных отложений в водоемах национального парка «Себежский» следует отметить, что ранее подобных работ на этой территории не проводилось, поскольку отсутствуют какие-либо материалы, которые бы характеризовали донные отложения. В связи с этим начиная с января 2022 года был проведен ряд исследований по исследованию и описанию отложений. На сегодняшний день проведена первичная оценка состояния отложений в таких озерах парка, как Себежское, Ороно и Белое (Алексеева и др., 2022). Данные исследования являются первичной характеристикой и дают общие представления о текущем состоянии донных отложений. На сегодняшний день остро стоит вопрос о продолжении исследований для детального описания системы озер национального парка и понимания их функционирования путем изучения отложений.

В связи с малым количеством данных относительно состояния донных отложений в водоемах национального парка «Себежский» возникла необходимость в изучении литературных источников, посвященных подобным исследованиям на территориях, расположенных вблизи парка. Это необходимо для дальнейшего сравнения результатов,

полученных в ходе исследования с данными аналогичных исследований для выявления возможных закономерностей.

В этом отношении одной из важнейших территорий выступает Полистовский государственный природный заповедник. Он расположен в 150 километрах на северо-восток от города Себеж. На его территории уже порядка 10 лет проводятся исследования состояния экосистем, которые помимо исследования почв и растительности включают в себя анализ донных отложений на содержание в них тяжелых металлов. В таблице 1 представлены данные нескольких исследований, выполненных разными авторами на протяжении нескольких лет на озерно-болотных системах Полистовского заповедника.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях некоторых водоемов Полистовского заповедника (Шипкова и др., 2018; Федоров и др., 2017; Нестерук, 2019).

Объект/металл	Некоторые озера Полистовского заповедника (по данным Шипковой Г.В., 2018)	Водоемы Полистовского заповедника (по данным Ю. А. Фёдоровой, 2017)	Озера Полистовского заповедника (по данным Нестерук Г.В. 2019) (0-15 см)
Pb	0,2 - 27,3	1,0 - 93,2	8,4
Zn	3,7 - 34,3	5,5 - 143,9	17,9
Cu	1,1 - 31,7	1,5 - 19,0	9,6
Cr	-	45,89 - 48,05	-
Ni	1,2 - 17,8	2,1 - 17,8	8,2
As	-	-	-

Помимо этого, интерес представляют исследования гранулометрического состава донных отложений. Подобные исследования проводились на нескольких различных по своему генезису озерах вблизи Себежского национального парка. Так, по данным Белова В.В., который проводил исследования гранулометрического состава на территории Бежаницкой возвышенности (около 70 километров от города Себеж), отложения в озерах ледникового генезиса на данной территории представлены в основном илистыми отложениями (гиттией) с различными добавками, которые на определенной глубине сменяются песчаными или глинистыми отложениями. (рис. 1). Следует отметить, что исследуемое в данной работе озеро ШаТо по своей глубине, степени трофности и проточным условиям сходно с исследуемым в данной работе озером Озерявки.

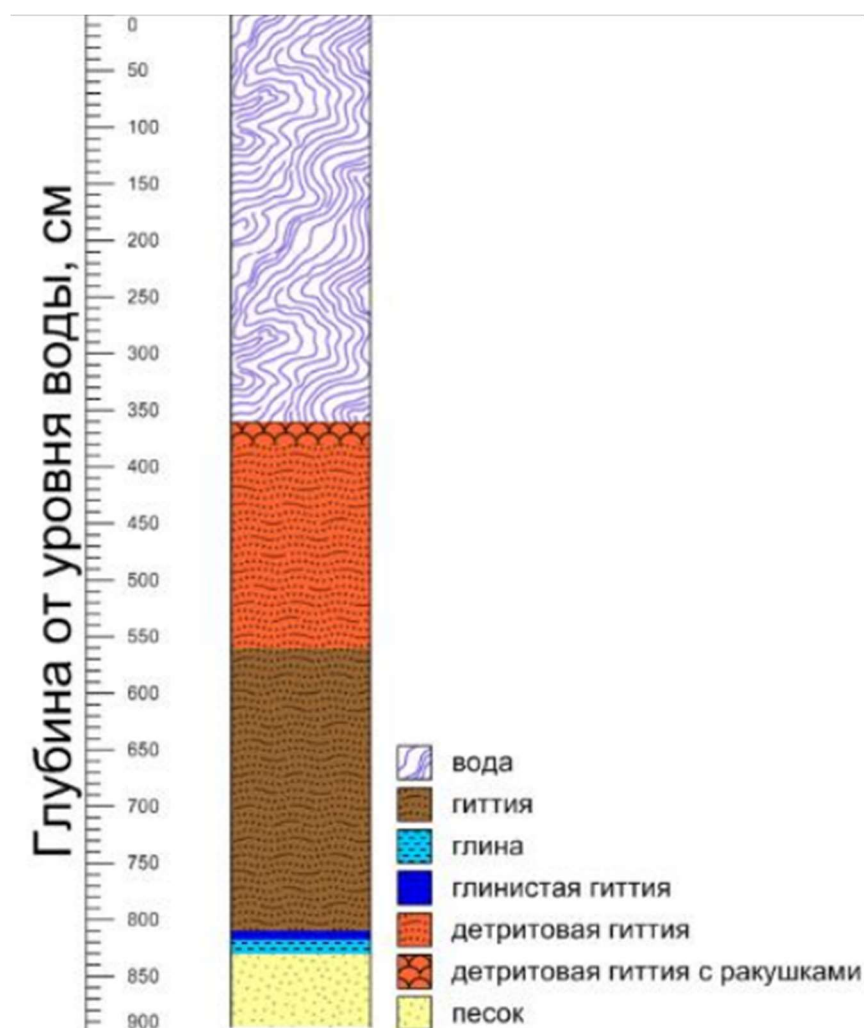


Рисунок 1. Литология донных отложений озера ШаТо (Белов и др., 2018)

Эти данные подтверждаются исследованием Логиновой М.В., в котором была дана характеристика гранулометрического состава донных отложений озера Ордосно (153 километра на восток от города Себеж). В общем виде отобранные колонки по глубине представляют собой различные виды илистых отложений с включениями, которые с увеличением глубины отложения сменяются алевритами. Подстилающей частью колонки выступают ледниковые отложения, в данном районе представленные в основном серыми глинами (Логинова и др., 2023).

Основываясь на литературном обзоре по исследованиям близлежащих к национальному парку «Себежский» водных объектов, предоставляется возможным сделать выводы о типичности или нетипичности состояния отложений в озерах парка относительно аналогичных озер. Иными словами, эти данные используются для сравнения с результатами, полученными при проведении исследования.

2. Физико-географическое описание

Национальный парк «Себежский» - особо охраняемая территория на юге Псковской области, прилегает к государственной границе с Латвией и Республикой Беларусь. Своим названием парк обязан городу Себеж, который расположен в его северной части на берегу двух озёр: Себежское и Ороно. Является особо охраняемой территорией федерального значения, основан в 1996 году и занимает площадь более чем 500 квадратных километров (Себежский национальный парк, эл. ресурс).

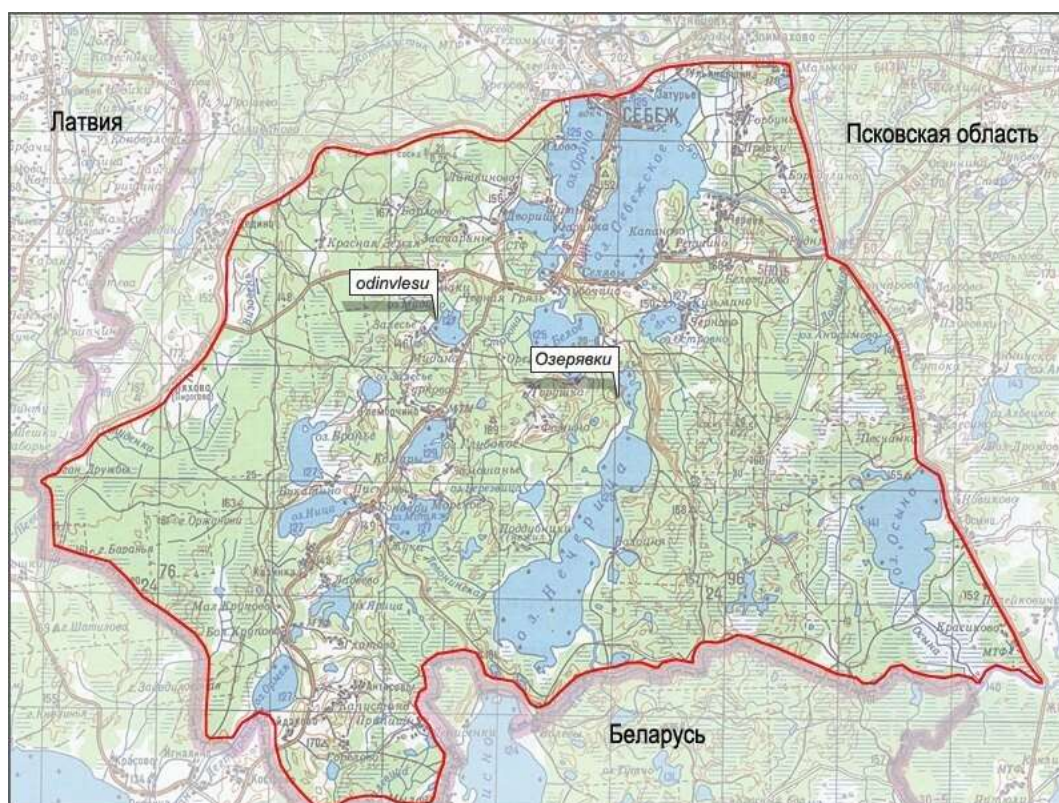


Рисунок 2. Схема расположения национального парка «Себежский» (Себежский национальный парк, эл. ресурс).

На территории парка сформировался уникальный ландшафт, образованный системой послеледниковых озер в пределах Себежской возвышенности. Сохранение местных экосистем, биоразнообразия и уникального ландшафта Псковского Поозерья является ключевой задачей сотрудников национального парка. Главной миссией национального парка выступает сохранение и введение в социокультурный оборот природного и историко-культурного наследия Российской Федерации путем сохранения эталонных, редких, а также уникальных эталонных памятников природы и культуры, а также их постепенное восстановление.

2.1. Климатическая характеристика. Климат Псковской области в целом характеризуется как умеренно-континентальный с чертами морского, влажный, с преобладающим влиянием Атлантических воздушных масс. Летний период умеренно-

теплый, со средней температурой июля 18,5°C. Зима – продолжительная и снежная, с периодическими похолоданиями. Средняя температура января составляет -6,5°C. Средняя годовая температура колеблется в пределах от +4,3-4,6°C. Абсолютный максимум температуры на территории исследований зафиксирован на отметке +42°C, абсолютный минимум: -45°C.



Рисунок 3. Среднегодовая температура в г. Себеж по месяцам (World weather, эл. ресурс)

Температура на поверхности озер национального парка достигает максимума в середине июля. На самом крупном озере парка – Себежском, средняя температура воды на поверхности за 8 лет наблюдений составила 19°C. В среднем, безморозный период продолжается 132 дня. В осенний период первые заморозки начинаются в конце сентября, ледообразование начинается в середине ноября. В зимний период озера покрываются устойчивым ледовым покровом на период от 112 до 167 дней. Мощность льда достигает 40-50 см (в отдельных районах – до 90 см), покров полностью сходит к началу апреля.

Территория Псковской области является зоной избыточного увлажнения. Среднегодовое количество осадков составляет 650-750 мм, большая часть из которых выпадает в теплый период года. В связи с этим большую часть года наблюдается пасмурная и облачная погода, нередко сопровождающаяся осадками. Избыток влаги в течение года формирует переувлажненный гидрологический режим, который позволяет питать обширную гидрологическую сеть территории и приводит к формированию большого количества болот.

Снежный покров на территории национального парка неустойчивый, до половины зим являются малоснежными (покров менее 10 см) или вовсе бесснежными (без устойчивого снежного покрова). Образуется он в первую декаду декабря и сходит в первых числах апреля, мощность в среднем составляет 20-30 см.

Для территории характерно преобладание западного, юго-западного и южного ветров, что обусловлено влиянием Атлантических воздушных масс. Собственно, они и являются основным источником увлажнения исследуемой территории.

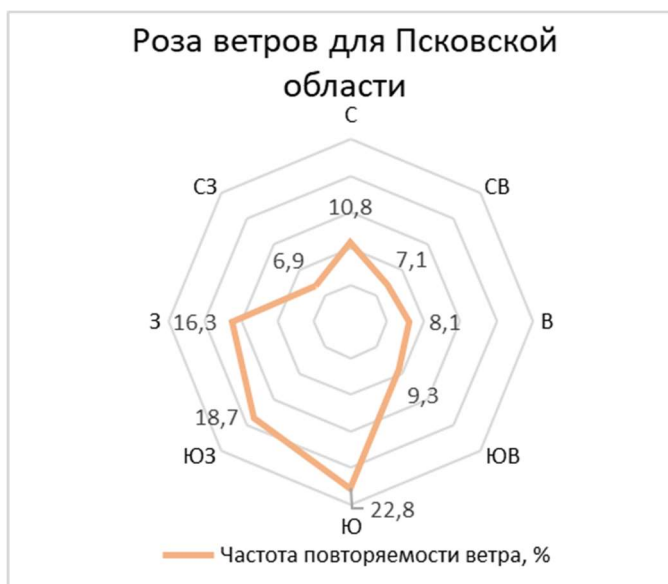


Рисунок 4. Роза ветров для Псковской области (World weather, эл. ресурс)

2.2. *Водный режим.* Территория национального парка находится на водоразделе двух рек: Западная Двина и Великая, обе относятся к бассейну Балтийского моря. Избыток влаги способствует формированию густой разветвленной речной сети. Большинство из этих рек имеют небольшую протяженность (до 20 км) и характеризуются невысокими скоростями течения. Режим рек ярко выраженный восточно-европейский: характеризуется преимущественно снеговым питанием, ощутимым весенним половодьем и летней меженью. В летний и осенний период нередко наблюдаются паводки, вызванные прохождением обильных дождей. Общая площадь водного фонда – 7150 га.

Наиболее крупными реками на территории национального парка являются р. Чернея, р. Нища и р. Свольна.

Национальный парк характеризуется наличием большого количества озёр – всего 115. Озёра имеют постледниковый генезис, то есть образованы в ходе таяния ледника во время Валдайского оледенения, последней ледниковой эпохи (около 20 тыс. лет назад). Озёра соединены большим количеством протоков, которые формируют единую гидрографическую сеть территории. Наиболее крупными озерами национального парка являются: Нечерица (1669 га), Себежское (1620 га), Осыно (823 га), Ороно (712 га). При этом Нечерица и Себежское входят в десятку самых крупных озёр Псковской области (ГосНИОРХ им. Л.С. Берга, эл. ресурс).

Сами озера характеризуются небольшими глубинами – в среднем 5-7 метров, наибольшая глубина наблюдается в озере Белое (до 25 метров). Котловины озёр сложены

ледниковыми отложениями и в большинстве своем имеют неправильную округлую или вытянутую форму.

Примечательно, что некоторые крупные озера формируют уникальную гидрологическую сеть. Они соединяются между собой протоками, что позволяет водоемам активно общаться между собой. В гидрологическую сеть входят следующие озера (в порядке их фактического расположения на местности): Себежское → Ороно → Вятитерьво → Глыбочно → Белое → Озерявки → Нечерица.

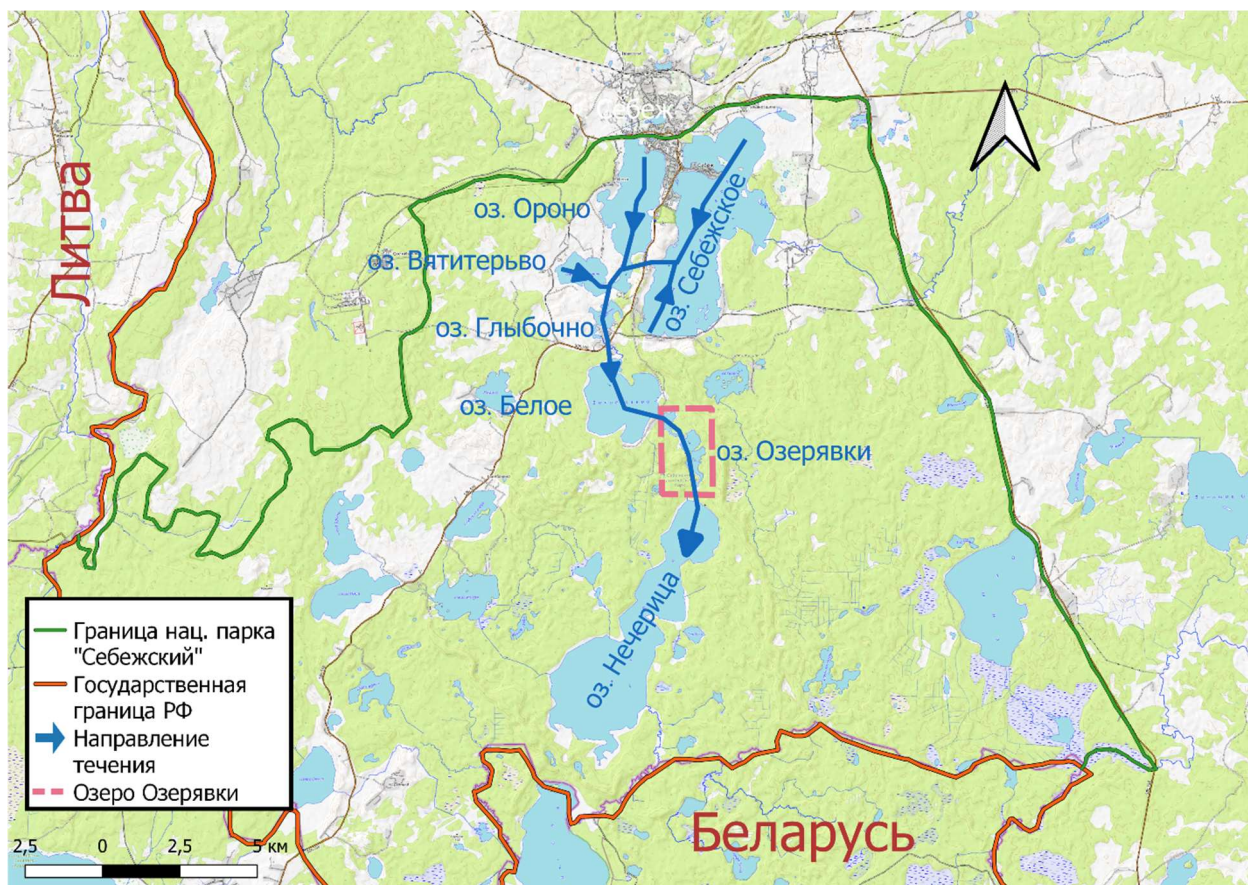


Рисунок 5. Картосхема гидрологической сети озёр национального парка «Себежский»

Большинство озёр сети являются проточными и имеют незначительные глубины до 10 метров (исключение – Вятитерьво и Белое). Также, по данным научных сотрудников национального парка, озера характеризуются как мезотрофные ввиду незначительных глубин и проточности. Более мелкие озера имеют признаки эвтрофности (Озерявки, Вятитерьво). Данная система принадлежит бассейну Западной Двины, и через нее – впадает в Балтийское море.

На территории парка также располагается немало количество болот, которые способствуют формированию торфяников. Преимущественно они расположены в северной части парка, зачастую формируются при эвтрофикации малых озёр.

2.3. *Ландшафт и геоморфологические условия.* Национальный парк «Себежский» расположен на территории Себежской возвышенности, которая в свою очередь является краевой частью Бежаницкой возвышенности и занимает 35 километров в ширину.

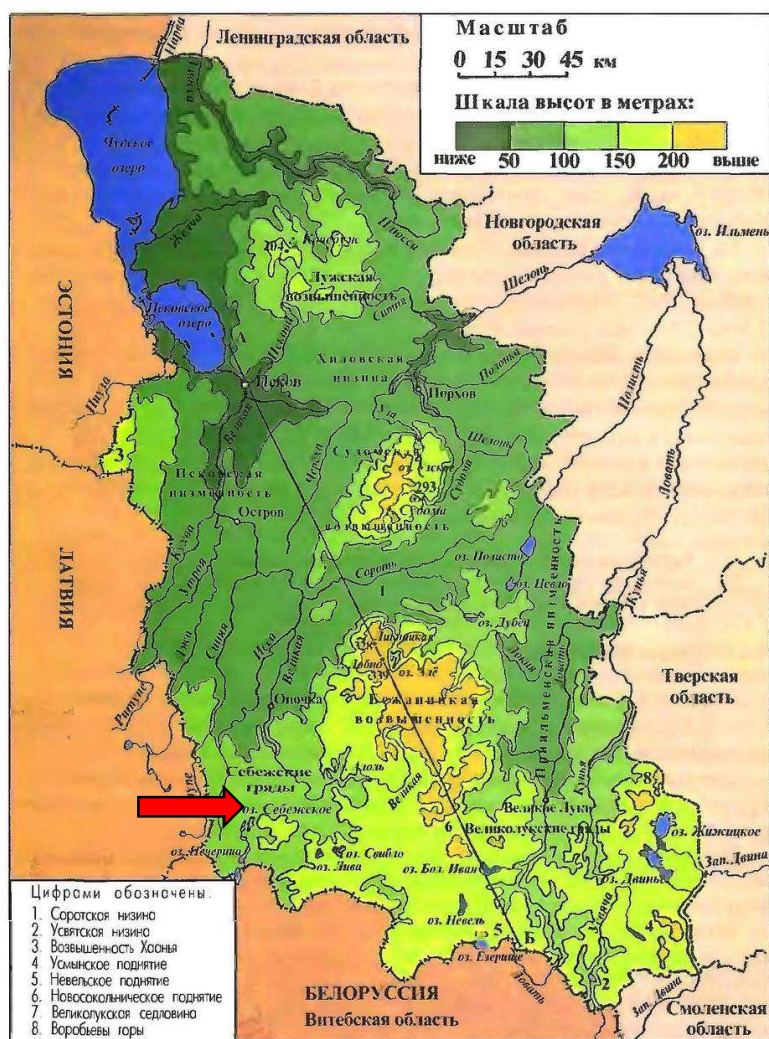


Рисунок 6. Физическая карта Псковской области (сайт Федорова Е.Е., эл. ресурс). Красной стрелкой обозначена Себежская возвышенность.

Рельеф территории сформирован деятельностью ледника. Преобладают камовые формы рельефа, а также гряды и холмы, состоящие из ледниковых отложений. Камы достигают в длину 10-12 километров при ширине в 300-400 метров, высоты камовых холмов достигают 30-40 метров. Редкие гряды имеют высоту до 50 метров. Ближе к южной части национального парка рельеф образован флювиогляциальными и озерно-ледниковыми формами.

Формирование современного рельефа местности произошло во время Валдайского оледенения в ходе отступления ледника. Примечательно то, что крайняя южная граница ледника проходила вблизи территории современного национального парка, что особым образом отразилось на процессах формирования рельефа.

Ледниковые отложения в районе исследования представляют собой плохосортированный обломочный материал, который откладывался в виде холмов и гряд. Для территории национального парка характерны отложения песчанистой и супесчанистой фракции с многочисленными валунами и гравием. Локально присутствует глинистая фракция. Территория в непосредственной близости от озера Озерявки, как можно заметить на карте четвертичных отложений (рис. 7), сложена озерно-ледниковыми отложениями преимущественно песчанистой фракцией, и представляет собой холмисто-моренный рельеф.

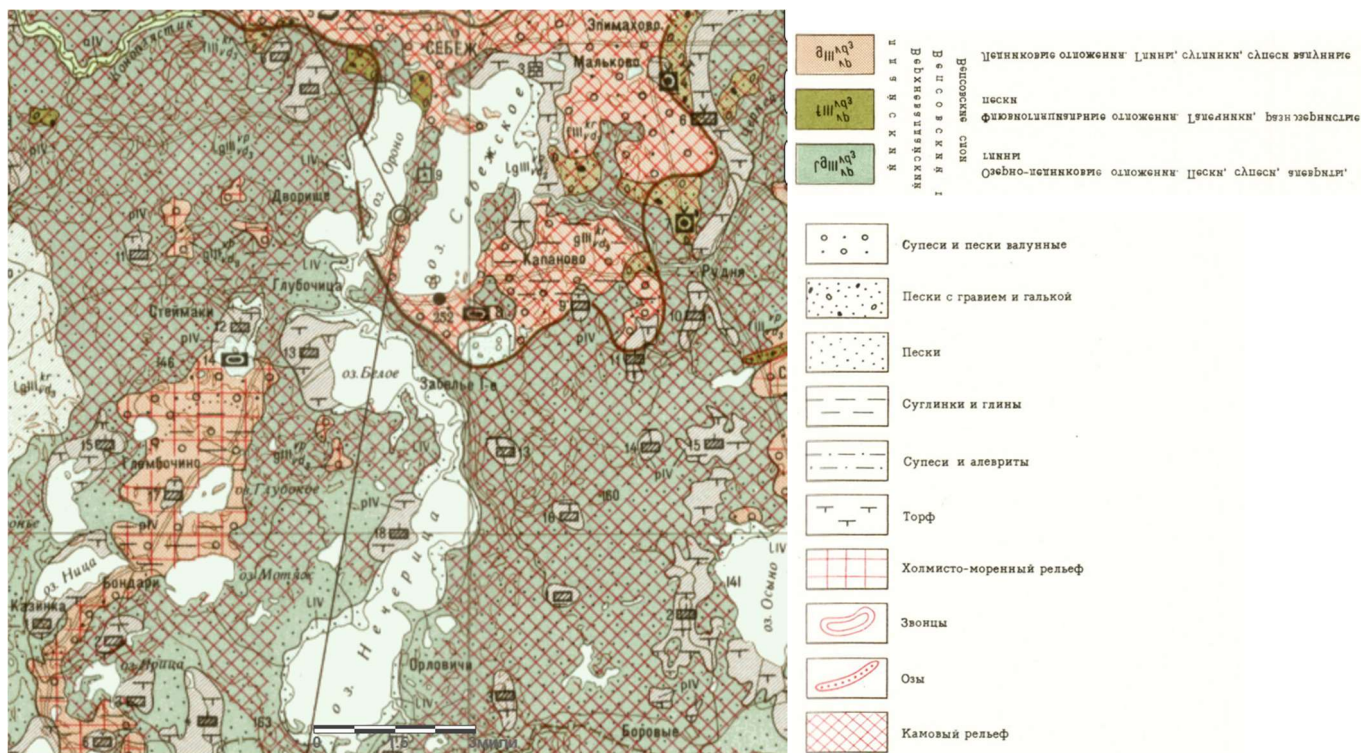


Рисунок 7. Карта четвертичных отложений исследуемой территории с фрагментом легенды (полная версия легенды представлена в приложении 8) (ВСЕГЕИ, эл. ресурс).

ООПТ находится в пределах Себежской гряды – одной из многих в общем перечне Балтийско-Валдайских гряд, простирающихся на значительные территории Русской равнины. Её особенностью является крайне широкое разнообразие форм деятельности ледника по отношению к рельефу. Абсолютные отметки для данной местности находятся в диапазоне от 125 до 177 метров над уровнем моря.

2.4. Геологические условия. Национальный парк «Себежский», как и Псковская область, расположен в пределах Русской платформы. Кристаллический фундамент архейско-раннепротерозойского возраста залегает на глубинах свыше 1000 метров. Фундамент платформы перекрыт мощным осадочным чехлом, в составе которого разнообразные породы: кембрийские терригенные породы, ордовикские, силурийские и

девонские терригенные и карбонатные отложения. Эти породы представляют собой известняки, доломиты, мергели, песчаники и различные типы глин.

На большей части территории области эти породы перекрываются рыхлыми верхнеплейстоценовыми отложениями, которые приурочены к деятельности ледника. Четвертичные отложения представлены ледниковыми валунными глинами и суглинками, озёрно-ледниковыми песчано-глинистыми отложениями, а также песчаным аллювием в долинах рек. Мощность осадочного чехла достигает 25 метров.

Полезные ископаемые в Псковской области присутствуют в крайне ограниченном количестве и характеризуются преимущественно строительными материалами (тугоплавкие глины Печорского и Луковского месторождений, кварцевые Псковские пески и известняки в месторождении Коломенское).

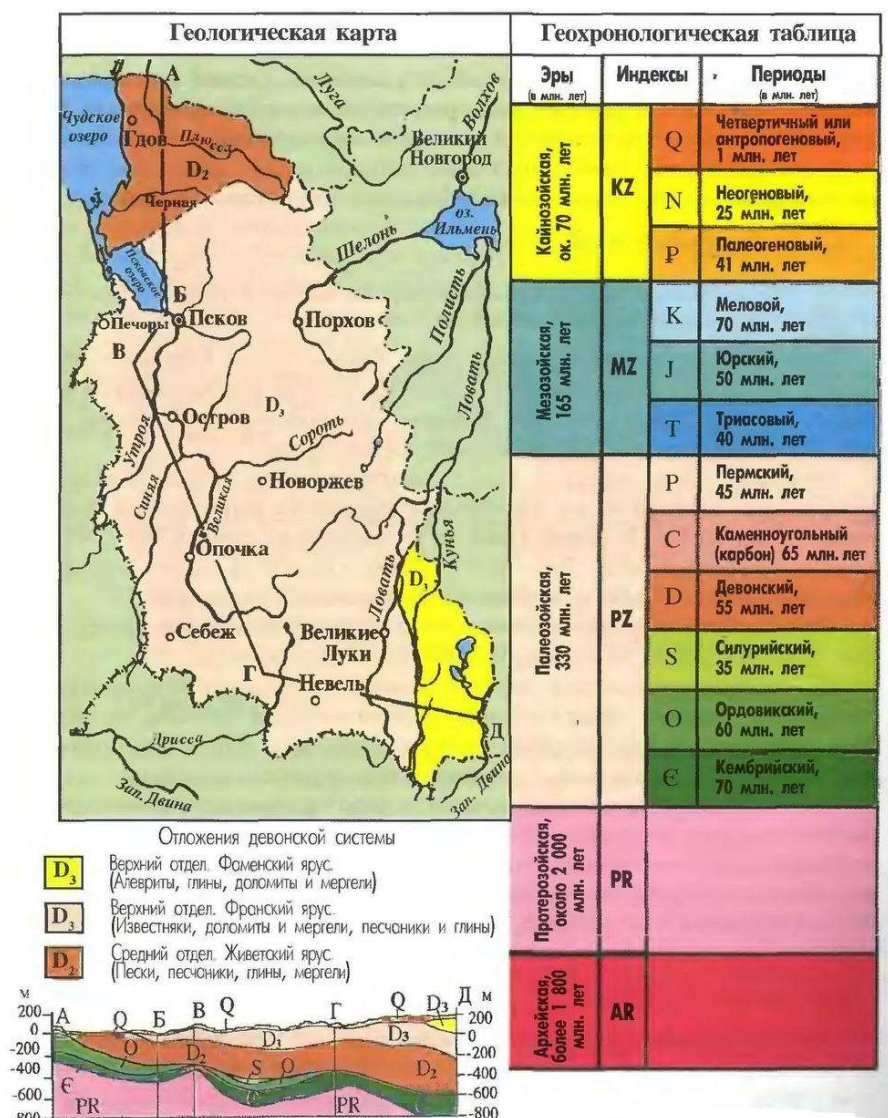


Рисунок 8.. Геологическая карта Псковской области (сайт Федорова Е.Е., эл. ресурс)

2.5. Почвенный покров. Почвы на территории национального парка преимущественно дерново-подзолистые языковатые, а также дерново-подзолистые иллювиально-железистые. Также локальное распространение имеют торфяно-подзолистые,

торфяные и поверхностно-оглеенные почвы в местах, благоприятствующих их формированию. В долинах рек локально проявляются дерново-аллювиальные почвы.

Локально территория парка испытывает антропогенную нагрузку в местах постоянного проживания людей (в первую очередь – город Себеж и небольшие сёла в его окрестностях). Поэтому локально присутствуют перемешанные грунты, абраземы и агроабраземы.

Почвообразующими породами практически повсеместно выступают пески и глины из ледниковых отложений.

2.6. *Растительный мир.* Всего на территории парка обнаружено 914 видов высших растений, 183 вида лишайников, 231 вид мхов, 216 видов водорослей и 1070 видов грибообразных. Парк находится в зоне смешанных лесов, преобладают Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), береза повислая (*Betula pendula*) и береза пушистая (*Betula pubescens*), ель европейская (*Picea abies*) и осина обыкновенная (*Populus sp.*). на месте вырубок формируются луговые сообщества из злаковых, бобовых, сложноцветных и осоковых растений. Значительная территория парка занята болотными сообществами.

Многие виды на ООПТ являются особо охраняемыми. Из них – 101 вид находится в Красной книге Псковской области, а 12 видов – в Красной книге РФ. Таковыми видами являются, например, мхи *Paraleucobryum longifolium*, *Schistostega pennata*, сосудистые растения ирис сибирский (*Iris sibirica*), пальчаторник балтийский (*Actylorhiza baltica*), любка двулистная (*Platanthera bifolia*), гаммарбия болотная (*Hammarbya paludosa*), молодило побегоносный (*Sempervivum globiferum*), волчье лыко обыкновенное (*Daphne mezereum*), первоцвет высокий (*Primula elatior*).

Для национального парка «Себежский» уникальными два генетических резервата: сосны обыкновенной и березы карельской. Также, уникальными являются 9 участков хвойных лесных массивов, возраст которых оценивается в 150-160 лет. Существует искусственно созданная аллея сибирских лиственниц, возраст которых превышает 80 лет, а также 5 коренных клюквенных болот.

2.7. *Животный мир.* Животный мир парка крайне разнообразен, поскольку в нем присутствуют представители тайги, широколиственных лесов и даже лесостепей. Это обеспечивает широкое разнообразие характерных для территории видов.

Всего зафиксировано более 3 тысяч видов беспозвоночных и 314 видов позвоночных. Из них – 32 вида рыб, 218 видов птиц, 49 видов млекопитающих, 6 видов рептилий, 9 видов амфибий.

Наибольшее распространение имеют следующие виды птиц: большая выпь (*Botaurus stellaris*), лебедь-шипун (*Cygnus olor*), малый подорлик (*Clanga pomarina*), серый

журавль (*Grus grus*), малый погоньш (*Zapornia parva*), трехпалый дятел (*Picoides tridactylus*), кряква (*Anas platyrhynchos*), хохлатая чернеть (*Aythya fuligula*), обыкновенный гоголь (*Bucephala clangula*), тетерев (*Lyrurus tetrix*), глухарь (*Tetrao urogallus*), вальдшнеп (*Scolopax rusticola*).

Характерные млекопитающие имеют следующую видовую характеристику: речной бобр (*Castor fiber*), лесная куница (*Martes martes*), барсук (*Meles meles*), бурый медведь (*Ursus arctos*), европейская косуля (*Capreolus capreolus*), лось (род *Alces*), кабан (*Sus scrofa*) и др.

2.8. *Антропогенное воздействие.* На территории национального парка введен особый природоохранный режим, который сильно ограничивает осуществление хозяйственной деятельности. Однако, расположенные в нем город Себеж и многочисленные мелкие поселения являются источником регулярного воздействия на окружающую среду и экосистемы парка.

Согласно административному делению, национальный парк «Себежский» охватывает некоторые муниципальные образования Себежского района: городского поселения «Себеж», городского поселения «Сосновый бор» и сельского поселения «Себежское». Население самого крупного города (Себеж) составляет 6246 человек (по состоянию на 2021 год) (Росстат, эл. ресурс). На территории города на данный момент функционируют несколько предприятий, которые способны особо интенсивно воздействовать на окружающую среду. Таковыми являются:

- ГПУ (Государственное предприятие-учреждение) ЯЛ 61/3 – предприятие электротехнической промышленности, занимается выпуском высоковольтных предохранителей;
- ОАО «Себежская РАВ Техника» - предприятие, осуществляющее лесозаготовительные и лесоперерабатывающие работы;
- ОАО «Себежский щебеночный завод» - занимается производством строительных конструкций.

Вторым по значимости населенным пунктом является поселок Сосновый бор (1888 человек по состоянию на 2021 год), в нем располагается предприятие по производству древесного угля, а также пилорама. В деревне Чернея (170 человек на 2010 год) присутствует предприятие по первичной деревообработке. Помимо этих наиболее значимых поселений, на территории парка присутствует множество небольших деревень с населением не более 100 человек. Местное население занимается ведением персонального хозяйства, а также повсеместно распространено любительское рыболовство.

В связи с активной хозяйственной деятельностью, а также для сохранения природных комплексов национального парка на его территории было введено строгое функциональное зонирование.

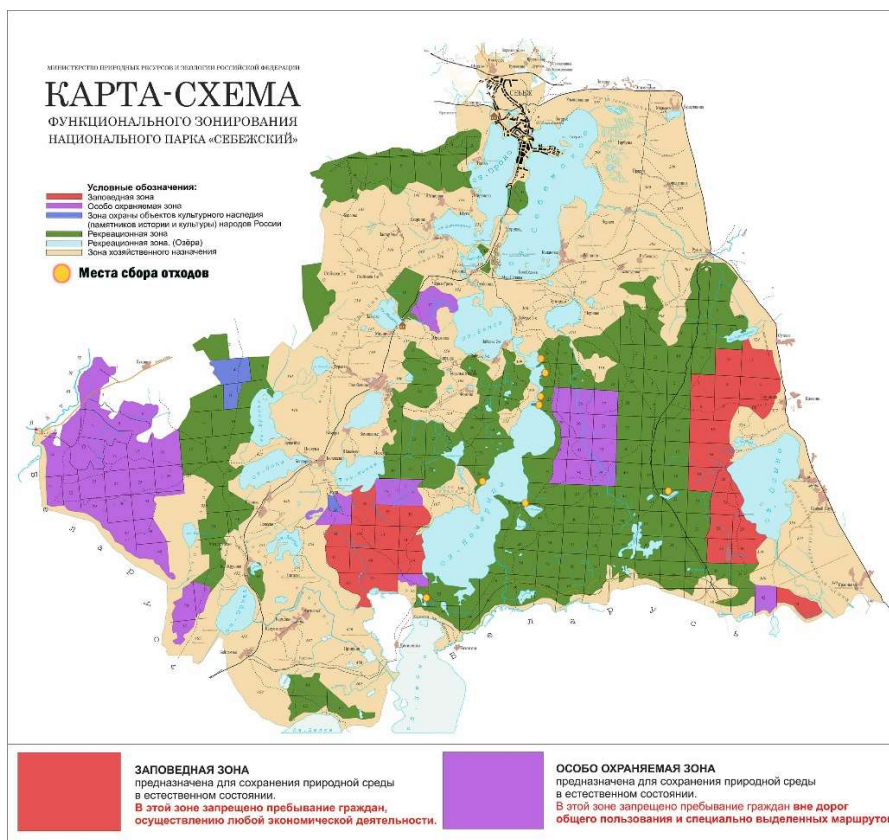


Рисунок 9. Карта-схема функционального зонирования национального парка «Себежский» (Себежский национальный парк, эл. ресурс).

Неотъемлемой частью национального парка является его роль в качестве рекреационного ресурса. Помимо ценностей природных комплексов, особое значение уделяется сохранению историко-культурного и археологического наследия этой территории. К ним относятся неолитические стоянки, городища, селища и курганные группы – всего около 200 подобных памятников. Для осуществления рекреационной функции в национальном парке активно развита система туризма: проложены 2 экологические тропы, используется 1 пешеходный, 1 водный и 2 автомобильных туристических маршрута. Также, вблизи озера Озерявки был построен эколого-просветительский центр – туристическая база на берегу озера, находящаяся в рекреационной зоне и привлекающая множество туристов в летний период года.

Безусловно, подобный уровень антропогенной нагрузки будет сказываться на общем состоянии экосистем национального парка и их загрязненности различными поллютантами. В связи с этим важнейшей задачей является проведение регулярных мониторинговых наблюдений за состоянием территории парка с целью недопущения излишне сильного негативного воздействия на его природные комплексы.

3. Материалы и методы

Для достижения поставленной цели и осуществления обозначенных задач был разработан поэтапный план проведения исследования донных отложений озера Озерявки. Он включал в себя следующие элементы:

- Полевой этап;
- Камеральный этап;
- Анализ полученных результатов.

Каждый из этапов является неотъемлемой частью исследования, в совокупности они позволяют получить полноценные результаты, в полной мере характеризующие водоем.

3.1. Полевой этап.

Этапы пробоотбора. Период полевых исследований охватывает два временных промежутка: август 2022 и январь-февраль 2023 года. Отобранные за каждый период времени пробы стали неотъемлемой частью данной работы и позволили в полной мере охватить территорию озера для полномасштабной оценки содержания тяжелых металлов в его донных отложениях.

А) Летний пробоотбор (5-15 августа 2022 года) В рамках работ проходил детализирующий отбор нестратифицированных проб донных отложений на озерах Себежское, Ороно и Белое. Также, первичный пробоотбор был произведен из донных отложений озера Озерявки, что стало начальным этапом исследования данного озера. Пробоотбор осуществлялся равномерно по всей площади озера, чтобы максимально охватить всю его территорию.

После осуществления отбора, пробы были доставлены в лабораторию физико-химического анализа Института наук о Земле СПбГУ и подвергнуты анализу. Всего за летний период на озере Озерявки было отобрано 11 нестратифицированных проб донных отложений. В принятой на тот момент номенклатуре пробы получили наименование ДООз-(93-103) по каждому нечетному числу, где ДО – донные отложения, Оз – Озерявки, 93, 95, ..., 103 – уникальный номер пробы.

Б) Зимний пробоотбор (30 января – 6 февраля 2023 года). Целью полевого выезда являлся детализирующий пробоотбор нестратифицированных и стратифицированных проб донных отложений из озер Себежское, Ороно, Вятитерьво, Белое, Озерявки. Также, впервые был произведен отбор проб из озера Нечерица.

На озере Озерявки был произведен детализирующий отбор стратифицированных колонок и нестратифицированных проб донных отложений. Отбор производился с целью уточнения результатов исследования за летний период, большей детализации

пространственного распределения тяжелых металлов в отложениях и выявления закономерностей их распределения.

Всего за зимний период пробоотбора на озере Озерявки было отобрано 18 нестратифицированных проб и 4 колонки стратифицированных проб донных отложений (всего – 46 проб из колонок). Нестратифицированные пробы получили наименование ЗДООз-(1-18), где З – зима, ДО – донные отложения, Оз – Озерявки, 1, 2, ..., 18 – уникальный номер пробы. Стратифицированные колонки были названы ЗКОз-(1-5).(1-12), где З – зима, К – колонка, Оз – Озерявки, 1, 2 ..., 5 – уникальный номер колонки, 1, 2 ... 12 – глубина пробы в колонке. Пример: проба ЗКОз-2.7 – колонка №2 на озере Озерявки, проба с глубины 60-70 сантиметров.

Методология пробоотбора. Отбор проб производился при помощи двух пробоотборников:

1. *Бентосный дночерпатель Ван-Вина.* Данный дночерпатель предназначен для отбора нестратифицированной пробы донных отложений из верхнего слоя (до глубины осадка 20 сантиметров). Данный дночерпатель относится к классу бентосных и также предназначен для отбора и описания бентосных организмов водоема исходя из пересчета на объем дночерпателя $1/40 \text{ м}^3$.



Рисунок 10. Бентосный дночерпатель Ван-Вина, фото автора

Пробоотборник имеет следующий принцип работы: ковш, состоящий из двух стальных секций, взводится в открытое состояние и фиксируется в таком положении при помощи подвесного крюка. Далее ковш опускается на дно водоема и полностью ложится на поверхность или толщу дна (зависит от фракции донных отложений). Конструкция

дночерпателя имеет отверстия в верхней части секций, что позволяет выпустить лишний воздух после погружения в толщу воды, а при подъеме отобранной пробы – предотвращает ее размывание. После контакта с дном, под действием собственного веса крюк отпускает подвесную цепь, что позволяет ковшу захлопнуться после того, как пробоотборщик начнет поднимать ковш на поверхность.

После отбора, в полевом дневнике происходит описание отобранной пробы отложений. Фиксируется её цвет, запах, текстура, гранулометрический состав, наличие включений и бентосных организмов в пробе. Далее пробы помещаются в герметичные целлофановые пакеты с вложенной этикеткой-идентификатором номера пробы, даты отбора, местом отбора и фамилией пробоотборщика. На месте отбора пробы фиксируются географические координаты при помощи GPS-трекера, которые также отражаются в полевом дневнике.

При помощи дночерпателя Ван-Вина удастся отобрать нестратифицированную пробу поверхностных донных отложений водоема, которые в дальнейшем подвергаются анализу и аналитическим исследованиям. Данный пробоотборник использовался в летний и зимний период исследования, поскольку небольшой размер и вес позволяют использовать его для отбора проб как с поверхности льда зимой, так и с лодки летом в период открытой воды.

2. *ГОИН-1,5*. Данный пробоотборник используется для отбора стратифицированных проб донных отложений. Иными словами, он позволяет отобрать пробу донных отложений до глубины 1,5 метра без нарушения структуры колонки. Это позволяет отобрать пробы детально из каждого последовательно-нижележащего горизонта.



Рисунок 11.. Пробоотборник трубка ГОИН-1,5, фото автора

ГОИН-1,5 представляет собой полутораметровую трубку, весом порядка 20 килограмм. Внутри трубки располагается специальный полый вкладыш, состоящий из двух одинаковых половинок. Именно в него помещается отбираемая колонка донных отложений. На конце трубки имеется наконечник с заостренной кромкой, который отсекает отбираемую колонку от толщи отложений. В верхней части трубки присутствует клапан, который находится в открытом состоянии при погружении пробоотборника (для свободного прохода через толщу воды), а при подъеме трубки – закрывается под действием давления воды. Клапан предотвращает размывание пробы, а также выступает в роли утяжелителя и стабилизатора, что позволяет трубке быстро и строго вертикально достичь дна водоема.

В момент отбора пробы трубка отпускается строго вертикально вниз и в режиме свободного падения, набрав необходимую скорость, врезается в толщу отложений, после чего поднимается обратно. Результатом отбора является стратифицированная колонка донного отложения.



Рисунок 12. Отобранная при помощи ГОИН-1,5 колонка донных отложений.

Полученная колонка отбирается послойно через каждые 10 сантиметров, или при выраженной смене слоев (при смене фракции, цвета и тд). В полевом дневнике происходило описание каждой послойно отбираемой пробы с указанием глубины пробы в колонке, её цвета, запаха, гранулометрического состава, включений и бентосных организмов. После этого, каждая проба помещалась в отдельный герметичный целлофановый пакет с

вложением этикетки, на которой указывался уникальный номер пробы, дата и место отбора, а также фамилия пробоотборщика. На месте отбора колонки фиксируются географические координаты при помощи GPS-трекера, которые также отражаются в полевом дневнике.

Таким образом, с учетом отбора проб в летний и зимний период на озере Озерявки сеть пробоотбра имеет следующий вид:



Рисунок 13. Схема отбора проб на озере Озерявки.

Все работы проводились в соответствии с действующим ГОСТ 17.1.5.01-80 «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность». Координаты точек отбора проб представлены в приложении 8.

3.2. Камеральный этап

После завершения полевого этапа, отобранные пробы были доставлены в лабораторию физико-химического анализа Института наук о Земле СПбГУ для проведения аналитических исследований.

Подготовка проб к анализу производилась следующим образом. Каждая проба помещалась в пластиковый контейнер с указанием на контейнере идентификационного номера пробы. После этого пробы были помещены в сушильный шкаф, где при температуре 60°C высушивались до воздушно-сухого состояния. Далее, каждая проба перемалывалась вручную при помощи фарфоровых пестика и ступки до размера частиц 0,4 мм и менее. Подобный метод измельчения позволяет подготовить пробы для анализа по выбранным методикам. После перемалывания, пробы помещались обратно в контейнер, затем последний герметично закрывался крышкой. Процесс пробподготовки полностью проводился автором работы.

Анализ отобранных проб производился рентгенофлуоресцентным методом при помощи анализатора AP-104. Данный прибор предназначен для одновременного высокоточного определения массовой доли не более чем 4 химических элементов в диапазоне атомных номеров от 22 до 42 и от 73 до 83. Для успешного проведения анализа необходимо то количество навески измельченной пробы, которое позволит полностью перекрыть дно контейнера с прозрачным дном. Диаметр контейнера составляет 4 сантиметра.

Прибор состоит из трех основных блоков: блок возбуждения и детектирования (БВД), блок анализатора импульсов и блок питания. БВД по рентгенооптической схеме Иоганссона возбуждает в исследуемой пробе длины волн необходимого рентгеновского излучения, которые в свою очередь соответствуют выбранным химическим элементам. Анализатор импульсов предназначен для амплитудного анализа по пяти каналам, после чего полученные данные накапливаются и отображаются в одноименной программе «AP-104». Каждый из измерительных каналов в анализаторе импульсов содержит свой основной усилитель, систему автоматической подстройки усиления и амплитудный селектор. (Грабовский, 1991).

На практике, для получения необходимых данных от исследователя, после включения и наладки оборудования, требуется поместить пробу в контейнер с прозрачным дном, после чего с помощью специальной каретки поместить пробу в зону облучения, где проба облучается в течение 80 секунд. После этого проба удаляется из контейнера, последний очищается от остатков предыдущей пробы, после чего в него помещается

следующая проба. Данный процесс производился вручную автором работы. Полученные результаты обрабатываются в программе «AP-104», и предоставляются в виде таблицы.

Результатом анализа стало валовое содержание в каждой отобранной пробе таких тяжелых металлов и металлоидов, как Zn, Pb, Cu, Ni, Cr и As. Таблицы с результатами анализа представлены в приложениях 1-6. Выбор данных тяжелых металлов обусловлен тем, что именно они являются наиболее яркими индикаторами антропогенного воздействия на окружающую среду (см. раздел «Литературный обзор»). Измерения произведены с известной погрешностью и порогом измерения, которые представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Погрешность и порог измерения для некоторых тяжелых металлов на аппарате AP-104 (Грабовский, 1991).

Металл	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг
Погрешность	5	4	2	12	4	6
Порог измерения	5,0	10,0	7,0	5,0	5,0	5,0

3.3 Анализ полученных результатов

Расчет медианных значений. Первоначальным этапом анализа полученных результатов является определение медианных значений для тяжелых металлов в донных отложениях озера. В связи с отсутствием фоновых концентраций остро встает вопрос о необходимости определения естественных концентраций, зная значение которых предоставляется возможным сравнить полученные значения и определить превышения или понижения медианных значений.

Выбор данного метода анализа обусловлен тем, что выборка полученных значений по каждому отдельному металлу имеет крайне неоднородное распределение, отличающееся от нормального. Первоначально, для любой выборки происходит формирование и проверка гипотезы о типе распределения генеральной совокупности. В случае полученных результатов для озера Озерявки, распределение не имеет четко выраженного типа. Для некоторых металлов она имеет вид, близкий к логнормальному, для других распределение имеет вид нормальной выборки, но с заметными отличиями, не позволяющими сделать такой вывод, для прочих – в целом не удастся отнести распределение к тому или иному типу (более подробно – в главе «Результаты. Гистограммы распределения»).

В связи с неопределенностью закона распределения, было принято решение о расчете именно медианных значений, поскольку невозможно применение параметрической статистики. Этот тип статистики используется, когда оценку параметров распределений находят исходя из заранее известного закона распределения случайных величин (Ваганов и др., 2008). Также, согласно литературным данным, при наличии модели, в которой часть

результатов завышает, а часть занижает истинное значение, производится определение выборочной медианы. Этот метод является более устойчивым, нежели определение среднего, поскольку было доказано, что при отличии распределения от нормального, выборочная медиана будет предоставлять значительно более значимые результаты, нежели среднее. Иными словами, медиана менее чувствительна к большим случайным отклонениям в выборке. Поэтому при несимметричном распределении независимых результатов измерений в качестве оценки параметра положения принимают медиану (Ваганов и др., 2008).

Непосредственно медианные значения для каждого металла рассчитывались по результатам анализа как поверхностных проб, так и стратифицированных колонок. Всего для расчета были использованы данные анализа 75 проб.

Непосредственно расчет медианных значений производился в программе Microsoft Excel. По результатам расчета были получены медианные значения для каждого из исследуемых металлов, представленные в таблице 3.

Таблица 3. Медианные значения содержания тяжелых металлов в донных отложениях озера Озерявки (в мг/кг).

Металл	Pb	Zn	Cu	Ni	Cr
Медиана, мг/кг	55	53	15	19	25

Расчет суммарного показателя превышения медианных значений. Одной из основных задач данного исследования является интегральная оценка закономерностей распределения основных выбранных тяжёлых металлов (Zn, Pb, Cu, Ni, Cr) в донных отложениях озера. Для этого в работе используется суммарный показатель превышения медианных значений – $Z(\text{exceed})$, сокращенно Z_{ex} . По своему смыслу, данный показатель аналогичен коэффициенту суммарного загрязнения почв (Z_c), который дает наглядную информацию об отношении содержания поллютантов в каждой точке к фоновым значениям. Ввиду отсутствия литературных данных о фоновых концентрациях тех или иных тяжелых металлов в донных отложениях для Псковской области (региональный фон), было принято рассчитать суммарный показатель превышения по медианным значениям.

Рассчитывался данный показатель по формуле, аналогичной формуле Саета: (Ваганов и др., 2008).

$$Z_c = \sum K_{C_i} - (n - 1)$$

В данной формуле – K_{C_i} – коэффициент концентрации относительно фоновых значений, n – число элементов в выборке.

Формула расчета суммарного показателя превышения медианных значений имеет такой же вид, однако коэффициент концентрации K_{Ci} рассчитан относительно медианы. Это обосновано отсутствием данных о фоновых концентрациях металлов в донных отложениях, и именно поэтому для расчета показателя используется медиана. Благодаря расчету данного показателя для каждой точки пробоотбора предоставляется возможным графически отобразить общее загрязнение тяжелыми металлами донных отложений озера. Для отображения были использованы расчеты для всех точек, включая те, значение показателя на которых оказалось ниже 1. Подобное допущение происходит по причине расчета показателя на основании медианы, а не фоновых концентраций.

Графическое отображение результатов. Для наглядного отображения результатов исследования были использованы программы графического построения. В первую очередь была использована программа Microsoft Excel, благодаря которой предоставляется возможным осуществление простейших математических расчетов (таких как медианные значения, среднее значение в выборке, коэффициент вариации и тд.). Также, при помощи данной программы были построены графики распределения концентраций тяжелых металлов по глубине в каждой точке отбора стратифицированной колонки, который наглядно отображают полученные данные.

Для построения картографических материалов была использована программа QuantumGIS 3.20 «Tisler». При помощи программы были графически отображены географические координаты точек отбора проб с привязкой на местности. Также программа позволяет отобразить на картографическом материале контуры и условные обозначения значимых элементов территории, благодаря которым возможно наиболее наглядно получить информацию о местности и её характеристики. Благодаря QuantumGIS была построена карта фактического материала (рис. 13), а также карта распределения коэффициента суммарного показателя медианных значений относительно глубины водоема (рис. 38).

Также, для интерпретации результатов была использована программа Golden Software Surfer. Программа позволяет в удобном режиме работать с построением изолиний в заданном контуре относительно необходимой величины. Изолинии пространственного распределения каждого исследуемого тяжелого металла в отдельности в донных отложениях озера Озерявки были построены при помощи программы Surfer. Помимо них была создана карта с изолиниями пространственного распределения коэффициента суммарного показателя медианных значений (рисунки 4.20-4.24 и 4.26)).

4. Результаты исследования

4.1. Анализ закономерностей распределения тяжелых металлов

Выборка по каждому из тяжелых металлов была проанализирована с точки зрения закона распределения, которым можно охарактеризовать данную выборку. Для этого, каждая выборка была оценена по тесту Харке-Бера, который позволяет сделать выводы о нормальном или логнормальном распределении. Все анализируемые пробы представляют собой илистую фракцию, что позволяет проводить сравнение между ними основываясь на однородности условий накопления (за исключением одной пробы с песчанистой фракцией, исключенной из выборки). Всего выборка по каждому тяжелому металлу представляла собой 74 значения.

По результатам данного теста, были выявлены две группы закономерностей для распределения тяжелых металлов. Так, близкий к нормальному типу распределения имеют цинк и свинец. Для обоих металлов это обосновано присутствием в выборке значений, которые более чем в 2 раза превосходят медианные для озера. В связи с присутствием таких концентраций не предоставляется возможным отнесение выборок цинка и свинца к нормальным, что подтверждается не только тестом Харке-Бера, но и их графическим отображением (рис. 14 и 15). Формирование такого типа выборки обусловлено присутствием антропогенного влияния, которое совместно с естественными условиями, является фактором накопления этих тяжелых металлов в выборке.

Второй тип выборки характерен для меди, никеля и хрома. Тест Харке-Бера не относит данные выборки к нормальным, при этом выборки скорее близки к логнормальному типу распределения. Логнормальное распределение характеризуется как естественное, и имеет тренд на постепенное снижение концентраций после пика медианных значений. Никель и хром к логнормальным выборкам не относятся, хотя имеют близкий к ней вид, а выборка меди, по результатам теста, максимально близка к логнормальной. Это говорит о том, что антропогенного привнесения данных металлов практически не происходит, и основным фактором, влияющим на их накопление, будут естественные процессы.

Для графического отображения выборок были построены гистограммы распределения металлов в отложениях озера. Для построения гистограмм были использованы как результаты анализа поверхностных проб, так и стратифицированных колонок. Гистограммы предоставляют возможность визуально отобразить результаты для определения закона распределения по внешнему виду. Построение производилось в

программе Microsoft Excel, по горизонтали отображены концентрации с шагом в 10 мг/кг, по вертикали – частота встречаемости каждого шага концентрации.

Для начала, обратимся к гистограмме распределения цинка (рис. 14).

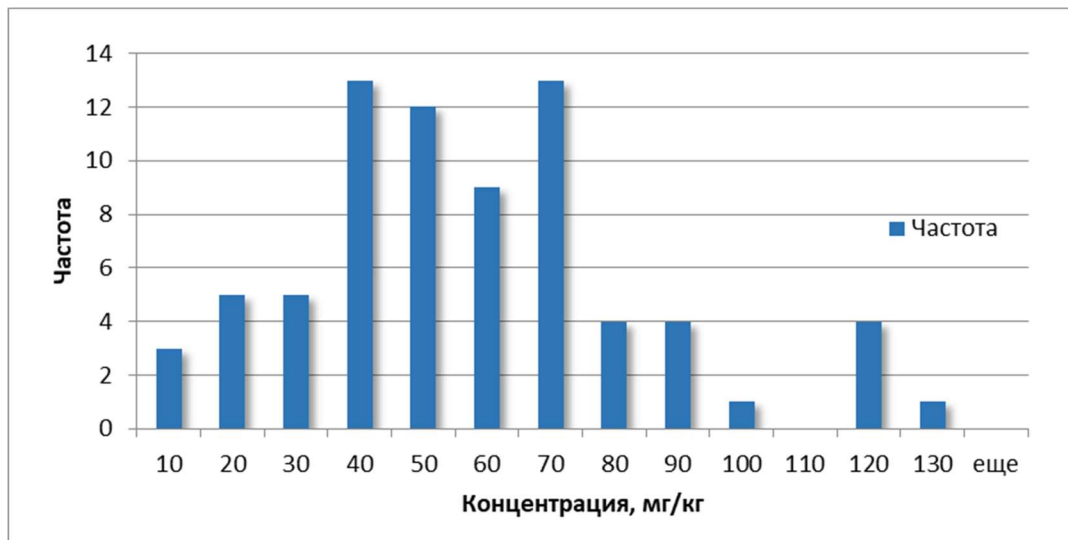


Рисунок 14. Гистограмма распределения концентраций цинка в донных отложениях.

Внешний вид данной гистограммы характерен несколькими ярко выраженными особенностями. Во-первых, наблюдается основной пик значений в диапазоне 40-70 мг/кг, что близко к медианному значению в 53 мг/кг и отражает естественные концентрации данного элемента. Однако в правой части гистограммы наблюдаются повышенные концентрации, превышающие медианные значения более чем в 2 раза (120-130 мг/кг). Такие значения могут быть приурочены к антропогенному влиянию на донные отложения и формированию нескольких точек, в которых наблюдаются его следы. В связи с присутствием таких концентраций, как уже упоминалось, не предоставляется возможным отнести полученную выборку к нормальной.

Обратимся к гистограмме распределения свинца, представленной на рисунке 15.

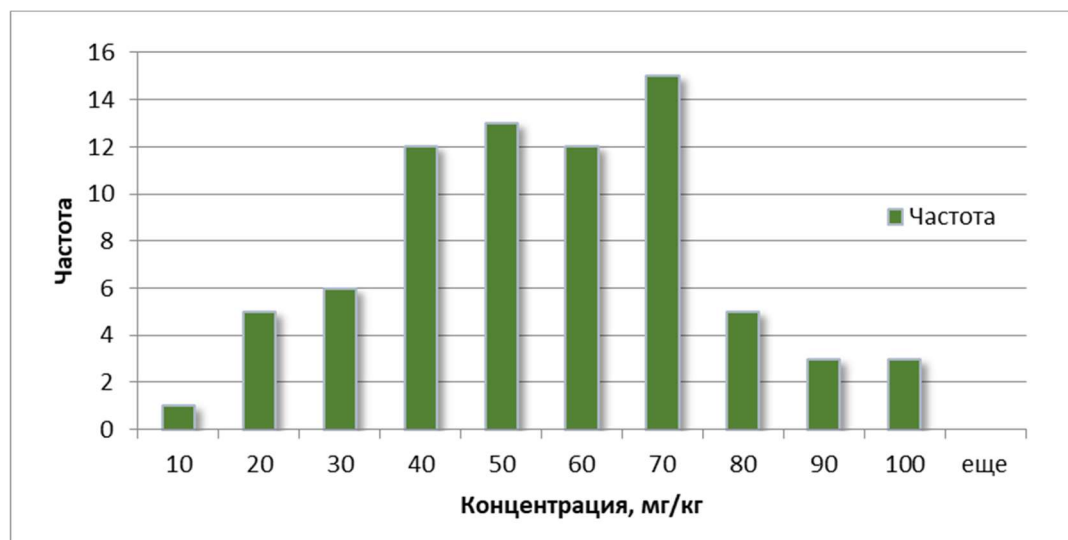


Рисунок 15. Гистограмма распределения концентраций свинца в донных отложениях.

Как можно заметить, данная гистограмма имеет распределение, близкое по внешнему виду к нормальному. Имеется выраженный пик значений, приуроченный к медиане (55 мг/кг) и соответствующий естественным концентрациям этого элемента в донных отложениях. Как и в случае с выборкой значений цинка, на гистограмме свинца присутствуют значения, которые приурочены к практически двукратному превышению медианы (90 и 100 мг/кг встречаются трижды каждая). Подобное распределение вновь позволяет сделать вывод о том, что помимо естественных, на распределение свинца также влияет один или несколько антропогенных факторов.

Далее следует упомянуть и описать гистограммы двух металлов, внешний вид которых практически идентичен: медь и никель (рисунки 16, 17).



Рисунок 16. Гистограмма распределения концентраций меди в донных отложениях.



Рисунок 17. Гистограмма распределения концентраций никеля в донных отложениях.

В отличие от ранее описанных графиков, для большей наглядности результатов анализа, шкала концентраций была уменьшена до шага в 5 мг/кг. Для гистограммы распределения меди характерно постепенное понижение частоты концентраций

относительно медианных значений, которые достигаются на пике гистограммы (15 мг/кг). Значительная часть проб содержит медь в концентрациях ниже порога чувствительности прибора (5 мг/кг).

Гистограмма распределения никеля имеет схожий с медью вид, близкий к логнормальному распределению, но таковым не являющийся. Пиковые значения приурочены к естественному распределению и коррелируют с медианным значением (19 мг/кг). Также, в правой части гистограммы наблюдается несколько проб с концентрациями, превышающими медианные значения более чем в 2 раза. Именно эти точки, скорее всего приуроченные к следам антропогенного влияния, не позволяют отнести выборку никеля к логнормальной.

Таким образом, гистограммы распределения меди и никеля имеют вид, близкий к логнормальному, то есть естественному распределению. Основным фактором, влияющим на их распределение в донных отложениях, будут естественные процессы. Антропогенный фактор при этом практически не влияет на распределение.

Также следует рассмотреть гистограмму распределения хрома (рис. 18).

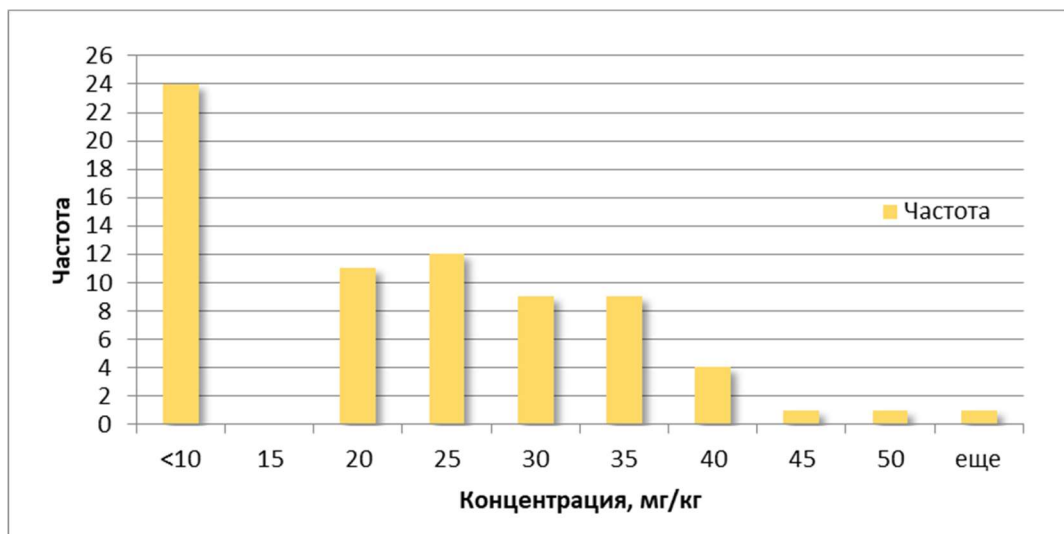


Рисунок 18. Гистограмма распределения концентраций хрома в донных отложениях.

Как можно заметить, на данной гистограмме значительное число проб при анализе содержания хрома оказалось ниже порога чувствительности прибора (10 мг/кг). Также, пик присутствует вблизи медианных значений для выборки (25 мг/кг). Правая часть гистограммы, как и в случае с цинком и никелем, характеризуется присутствием нескольких точек с повышенными концентрациями данного металла, что говорит о присутствии антропогенного воздействия и наличии его следов.

Таким образом, благодаря анализу гистограмм предоставляется возможным сделать следующие выводы:

1. Выборки данных тяжелых металлов относятся к двум категориям: для свинца и цинка характерно значимое влияние антропогенного фактора накопления наряду с естественным, для меди, никеля и хрома наиболее значимым будет только естественное накопление.

2. Выборки свинца и цинка имеют вид близкий к нормальному, однако присутствие следов антропогенного влияния не позволяет отнести их к таковым. Аналогична ситуация для никеля и хрома, которые имеют близкое к логнормальному распределение, однако следы антропогенного влияния не позволяют их так охарактеризовать. Исключением в данном случае является медь, антропогенного воздействия от которой практически не наблюдается, поэтому ее распределение наиболее приближено к логнормальному.

4.2. Распределение тяжелых металлов в разрезе донных отложений

4.2.1. Результаты анализа каждого из тяжелых металлов

Переходя непосредственно к результатам натурных исследований, в первую очередь необходимо рассмотреть стратифицированные колонки донных отложений. Это необходимо для того, чтобы отследить динамику накопления каждого тяжелого металла в отложениях. Послойно отобранная колонка позволяет сделать выводы об объемах и моменте поступления загрязнителя в донные отложения, благодаря чему наиболее наглядно удастся отобразить возможное антропогенное загрязнение (Даувальтер, 2012).

Графики стратифицированных колонок были построены в программе Microsoft Excel, по горизонтали отображается содержание металла в пробе в мг/кг, по вертикали – глубина колонки донных отложений в сантиметрах. Графики были построены для свинца, цинка, хрома, меди и никеля. Содержание мышьяка в стратифицированных пробах оказалось ниже порога обнаружения прибора (менее 5 мг/кг), исключением является колонка ЗКОз-2, речь о которой пойдет позднее.

На каждом графике серым цветом представлены концентрации металла в каждой отдельной колонке, зеленым – среднее содержание металла на каждой глубине, красным изображено медианное значение, которое было рассчитано ранее.

По результатам построения графиков было выявлено два типа распределения тяжелых металлов. Первый приурочен к накоплению свинца и цинка в отложениях, для которых наблюдается тренд на увеличение концентраций в верхней части разреза. Второй тип характерен для меди, никеля и хрома, поскольку их концентрации практически не изменяются в разрезе. Каждый из типов распределения следует рассматривать отдельно.

Обратимся к графику распределения свинца в стратифицированных колонках (рис. 19), в котором хорошо заметен тренд первого типа распределения.

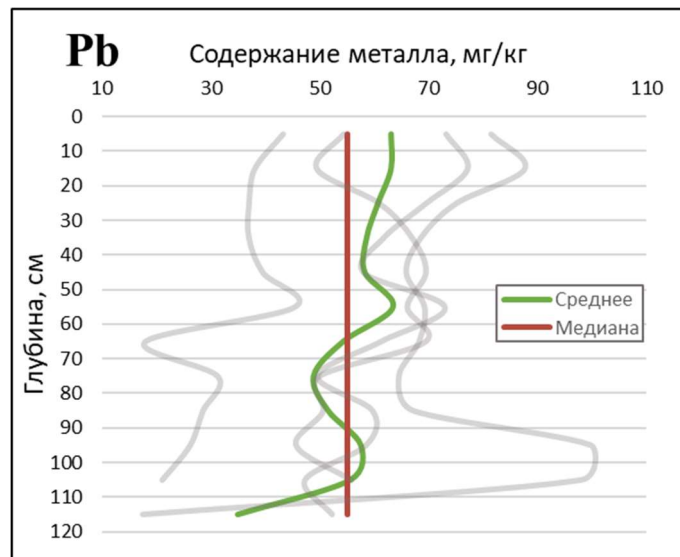


Рисунок 19. Распределение свинца в стратифицированных колонках донных отложений

Свинец имеет характерное распределение, которое наглядно демонстрирует увеличение антропогенной нагрузки на экосистему озера. Как можно заметить на данном графике, содержание металла увеличивается к верхней части колонки, начиная с его глубины 50-60 сантиметров. Это свидетельствует о том, что с момента накопления этого слоя отложений в них наблюдаются следы антропогенного влияния. Гипотеза подтверждается данными о скоростях осадконакопления для данной территории, которая составляет порядка 1 сантиметра за 4 года (Карпухина, 2018). Также, на этой глубине в разрезе отложений происходит увеличение их плотности и уменьшение обводненности, это характерно для каждой из колонок. Эти два фактора способствуют накоплению тяжелых металлов в верхней части колонки.

Наиболее наглядно этот тренд наблюдается в колонке ЗКОз-1, в которой содержания свинца изменяются от 47-52 мг/кг в нижней части колонки до 74-77 мг/кг в ее верхней части (рис. 20).

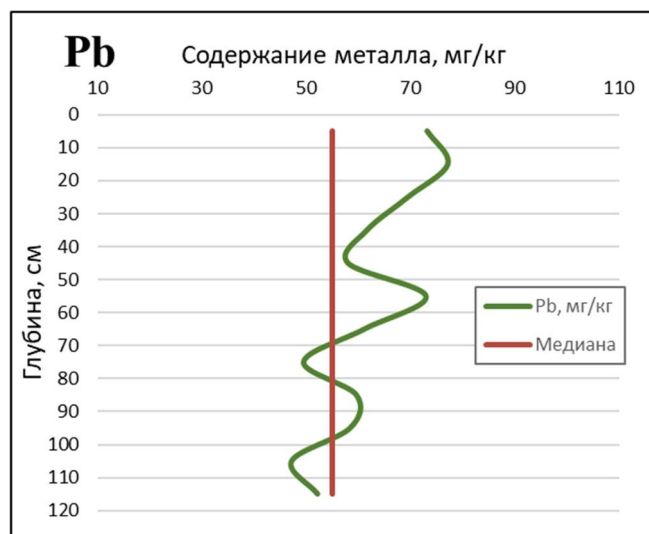


Рисунок 20. Распределение свинца в стратифицированной колонке ЗКОз-1

Распределение цинка (рис. 21) имеет схожий с распределением свинца вид: наблюдается повышение концентрации данного металла в верхней части колонки отложений относительно ее нижней части. Данный тренд также объясняется присутствием следов антропогенного воздействия. Также, на данном графике выделяется резкое повышение средних концентраций цинка относительно медианы до 76 мг/кг на глубине в 50-60 сантиметров. Это приурочено к уменьшению обводненности колонки, что приводит к увеличению ее плотности. Предположительно, на данной границе раздела тяжелые металлы имеют тенденцию к накоплению.

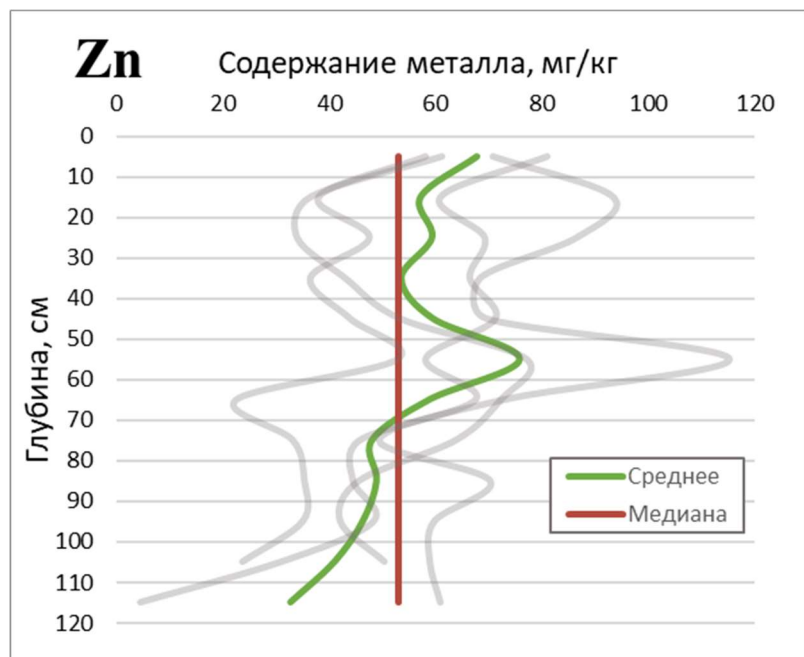


Рисунок 21. Распределение цинка в стратифицированных колонках донных отложений

Концентрации меди и никеля в колонках имеют схожее распределение, которое значительно отличается от ранее описанных свинца и цинка. Такой тип распределения характеризуется тем, что концентрации практически не изменяются с глубиной колонки и близки к медианным значениям по каждому металлу для данного водоема. Это говорит о том, что привнесения таких тяжелых металлов из-за антропогенного воздействия не происходит, поэтому их распределение в колонках донных отложений можно считать близким к естественному.

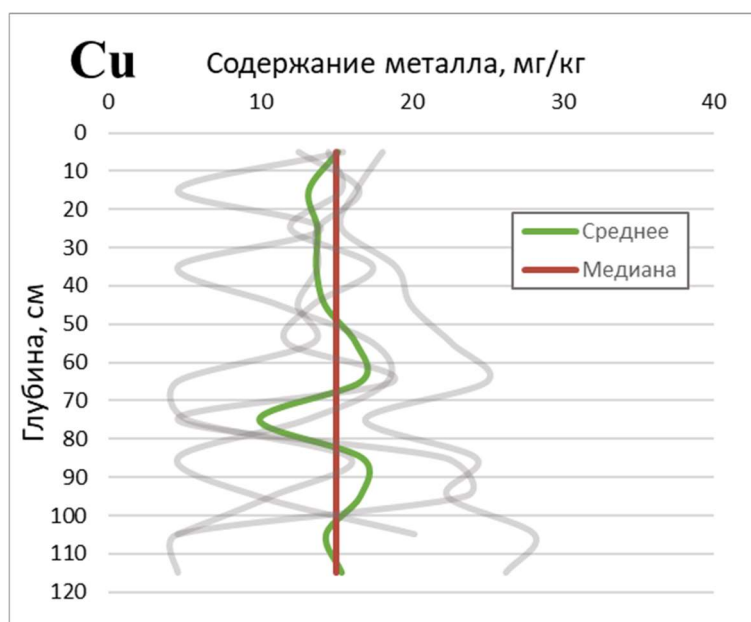


Рисунок 22. Распределение меди в стратифицированных колонках донных отложений

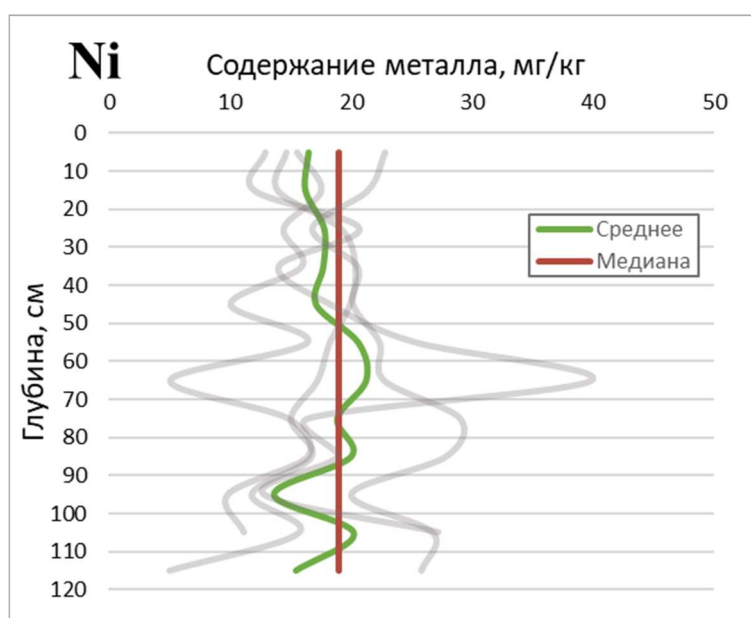


Рисунок 23. Распределение никеля в стратифицированных колонках донных отложений

Содержание хрома в колонках донных отложений неоднозначно, поскольку его концентрации изменяются с глубиной крайне неоднородно. В данном случае сложно установить какую-либо тенденцию и сделать выводы о закономерностях накопления этого металла в отложениях. Значения концентрации металла во многих пробах оказались ниже порога чувствительности прибора (10 мг/кг). Сам же график средних концентраций хрома по глубине не имеет выраженного тренда, что также соответствует графикам для каждой отдельной колонки. Таким образом, динамику накопления хрома при данном методе анализа установить невозможно.

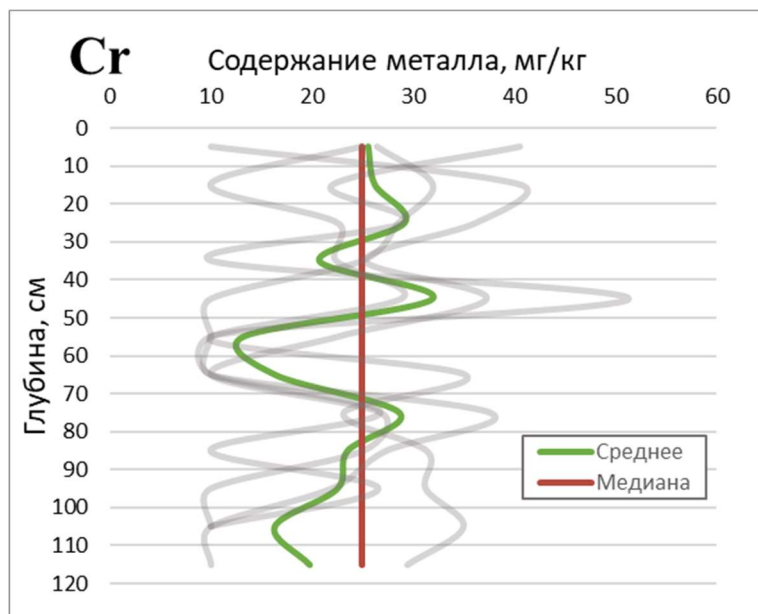


Рисунок 24. Распределение никеля в стратифицированных колонках донных отложений

Для наглядного сравнения двух типов распределения тяжелых металлов в разрезе донных отложений, были построены графики с каждым из металлов по каждой отдельной колонке. Они будут рассмотрены в порядке, соответствующим их расположению в озере по его течению (см. рис. 13). Все колонки сложены илистыми отложениями, что свидетельствует об одинаковых условиях осадконакопления. Исключением в данном случае является колонка ЗКОз-2, имеющая в своем составе перчанистые отложения, речь о ней пойдет позднее.

Колонка ЗКОз-5 была отобрана в первой котловине Озерявок, находящейся выше всего по течению, вблизи протоки из озера Белое. Колонка отбиралась с глубины около 4 метров в наиболее глубокой части котловины, полностью сложена илистыми отложениями темного до черного цвета с оливковым отливом. В колонке с увеличением ее глубины увеличивается количество песка, в нижней части его количество достигает 10%, и она приобретает коричневый цвет. Вместе с этим присутствуют включения обломков ракушек и неразложившейся органики, в основном приуроченные к верхним слоям колонки. Предположительно, в данной колонке должны накапливаться тяжелые металлы, которые поступают из озера Белое. Благодаря анализу данной колонки предоставляется возможным установить динамику поступления в Озерявки металлов, которые были привнесены из озер, находящихся выше по течению (Себежское, Ороно, Вятитерьво, Глыбочно, Белое). Результаты анализа данной колонки представлены на рисунке 25.

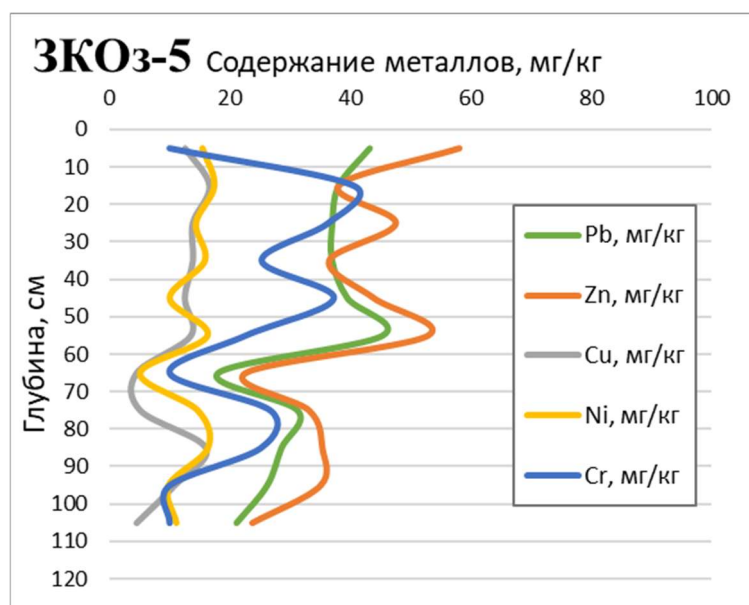


Рисунок 25. Содержание некоторых тяжелых металлов в колонке ЗКОз-5

Схожее распределение в данной колонке имеют свинец и цинк, их концентрации увеличиваются в верхней части донных отложений (от 21 до 45 мг/кг для свинца и от 24 до 58 мг/кг для цинка). Это говорит о постепенном увеличении поступления этих тяжелых металлов в донные отложения за последние года. Также, для обоих металлов характерен скачок на глубине 50-60 сантиметров колонки, происходит повышение их концентраций. Данный тренд вновь коррелирует с увеличением плотности и снижением обводненности осадка, происходящими на этой глубине отложений. Это вновь подтверждает отнесение этих металлов в первому типу распределения в колонке.

Однако следует заметить, что средние концентрации металлов в колонке ощутимо ниже, чем концентрации в колонках, расположенных ниже по течению, речь о них пойдет далее. Это позволяет говорить о том, что этот участок является транзитной зоной, через которую проходят загрязнители и на которой они практически не задерживаются.

Распределение меди и никеля в данной колонке имеет практически идентичный вид. Общий тренд – крайне незначительное повышение концентраций в верхней части колонки (от 6 до 13 мг/кг для меди и от 11 до 15 мг/кг для никеля). Таким образом, для колонки ЗКОз-5 справедлив вывод о том, что привнесения меди и никеля от антропогенных источников не происходит, их накопление в донных отложениях обусловлено исключительно естественными законами распределения.

Содержание хрома в колонке имеет неоднозначный вид, поскольку график выражен зигзагообразной кривой. Однако все же прослеживается основной тренд на повышение концентрации хрома в верхней части колонки (с 25 до 41 мг/кг). Содержание хрома в некоторых пробах оказалось ниже порога чувствительности прибора (10 мг/кг). Источником поступления хрома в озеро, в противовес остальным тяжелым металлам,

предположительно, является озеро Белое. По результатам анализа поверхностных проб донных отложений, проводившемся параллельно данному исследованию (Богданов и др., 2023), в Белом содержание хрома в донных отложениях в некоторых точках превышает 300 мг/кг.

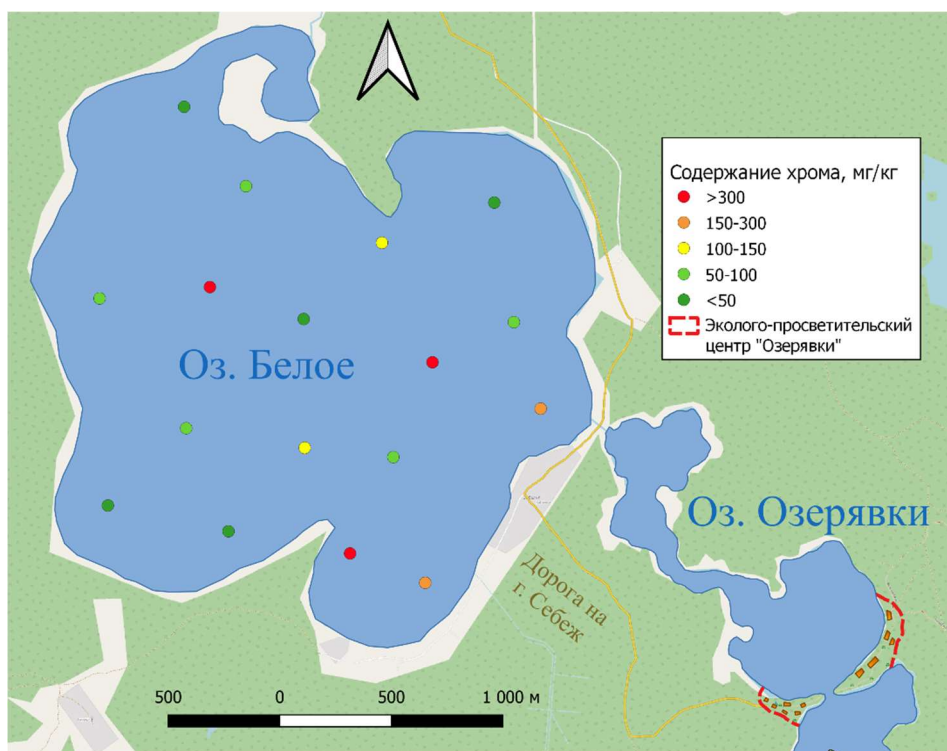


Рисунок 26. Распределение хрома в донных отложениях озера Белое

Благодаря исследованию озера Белое, в нем было выявлено несколько точек с критически высокими концентрациями данного металла. Следовательно, поступление хрома в Озерявки действительно может объясняться неким источником воздействия, расположенным выше по течению в системе озер национального парка.

Далее, обратимся к колонке ЗКОз-1, которая находится в средней части озера, в наиболее глубокой части второй его котловины. Колонка сложена илистым осадком темно-коричневого цвета с зеленоватым отливом. На протяжении всего разреза (120 сантиметров) наблюдаются илистые отложения с включениями слаборазложившейся органики. Осадок имеет комковатую текстуру и сильную обводненность до глубины 50 сантиметров. На глубине 1 метра в колонке вновь резко повышается плотность, текстура становится однородной, пропадает комковатость.

Данная колонка располагается на глубине 4 метров, что является наиболее глубокой частью второй котловины озера. Эта часть является зоной естественной аккумуляции, именно в ней наиболее вероятно накопление исследуемых тяжелых металлов. Из возможных антропогенных факторов, которые могут повлиять на результаты анализа

выделяется близкое расположение эколого-просветительского центра «Озерявки», который в летний период года является популярным местом для кемпинга и загородного отдыха.

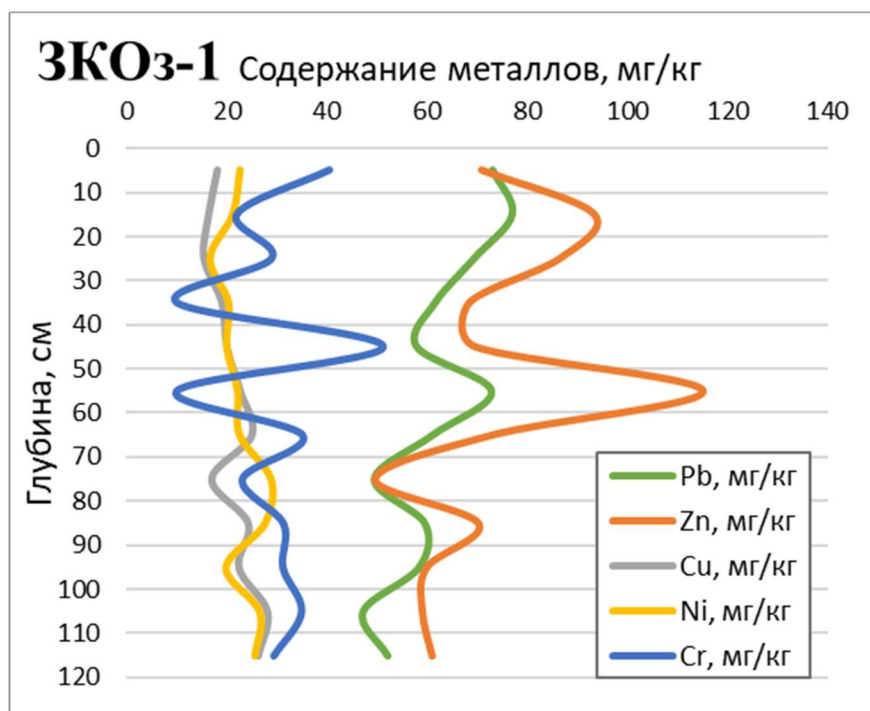


Рисунок 27. Содержание некоторых тяжелых металлов в колонке ЗКОз-1

Как можно заметить, тяжелые металлы накапливаются в данном профиле крайне неоднородно. Наиболее характерный тренд отображается для содержания свинца в колонке, который был описан ранее и приурочен к возможному антропогенному влиянию. Также, характерный вид имеет распределение меди и никеля, концентрация которых практически не изменяется на протяжении всей длины колонки. Их содержание в верхней части колонки составляет 18 и 23 мг/кг, а в нижней – 26 и 27 мг/кг соответственно для каждого металла. Такая незначительная разница позволяет сделать вывод о том, что распределение этих металлов в колонке близко к естественному, и выраженное антропогенное поступление меди и никеля отсутствует.

Распределение цинка в данной колонке имеет несколько меньшую выраженность, график имеет зигзагообразный вид. Его концентрации в верхней части колонки составляют 71-93 мг/кг, а в нижней – 59-61, что говорит хоть о незначительном, но все же присутствующем тренде на его повышение к верхней части профиля. Однако в средней части наблюдается попеременное увеличение и уменьшение концентрации этого металла. Наибольший пик со значением в 115 мг/кг наблюдается на глубине 50-60 сантиметров, что приурочено к уменьшению обводненности колонки и уплотнению его текстуры. Еще один пик наблюдается на глубине колонки 10-20 сантиметров, и соответствует значениям 87-93 мг/кг. В соответствии со скоростями осадконакопления, этот слой имеет возраст порядка 15 лет, что, предположительно, может соответствовать началу рекреационной деятельности

на территории ЭПЦ «Озерявки». Данный тип антропогенного воздействия и мог привести к повышенным концентрациям цинка в колонке.

График распределения хрома также имеет неоднородный вид, поскольку также представляет собой зигзагообразную кривую. При этом, в двух точках концентрации металла оказались ниже порога чувствительности прибора (10 мг/кг), они соответствуют глубинам 30-40 и 50-60 сантиметров. Также присутствует тренд на незначительное повышение концентрации металла в верхней части отложений, что может быть приурочено к современной антропогенной нагрузке. Однако для остальной части колонки трудно сделать выводы о закономерностях накопления хрома в связи с неоднородностью результатов анализа.

Обратимся к графику распределения тяжелых металлов в колонке ЗКОз-3, представленной на рисунке 28.

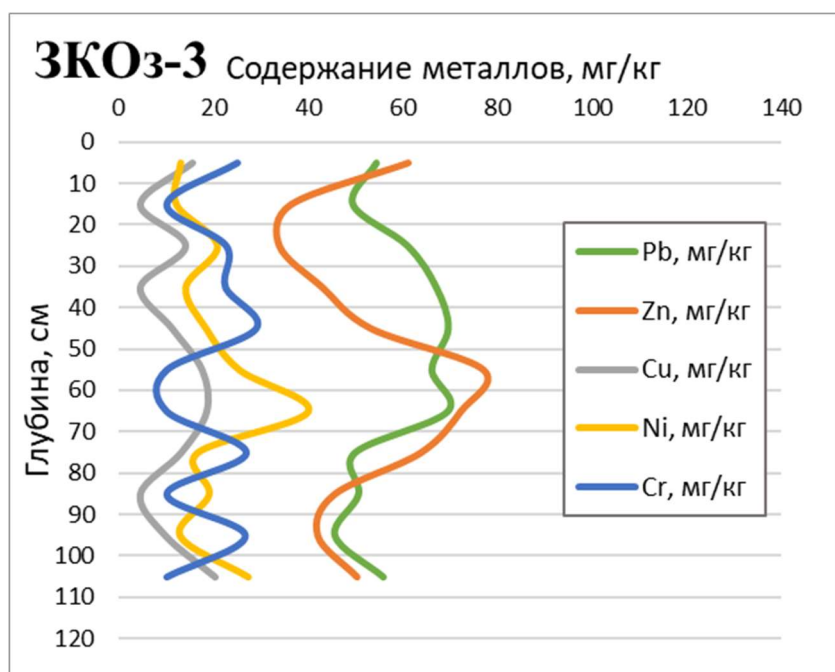


Рисунок 28. Содержание некоторых тяжелых металлов в колонке ЗКОз-3

Колонка ЗКОз-3 была отобрана в третьей котловине озера, в его южной части на глубине около 2 метров. Представляет собой илистые отложения темно-оливкового цвета, которые быстро окисляются при контакте с кислородом воздуха и приобретают черный цвет. В колонке присутствуют включения песка и обломков ракушек, приуроченные к верхней части колонки до глубины 70 сантиметров. Помимо этого, колонка характеризуется наличием резкого запаха неразложившейся органики. Данная колонка отобрана в нижней по течению части озера, на небольшой глубине. Такой тип расположения предполагает аккумуляцию тяжелых металлов из взвеси, переносимой водной толщей, что позволяет судить о качестве вод, вытекающих из Озерявок в динамике по годам.

Обратимся непосредственно к графику, представленному на рисунке 28. В первую очередь следует отметить, что для всех исследуемых металлов (за исключением хрома) наблюдается повышение концентраций на глубине 50-60 сантиметров. Особенно это характерно для распределения цинка и никеля. Это вновь может быть приурочено к увеличению обводненности и плотности отложений, которое происходит как раз на этой глубине колонки.

Следующий тренд на повышение содержания металлов наблюдается в верхней части колонки (0-20 сантиметров). Все исследуемые металлы имеют несколько более высокие значения в поверхностных отложениях относительно остальной колонки. Такое повышение, безусловно, говорит о присутствии современного антропогенного влияния.

График содержания свинца в данной колонке характеризуется наиболее выраженным пиком повышения концентраций металла на глубинах 20-70 сантиметров. Предположительно, это может быть вызвано эксплуатацией автомобильного транспорта, работающем на топливе, содержащим тетраэтилсвинец. С момента запрета данного вида топлива, содержание свинца в донных отложениях заметно уменьшается (с 69 до 49 мг/кг).

Содержание цинка имеет вид кривой с двумя пиками. Первый, находящийся в средней части колонки, уже был описан ранее и приурочен к общему повышению концентрации всех металлов в колонке. Второй же пик – современный, характеризуется резким увеличением значений с 35 до 61 мг/кг, что ярко отражает современное антропогенное воздействие от хозяйственной деятельности человека.

Распределение меди имеет вид практически идеальной вертикальной кривой, что говорит о том, что концентрация данного металла с глубиной не изменяется, и значимого современного антропогенного воздействия от этого металла не наблюдается. График распределения хрома вновь имеет зигзагообразный вид, однако в целом его средние значения с глубиной практически не изменяются. Это не позволяет сделать однозначные выводы о поступлении и накоплении хрома в донные отложения Озерявок.

Отдельного упоминания заслуживает колонка ЗКОз-2. Данная колонка отобрана в наиболее глубокой части озера на глубине 5 метров. Помимо этого, колонка примечательна неоднородностью своего гранулометрического состава. Большая часть колонки (0-110 сантиметров) характеризуется илистыми отложениями, а на глубине 110-120 сантиметров происходит смена фракции на песчанистую. Такая резкая смена фракции приводит к образованию уникальной с точки зрения геохимических условий зоны, в которой тяжелые металлы накапливаются нетипичным для остальных колонок образом.

Обратимся к графику накопления свинца в данной колонке (рис. 29). В первую очередь предоставляется возможным наблюдать тренд, описанный ранее: в верхней части

колонки (0-30 сантиметров) наблюдается повышенные значения свинца относительно слоев, находящихся в нижней части. Однако, нижняя часть колонки характеризуется резким повышением содержания этого металла до 98-100 мг/кг на глубинах 100-110 сантиметров, то есть на разделе отложений по гранулометрическому составу. На глубине 120 сантиметров, на которой наблюдаются песчанистые отложения, происходит резкое уменьшение концентрации свинца до 18 мг/кг.

Данный график позволяет сделать вывод о том, что свинец активно накапливается на сформированном геохимическом барьере, который образовывается из-за смены гранулометрического состава отложений.

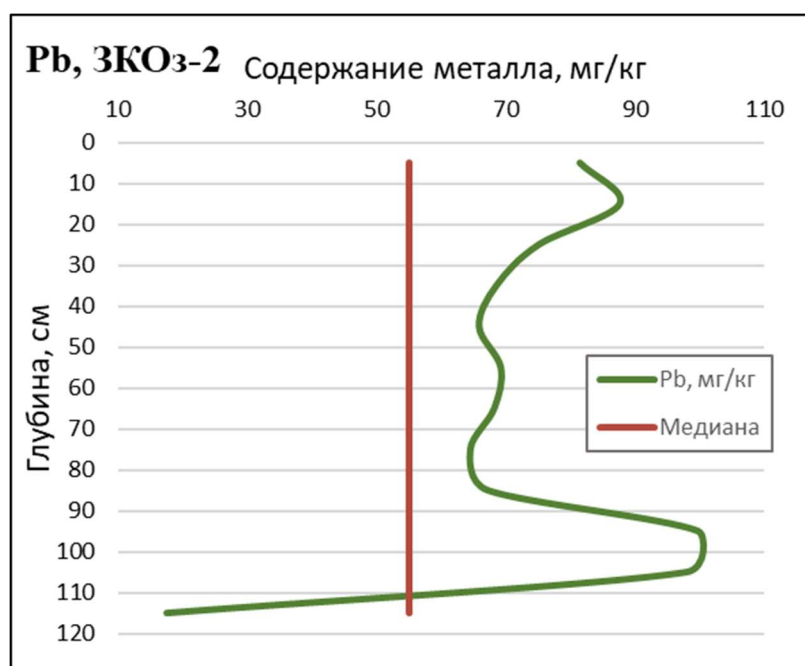


Рисунок 29. Содержание свинца в стратифицированной колонке ЗКОз-2

Схожий тренд на данной колонки наблюдается для цинка (рис. 30). В верхней части колонки также ярко выражено повышение концентрации элемента (до 81 мг/кг) относительно медианы, что объясняется современным антропогенным воздействием. К нижней части колонки содержание металла постепенно уменьшается, а на границе раздела колонки по гранулометрическому составу происходит резкое уменьшение с 48 до 5 мг/кг. Основным отличием в данном случае является то, что цинк не накапливается на геохимическом барьере, и его концентрация равномерно уменьшается с глубиной осадка.

Таким образом, на границе раздела сред по гранулометрическому составу различные тяжелые металлы ведут себя по-разному, поскольку происходит как их накопление, так и вымывание (для свинца и цинка соответственно).

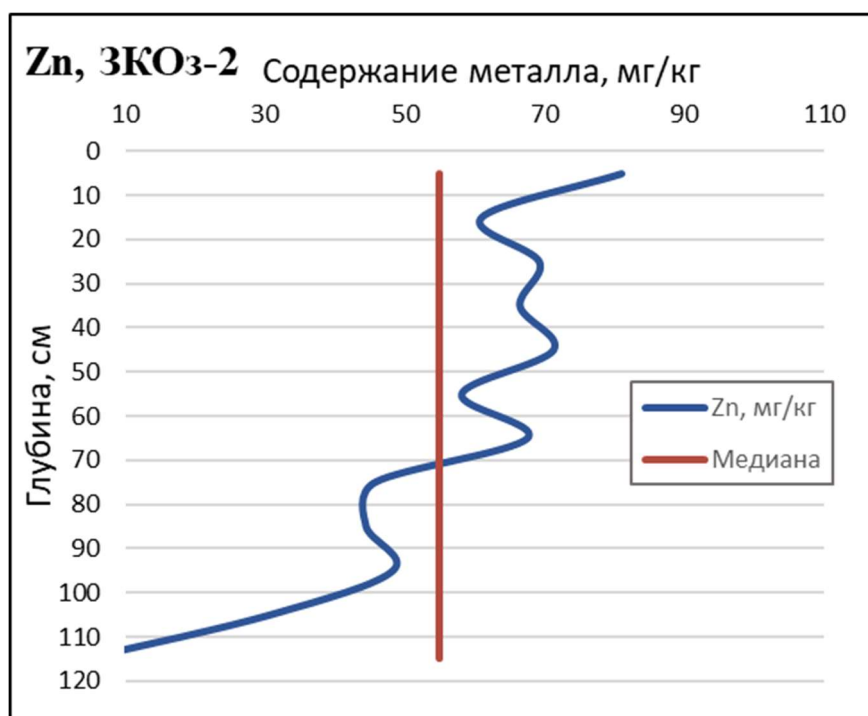


Рисунок 30. Содержание цинка в стратифицированной колонке ЗКОз-2

Касательно остальных исследуемых металлов (хром, медь, никель) следует сказать, что их концентрации в колонке донных отложений практически не изменяются с глубиной. Однако, для хрома и меди наблюдается ситуация, аналогичная свинцу: на геохимическом барьере наблюдается их накопление, которое при переходе в песчанистый слой сменяется пониженными концентрациями элементов. Отличием в данном случае будет лишь не столь резкое повышение и понижение концентраций при смене слоев по сравнению с графиком распределения свинца.

Для никеля же наблюдается обратная ситуация, схожая с трендом распределения цинка. На геохимическом барьере его концентрация резко уменьшается, без какого-либо его накопления на границе раздела фракций. При этом, в основной толще колонки по глубине изменения содержания никеля не происходит, и его концентрация находится вблизи медианных значений.

Описанные тренды представлены на рисунке 31.

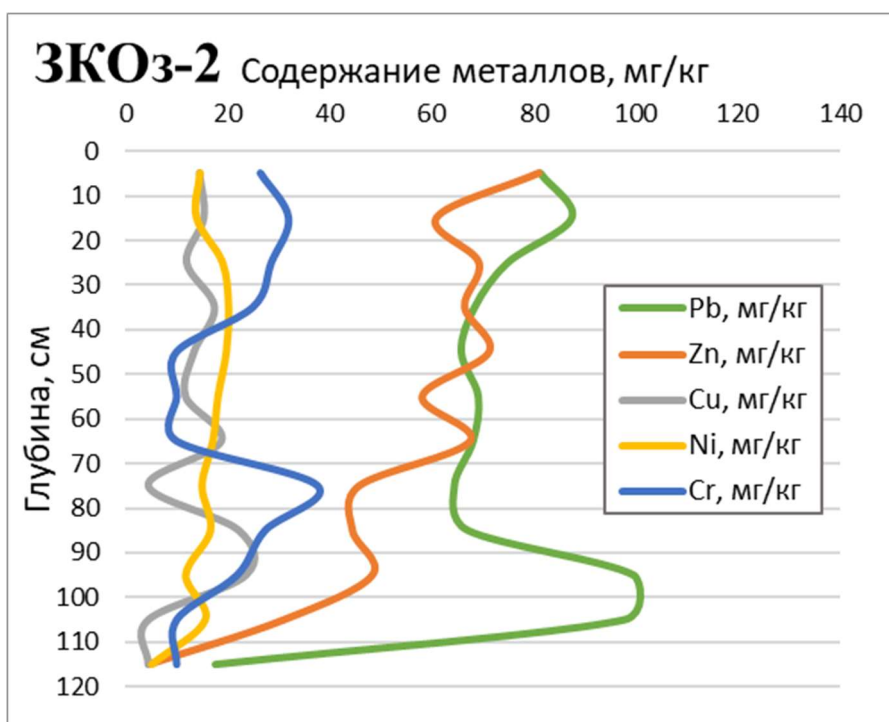


Рисунок 31. Содержание некоторых тяжелых металлов в стратифицированной колонке ЗКОз-2

Уникальной данную колонку также делает присутствие в некоторых пробах мышьяка (рис. 32). Содержание данного металлоида было ниже порога чувствительности прибора (5 мг/кг) во всех исследуемых пробах, кроме четырех, которые приурочены к нижней части колонки и расположению в ней геохимического барьера. Для исключения потенциальной ошибки прибора, колонка была проанализирована дважды. Повторный анализ подтвердил полученные ранее данные. На границе раздела фракций в колонке концентрация мышьяка резко повышается до 39 мг/кг, что говорит о том, что на данном барьере создаются условия, способствующие его накоплению.

Поскольку мышьяк в больших концентрациях является крайне опасным токсикантом, его накопление в естественных условиях в таком количестве говорит о необходимости более детального изучения с применением более чувствительных приборов и методов анализа. Потенциальные источники поступления мышьяка в донные отложения, вероятнее всего, не приурочены к антропогенному воздействию, поскольку ранее ни в озере Озерявки, ни в других озерах национального парка его содержание не превышало 5 мг/кг, даже вблизи города Себеж.

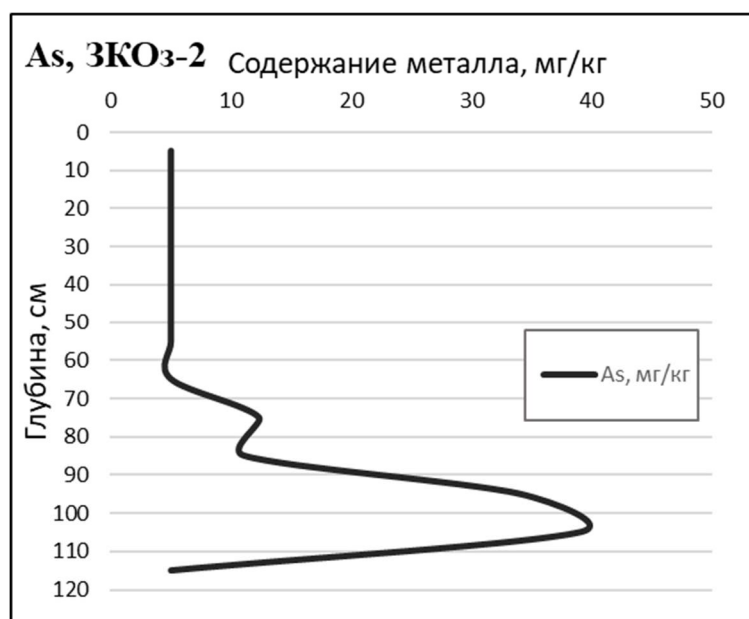


Рисунок 32. Содержание мышьяка в стратифицированной колонке ЗКОз-2

Таким образом, на границе раздела осадка по гранулометрическому составу был обнаружен геохимический барьер. Было установлено, что некоторые тяжелые металлы (а также мышьяк) имеют тенденцию к накоплению на данном барьере. Другие металлы, напротив, не накапливаются на барьере, однако для всех исследуемых металлов характерно резкое понижение их концентраций на глубине 110-120 сантиметров при смене фракции осадка. В дальнейшем необходимо более детальное изучение данного геохимического барьера с применением иных методов анализа.

По результатам проведенного анализа колонок донных отложений можно сделать следующие выводы:

1. В стратифицированных колонках тяжелые металлы характеризуются двумя типами накопления. Распределение свинца и цинка имеет явный тренд на повышение концентраций в верхней части колонки, который характерен для всех колонок. Это обусловлено наличием следов антропогенного влияния. Медь и никель практически не изменяются с глубиной отложений, что говорит о том, что они не поступают в донные отложения от деятельности человека. Распределение хрома в целом не имеет направленной тенденции.

2. Источниками же современного воздействия на отложения выступают эколого-просветительский центр «Озерявки» и озера, расположенные выше по течению в системе озер национального парка. ЭПЦ является источником поступления свинца и цинка, основное их накопление приурочено ко второй котловине озера. Система озер привносит в донные отложения хром, который в небольших количествах накапливается в Озерявках.

3. Присутствие незначительных повышений концентраций металлов в толще колонки, как правило на глубине 50-60 сантиметров, приурочено к увеличению плотности

отложений. На данной границе раздела тяжелые металлы имеют незначительную тенденцию к накоплению.

4.3. Анализ закономерностей распределения тяжелых металлов в поверхностных пробах

Отбор поверхностных проб донных отложений проводился с целью определения пространственного распределения тяжелых металлов в них. Для анализа использовались пробы, отобранные летом 2022 и зимой 2023 года. Всего было отобрано 29 проб, а также для анализа использовались пробы из верхней части колонок (4 пробы из объединенного слоя 0-20 сантиметров), всего – 33 пробы.

Сетка пробоотбора располагалась таким образом, чтобы максимально охватить площадь озера и предоставить возможным построение картосхем с пространственным распределением исследуемых тяжелых металлов. Аналогично с колонками, каждая пробы была проанализирована на содержание свинца, цинка, меди, хрома, никеля и мышьяка. Содержание мышьяка во всех пробах оказалось ниже порога чувствительности прибора (5 мг/кг). Для каждого из остальных металлов в программе Golden Software Surfer были построены картосхемы их пространственного распределения в озере равномерно по всей его площади.

Обратимся к рисунку 33, на котором изображена картосхема распределения свинца.

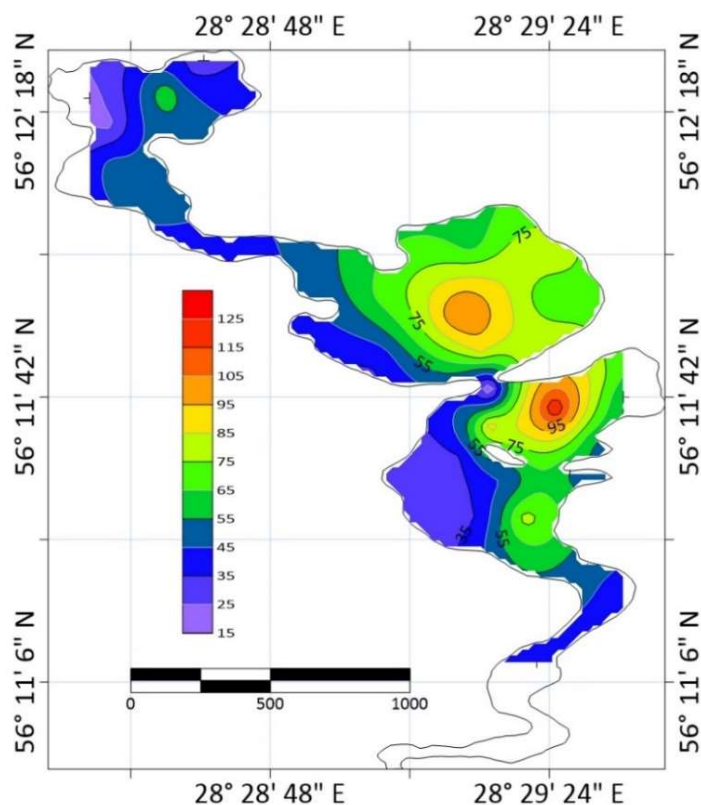


Рисунок 33. Распределение свинца в поверхностных пробах донных отложений

Свинец накапливается в поверхностном слое донных отложений достаточно неоднородно. Это происходит по причине присутствия нескольких точек со следами антропогенного влияния, формирование которых приурочено как к гипсометрическим особенностям озера, так и близким расположением источников поступления свинца в отложения.

Так, наибольшие его концентрации наблюдаются в центральной части озера, в его второй котловине. Максимальное значение приурочено к наиболее глубокой части этой котловины (4,5 метра) на точке ДООз-95. Формирование этого пика объясняется двумя причинами: наиболее глубокой точкой котловины, в которой происходит максимальная аккумуляция вещества, и близость источника антропогенного воздействия – ЭПЦ «Озерявки» (см. рис. 13). Если данные о гипсометрических характеристиках дна подтверждаются данными сотрудников национального парка, то значение эколого-просветительского центра как источника воздействия подтверждается отсутствием значимого загрязнения свинцом первой котловины озера, расположенной выше по течению, и присутствием следов антропогенного воздействия в восточной части второй котловины. Она прилегает к берегу, на котором расположено большое количество туристических стоянок, популярных среди отдыхающих в летний период. Содержание свинца в этом месте достигает 80 мг/кг в пробе ДООз-97. Еще один пик приурочен к наиболее глубокой точке всего озера – впадине в третьей котловине, расположенной ниже всего по течению, глубины которой достигают 6 метров. Накопление там свинца также, предположительно, приурочено к близости туристических стоянок, которые являются источником воздействия на озеро. В остальной же части Озерявок данный металл накапливается однородно, в пределах медианных значений.

Таким образом, близость источника антропогенного воздействия и понижения рельефа дна являются условиями, при которых происходит накопление свинца в донных отложениях.

Обратимся к картосхеме распределения цинка в поверхностных донных отложениях (рис. 34).

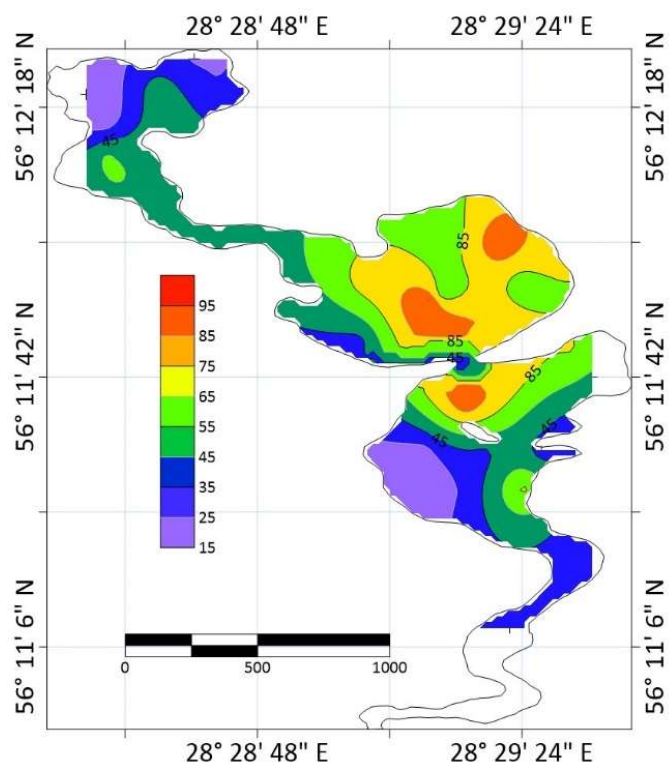


Рисунок 34. Распределение цинка в поверхностных пробах донных отложений

Сразу же можно отметить максимальную схожесть данной картосхемы с распределением свинца. Данные элементы имели достаточно схожее распределение в стратифицированных колонках, и в данном случае эта тенденция повторяется. Предоставляется возможным наблюдать те же три зоны присутствия следов антропогенного влияния: два во второй котловине и один в третьей.

Максимальные концентрации этого металла составляют 129 и 102 мг/кг в пробах из наиболее глубокой точки второй котловины озера, а также точки, приуроченной к расположению эколого-просветительского центра (точки ДООз-95 и ДООз-97). Поступление цинка, как уже упоминалось, объясняется антропогенным воздействием от туристической и хозяйственно-бытовой деятельности человека. Факторы распределения аналогичны свинцу и обусловлены понижениями рельефа дна, а также близостью к берегу антропогенного источника воздействия. В остальной же части озера цинк распространен равномерно, без каких-либо повышений. Также, низкие концентрации в первой котловине, в которую впадает протока из озера Белое говорят о том, что из других озер водной системы привнесения цинка не происходит.

Далее рассмотрим картосхему распределения хрома, представленную на рисунке 35.

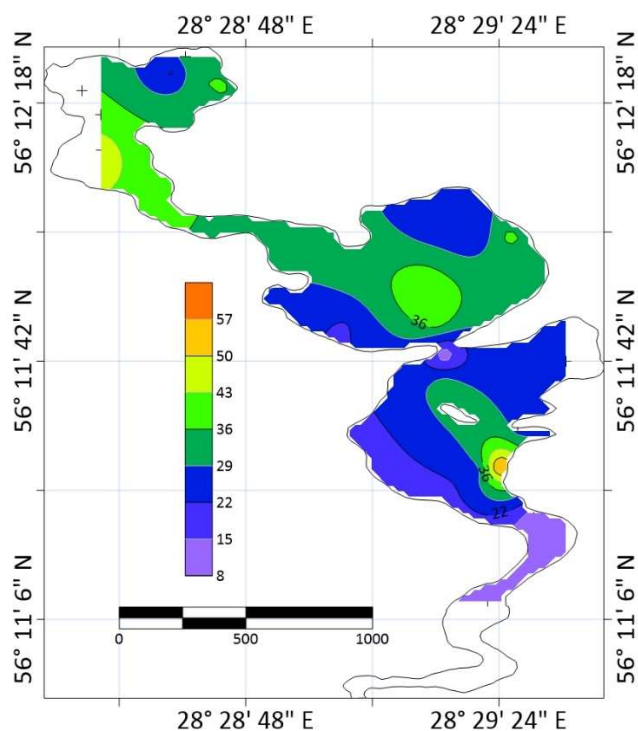


Рисунок 35. Распределение хрома в поверхностных пробах донных отложений

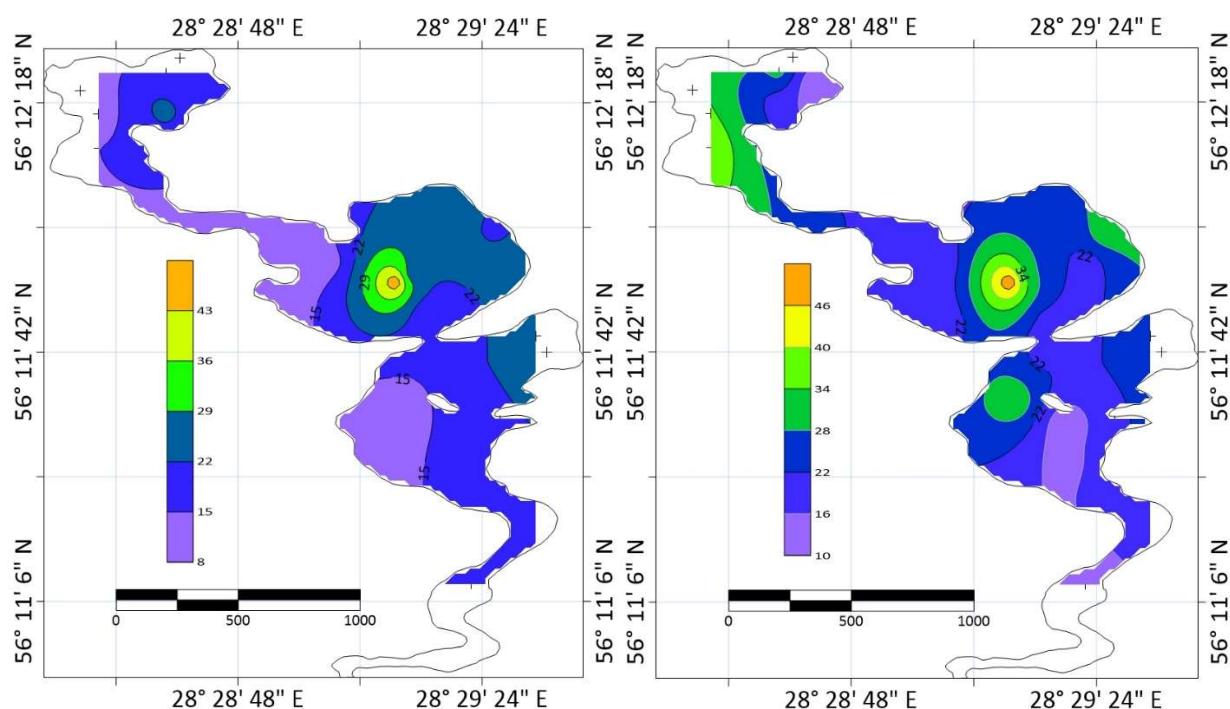
Хром имеет несколько отличающуюся от ранее описанных металлов закономерность распределения. В первую очередь следует отметить, что точка накопления располагается в первой котловине озера, вблизи расположения протоки из озера Белое. Концентрация хрома в точке ДООз-101, приуроченной к этому очагу, составляет 46 мг/кг. Предположительно, положение Озерявок как транзитного пункта гидрологической сети способствует накоплению в нем хрома, который поступает из верхней части гидрологической сети. При анализе колонок было установлено, что повышенные концентрации хрома приурочены к первой котловине, в которой также наблюдается повышение содержания хрома в поверхностных пробах. Это в очередной раз подтверждает гипотезу о поступлении данного металла от источников, расположенных выше по течению в гидрологической сети.

Однако наибольшее значение содержания хрома обнаружено в третьей котловине на точке ЗДООз-10, где его содержание составляет 60 мг/кг. Столь высокое значение объяснить крайне сложно, поскольку точка не отмечена высокими глубинами (2 метра), в ее близи отсутствуют источники антропогенного воздействия, а расположенные рядом донные отложения содержат хром в концентрациях, близких к медианным. Также, вблизи данной точки отсутствуют протоки, которые могли бы приносить хром в отложения. В целом же, хром единственный металл, повышение концентрации которого зафиксировано на данной точке, что может быть приурочено к погрешности прибора.

Также, незначительное повышение характерно для второй котловины, в которой ранее были зафиксированы высокие концентрации свинца и цинка. Накопление хрома вновь может быть приурочено к наиболее глубокой части котловины, на берегах которой

располагаются туристические стоянки. Повышение является не столь значительным по сравнению с другими пиками и составляет 40 мг/кг.

Схожим образом в поверхностных пробах донных отложений распределены медь и никель (рисунки 36 и 37 соответственно).



Рисунки 36 и 37. Распределение меди (слева) и никеля (справа) в поверхностных пробах донных отложений

Тенденция накопления данных металлов схожа: их наибольшие концентрации приурочены к наиболее глубокой части второй котловины озера, в точке, где ранее были обнаружены наиболее высокие концентрации свинца и цинка, а также незначительное превышение по хрому. Максимальные значения меди и никеля в поверхностных пробах приурочены именно к этой точке, и составляют 49 и 52 мг/кг соответственно. Факторами накопления металлов будут те же описанные ранее понижение рельефа дна и близость антропогенного источника воздействия.

В остальной же части озера эти металлы распределены равномерно, прочих следов антропогенного воздействия не наблюдается. Содержания меди в целом характеризуется крайне низкими концентрациями по всей территории озера. Для никеля присутствует незначительное повышение до 40 мг/кг в первой котловине, что может быть обосновано поступлением металла из гидрологической сети и его отложением в озере Озерявки.

В целом, для данных металлов справедливо суждение о их крайне незначительном поступлении в донные отложения озера. Это заключение также подтверждается анализом колонок, произведенным ранее, в котором не было замечено признаков антропогенного загрязнения.

4.4. Результаты расчета суммарного показателя превышения медианных значений.

На основании данных, полученных при анализе поверхностных проб донных отложений, был рассчитан суммарный показатель превышения медианных значений (Z_{ex}) в каждой точке отбора проб. Данный коэффициент был рассчитан по методике, описанной в разделе 3.3. «Анализ полученных результатов».

Для расчета коэффициента были использованы все пробы поверхностных донных отложений, а также пробы из верхней части колонок (до глубины 0-20 сантиметров колонки). После расчета, результаты были нанесены на картосхему озера. Дополнительно, на нее была нанесена шкала глубинами озера, а также отмечена территория ЭПЦ «Озерявки» как основного источника антропогенного воздействия на озеро. Результаты данного построения представлены на рисунке 38.

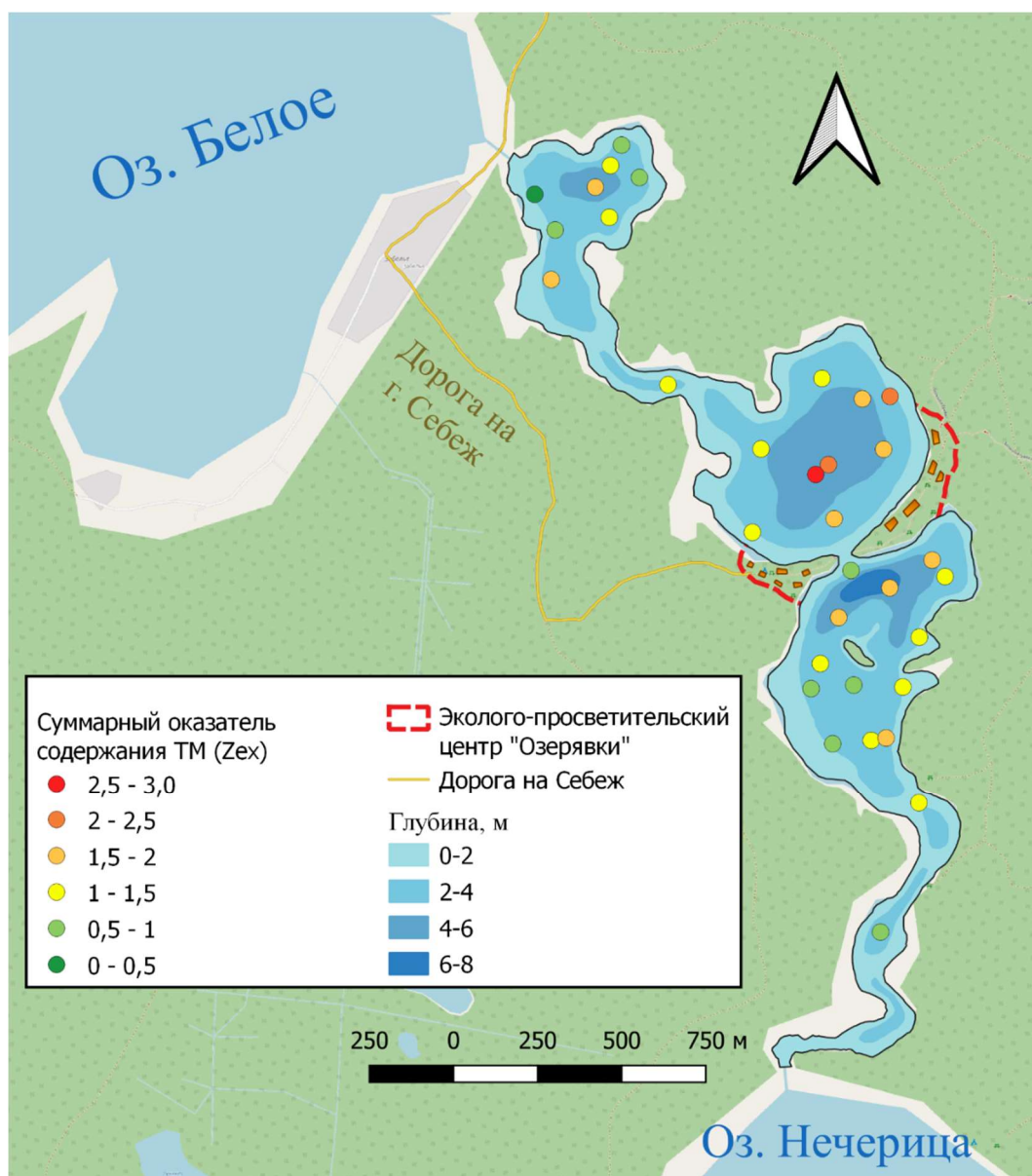


Рисунок 38. Результаты расчета показателя Z_{ex} в поверхностных донных отложениях

Глядя на данную картосхему, возможно сделать выводы о накоплении металлов в озере. Вновь обратим внимание на вторую котловину, в которой наблюдается точка с наибольшим значением данного показателя (2,96 в точке ДООз-95). Такое значение вызвано обнаруженными ранее высокими концентрациями тяжелых металлов в этой точке. По результатам анализа каждого отдельного металла, который был описан в предыдущем пункте, были не только описаны концентрации каждого из металлов в данной точке, но и причины его накопления в озере.

Собственно, причинами повышения значения показателя являются понижение рельефа дна и близость источника антропогенного воздействия. Гипсометрически, именно вблизи точки отбора пробы ДООз-95 и колонки ЗКОз-1 располагается наиболее глубокая часть второй котловины озера Озерявки, в которой и происходит накопление тяжелых металлов. Глубины отбора обеих проб составляют 4,5 метра. Также, на рисунке 38 отображено расположение ЭПЦ «Озерявки», который, как уже упоминалось, является основным источником антропогенного воздействия на озеро. Активная туристическая деятельность в летний период года и прочая хозяйственно-бытовая деятельность способствует антропогенной нагрузке на близлежащие экосистемы, в том числе на экосистему озера. Это подтверждается наличием еще одной точки с высоким значением коэффициента Z_{ex} – ДООз-97, также расположенной во второй котловине озера в его восточной части. Точка находится на меньшей глубине (2 метра), однако в ее близости расположены туристические стоянки. Это вызывает повышенную загрязненность тяжелыми металлами, суммарный показатель превышения медианных значений составляет 2,01. В целом же, глядя на картосхему становится заметно, что наибольшие значения показателя приурочены как раз ко второй котловине озера.

Также следует обратить внимание на северную часть третьей котловины, в которой наблюдаются значения коэффициента 1,7-1,9. Факторами повышения концентрации металлов в данной точке вновь выступают понижение рельефа дна и близость источника антропогенного воздействия. Однако их концентрации ощутимо меньше, нежели во второй котловине. Протока с глубинами 0,5-0,7 метра, соединяющая вторую и третью котловину, характеризуется наличием течения и песчанистыми отложениями на дне, что не способствует накоплению тяжелых металлов на ней (Z_{ex} на точке ДООз-105 составляет 0,75).

Прочие же точки не характеризуются наличием высоких значений коэффициента, что говорит о том, что тяжелые металлы на них не накапливаются в концентрациях, которые бы значительно превышали медианные значения для озера Озерявки. Наблюдаются лишь локальные превышения, вызванные поступлением в донные отложения

одного конкретного металла. Так, превышение по хromу наблюдается в точке ДООз-101 в первой котловине и в третьей котловине на точке ЗДООз-10. Обе точки и возможные причины высоких значений были подробно описаны в предыдущем разделе. Их повышения влияют на расчет показателя, который в этих точках составляет 1,77 и 1,71 соответственно.

Таким образом, по результатам анализа поверхностных проб донных отложений справедливы будут следующие выводы:

1. Основными факторами, влияющими на закономерности распределения тяжелых металлов в поверхностных пробах, являются понижения рельефа дна и влияние со стороны человека, приуроченное к туристическим стоянкам на территории ЭПЦ «Озерявки».

2. Свинец и цинк имеют схожее распределение, связанное со схожестью источников их поступления в донные отложения. В основном они накапливаются во 2 котловине озера в наиболее глубокой его части

3. Хром, предположительно, поступает в озеро Озерявки из озера Белое, поскольку его повышенные концентрации отмечены в первой котловине. Медь и никель практически не накапливаются в поверхностных отложениях, отмечены лишь локальные повышения их концентраций.

4. В целом, значения показателя Z_{ex} не превышают значения 3,0. Это говорит о том, что в озере отсутствует значимое загрязнение, поскольку в сравнении с аналогичными показателями, говорить о загрязнении приходится лишь при значениях порядка 10,0 и выше. Таким образом, состояние донных отложений озера Озерявки оценивается как удовлетворительное.

4.5. Сравнение полученных результатов с другими озерами парка

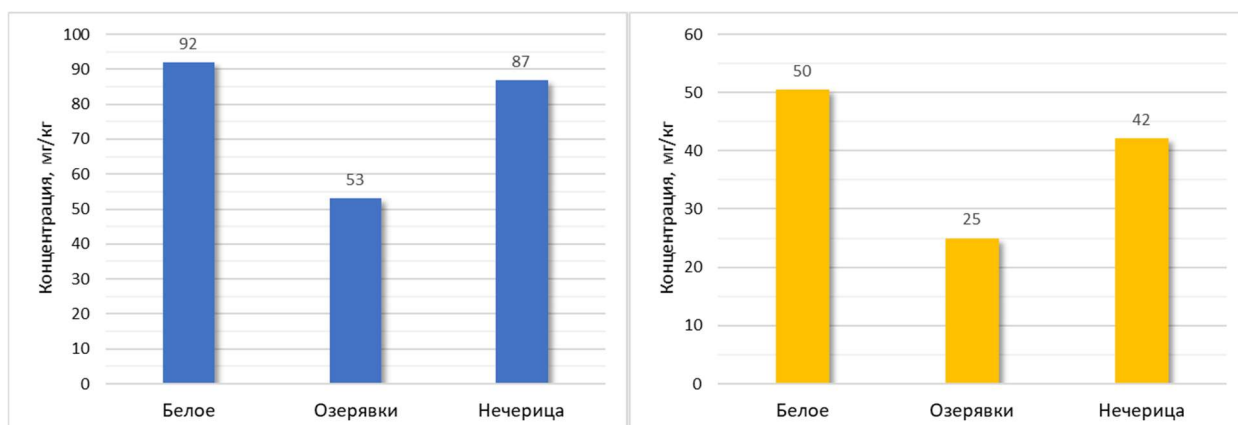
Для проведения полноценного анализа закономерностей распределения тяжелых металлов в донных отложениях озера Озерявки, необходимо провести сравнение с близлежащими озерами в гидрологической сети. Для проведения сравнения были взяты данные анализа озера Белое, расположенного выше по течению, и озера Нечерица, расположенного ниже по течению (см. рис 5).

В этих озерах также были отобраны и проанализированы пробы донных отложений. Все работы проводились по тем же методикам, что и для озера Озерявки. Для наглядной демонстрации полученных по каждому озеру результатов, были рассчитаны медианные значения, которые и были сравнены между собой. В озере Белое медиана была рассчитана по результатам анализа 51 пробы, в Озерявках – 75, в Нечерице – 59. Результаты анализа для Белого и Нечерицы представлены в приложениях 7 и 8.

Озеро Белое, как и Озерявки, расположено на удалении от города Себеж, и при первоначальных исследованиях принималось за фоновое (Алексеева и др., 2022). Оно характеризуется высокими глубинами (более 20 метров), в него поступают воды из других озер системы, после чего они сбрасываются в Озерявки. Оно также является транзитным пунктом, через который проходят воды, однако в связи с большими глубинами, в нем возможно накопление тяжелых металлов. В наиболее глубоких участках озера накапливаются илистые отложения, а также присутствуют наносы песчаных отложений с небольшими глубинами.

Озеро Нечерица является последним из озер, входящих в гидрологическую сеть. Оно характеризуется как водоем-аккумулятор, куда поступают воды из всей системы озер. Само озеро имеет вытянутую форму, большой размер и незначительные глубины (в среднем – 3-4 метра). Отложения озера представляют собой мощную толщу ила, что объясняется аккумуляционным характером водоема.

Для наглядности сравнения озер друг с другом, для каждого из металлов по каждому озеру были построены графики со сравнением медианных значений. Обратимся к графикам сравнения цинка и хрома, представленных на рисунках 39 и 40.

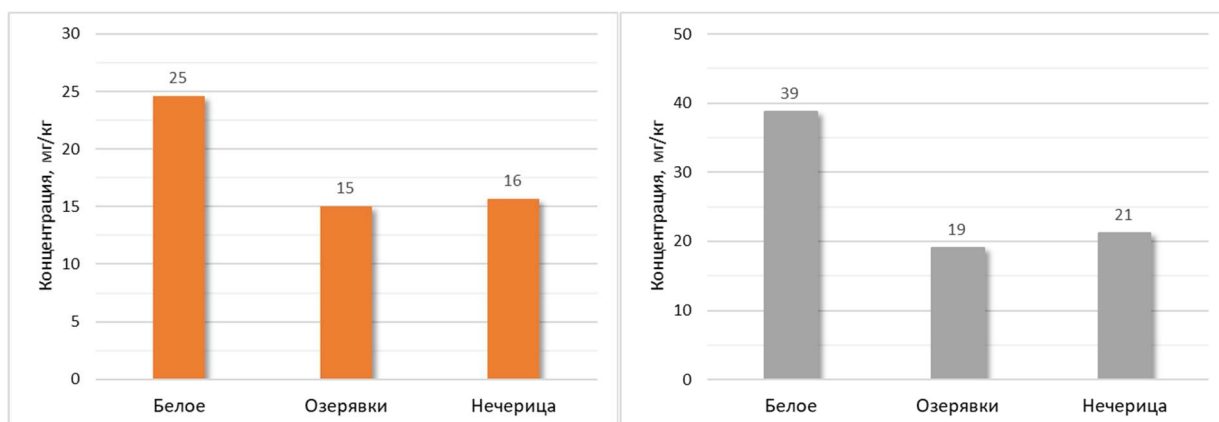


Рисунки 39 и 40. Графики сравнения цинка (слева) и хрома (справа) в отложениях озер (по медиане)

Для обоих графиков характерна следующая картина: более высокие значения наблюдаются в озерах Белое и Нечерица, а в Озерявках содержание этих металлов оказалось ниже. Это говорит о том, что для цинка и хрома Озерявки выступают транзитным пунктом, в них практически не происходит их накопления. В Белом эти металлы накапливаются благодаря высоким глубинам, в Нечерице – в связи с его характеристикой как водоема аккумулятора. Рассмотренные ранее результаты по озеру Озерявки подтверждают поступление хрома из озера Белое, поскольку его высокие концентрации приурочены к месту расположения протоки между этими двумя озерами. Цинк, поступающий из Белого, проходит транзитом через Озерявки, что подтверждается его

высокими концентрациями в Нечерице. Таким образом, вновь подтверждается предположение о том, что основным источником поступления цинка в донные отложения Озерявок является эколого-просветительский центр.

Далее, рассмотрим аналогичные графики для меди и никеля (рис. 41 и 42).



Рисунки 41 и 42. Графики сравнения меди (слева) и никеля (справа) в отложениях озер (по медиане)

Эти металлы характеризуются другим типом распределения по озерам гидрологической сети. Так, наибольшие их концентрации приурочены к озеру Белое, а в Озерявках и Нечерице медианы оказались на одном уровне. Это говорит о том, что в Озерявках данные тяжелые металлы не поступают, так как аккумулируются в Белом, это подтверждается отсутствием высоких концентраций в Нечерице. Этот факт коррелирует с полученными ранее результатами: медь и никель действительно не поступают в Озерявки в значимых количествах с водами из других озер.

Также, своеобразное распределение имеет свинец (рис. 43).

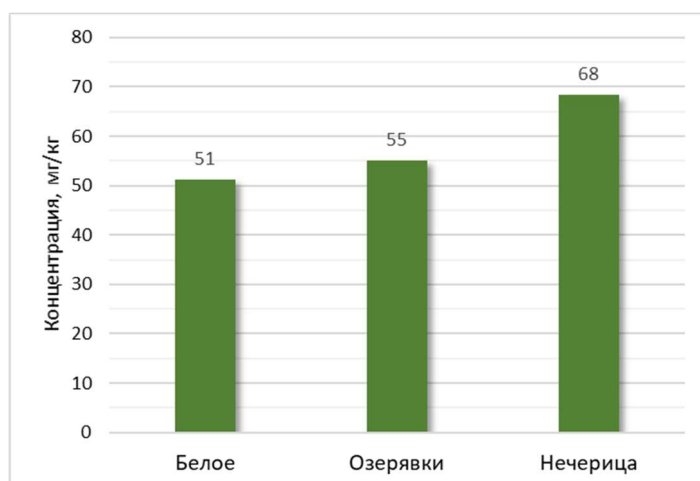


Рисунок 43. График сравнения свинца в отложениях озер (по медиане)

На данном графике можно заметить тренд на увеличение медианных значений для каждого из озер вдоль по течению системы озер. Наибольшие его концентрации приурочены к донным отложениям Нечерицы, поскольку это озеро является водоемом-

аккумулятором. В нем накапливается свинец, поступивший не только из всей системы озер, но и из Озерявок в частности. Ранее был сделан вывод о том, что источником поступления свинца в отложения Озерявок является эколого-просветительский центр, что подтверждается его бóльшим содержанием относительно Белого. Таким образом, в Нечерице накапливается свинец сразу от нескольких источников воздействия.

По результатам сравнения данных из нескольких озер возможно сделать следующие выводы:

1. Озерявки являются транзитным пунктом для никеля и хрома, которые поступают в него с водами из озера Белое. Эти металлы практически не задерживаются в отложениях, перемещаясь в Нечерицу, где в последствии и аккумулируются.

2. Медь и никель не поступают в Озерявки с водами системы озер. Это подтверждается их повышенными концентрациями в Белом и заметным снижением в Озерявках и Нечерице.

3. Источником поступления свинца в Озерявки является не только ЭПЦ, но и воды гидрологической сети. Впоследствии, этот металл отлагается в осадках Нечерицы.

4. Озеро Нечерица является сбросным водоемом, где аккумулируются поллютанты из гидрологической сети. В связи с этим, озеро лучше всего подходит для дальнейших мониторинговых работ по оценке состояния системы озер в целом.

Выводы

1. Повышенные содержания исследуемых тяжелых металлов в донных отложениях озера Озерявки имеют локальный характер. Тяжелые металлы накапливаются вблизи эколого-просветительского центра «Озерявки», что говорит о возможном антропогенном влиянии с его стороны. Однако, даже в местах с повышенными концентрациями тяжелых металлов не наблюдается значений, которые позволяли бы говорить о действительно значимом загрязнении донных отложений озера. Наибольшие значения для исследуемых тяжелых металлов составляют 120-130 мг/кг, что опять же не позволяет говорить о высоком уровне загрязнения относительно других озер парка. В соответствии с данными условиями, необходимо проведение мониторинговых наблюдений вблизи ЭПЦ.

2. В пробах поверхностных донных отложений наиболее заметны цинк и свинец, распределение которых приурочено сразу к нескольким очагам накопления. Их появление обусловлено воздействием человека, а именно хозяйственной деятельностью от ЭПЦ «Озерявки», который выступает основным источником антропогенного воздействия на экосистему озера. Распределение меди, никеля и хрома в поверхностных пробах оказалось практически равномерным, без формирования ярко выраженных очагов загрязнения.

3. Распределение тяжелых металлов в разрезе колонки донных отложений имеет неоднородный характер. Содержание цинка и свинца увеличивается в верхней части отложений, что обосновано их поступлением от хозяйственной деятельности человека. Концентрации остальных металлов (меди, никеля, хрома) при этом практически не изменяются в разрезе колонки, что говорит о преимущественно естественных причинах их накопления в донных отложениях.

4. В колонке (ЗКОз-2), на сформировавшемся там геохимическом барьере, были обнаружены высокие концентрации мышьяка. Его накопление обусловлено естественными причинами, поскольку в остальных частях озера его концентрации не превышают 5 мг/кг. Однако факт накопления мышьяка в концентрациях до 39 мг/кг говорит о необходимости особого наблюдения за его распределением в донных отложениях.

5. Озерявки являются транзитным пунктом для тяжелых металлов, поступающих из системы озер национального парка. Из озера Белое в него действительно поступают тяжелые металлы, которые частично отлагаются, но преимущественно – мигрируют дальше по сети и отлагаются в озере Нечерица. Влияние от поступления вод из этого озера на Озерявки минимально. В связи с этим, необходимо наблюдение за состоянием всей гидрологической сети, в частности, озёр Себежское и Ороно, расположенных в зоне интенсивного антропогенного воздействия.

Заключение

В ходе данной работы были получены и проанализированы результаты исследования донных отложений озера Озерявки на тяжелые металлы. Была дана не только пространственная характеристика их распространения, но и их распределение в разрезе отложений. Различные графические методы визуализации результатов позволили наглядно продемонстрировать тенденции накопления тяжелых металлов в отложениях, благодаря чему были сделаны выводы о возможных источниках их поступления.

Так, по результатам исследования было установлено, что следы антропогенного воздействия наблюдаются вблизи эколого-просветительского центра «Озерявки», поскольку вблизи его наблюдаются наибольшие концентрации свинца и цинка в донных отложениях. В некоторых точках наблюдается превышение медианных значений для озера более чем в 2 раза. Медь и никель практически не накапливаются в донных отложениях в значениях, превышающих медианные, и их содержание обусловлено естественными факторами распределения. Поступление хрома в основном приурочено к поступлению из озера Белое, некоторое его количество накапливается в отложениях Озерявок.

Само озеро характеризуется как транзитный пункт гидрологической сети, через который проходят ее воды, после чего они сбрасываются в озеро Нечерица. Это подтверждается результатами анализа донных отложений последнего озера, которые зачастую превышают концентрации в отложениях Озерявок.

Библиография

1. Алексеева И.Е. Анализ содержания тяжелых металлов в стратифицированных донных осадках некоторых озер национального парка «Себежский» [Текст] / И.Е. Алексеева, А.М. Бессонова, Т.В. Богданов, Ю.Л. Малкова // Материалы XVII международной молодежной научной конференции. Поволжский государственный технологический университет. - 2022. – С. 368-370.;
2. Алексеева И.Е. Закономерности пространственного распространения тяжелых металлов в донных осадках некоторых озер национального парка «Себежский» [Текст] / И.Е. Алексеева, А.М. Бессонова, Т.В. Богданов, Ю.Л. Малкова // Система управления экологической безопасностью, - 2022. - №1. – С. 251-256.;
3. Бакаева Е.Н. Биологические подходы к оценке экотоксикологического состояния водных экосистем [Текст] / Е.Н. Бакаева, А.М. Никаноров // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2015. - №1. – С. 72-83.;
4. Белов В.В. Исследования донных отложений на территории Бежаницкой возвышенности [Текст] / В.В. Белов, Н.В. Соколова, П.А. Леонтьев // Природное и культурное наследие: междисциплинарные исследования, сохранение и развитие: Коллективная монография по материалам VII Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, РГПУ им. А.И. Герцена. – 2018. – С.376-378.;
5. Бессонова В.П. Хром в окружающей среде [Текст] / В.П. Бессонова, О.Е. Иванченко // Вопросы биоиндикации и экологии. – 2011. - №16-1. – С. 13-29.;
6. Ваганов П.А. Математические методы в экологической геологии. Учебное пособие [Текст] / П.А. Ваганов, В.В. Куриленко, И.М. Хайкович // Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт Петербург. – 2008. – 302 с.;
7. Вертинский А.П. Проблемы загрязнения окружающей природной среды Российской Федерации тяжелыми металлами [Текст] / А.П. Вертинский // Инновации и инвестиции. - 2020. - №1 – С. 232-237.;
8. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах [Текст] / Ю.Н. Водяницкий // ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН. – Москва. 2008. – 86 с.;
9. ГОСТ 17.1.5.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность [Текст]. – Введ. 1982-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 7 с.;

10. Грабовский, А.В. Анализатор рентгеновский АР-104. Техническое описание и инструкция по эксплуатации [Текст] / А.В. Грабовский // Ленинград: особое конструкторское бюро НПО «Рудгеофизика» Малое Государственное предприятие «Гея», 1991;
11. Гулиева С.В. Влияние тяжелых металлов на биохимические процессы в организме человека [Текст] / С.В. Гулиева, Р.Дж. Керимова, М.Ю. Юсифова // Academy. – 2018. - №12(39). – С. 77-81.;
12. Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений [Текст] / В.А. Даувальтер // Мурманский государственный технический университет. – 2012. – 244 с.;
13. Егорова О.С. Тяжелые металлы и мусоросжигание как источник их поступления в окружающую среду [Текст] / О.С. Егорова, Э.В. Гоголь, Р.Р. Шипилова, Ю.А. Тунакова // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т.16, №21Ю – С. 203-208.;
14. Землянова М.А. Нарушения белкового профиля человека в условиях воздействия тяжелых металлов [Текст] / М.А. Землянова, А.В. Таранин // Экология человека. – 2012. - №07. – С. 7-14.;
15. Зинина О.Т. Влияние некоторых тяжелых металлов и микроэлементов на биохимические процессы в организме человека [Текст] / О.Т. Зинина // Избранные вопросы судебно-медицинской экспертизы. – Хабаровск. 2001. - №4 – С. 99.;
16. Иванищев В.В. Никель в окружающей среде и его влияние на растения [Текст] / В.В. Иванищев // Известия Тульского государственного университета. – 2021. – Вып.2. – С. 38-53.;
17. Карпухина Н.В. Механизм образования, возраст и эволюция озерных котловин центральной части Псковской низменности [Текст] / Н.В. Карпухина, Е.А. Константинов, Р.Н. Курбанов, А.А. Деркач, Е.Ю. Матлахова // Геоморфология. – 2018. – №2. – С. 32-47.;
18. Конечная Г.Ю. Виды луговых и болотных растений национального парка «Себежский», охраняемые в Псковской области [Текст] / Г.Ю. Конечная // Научные исследования и экологический мониторинг на особо охраняемых природных территориях России и сопредельных стран. – 2020. – С. 292-296.;
19. Конечная Г.Ю. Оценка численности видов сосудистых растений Красной книги Псковской области в национальном парке «Себежский» [Текст] / Г.Ю. Конечная // Актуальные проблемы изучения и сохранения фито- и микобиоты. - Белорусский государственный университет. 2013. – с. 195-197.;

20. Куприянов Д.А. Динамика ландшафтов территории национального парка «Себежский» на протяжении последних 16000 лет [Текст] / Д.А. Куприянов, Н.М. Писарчук, А.Е. Шатунов, К.А. Бородина, А.В. Тимашкова, А.А. Кукса // Актуальные вопросы устойчивого природопользования: научно-методическое обеспечение и практическое решение: материалы междунар. науч.-практич. конференции, посвященной 60-летию НИЛ экологии ландшафтов факультета географии и геоинформатики БГУ, Минск. – 2022. – С. 373-380.;
21. Лобырев Ф.С. Популяционные характеристики плотвы, густеры и окуня в оз. Озерявки (национальный парк «Себежский») [Текст] / Ф.С. Лобырев, Е.А. Пивоваров, В.Р. Хохряков, С.Д. Павлов // Труды ВНИРО. Промысловые виды и их биология. – 2023. – С. 37-52.;
22. Логинова М.В. Анализ разреза донных отложений озера Ордосно [Текст] / М.В. Логинова, И.М. Греков // Geography: Development of science and Education. – 2023. – С. 181-186.;
23. Макаренкова И.Ю. Экологическая оценка воздействия нефтегазодобывающей деятельности на водные объекты среднего Приобья [Текст] / И.Ю. Макаренкова // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. – 2007. – Ростов-на-Дону, Южный Федеральный университет. – 26 с.;
24. Нестерук Г.В. Геохимия макро-, микроэлементов и метана в ландшафтах болот Псковской области [Текст] / Г.В. Нестерук // дис. к.-г.н. 25.00.23 – «Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов». - Пермь, 2019. - 196 с.;
25. Оберлис Д. Биологическая роль макро- и микроэлементов у человека и животных [Текст] / Д. Оберлис, Б. Харланд, А. Скальный // Наука. – 2008. – Санкт-Петербург. – 544 с.;
26. Опекунов А.Ю. Экологическая седимантология: учебное пособие [Текст] / А.Ю. Опекунов // Издательство Санкт-Петербургского государственного университета. – 2012. – 224 с.;
27. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник [Текст] / Н.Ф. Реймерс.// Москва: Мысль. - 1990. – 637 с.;
28. Реуткина С.В. Роль хрома в организме человека [Текст] / С.В. Реуткина // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: экология и безопасность жизнедеятельности. – 2009. – Москва. – С. 50-55.;
29. Страхов Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли [Текст] / Н.М. Страхов // Москва, Госгеолтехиздат. – 1963. – 535 с.;

30. Ульрих Д.В. Экологическая нагрузка на окружающую среду предприятиями по добыче и переработке меди в южно Уральском регионе [Текст] / Д.В. Ульрих // XXI век. Техносферная безопасность. – 2016. - №1(1). – 10 с.;
31. Федоров Ю.А. Тяжелые металлы в ландшафтах верховых болот Псковской области [Текст] / Ю.А. Федоров, Т.М. Минкина, Г.В. Шишкова (Нестерук) // География и природные ресурсы. - 2017. - №2. - С. 46-55.;
32. Фетисов С.А. Встречи охраняемых видов птиц в Псковском Поозерье и национальном парке «Себежский» в 2021 году [Текст] / С.А. Фетисов, Г.Л. Косенков, В.Г. Покотилов, С.Л. Занин // Русский орнитологический журнал. Т.31. – 2022. – Экспресс-выпуск 2159. – С. 625-636.;
33. Фетисов С.А. Значение национального парка «Себежский» в сохранении редких и исчезающих видов птиц России и Республики Беларусь [Текст] / С.А. Фетисов // Экологическая культура и охрана окружающей среды: I Дорофеевские чтения: Материалы международной научно-практической конференции. – Витебск, 2013. – С. 225-226.;
34. Чертко, Н. К. Математические методы в географии. Учебно-методическое пособие [Текст] / Н. К. Чертко, А. А. Карпиченко // Минск. БГУ. - 2009. – 199 с.;
35. Шипкова Г.В. Биогеохимическая оценка компонентов ландшафтов Полистовского заповедника [Текст] / Г.В. Шипкова, Ю.А. Федоров, Т.М. Минкина // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах: материалы III Международной школы-семинара молодых исследователей. Тюмень. – 2018. – С. 311-317.;
36. Яковлева О.Ю. Редкие для Северо-Запада России виды планктонных Суанопрокарыота из водоемов Себежского национального парка (Псковская область) [Текст] / О.Ю. Яковлева, Р.Н. Белякова // Новости систематики низших растений. – 2007. – С. 69-76.;

Статьи на английском языке:

37. Alengebawy, Heavy Metals and Pesticides Toxicity in Agricultural Soil and Plants: Ecological Risks and Human Health Implications [Text] / A. Alengebawy, S.T. Abdelkhalek, S.R. Qureshi, M.Q. Wang // Toxics. – 2021. – 33 p.;
38. Brown G.E. Mineral surface and bioavailability of heavy metals: A molecular-scale perspective [Text] / G.E. Brown, A.L. Foster, J.D. Ostegren // Proc. Natl. Acad. Sci. V. 96. – USA – 1999. – 8 p.;
39. Forstner, U. Trace metal analyses on polluted sediments [Text] / U. Forstner, W. Salamons. Delft // The Netherlands, 1981. - Vol. 248. - P. 1-13.

40. Habashi F. Gmelin and his handbush [Text] / F. Habashi // Bull. Hist. Chem., Volume 34, Number 1 – Laval university, Quebec City, Canada – 2009. – 2 p.;
41. Hakanson, L. An ecological risk index for aquatic pollution control [Text] / L. Hakanson // A sedimentological approach. - Water Res. -1980. - Vol. 14. - P. 975-1001.;

Ресурсы сети Интернет:

42. Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ) [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://vsegei.ru/>. Дата обращения: 28.01.2023.;
43. ГосНИОРХ им. Л.С. Берга, Санкт-Петербургский филиал ФГБНУ «ВНИРО» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.niorh.ru/>. Дата обращения: 29.07.2022.;
44. Сайт Федорова Евгения Евгеньевича, географический авторский проект [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fedoroff.net/>. Дата обращения: 28.01.2023.;
45. Себежский национальный парк [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sebpark.ru/about/>. Дата обращения: 13.02.2023.;
46. Федеральная служба государственной статистики «Росстат» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>. Дата обращения: 10.10.2022.
47. World weather, прогноз погоды [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://world-weather.ru/>. Дата обращения: 26.04.2023.

Приложения

Приложение 1. Таблица результатов анализа колонки ЗКОз-1

Проба	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
ЗКОз 1.1	73	71	18	<5	23	41
ЗКОз 1.2	77	93	16	<5	21	22
ЗКОз 1.3	69	87	15	<5	17	29
ЗКОз 1.4	62	68	19	<5	20	10
ЗКОз 1.5	58	70	20	<5	20	51
ЗКОз 1.6	73	115	23	<5	22	10
ЗКОз 1.7	61	73	25	<5	23	35
ЗКОз 1.8	50	50	17	<5	29	23
ЗКОз 1.9	60	70	24	<5	28	31
ЗКОз 1.10	58	60	22	<5	20	31
ЗКОз 1.11	47	59	28	<5	27	35
ЗКОз 1.12	52	61	26	<5	26	29

Приложение 2. Таблица результатов анализа колонки ЗКОз-2

Проба	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
ЗКОз 2.1	81	81	15	<5	15	26
ЗКОз 2.2	88	61	15	<5	14	32
ЗКОз 2.3	75	69	12	<5	19	29
ЗКОз 2.4	68	67	17	<5	20	25
ЗКОз 2.5	66	71	13	<5	20	<10
ЗКОз 2.6	69	58	12	<5	18	<10
ЗКОз 2.7	68	68	19	<5	17	<10
ЗКОз 2.8	64	46	<5	12	15	38
ЗКОз 2.9	67	45	22	11	17	27
ЗКОз 2.10	100	48	24	34	12	22
ЗКОз 2.11	98	31	<5	39	16	<10
ЗКОз 2.12	18	<5	<5	<5	<5	<10

Приложение 3. Таблица результатов анализа колонки ЗКОз-3

Проба	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
ЗКОз 3.1	54	61	15	<5	13	25
ЗКОз 3.2	49	36	<5	<5	12	<10
ЗКОз 3.3	61	34	14	<5	21	23
ЗКОз 3.4	67	43	<5	<5	14	22
ЗКОз 3.5	70	53	11	<5	18	29

ЗКОз 3.6	66	77	17	<5	25	<10
ЗКОз 3.7	69	72	18	<5	40	<10
ЗКОз 3.8	50	64	13	<5	16	27
ЗКОз 3.9	51	46	<5	<5	19	<10
ЗКОз 3.10	46	42	10	<5	13	27
ЗКОз 3.11	56	50	20	<5	27	<10

Приложение 4. Таблица результатов анализа колонки ЗКОз-5

Проба	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
ЗКОз 5.1	43	58	13	<5	15	<10
ЗКОз 5.2	38	38	17	<5	17	41
ЗКОз 5.3	37	48	14	<5	14	36
ЗКОз 5.4	37	36	14	<5	16	25
ЗКОз 5.5	39	44	12	<5	10	37
ЗКОз 5.6	45	53	13	<5	16	23
ЗКОз 5.7	18	23	<5	<5	<5	<10
ЗКОз 5.8	31	33	<5	<5	15	27
ЗКОз 5.9	29	35	16	<5	16	25
ЗКОз 5.10	26	35	11	<5	10	<10
ЗКОз 5.11	21	24	<5	<5	11	<10

Приложение 5. Таблица результатов анализа поверхностных проб, отобранных в зимний период

Проба	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
ЗДООз 1	68	94	12	<5	18	33
ЗДООз 2	60	70	25	<5	24	23
ЗДООз 3	82	124	25	<5	22	22
ЗДООз 4	66	76	24	<5	20	<10
ЗДООз 5	88	121	17	<5	23	43
ЗДООз 6	90	121	16	<5	24	36
ЗДООз 7	55	58	<5	<5	<5	22
ЗДООз 8	57	43	<5	<5	<5	<10
ЗДООз 9	54	37	<5	<5	<5	27
ЗДООз 10	70	90	19	<5	21	60
ЗДООз 11	36	23	<5	<5	<5	<10
ЗДООз 12	30	17	<5	<5	<5	<10
ЗДООз 13	45	40	<5	<5	11	<10
ЗДООз 14	22	<5	<5	<5	<5	<10
ЗДООз 15	23	10	10	<5	<5	<10
ЗДООз 16	51	53	24	<5	19	33
ЗДООз 17	40	26	<5	<5	11	36
ЗДООз 18	30	23	<5	<5	<5	32

Приложение 6. Таблица результатов анализа поверхностных проб, отобранных в летний период

Проба	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
ДООз 93	37	40	<5	<5	16	21
ДООз 95	100	129	49	<5	52	40
ДООз 97	80	102	21	<5	34	37
ДООз 99	42	52	10	<5	23	34
ДООз 101	48	68	15	<5	40	46
ДООз 103	37	37	15	<5	31	21
ДООз 105	15	<5	<5	<5	16	<10
ДООз 107	72	84	26	<5	28	26
ДООз 109	35	53	12	<5	33	25
ДООз 111	47	40	<5	<5	20	<10
ДООз 113	41	30	16	<5	13	<10

Приложение 7. Таблица результатов анализа проб из озера Белое

Проба	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
ДОБ71	69	102	29	<5	<5	10
ДОБ73	76	89	15	<5	13	33
ДОБ75	36	51	21	<5	27	33
ДОБ77	22	<5	<5	<5	21	36
ДОБ79	51	73	13	<5	33	39
ДОБ81	<5	<5	<5	<5	27	46
ДОБ83	52	75	38	<5	26	54
ДОБ85	58	131	36	<5	<5	29
ДОБ87	43	49	26	<5	24	30
ДОБ89	26	32	18	<5	36	155
ДОБ91	61	76	32	<5	16	26
22.41	101	122	25	<5	27	126
22.43	58	85	26	<5	24	42
22.45	49	76	24	<5	29	140
22.54	39	59	16	<5	30	145
22.56	71	120	28	<5	25	123
22.58	50	102	23	<5	28	28
22.60	75	100	27	<5	<5	27
ЗДОБ-1	74	119	20	<5	25	117
ЗДОБ-2	64	95	22	<5	33	94
ЗДОБ-3	67	110	24	<5	26	64
ЗДОБ-4	15	<5	<5	<5	28	43
ЗДОБ-5	39	55	19	<5	28	44
ЗДОБ-6	58	92	28	<5	33	29

ЗДОБ-7	53	90	26	<5	28	38
ЗДОБ-8	69	120	34	<5	27	40
ЗДОБ-9	89	133	30	<5	31	99
ЗДОБ-10	50	81	28	<5	20	245
ЗДОБ-12	25	29	<5	<5	29	50
ЗДОБ-13	54	85	32	<5	34	77
ЗДОБ-14	61	83	35	<5	36	155
ЗДОБ-15	34	45	14	<5	16	26
ЗДОБ-16	52	75	28	<5	27	126
ЗДОБ-19	51	84	30	<5	24	42
ЗДОБ-20	89	120	33	<5	29	140
ЗДОБ-21	73	101	30	<5	30	145
ЗДОБ-22	70	100	25	<5	25	123
ЗДОБ-23	75	113	27	<5	28	28
ЗДОБ-24	25	20	<5	<5	<5	27
ЗДОБ-25	87	121	34	<5	25	117
ЗДОБ-26	85	123	23	<5	33	94
ЗДОБ-27	104	124	28	<5	26	64
ЗДОБ-28	50	69	20	<5	28	43
ЗДОБ-30	78	111	33	<5	28	44
ЗДОБ-31	87	129	27	<5	33	29
ЗДОБ-32	82	130	19	<5	28	38
ЗДОБ-33	84	117	21	<5	27	40
ЗДОБ-34	92	121	26	<5	31	99
ЗДОБ-35	42	50	18	<5	20	245
ЗДОБ-36	92	127	21	<5	29	50
ЗДОБ-40	101	123	38	<5	34	77

Приложение 8. Таблица результатов анализа проб из озера Нечерица

Проба	Pb, мг/кг	Zn, мг/кг	Cu, мг/кг	As, мг/кг	Ni, мг/кг	Cr, мг/кг
ЗКН-1.1	25	20	11	<5	<5	12
ЗКН-1.2	30	32	14	<5	12	25
ЗКН-1.3	33	29	16	<5	14	31
ЗКН-1.4	37	22	<5	<5	10	29
ЗКН-1.5	32	24	11	<5	<5	47
ЗКН-1.6	27	18	13	<5	<5	23
ЗКН-1.7	14	15	<5	<5	<5	34
ЗКН-1.8	18	15	<5	<5	<5	16
ЗКН-1.9	<5	10	<5	<5	<5	26
ЗКН-2.1	63	61	<5	<5	12	34
ЗКН-2.2	57	62	11	<5	11	23
ЗКН-2.3	65	94	15	<5	13	40
ЗКН-2.4	64	72	<5	<5	14	19
ЗКН-2.5	57	58	<5	<5	17	26

ЗКН-2.6	56	60	17	<5	15	23
ЗКН-2.7	58	55	<5	<5	15	25
ЗКН-2.8	52	53	16	<5	17	25
ЗКН-2.9	68	49	10	<5	20	52
ЗКН-2.10	51	58	20	<5	15	22
ЗКН-2.11	48	31	16	<5	14	32
ЗКН-2.12	<5	16	<5	<5	14	48
ЗКН-3.1	90	85	<5	<5	30	92
ЗКН-3.2	81	81	<5	<5	26	89
ЗКН-3.3	100	79	<5	<5	25	66
ЗКН-3.4	85	85	<5	<5	22	69
ЗКН-3.5	96	90	<5	<5	21	63
ЗКН-3.6	93	102	17	<5	26	74
ЗКН-3.7	91	81	<5	<5	23	55
ЗКН-3.8	69	97	<5	<5	24	65
ЗКН-3.9	68	75	11	<5	21	25
ЗКН-3.10	48	62	23	<5	19	8
ЗКН-3.11	47	51	13	<5	21	23
ЗКН-3.12	<5	11	<5	<5	12	<5
ЗКН-4.1	131	193	21	<5	25	40
ЗКН-4.2	121	200	15	<5	28	44
ЗКН-4.3	117	200	23	<5	20	47
ЗКН-4.4	110	162	30	<5	22	50
ЗКН-4.5	102	138	15	<5	19	49
ЗКН-4.6	94	140	19	<5	18	29
ЗКН-4.7	98	129	13	<5	20	24
ЗКН-4.8	87	122	12	<5	20	28
ЗКН-4.9	86	118	25	<5	19	34
ЗКН-4.10	57	96	18	<5	19	42
ЗКН-4.11	44	45	17	<5	15	43
ЗКН-4.12	45	35	15	<5	23	13
ЗКН-4.13	58	30	10	<5	23	26
ЗКН-4.14	24	32	10	<5	12	9
ЗКН-5.1	72	77	23	<5	20	41
ЗКН-5.2	72	75	12	<5	19	17
ЗКН-5.3	83	78	13	<5	21	14
ЗКН-5.4	91	80	12	<5	15	16
ЗКН-5.5	82	81	<5	<5	18	13
ЗКН-5.6	89	85	<5	<5	19	18
ЗКН-5.7	78	83	15	<5	16	28
ЗКН-5.8	72	90	16	<5	18	29
ЗКН-5.9	61	88	14	<5	20	28
ЗКН-5.10	49	73	22	<5	19	36
ЗКН-5.11	48	63	13	<5	19	24
ЗКН-5.12	52	65	20	<5	19	40

Приложение 9. Координаты точек отбора проб

Проба	Широта, N	Долгота, E
ЗДООз 1	56.1985459	28.4839556
ЗДООз 2	56.2003932	28.4871815
ЗДООз 3	56.1998867	28.4891124
ЗДООз 4	56.1985679	28.4899403
ЗДООз 5	56.1966168	28.4875411
ЗДООз 6	56.1939954	28.4878489
ЗДООз 7	56.1949846	28.4926546
ЗДООз 8	56.1934613	28.4915120
ЗДООз 9	56.1922559	28.4907309
ЗДООз 10	56.1908950	28.4900401
ЗДООз 11	56.1907584	28.4874468
ЗДООз 12	56.1922624	28.4862892
ЗДООз 13	56.1922013	28.4885740
ЗДООз 14	56.2054763	28.4735420
ЗДООз 15	56.2045413	28.4742768
ЗДООз 16	56.2047851	28.4769113
ЗДООз 17	56.2058144	28.4783959
ЗДООз 18	56.2067904	28.4776025
ДООз 93	56.1963790	28.4838719
ДООз 95	56.1978042	28.4864794
ДООз 97	56.1998463	28.4902427
ДООз 99	56.2002921	28.4793875
ДООз 101	56.2031786	28.4742968
ДООз 103	56.2061795	28.4770491
ДООз 105	56.1952640	28.4878499
ДООз 107	56.1956277	28.4921980
ДООз 109	56.1929206	28.4868082
ДООз 111	56.1889662	28.4913617
ДООз 113	56.1857060	28.4895382
ЗКОз-1	56.1981133	28.4870090
ЗКОз-2	56.1945913	28.4902075
ЗКОз-3	56.1907651	28.4891203
ЗКОз-5	56.2056452	28.4762700

Приложение 10. Легенда карты четвертичных отложений исследуемой территории

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

СОВРЕМЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ	LIV	Озерные отложения. Пески, супеси, глины, торф
	alV	Аллювиальные отложения. Пески, супеси
	plV	Болотные отложения. Торф
БЕРХНЕЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ	L, LgIII ¹⁻³ _{vd₃}	Лужский (жарельский) подгоризонт времени X-XII зон Поста. Озерные и озерно-ледниковые отложения. Пески, супеси, глины (только на разрезах)
	LgIII ^{kr} _{vd₃}	Озерно-ледниковые отложения. Пески, супеси, алевроиты, глины
	fIII ^{kr} _{vd₃}	Флювиогляциальные отложения. Галечники, разнозернистые пески
	gIII ^{kr} _{vd₃}	Ледниковые отложения. Глины, суглинки, супеси валунные
	LgIII ^{vp} _{vd₃}	Озерно-ледниковые отложения. Пески, супеси, алевроиты, глины
	fIII ^{vp} _{vd₃}	Флювиогляциальные отложения. Галечники, разнозернистые пески
	gIII ^{vp} _{vd₃}	Ледниковые отложения. Глины, суглинки, супеси валунные
	LIIIvd ₁	Нижневалдайский (калининский) горизонт. Озерные отложения. Супеси, глины
СРЕДНЕЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ	gIIms	Среднерусский надгоризонт. Московский горизонт. Ледниковые отложения. Суглинки и супеси валунные
		Дочетвертичные породы
	○ — ○ —	Суглинки и глины валунные
	○ · ○ ·	Супеси и пески валунные
	● ● ● ●	Пески с гравием и галькой
	● ● ● ●	Пески
	— — — —	Суглинки и глины
	- - - -	Супеси и алевроиты
	T T	Торф
	□ □ □ □	Холмисто-моренный рельеф
	⤵	Звонцы
	⤵	Озы
	▧	Каменный рельеф
	~ ~ ~ ~	Ложбины стока ледниковых вод
	▲ ▲ ▲ ▲	Абразионные уступы и скаты
	a k r b	Граница крестецкой стадии валдайского оледенения: а - установленная, б - предполагаемая
	⋯	Граница фациальных и литологических подразделений одного и того же возраста
	☪	Места находок ископаемых остатков спор и пыльцы
	● 672	Опорные обнажения и их номера
	◎ 4	Буровые скважины и их номера

Только на разрезах