

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Воробьева Александра Васильевна

Позднеледниковье — голоцен среднего течения р. Свирь

Выпускная квалификационная работа бакалавра

«К ЗАЩИТЕ»

Научный руководитель:

к.г.-м.н. М. В. Шитов

«__» _____ 2017

Заведующий кафедрой:

д.г.-м.н., проф. С. Б. Шишлов

«__» _____ 2017

Санкт-Петербург

2017

Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. История изучения и основные черты геологического строения района.	8
1.1. Географическое положение района работ.	8
1.2. История изучения.	8
1.3. Геологическое строение.	12
Глава 2. Факторы, повлиявшие на формирование четвертичной толщи района исследований.....	19
2.1. Краткая характеристика истории Ладожского озера и его ингрессий в долину р. Свирь.	19
2.2. Седиментация в малых озерах.	20
Глава 3. Состав и строение толщи поздне- и послеледниковых отложений в среднем течении р. Свирь	23
3.1. Материалы исследования.	23
3.3. Опорный разрез четвертичных отложений в ур. Канома	27
3.4. Гранулометрический анализ проблематичных отложений.....	37
3.4.1. Методы исследований.....	37
3.4.1. Результаты исследований.....	38
3.5. Донные отложения малых озер.	42
3.5.1. Методы исследования.	42
3.5.2. Результаты исследования	42
3.6. Выводы	49
Список литературы	55
Приложения	58

Введение

Актуальность. Среднее течение р. Свирь в районе г. Лодейное Поле, представляет собой область распространения поздне- и послеледниковых отложений, а также древних береговых линий, связанных с различными палеобассейнами и ключевыми палеогидрологическими событиями, имевшими место на территории Онежско-Ладожского перешейка в течение последних 12 тыс. ^{14}C лет. К таким событиям относятся снижение уровня воды ладожского плеса Балтийского ледникового озера, прорыв вод Онежского приледникового озера (ОПО) с образованием р. Свирь, а также разновозрастные трансгрессивно-регрессивные изменения уровней ладожских палеобассейнов на протяжении всего голоцена.

Современные представления о времени возникновения р. Свирь и эволюции позднеледниковых палеобассейнов района основаны, главным образом, на данных о возрасте и характере дегляциации Онежско-Ладожского перешейка, а также об изменении условий осадконакопления донных отложений ОПО, в которых наблюдается так называемый «розовый горизонт», фиксирующий резкие диагенетические изменения осадка, произошедшие при снижении уровня вод во время первоначального возникновения стока по сквозной системе долин рек Ошта–Тукша–Оять на фоне быстрого позднеледникового гляциоизостатического поднятия северного Прионежья (Демидов, 2004; Saarnisto et al., 1995). Кроме того, для реконструкции палеогидрологических событий позднеледниковья–голоцена успешно используются данные о так называемых «изоляционных контактах» в донных отложениях малых озер, расположенных на побережье Онежского озера, и имевших в прошлом связь с ОПО (Демидов, 2005, 2006). Таким образом, до сих пор события, связанные с возникновением стока по р. Свирь, реконструируются лишь по косвенным данным. Прямых указаний на время формирования р. Свирь – важнейшего элемента современной гидрографической сети всего северо-запада России – до сих пор не имеется.

Среди важнейших палеогидрологических событий голоцена в среднем течении р. Свирь в районе г. Лодейное Поле необходимо отметить ранне- и позднеголоценовую (так называемую ладожскую) трансгрессию Ладожского озера. Их следы в районе работ были подробно описаны в первой половине двадцатого века К.К. Марковым (Марков 1934, 1949). Детальная реконструкция изменений уровня Ладожского озера в голоцене на основе стратиграфических и геохронологических данных, была относительно недавно проведена М.В. Шитовым (Шитов, 2007). Еще К.К. Марков в своих работах (Марков, 1949) отмечал, что в среднем течении р. Свирь береговые линии

позднеледниковых и голоценовых палеобассейнов имеют одинаковые высотные отметки, что существенно затрудняет реконструкцию изменений уровня воды.

Цель и задачи работы. Целью настоящей работы является описание геологического строения толщи поздне- и послеледниковых отложений в среднем течении реки Свирь в районе г. Лодейное Поле, выделение основных этапов ее формирования, а также установление их связи с ключевыми геологическими событиями этого времени.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Полевая документация опорных разрезов поздне- и послеледниковых отложений, анализ данных ручного бурения, построение стратиграфических колонок, разрезов и схемы строения поздне-послеледниковой толщи;

2. Полевые наблюдения за формами современного рельефа, связанными с различными этапами геологической истории района, геоморфологическая интерпретация топографических карт масштаба 1:50 000 и аэрокосмических снимков;

3. Исследование донных отложений малых озер района, определение их литологического состава и выявление в них стратиграфических уровней с изменениями режима седиментации (следы палеогидрологических событий);

4. Установление возраста палеогидрологических событий, фиксируемых в разрезах донных отложений малых озер, на основе спорово-пыльцевого и радиоуглеродного анализов;

5. Установление генезиса проблематичных образований в разрезе поздне-послеледниковых отложений на основе анализа текстур и гранулометрического состава отложений;

6. Палеогеокриологическая интерпретация свидетельств распространения многолетнемерзлых грунтов в геологическом прошлом района исследования;

7. Выделение основных стратиграфо-генетических подразделений в разрезе поздне-послеледниковых отложений, прослеживание их границ при помощи геологических и геоморфологических методов, а также установление их связи с современным и погребенным рельефом;

8. Установление основных этапов формирования поздне-послеледниковой толщи района, а также их связи с тем или иным геологическим событием.

Практическая значимость. Результаты работы могут быть использованы для уточнения и дополнения серийных легенд Государственной геологической карты масштаба 1:200 000 Ильменской серии, уточнения границ и возраста геологических тел на

изданных картах листа Р-36-XXVII, обоснования выделения местных стратиграфических подразделений в региональных стратиграфических схемах квартера Онежско-Ладожского региона, а также для прогноза развития экосистем малых озер района.

Научная новизна.

1. В результате работы на основе результатов спорово-пыльцевого и радиоуглеродного анализов, а также путем интерпретации геологических данных было установлено время заложения котловин малых озер в районе исследования.

2. С помощью литологического анализа в разрезах донных отложений были выявлены уровни с изменениями условий седиментации, фиксирующие разновозрастные палеогидрологические события.

3. Установлено, что образование регионально распространенной террасы с отметками площадки 13–20 м абс. выс. связано с формированием долинного зандра при прорыве р. Свирь в аллереде. Причем отложения долинного зандра представлены различными фациями (русловыми, прируловых валов и отмелей), которые находятся в сложных взаимоотношениях с озерно-ледниковыми отложениями. Это связано с тем, что в районе исследования отложения флювиогляциального потока (пра-Свири) представлены образованиями дельты, впадавшей в регрессирующий озерно-ледниковый бассейн;

4. Впервые в пределах Онежско-Ладожского перешейка выявлены криогенные образования, свидетельствующие о существовании холодного безледного периода, на протяжении которого уровень озерно-ледникового бассейна не превышал в районе исследования 13–14 м абс. высоты.

5. Установлено, что позднеголоценовая ладожская трансгрессия не превысила отметок 13–14 м абс. высоты, а ее отложения в районе работ представлены лишь ингрессивными эстуарными фациями, слагающими террасу с отметкой площадки около 9–10 м абс. высоты.

Фактические материалы. В основу работы положены результаты исследования донных отложений малых озер Лудейнопольского района. Образцы илов были получены в ходе полевых работ 2012–2013 гг. отрядом комплексной партии ОАО "Севзапгеология" под руководством А.А. Потаповича. В 126 образцах были определены ископаемые споры и пыльца (палинологи – Э.С. Плешивцева и Л.В. Филимонова), предварительное палиностратиграфическое расчленение разрезов производилось Э. С. Плешивцевой, Л.В. Филимоновой и М.В. Шитовым. Произведено макроскопическое описание кернов. В 72 образцах автором определен гранулометрический состав терригенной составляющей осадка и получены данные о потерях при прокаливании. Дополнительно использованы

данные 6-ти скважин ручного бурения, расположенных вблизи озер. По образцам органического материала из кернов скважин и обнажений в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана Института наук о Земле главным специалистом лаборатории Х.А. Арслановым было получено 10 радиоуглеродных датировок.

В работу вошли также полевые наблюдения автора, полученные в ходе научно-исследовательской практики по четвертичной геологии Института наук о Земле СПбГУ 2014–2016 гг. Между озерами был проведен ряд геолого-геоморфологических маршрутов; в ур. Каномы в береговом обрыве р. Свирь в серии расчисток был описан опорный разрез протяженностью около 100 м с непрерывной фотодокументацией (650 фотографий). Для 9 образцов отложений проблематичного генезиса, слагающих верхнюю часть разреза в ур. Каномы автором был проведен гранулометрический анализ.

Апробация работы. Результаты исследований обсуждались на V Международной конференции молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург, 2017) и на научной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения Г.С. Бискэ «Современные проблемы четвертичной геологии и географии Северо-запада Европейской части России и сопредельных стран» (КарНЦ РАН, Петрозаводск, 2017).

Благодарности. Я глубоко признательна своему научному руководителю – М.В. Шитову за его неизменную всестороннюю помощь и поддержку. Автор также благодарен А.А. Потаповичу, которым были проведены полевые работы по бурению на акватории малых озер и на их побережье. На протяжении нескольких лет автору в его работе помогали многие преподаватели Института наук о Земле СПбГУ. Так, благодаря А.Г. Рюмину были организованы и проведены лабораторные исследования по определению гранулометрического состава терригенной составляющей донных отложений и потерь при прокаливании. Необходимое оборудование для определения гранулометрического состава отложений проблематичного генезиса предоставил М.В. Платонов; он же помог автору с последующей обработкой результатов. Ценные консультации и необходимое программное обеспечение для интерпретации результатов гранулометрического состава терригенной составляющей донных отложений были предоставлены А.А. Крыловым. Автор благодарен им за их отзывчивость и оказанную профессиональную помощь.

Работа выполнена в рамках научно-исследовательской практики по четвертичной геологии на УНБ «Свирь» и автор сердечно благодарна ее участникам разных лет –

И.В. Сумаревой, Т.Э. Багдасарян, А.С. Гладышевой, А.В. Островерховой,
И.А. Медведевой и многим другим, за их участие и помощь в полевых и камеральных
работах.

Глава 1. История изучения и основные черты геологического строения района.

1.1. Географическое положение района работ.

Район исследования располагается на территории Приладожской равнины в южной части Онежско-Ладожского перешейка, в среднем течении р. Свирь к западу от районного центра – г. Лодейное Поле к северо-востоку от пос. Шамокша (Рис.1.1). Здесь р. Свирь течет в субширотном направлении, а затем в районе ур. Свирские Мели совершает коленообразный изгиб, поворачивая на юго-восток. Участок исследований пересекает Ленинградское шоссе, соединяющее федеральную трассу Р-21 «Кóла» с г. Лодейное Поле.



Рис.1.1. Географическое положение района работ.

1.2. История изучения.

Начало систематического изучения четвертичных отложений района исследования было положено в 20-е годы прошлого века при проведении изысканий под строительство каскада Свирских ГЭС. Первые результаты работ были опубликованы М.Б. Едемским (Едемский, 1924). В ходе этих работ в устье р. Некежмы в 10 км выше по течению р. Свирь от района наших исследований была обнаружена Некежемская неолитическая стоянка, культурный слой которой перекрыт бассейновыми отложениями – горизонтально

слоистыми песками и супесями. Подытоживая статью, М.Б. Едемский делает вывод, что для определения возраста стоянки, необходимо более детальное геологическое изучение района, а именно «свирских террас». Негежемская стоянка оказалась крупнейшей из известных в то время на территории северо-запада СССР и позднее она была изучена Б.Ф. Земляковым (Земляков, 1932), который пришел к выводу, что ее культурный слой перекрыт отложениями позднеголоценовой ладожской трансгрессии, которая здесь, по его мнению, достигала отметок 20 м абс. высоты. Впоследствии, при строительстве Нижнесвирской ГЭС эта стоянка была полностью уничтожена.

Выдающийся вклад в изучение четвертичных отложений в среднем течении р. Свирь внес К.К. Марков. Занимаясь историей всего Приладожья в целом, в двух своих работах (Марков, 1934, 1949) уделил большое внимание району наших исследований, подробно описал его строение, увязал эти данные с современным рельефом и, основываясь на результатах совмещенного диатомового и спорово-пыльцевого методов, предложил до сих пор актуальную хронологию основных геологических событий позднеледникового–голоцена. Так, К.К. Марков в ходе своих исследований связал образование трех четко выделяющихся в районе работ террасовидных поверхностей с действием нескольких разновозрастных палеобассейнов. По его мнению, самая высокая терраса с абсолютными отметками площадки 20–30 м образовалась в конце позднеледникового и является дельтой мощного флювиогляциального потока (древней р. Свири). Средняя терраса, узкой полосой протянутая вдоль русла р. Свири в окрестностях г. Лодейное Поле, образовалась в результате ингрессии вод Ладожского озера в ходе позднеголоценовой трансгрессии. И, наконец, самая низкая терраса представляет собой чисто речное образование – пойму. Такая последовательность и по сей день остается актуальной и вполне согласуется с современными моделями развития р. Свири.

В середине 1960-х гг. территория исследований была покрыта геологосъемочными работами по составлению Государственной геологической карты масштаба 1:200 000, по результатам которых была опубликована карта четвертичных отложений листа Р-36-XXVIII (Митюшев, 1973). На этой карте были показаны флювиогляциальные отложения, связанные с прорывом р. Свирь. Как следует из этой карты (Рис. 1.2) на правом берегу р. Свирь область распространения этих отложений не доходит до г. Лодейное Поле и заканчивается приблизительно в районе устья р. Янеги. Поэтому озера Рыбье, Пискарское, Среднее, Цыганское и Глухое, которые далее будут рассмотрены в работе, и террасовая поверхность с отметками площадки около 20 м оказались расположены в пределах распространения осадков ладожской трансгрессии. При этом авторы карты отметили валообразное возвышение высотой до 18 м абс. выс., вытянутое параллельно р. Свирь и

отделяющее цепочку озер Пискарьское–Среднее–Рыбье от озер Цыганское и Глухое. С ладожской трансгрессией авторы связали и 20-метровую террасу на правом берегу р. Свирь выше урочища «Свирские Мели». Следует отметить, что согласно рисовке В.П. Митюшёва вдоль русла р. Свирь распространены аллювиальные голоценовые отложения, что идет вразрез с результатами, полученными нами в ходе работ.

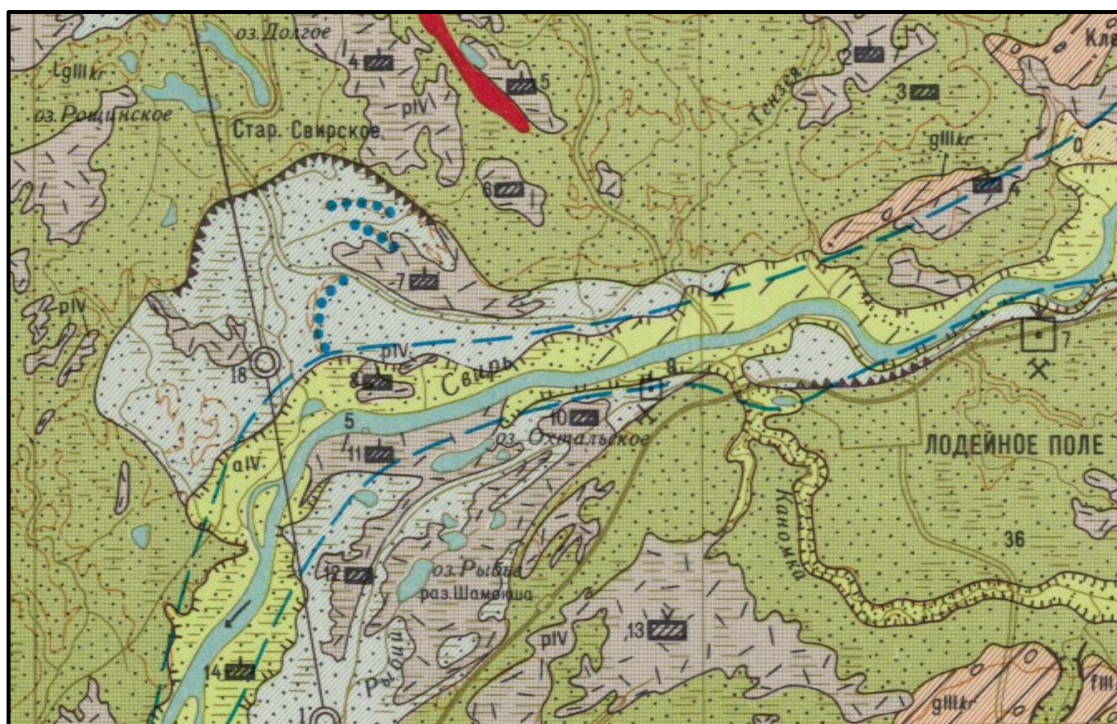


Рис. 1.2. Фрагмент ГТК 200.2 четвертичных отложений листа Р-36-XXVIII (Митюшёв, 1973)

Район исследований также упоминается в работе Д.Б. Малаховского, в его статье посвященной истории Ладожского озера (Малаховский, 1993) приводится описание разреза ниже острова Конев, к тому же подкрепленное радиоуглеродными датировками и результатами спорово-пыльцевого анализа. Судя по нашим наблюдениям, на правом берегу р. Свирь у острова Конев, Д.Б. Малаховский с соавторами ошибочно приняли останец доладожского рельефа, сложенный позднеледниковыми отложениями, за отложения позднеголоценовой ладожской трансгрессии. Сводный разрез, приведенный Д.Б. Малаховским с соавторами (Малаховский и др., 1993, рис. 2, стр. 64; разрез № 32) по высоте соответствует именно позднеледниковой террасе, которая не содержит в разрезе погребенных торфов. Эти торфяники появляются в разрезе чуть выше по течению на типичных для регионально-распространенной террасы ладожской трансгрессии высотных отметках около 10 м абс. высоты.

Последние исследования проводились коллективом «Севзапгеологии» (ныне «Петербургская комплексная геологическая экспедиция», ОАО «Росгеология») в 2012–2014 гг. в рамках проекта «ГДП-200 листов Р-36-XXVIII, XXIX (Подпорожская площадь)» (геологическое доизучение площадей). Согласно опубликованным материалам коллектив авторов под руководством А.В. Брисюка, своими исследованиями, в общем, подтвердил рисовку предшествующих составителей карт (Брисюк, 2014) (Рис. 1.3.).

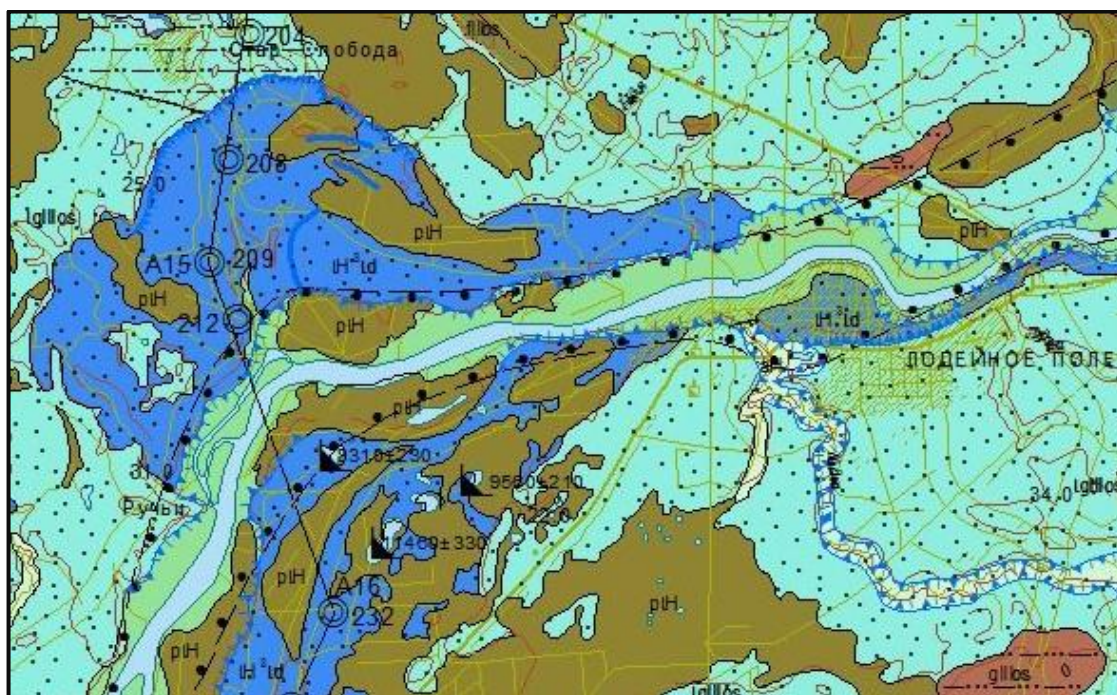


Рис.1.3. Фрагмент ГТК 200.3 четвертичных отложений листа Р-36-XXVIII (Брисюк, 2014)

Дальше всего в изучение вопроса истории развития р. Свирь в своих работах углубился крупный исследователь – И. А. Демидов (Демидов 2004, 2005, 2006). В рамках изучения поздне- и послеледниковой истории Онежского озера им была выдвинута сложная модель двукратного открытия стока по Свири. Согласно концепции И.Н. Демидова, первоначально сток из Онежского приледникового озера (ОПО) осуществлялся по сквозной системе долин рек Ошта–Тукша–Оять. Позже, в аллереде, при дегляциации территории в районе г. Подпорожья воды ОПО прорвали узкую моренную гряду, в результате чего образовалась пра-Свирь. Затем, после освобождения от покровного оледенения Онежско-Беломорского водораздела сток из ОПО происходил в Белое море в районе Выгозера и Сегозера. По мере гляциостатического поднятия порога стока в северном Прионежье в позднем дриасе сток осуществлялся через север Онежско-Ладожского перешейка через р. Видлицу. И, наконец, в самом конце позднего дриаса около 10,3–10,0 тыс. ¹⁴С-лет назад устанавливается сток по современной долине р. Свирь. Следует отметить, что концепция И.Н. Демидова основана лишь на косвенных данных;

прямого определения возраста геологических тел, связанных с возникновением стока по Свири до сих пор не проводилось.

1.3. Геологическое строение.

Район работ расположен на юго-восточной окраине Балтийского щита, в зоне его сочленения с Русской плитой (Рис. 1.4). Наиболее древние породы дочетвертичного субстрата на территории исследований представлены кристаллическим фундаментом архей-раннепротерозойского возраста. Архейские образования сложены амфиболовыми и биотитовыми сланцами среднего лопия. С несогласием их перекрывают нижнепротерозойские отложения, представленные биотитовыми и амфиболовыми сланцами, графитистыми биотитовыми, амфиболовыми и амфибол-пироксеновыми гнейсами сортавальской серии и гранат- кордиеритсодержащими биотитовыми гнейсами ладожской серии. Образования фундамента из-за недостатка фактического материала по скважинам на территории исследований рассматриваются как нерасчлененные (KR₂¹⁻²sr-ld). Непосредственно в районе работ фундамент был вскрыт скважинами у г. Лодейное Поле и у д. Рахковичи (16 км к востоку от р-на исследований), кровля фундамента здесь расположена на глубинах 150 м и 175 м соответственно.

На денудированной поверхности кристаллического фундамента залегают неметаморфизованные отложения вендского комплекса, представленные редкинским и котлинским горизонтами. Редкинский горизонт (гдовский горизонт) представлен отложениями старорусской свиты (V₂sr), в разрезе которой выделяются две пачки. Нижняя в основании сложена конгломератами, гравелитовыми грубозернистыми песчаниками и гравелитами, которые вверх по разрезу сменяются сначала крупно-, а затем мелкозернистыми песчаниками, в кровле с алевритовыми и глинистыми прослоями. Верхняя пачка сложена плотными тонкодисперсными аргиллитоподобными глинами. С размывом на них залегают отложения котлинского горизонта, представленные отложениями василеостровской свиты (V₂vs). В разрезе свиты выделяется три пачки. Нижняя пачка фиксирует начало нового цикла осадконакопления, основание пачки представлено маломощным гравийно-галечным горизонтом, основной же объем свиты сложен песками и песчаниками, иногда, с прослоями алевритов. Отложения средней пачки представлены ритмично переслаивающимися тонкими песками, глинами и алевритами. Верхняя пачка сложена массивными глинами и аргиллитами с редкими тонкими алевролитовыми и песчаными прослоями. Согласно данным бурения разведочно-эксплуатационной скважины на воду, проводимого летом 1975 г трестом «Промбурвод» в д. Заостровье на территории нынешней УНБ «Свирская» (10 км к юго-западу от района

работ), мощность вендских отложений составила порядка 120 м, а их кровля расположена на глубине 24 м. В скважине, расположенной в д. Ковкеницы на территории Нижне-Свирского заповедника (11 км к западу от района исследований), глубина залегания вендских отложений составила 45 м, а мощность более 110 м.

В 10 км к югу-юго-востоку от района работ находится область распространения отложений франского яруса верхнего девона. В скважине у д. Рахковичи девонские породы представлены отложениями важинской свиты (D₃vž). Отложения свиты с размывом перекрывают котлинский горизонта венда, они представлены желтовато-бурыми песками, песчаниками и алевролитами. Вскрытая скважиной мощность девонских отложений составила 8 м.

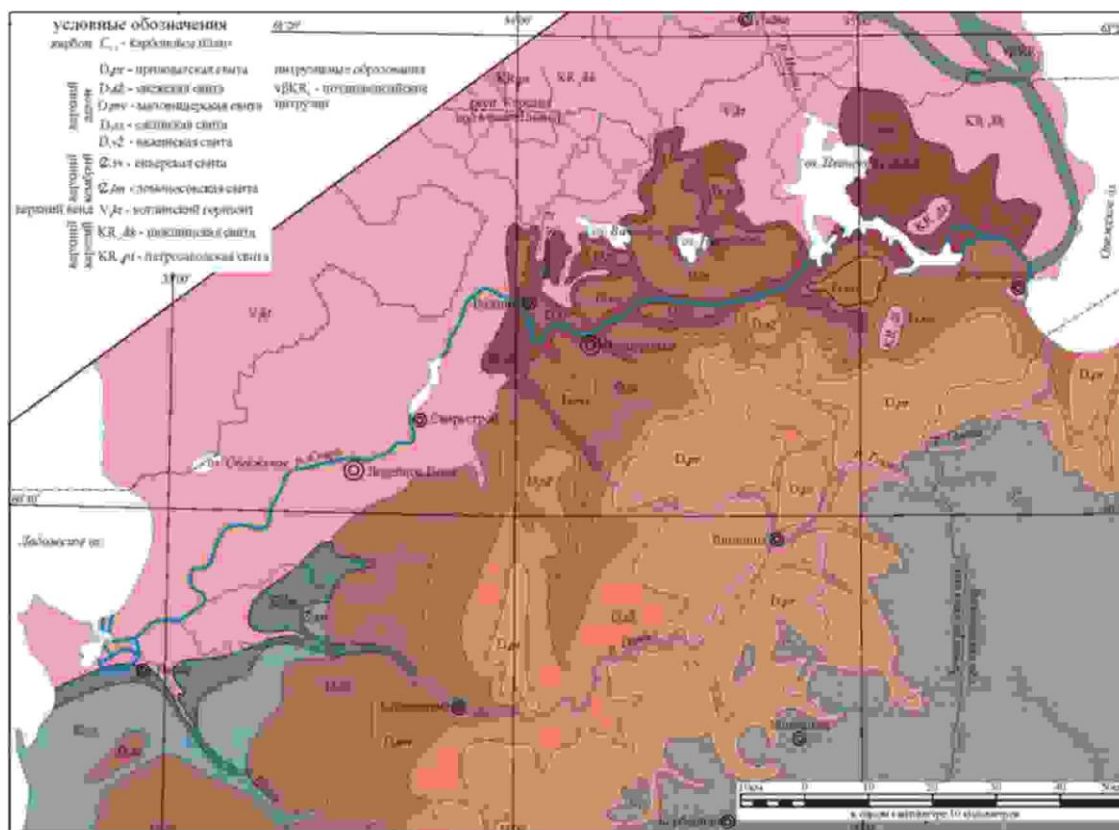


Рис.1.4. Схема дочетвертичных образований долины р. Свирь (построена на основе ГГК листа Р-(35)-37 м-ба 1:1000 000 1999 г.)

На эродированной поверхности фундамента, вендского и девонского комплексов залегают четвертичные отложения, мощность которых на участке работ согласно данным бурения в среднем не превышает 50 м (за исключением районов древних долин). Кровля дочетвертичных образований на территории исследований, в целом, представляет собой плоскую ровную поверхность вендских отложений, расположенную на отметках порядка минус 10 м абс. выс. В районе работ параллельно руслу р. Свири в северо-западном направлении распространена древняя погребенная долина. Абсолютные отметки тальвега

этой долины вблизи г. Лодейное Поле согласно данным бурения составляют около минус 70 м абс. выс. В современном рельефе долина не выражается (Брисюк, 2014).

Отложения в основании четвертичной толщи относятся к осташковскому горизонту валдайского надгоризонта верхнего звена неоплейстоцена. Непосредственно на отложениях дочетвертичного субстрата залегает тилл (морена) осташковского оледенения – ледниковые отложения (gIIIos). Он представлен валунными суглинками, супесями, песками, реже глинами с включениями гравия, гальки и валунов. Непосредственно на участке наших работ абсолютные отметки кровли тилла составляют около 5 абс. высоты, то есть ниже уреза р. Свири (урез р. Свирь в районе работ – 6 м абс. выс.). Его мощность в районе наших работ осталась неустановленной. На полную мощность осташковский тилл вскрыт скважинами на территории УНБ «Свирь» и в дер. Ковкеницы, где она составляет 21 и 31 м соответственно. Хорошие обнажения с выходами осташковского тилла на дневную поверхность и его контакт с озерно-ледниковыми отложениями можно наблюдать в береговых обрывах в ур. Пиркиничи на правом берегу р. Свирь в 5 км выше по течению от г. Лодейное Поле.

Осташковский тилл перекрыт озерно-ледниковыми и флювиогляциальными отложениями. Флювиогляциальные отложения – гляциофлювиал (fIIIos) сложены в основном песками с включениями гравия, гальки и валунов. Они с размывом залегают на отложениях тилла, в виде вытянутых линзовидных тел, или же формируют камы и озы. В северной части участка работ гляциофлювиал представлен южной оконечностью, хорошо выраженной в рельефе озовой гряды. Кроме того, к гляциофлювиалу можно отнести, с некоторой условностью, и отложения пра-Свири, связанные с ее прорывом из Онежского приледникового озера и формированием долинного зандра на отметках 13–18 м абс. высоты. Следует отметить, что по формальным признакам эти отложения ближе к аллювиальным («древнесвирский аллювий» по нашей терминологии), так как флювиальная система, в которой они отложились, не имела уже контакта с ледником; подробная характеристика этих отложений дана ниже в соответствующей главе настоящей работы.

Озерно-ледниковые отложения – гляциолимний (lgIIIos+bl) с размывом залегают на отложениях тилла и гляциофлювиала (за исключением условного гляциофлювиала древнесвирского аллювия, который перекрывает или латерально переходит в гляциолимний). В зависимости от фациальной обстановки литологический состав озерно-ледниковых отложений весьма разнообразен. Как правило, эти отложения представлены песками, супесями, суглинками и глинами. Непосредственно на территории исследований озерно-ледниковые отложения с размывом перекрывают тилл. В основании наблюдается

хорошо выраженный маломощный базальный гравийно-галечный горизонт. Нижнюю часть озерно-ледниковой толщи составляют микро- и тонкослоистые ленточные ритмиты (ленточные глины), в которых спорадически встречаются друпстоуны. В этих ритмитах иногда наблюдаются роренштейны – следы ожелезнения по корням растений, что свидетельствует о дистальных и, видимо, относительно мелководных обстановках осадконакопления. Ленточные глины перекрываются мелкозернистыми песчаными отложениями, расчленение которых пока несколько затруднительно. Вероятно, их образование происходило в несколько стадий, связанных с несколькими фазами развития обширного приледникового водоема, регрессировавшего с отметок 35–40 м абс. выс. (приледниковое озеро Рамзая?) до 20 м абс. выс. (Балтийское ледниковое озеро). Судя по данным ручного бурения, мощность гляциолимния непосредственно в районе наших исследований превышает 15 м.

Голоценовые образования в районе исследований представлены несколькими генетическими типами. Наиболее древние отложения – озерные (лимний (I^H¹⁻³)). Они развиты в котловинах малых озер: Цыганского, Рыбьего, Глухого, Охтальского и Пискарского, которые находятся в различных геоморфологических условиях. Котловины этих озер имеют различную морфологию и, видимо, различный генезис, которые изучаются в настоящее время (Павловская, 2017). Отложения этих озер были вскрыты несколькими скважинами; они представлены в основном сапропелями, а также песками, карбонатными супесями, гиттиями и торфом (см. Глава 3). Судя по результатам бурения, подошва лимния в некоторых случаях (оз. Цыганское, оз. Глухое, оз. Рыбье) залегает ниже современного уреза р. Свирь. Максимальная вскрытая мощность лимния составляет 6 м в озере Рыбьем и 7 м в озере Пискарском. Результаты определения возраста подсапропелевого торфа и базальных слоев сапропеля свидетельствуют о том, что осадконакопление в озерах началось еще в конце позднеледниковья. Наиболее древние датировки полученные составили 11460 ± 330 , 9770 ± 200 и 9560 ± 210 ¹⁴C лет назад.

Лимноаллювий в районе работ представлен отложениями двух разновозрастных трансгрессий Ладожского озера, история которых более подробно описана в соответствующей главе настоящей работы (См. Глава 2). Отложения раннеголоценовой трансгрессии – лимноаллювий (Ia^H¹⁻²) вблизи района исследований представлены среднезернистыми косо- и горизонтальнослоистыми песками, а также переслаиванием светло-коричневых мелкозернистых алевритистых песков. На отметках более 10 м абс. высоты отложения представлены грубозернистыми песками с гравием и галькой. В наиболее полных разрезах на р. Свирь мощность осадков достигает 5 м. Непосредственно на участке работ отложения раннеголоценовой пребореальной трансгрессии были

вскрыты двумя скважинами ручного бурения, здесь они представлены супесями, а их кровля не превышает отметок 1 м абс. выс. Завершение древней трансгрессии фиксируется по образованию в кровле ее отложений регионально распространенного торфяника с возрастом подошвы от 8,7–5,4 тыс.¹⁴С л. н. Местами торф латерально замещается погребенной подзолистой почвой с хорошо развитым профилем (обнажения на р. Шоткуса). Кровля торфа и погребенных почв с размывом перекрыта отложениями позднеголоценовой ладожской трансгрессией – лимнием ладожской трансгрессии (ИН³ld). Вблизи г. Лодейное Поле отложения трансгрессии формируют регионально распространенную террасу с отметками площадки 10 м абс. выс. На участке работ она представлена в различных фациях: гиттиями, неяснослоистыми алевритами и тонкими песками. Мощность отложений в районе исследований не превышает 6 м. Согласно рисовке В.П. Митюшева (Митюшев, 1973) и А.В. Брисюка (Брисюк, 2014) отложения ладожской трансгрессии на участке работ распространены вплоть до отметок 20 м абс. выс. и таким образом помимо террасы с отметками 10 м абс. выс. слагают и террасу с отметками 13–18 м абс. выс. Согласно исследованиям, приведенным в работе (см. Глава. 3) отложения второй террасы значительно древнее лимния ладожской трансгрессии и представлены, вероятно, отложениями пра-Свири («древнесви́рским аллювием»), что ставит рисовку предшественников под сомнение.

В строении четвертичной толщи также принимает участие палюстрий (plH). Торфяники в районе работ представлены верховым и низинным типами, они имеют различное стратиграфическое положение и залегают на отложениях лимногляциала, флювиогляциальных отложениях, лимноаллювии ладожской трансгрессии и современном аллювии. Согласно данным ручного бурения в районе работ мощность торфяника, вскрытая в одной из скважин, достигает 8 м, подошва торфяника расположена на отметках всего 1 м. абс. выс., что существенно ниже современного уреза р. Свири. Судя по датировкам, торфяник формируется с бореального 8640±130 ¹⁴С л. н. и по настоящее время, без явных перерывов, что весьма примечательно, так как он должен был испытывать на себе действие ладожской трансгрессии.

В долине р. Свири распространен аллювий (aH). Аллювиальные отложения выстилают долину реки, русло, а так же пойменные и надпойменные террасы. Представлены речные отложения в основном песками, иногда с галькой и валунами (перлювий); пойменные фации: песками, супесями и алевритами. Мощность аллювия не превышает 3 м.

Техноген (tH³) распространен лишь на ограниченных участках, в основном вдоль дорог. Представлен супесями, песками, суглинками, гравием, галькой и щебнем кристаллических пород. Мощность техногена не превышает 0,5 м.

1.4. Геоморфология.

В рельефе исследуемой территории хорошо выделяются три террасовидных поверхности (Рис 1.5). Самое высокое положение занимает терраса, бровка которой расположена на отметках около 15 м абс. выс. В целом, терраса представляет собой плоскую ровную поверхность с отметками площадки порядка 20 м абс. выс., которая постепенно повышается до отметок 35-40 м абс. выс., где местами отчетливо фиксируются ее тыловой шов. Она сложена средне- или мелкозернистыми песками, реже супесями и суглинками, на некоторых участках латерально переходящими в ленточные глины. В статье 1949 г. К.К. Марков (Марков, 1949) высказал предположение, что терраса образовалась в результате действия флювиогляциального потока. Но в настоящее время более актуальной представляется альтернативная версия. Вероятнее всего, данная терраса образовалась в результате действия обширного приледникового водоема, существовавшего здесь в конце позднеледникового, причем в строении террасы принимают участие отложения, образовавшиеся в разные фазы его развития.

В западном направлении в районе участка автодороги Паша – Лодейное Поле эта терраса понижается до отметок 14 м абс. выс., и с запада ограничена грядой, состоящей из нескольких валообразных возвышений, протянувшихся приблизительно на 6 км вдоль автодороги и параллельно руслу р. Свири. Относительная высота этой гряды достигает 4–5 м, таким образом, ее абсолютные отметки достигают 18–20 м. За ним к западу в направлении р. Свирь распространена терраса с площадкой имеющей отметки около 12–14 м абс. выс. Вероятно, эту террасу и ограничивающий ее с востока вал следует относить к образованиям долинного зандра (пра-Свири) на месте современной р. Свирь. Отложения, слагающие террасу, доступны для непосредственного наблюдения в разрезах на левом берегу р. Свири вблизи очистных сооружений г. Лодейное Поле в ур. Канома. Эти отложения представлены косослоистыми грубообломочными отложениями – мелкой галькой, гравием, мелко и среднезернистым песком. Весьма примечательно, что абсолютно преобладающее направление наклона косых слойков совпадает с современным направлением течения р. Свирь, что является еще одним свидетельством в пользу связи этой террасы с действием флювиогляциального потока. Более подробно строение террасы будет описано ниже в соответствующей главе данной работы.

К западу в направлении р. Свирь 12–14-метровая терраса ограничена хорошо выраженным абразионным уступом высотой порядка 2–3 м. Ниже него распространена терраса с абсолютными отметками площадки около 10 м. Эта терраса распространена по всему южному побережью Ладожского озера и устьям впадающих в него рек, и со времен К.К. Маркова надежно связывается с позднеголоценовой ладожской трансгрессией. Непосредственно в районе исследований эта терраса сложена неслоистыми зеленовато-серыми алевритами, часто содержащими большое количество органических остатков, а также гиттиями на площадке террасы развиты современные торфяники мощностью до 1,5 м.

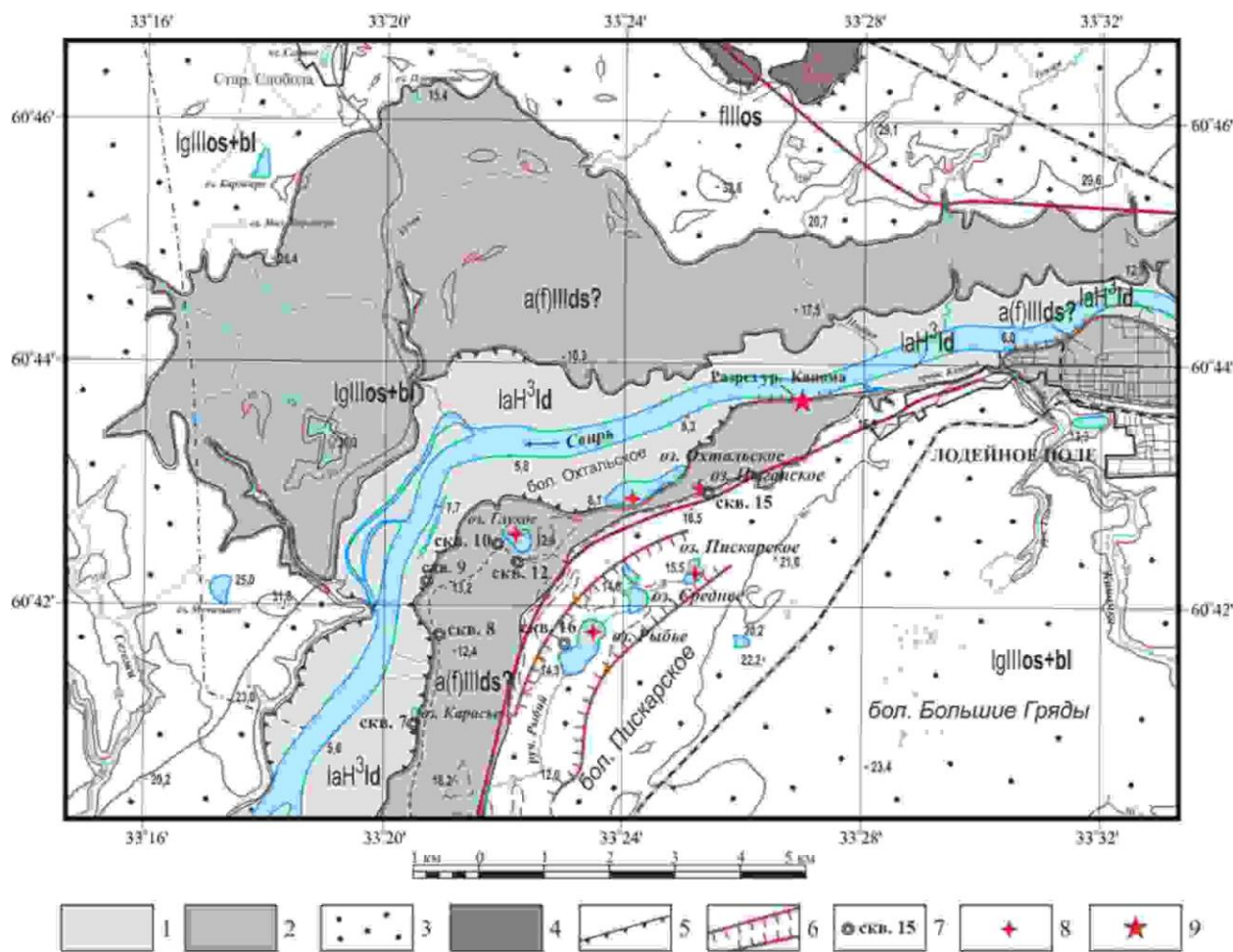


Рис. 1.5 Фактические материалы и основные черты геологического строения района

1 – терраса позднеголоценовой ладожской трансгрессии (около 10 м абс. выс.); 2 – терраса предполагаемой флювиогляциальной дельты (долинного зандра) пра-Свири (12–20 м абс. выс.); 3 – терраса ледникового озера (20–30 м абс. выс.); 4 – озовая гряда; 5 – абразионные уступы; 6 – предполагаемое полупогребенное русло пра-Свири; 7 – скважины; 8 – скважины на побережьях малых озер; 9 – опорный разрез в ур. Канюма. **Индексы стратиграфо-генетических подразделений:** *lglllos+bl* – гляциолимний (пески мелко-среднезернистые, супеси, суглинки горизонтально слоистые); *flllos* – остаиковский гляциофлювиал; *a(f)lllds (?)* – предполагаемый гляциофлювиал прорыва Свири (галечка, гравий, пески крупно- и среднезернистые косослоистые); *laH³ld* – лимноаллювий ладожской трансгрессии (гиттии, алевриты).

Глава 2. Факторы, повлиявшие на формирование четвертичной толщи района исследований.

2.1. Краткая характеристика истории Ладожского озера и его ингрессий в долину р. Свирь.

На современный рельеф исследуемой территории повлияли не только события, связанные непосредственно с прорывом вод Онежского приледникового озера и образованием р. Свирь, краткое представление об истории развития которой приведено выше (см. Глава 1), но также, в значительной степени, и происходившие на протяжении всего голоцена трансгрессивно-регрессивные изменения уровней ладожских палеобассейнов.

В истории развития Ладожского озера выделяется несколько трансгрессивных и регрессивных фаз:

Первая трансгрессивная фаза выделяется в раннем голоцене в середине пребореального времени, начиная примерно с 9,7–9,5 тыс. ¹⁴С л.н. В ходе этой фазы уровень Ладожского озера в юго-восточном Приладожье достигал отметок не менее 13 м абс. высоты (современный уровень Ладожского озера – 5 м. абс. выс.). Вероятнее всего, данная трансгрессия напрямую была связана с прорывом вод из ОПО и образованием р. Свирь (Шитов, 2007).

Следы последовавшей непродолжительной регрессивной фазы надежно фиксируются по подошве торфяников, перекрывающих бассейновые отложения. Датировки базальных слоев относятся к середине атлантического времени – около 7,0–6,0 тыс. ¹⁴С л.н., когда уровень вод Ладожского озера опустился до 7–8 м абс. выс., а, возможно, достиг и современных отметок (Шитов, 2007).

Вторая трансгрессивная фаза или, как ее принято называть, ладожская трансгрессия началась в конце атлантического – начале суббореального времени. Причиной ладожской трансгрессии, вероятно, стали изменения порога стока озера из-за различной скорости послеледникового гляциоизостатического поднятия южного Приладожья и Карельского перешейка.

К началу суббореального времени (4,8 тыс. ¹⁴С л.н.) уровень Ладожского озера уже превышал современные отметки, и достигал 6–7 м абс. выс. Во второй половине суббореального времени (3,1 тыс. ¹⁴С л.н.) трансгрессия достигла отметок порядка 10 м абс. выс. Максимум ладожской трансгрессии пришелся на конец суббореального периода (3,0–2,8 тыс. ¹⁴С л.н.), когда уровень воды достиг отметок 11,5–14 м абс. выс (Шитов, 2007).

Последовавшая регрессия, вероятно, продолжается и поныне, таким образом, занимая весь суббореальный период (более 2,5 тыс. лет). К середине субатлантического времени (около 2,0 тыс. ^{14}C л.н.) уровень воды опустился ниже 10 м абс. высоты, и продолжил опускаться далее, к позднему субатлантику (770–430 ^{14}C л.н.) уровень воды Ладожского озера находился на отметках 7–8 м абс. выс (Шитов, 2007).

2.2. Седиментация в малых озерах.

Малые озера представляют собой обособленные практически замкнутые бассейны седиментации, поэтому в них создаются специфические условия с крайне низкой подвижностью среды осадконакопления. Привнос минерального вещества с узких контуров водосборов минимален, в результате чего при благоприятных климатических условиях большую часть донной залежи составляют биогенные отложения (сапрпель, гиттия). В силу изолированности озер, размыва, переотложения и выноса осадочного материала практически не происходит, а сформировавшаяся стратифицированная толща осадков несет в себе следы палеогеографических событий, происходивших на исследуемой территории с момента образования озер и до наших дней. Анализ седиментационной последовательности из серии близко расположенных котловин малых озер определенного района позволяет судить о том, в каких палеоэкологических условиях осуществлялось осадконакопление, связано ли оно с характером дегляциации территории или акватории, изменениями климата, развитием биоты, перемещением береговой линии соседних палеобассейнов, а также тектоническими движениями земной коры разного генезиса, в том числе и гляциоизостатического (Колька, Корсакова и др., 2015).

Можно предположить несколько основных факторов, как региональных, так и локальных, которые в совокупности и определяют естественный фон седиментации, состав и характер осадка. В свою очередь каждый из этих факторов имеет свою изначальную природу, в большинстве случаев *климатическую* или *гидрографическую*, но в связи с заселенностью территории и активной хозяйственной деятельностью человека можно говорить и об *антропогенном* влиянии на современные отложения. Далее основные факторы будут рассмотрены более подробно.

Разрез донных отложений может охватить широкий временной интервал до десяти и более тысяч лет, что делает озерные илы особенно ценными материалом для изучения климатических изменений. Согласно пионерным исследованиям Б. В. Перфильева (Перфильев, 1952) большую роль в образовании осадка играют не только привносимые минеральные частицы, но и микроорганизмы, обильно размножающиеся на дне озер. Их жизнедеятельность в значительной мере зависит от погодных условий, вплоть до того, что

при детальном изучении срезов монолитов озерных осадков можно выделить тончайшие сезонные ритмы, сродни ритмам в ленточных глинах (Костин, 1970). От климатических условий также зависит и общая мощность донных отложений – она в значительной степени определяется количеством атмосферных осадков. Во влажные и прохладные годы (в условиях усиленного стока) толщина слоев ила увеличивается, в засушливые и теплые годы (пониженный сток) – уменьшается. В сухие периоды может происходить, в том числе полное обмеление бассейнов и на относительно переувлажненном заболоченном субстрате на дне котловин озер вместо озерных илов может образоваться торфяная залежь.

От климатических условий местности также зависит и характер водосбора. В перигляциальных условиях конца позднего плейстоцена и в раннем голоцене водосборные площади озер еще не были покрыты густой растительностью, корневая система растений плохо удерживала подстилающий субстрат и с берегов, сложенных хорошо дренируемыми легко размываемыми породами, происходил интенсивный снос терригенного материала, за счет чего в основании разрезов часто можно наблюдать песчаные и супесчаные породы. Приток карбонатных грунтовых вод в условиях низких среднегодовых температур, обуславливал образование известковых супесей. По мере развития ландшафтов, после того, как берега озер достаточно зарастут, чтобы препятствовать механическому заилению, происходит эвтрофикация, повышается биологическая продуктивность озер и начинают отлагаться органические сапропели с низким содержанием минеральной составляющей.

Еще одним фактором, сказывающимся на осадконакоплении, является проточность озера. Наличие или отсутствие притоков является важным условием, влияющим на естественный режим озера, а также регулирующим поступление терригенного материала. Проточные озера отмечены повышенным содержанием терригенного материала за счет его механического наноса ручьями и реками.

Влияние также оказывает волновая деятельность. Чем больше поверхность озера, тем большую волну может нагнать ветер. Следовательно, с берегов озера в результате абразии будет смываться больше терригенного материала, нежели у озер маленькой площади. Но в связи с небольшими размерами исследуемых озер и сильной заболоченностью их берегов данный фактор, по всей видимости, является наименее значимым при последующей реконструкции условий седиментации.

Четвертым фактором, влияющим на накопление осадочного материала в пределах изучаемой территории, является связь озер с обширными ладожскими палеобассейнами в позднеледниковье и голоцене. Во время трансгрессий воды ладожских палеобассейнов

могли затопливать котловины изучаемых малых озер. Как следствие, в разы увеличивался водосбор, повышалась динамика среды, а вместе с ней и количество поступающего терригенного материала.

Глава 3. Состав и строение толщи поздне- и послеледниковых отложений в среднем течении р. Свирь

3.1. Материалы исследования.

В целях описания геологического строения толщи поздне- и послеледниковых отложений в среднем течении реки Свирь в районе г. Лодейное Поле, выделения основных этапов ее формирования, а также установления их связи с ключевыми геологическими событиями этого времени в настоящей работе нами использовались несколько групп данных:

1. Данные ручного бурения, проведенного в ходе полевых работ 2012–2013 гг. отрядом комплексной партии ОАО "Севзапгеология" под руководством А.А. Потаповича в рамках проекта «ГДП-200 листов Р-36-XXVIII, XXIX (Подпорожская площадь)». В результате работ было пробурено 12 скважин (Рис. 1.5), 5 из которых в пределах акватории малых озер, благодаря чему удалось получить непрерывные керны донных отложений. Другие 7 скважин глубиной до 17 м были заложены на территории побережий озер для установления строения четвертичной толщи;

2. Материалы полевых геолого-геоморфологических наблюдений автора, в результате которых был детально описаны опорный разрез четвертичных отложений в урочище Канома (Рис. 1.5) на левом берегу р. Свирь и современный рельеф в районе работ;

3. Результаты многочисленных камеральных исследований автора, которые включают изучение донных отложений малых озер района, определение их литологического состава и выявление в них стратиграфических уровней, фиксирующих изменения режима седиментации, что позволило идентифицировать следы палеогидрологических событий. Кроме того, автором был изучен литологический состав и текстурные особенности проблематичных образований в разрезе позднеледниковых отложений, с целью установления их генезиса.

3.2. Скважины ручного бурения.

Скважина 9. Скважина заложена вблизи тылового шва террасы с отметками площадки около 10 м абс. выс (Рис. 1.5). Устье скважины расположено на отметке 9,4 м абс. выс. Пройденная мощность осадков – 10 м. Сверху вниз были вскрыты (в скобках – номер слоя на Рис.3.1):

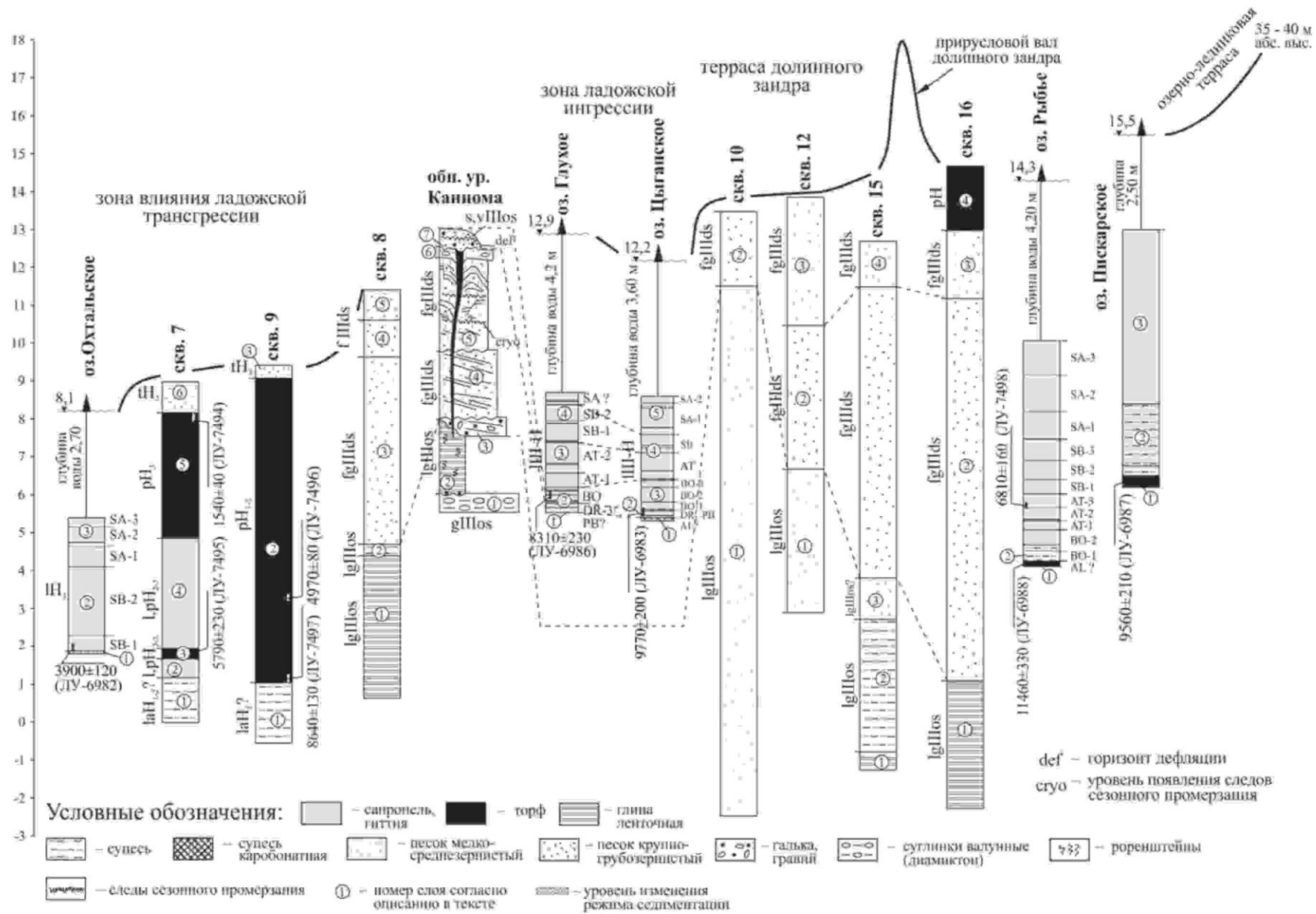


Рис. 3.1. Схема корреляции разрезов позднее- и послеледниковых отложений в районе среднего течения р. Свирь

- 9,4–9,05 м (3). Песок серый неслоистый с большим количеством макроостатков растений;
- 9,05–8,8 м (2);
- 8,8–5,9 м (2). Торф коричневый хорошо разложившийся плотный сухой с макроостатками растений;
- 5,9–4,7 м (2). Торф черный гиттиеподобный хорошо разложившийся черный клейкий;
- 4,7–3,1 м (2). Торф коричневый плохо разложившийся плотный с макроостатками растений и семян;
- 3,1–1,0 м (2). Торф темно-бурый вязкий бурый хорошо разложившийся4
- 1,0–0,4 м (3). Глина серо-голубая, слегка песчанистая, сильно обводненная, вязкая.

По образцам торфа в основании разреза получена датировка 8640 ± 130 л.н. (ЛУ-7497), в центральной части разреза 4970 ± 80 л.н. (ЛУ-7496).

Скважина 7. Скважина была заложена чуть севернее оз. Карасьего на площадке террасы с отметками порядка 10 м абс. выс (Рис. 1.5). Устье скважины расположено на отметке 9 м абс. выс. Пройденная мощность осадков – 9,5 м. Сверху вниз была вскрыта следующая последовательность отложений (Рис. 3.1):

- 9,0–8,3 м (6). Песок серый неслоистый с большим количеством макроостатков растений;
- 8,3–5,0 м (5). Торф коричневый плохо разложившийся с макроостатками растений;
- 5,0–2,0 м (4). Гиттия хорошо разложившаяся;
- 2,0–1,6 м (3). Торф коричневый хорошо разложившийся плотный;
- 1,6–1,0 м (2). Гиттия черная клейкая
- 1,0–(-0,5) м (1). Глина серо-голубая, слегка песчанистая, сильно обводненная, вязкая

Скважина 8. Скважина расположена вблизи бровки террасы с абсолютными отметками площадки 12–14 м (Рис 1.5). Устье скважины расположено на отметке 11,4 м абс. выс. Пройденная мощность осадков – 11 м. Сверху вниз была вскрыта следующая последовательность отложений (Рис 3.1):

- 11,4–10,4 м (5). Песок светло-серый слегка ожелезненный среднезернистый плохосортированный с примесью темноцветных минералов;
- 10,4–9,4 м (4). Песок светло-серый крупнозернистый слегка гравийный плохо окатанный и плохо сортированный;
- 9,4–4,5 м (3). Песок светло-серый, сверху вниз переходит из крупнозернистого в средне- и мелкозернистый, в основании сильно ожелезнен;
- 4,5–4,2 м (2). Супесь серая пластичная сильно обводненная;
- 4,2–0,4 м (1). Ленточные глины микро- тонкослоистые.

Скважина 10. Скважина расположена на западном берегу оз. Глухого на площадке террасы с отметками площадки 12-14 м абс. выс. (Рис 1.5). Устье скважины расположено на отметке 13,5 м абс. выс. Пройденная мощность осадков – 16 м. Сверху вниз была вскрыта следующая последовательность отложений (Рис. 3.1):

- 13,5–11,5 м (2). Пески светло-рыжие среднезернистые плохо сортированные, слабо окатанные, слегка гравийные;
- 11,5–(-2,5) м (1). Пески серые мелкозернистые хорошо сортированные.

Скважина 12. Скважина расположена южнее оз. Глухого на площадке террасы с абсолютными отметками 12-14 м (Рис. 1.5). Устье скважины расположено на отметке 13,8 м абс. выс. Пройденная мощность осадков – 11 м. Сверху вниз была вскрыта следующая последовательность отложений (Рис. 3.1):

- 13,8–10,4 м (3). Песок желтовато-рыжий средне- крупнозернистый плохо окатанный слегка гравийный;
- 10,4–6,6 м (2). Песок серый рыжеватый грубозернистый плохо окатанный слегка гравийный;
- 6,6–2,8 м (1). Песок серый мелкозернистый хорошо окатанный, хорошо сортированный.

Скважина 15. Скважина расположена на южном берегу оз. Цыганского на площадке террасы с абсолютными отметками площадки 12-14 м (Рис. 1.5). Устье скважины расположено на отметке 12,5 м абс. выс. Пройденная мощность осадков – 14 м. Сверху вниз были вскрыты (Рис. 3.1):

- 12,5–11,3 м (4). Пески рыжеватые мелкозернистые;

- 11,3–3,6 м (4). Пески рыжевато-серые средне- крупнозернистые слегка гравийные;
- 3,6–2,5 м (3). Пески серые тонкозернистые хорошо сортированные;
- 2,5– (-0,5) м (2). Супеси рыжевато-серые глинистые;
- (-0,5) – (-1,5) м (1). Глины серовато-рыжие вязкие обводненные.

Скважина 16. Скважина расположена на западном берегу оз. Рыбьего на площадке террасы занимающей самое высокое гипсометрическое положение, непосредственно южнее хорошо выраженного в рельефе валообразного возвышения (Рис. 1.5). Устье скважины имеет отметки около 15 м абс. выс. Пройденная мощность осадка – 17 м. Сверху вниз была вскрыта следующая последовательность отложений (Рис 3.1):

- 15,0–13,3 м (4). Торф коричневый плотный с большим количеством макроостатков растений;
- 13,3–11,5 м (3). Пески рыжевато-серые мелко- среднезернистые;
- 11,5–1,4 м (2). Пески рыжевато-серые средне- крупнозернистые слегка гравийные;
- 1,4– (-2) м (1). Глины голубовато-серые микро- тонкослоистые.

Скважина оз. Пискарьское. Урез воды оз. Пискарьского расположен на 15,5 м абс. выс. (Рис. 1.5). Глубина озера на участке бурения – 2,5 м. Мощность пройденных осадков – 6,5 м. Вскрытые в ходе бурения донные отложения представляют собой (сверху вниз) (Рис. 3.1):

- 13,5–8,5 м (3). Сапрпель и гиттия темные с макроостатками растений;
- 8,5–6,5 м (2). Супесь палево-серая;
- 6,5–6,0 м (1). Торф плотный темный.

По торфу в основании разреза была получена датировка 9560 ± 210 л.н (ЛУ-6987).

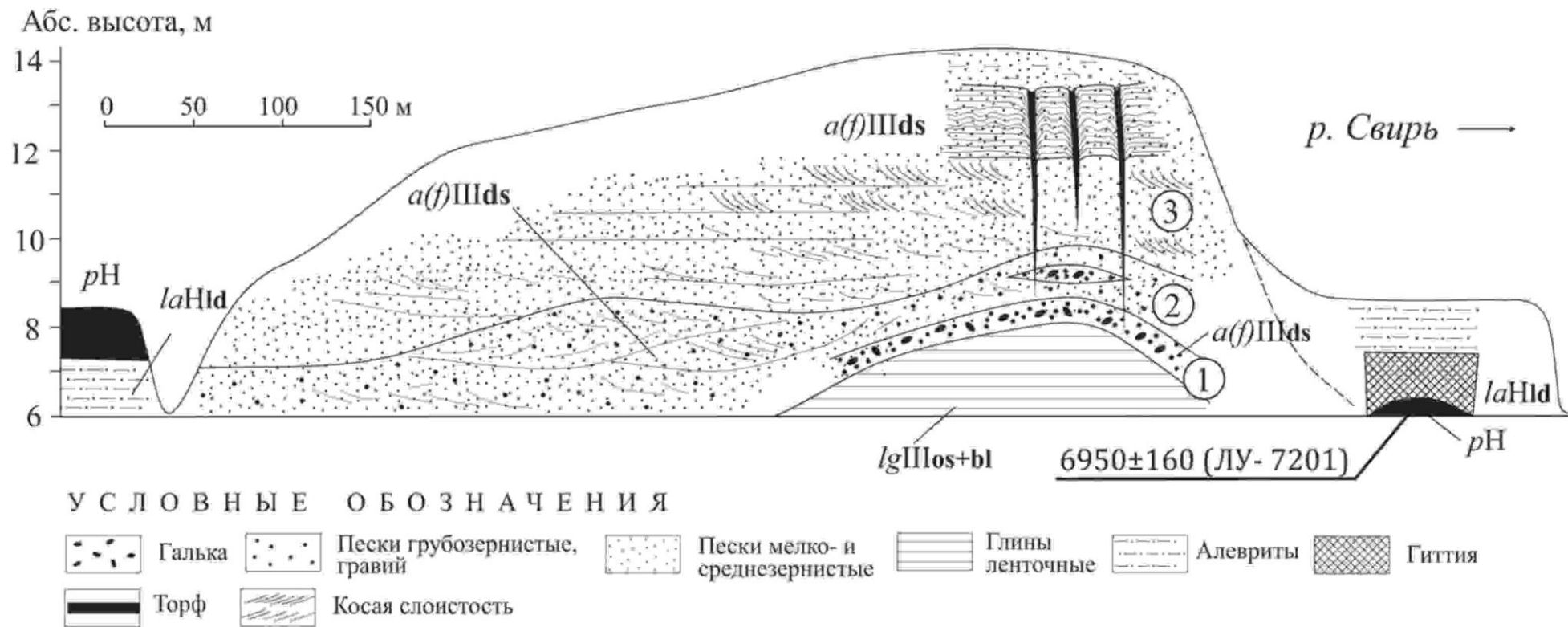
3.3. Опорный разрез четвертичных отложений в ур. Канона

Урочище Канона расположено на левом берегу р. Свири в 2 км ниже г. Лодейное Поле, вблизи городских очистных сооружений. Русло р. Свири здесь подрезает террасу с отметками площадки порядка 12–13 м абс. выс. в субширотном направлении (Рис. 1.5). Высота береговых обрывов достигает 7-8 метров, а их суммарная протяженность составляет более 100 м.

В ур. Каномы можно наблюдать два типа разреза, первый – непосредственно в обрывах 12–13-метровой террасы, он был детально задокументирован в серии расчисток и его подробное описание будет приведено ниже. К 12–13 м террасе прислонена более низкая 10-м терраса, в рельефе это хорошо выражается 2-3 м абразионным уступом. Терраса имеет совершенно иной разрез (Рис. 3.2). На разных участках она сложена латерально переходящими друг в друга алевритами, гиттиями и торфом, что так же подтверждается данными бурения (Скважина 7, 9). По органическим материалам (гиттия, торф) были получены следующие датировки: 6950 ± 160 л.н. (ЛУ-7207, расчистка в береговом обрыве), 8640 ± 130 (ЛУ-749, скважина 9), 5790 ± 230 (ЛУ-7495, скважина 7), 4970 ± 80 (ЛУ-7496, скважина 9), 1540 ± 40 (ЛУ-7494, скважина 7), из чего следует, что накопление торфа и латерально замещающих его гиттий здесь продолжается еще с бореального времени. Образование данных отложений происходило, вероятно, непрерывно как в эстуарных фациях при ингрессии вод Ладожского озера, заполнявших понижения рельефа, так и в простых топких болотистых обстановках при последующей регрессии.

Строение относительно высоких участков имеет совершенно иное строение. Максимальная высота бровки обрыва достигает 13 м абс. выс. Южнее бровки в рельефе наблюдается небольшое (около метра) понижение, площадка террасы здесь заболочена, понижение продолжается вплоть до современного Ленинградского шоссе, проходящего по вершине упомянутого ранее протяженного валообразного возвышения (Рис. 1.5). Таким образом, получаем, что участок вдоль бровки обрыва несколько выше основной площадки. Выше по течению к этой террасе прислоняется более низкая, но сложенная теми же песками терраса, а, следовательно, «останцовая» природа возвышения сомнительна. Вероятнее всего, вдоль бровки берегового обрыва распространена невысокая вытянутая аккумулятивная форма, образование которой может быть связано непосредственно как с первичными флювиальными процессами, сформировавшими вдоль русла потока береговой вал, так и со вторичными процессами эоловой переработки, переиванием материала и образованием эоловой гряды, либо же сложной комбинацией обоих процессов.

В целом разрез 12-13 м террасы имеет трехчленное строение. В цоколе террасы вскрывается толща ленточных глин – серо-коричневых тонко- и микрослоистых ритмитов. Изредка наблюдаются горизонты, где ленты сильно перемяты и деформированы, а затем перекрыты более молодыми параллельнослоистыми ритмами,



ИНДЕКСЫ СТРАТИГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ: *lgIIIos+bl* – гляциолимний; *a(f)III ds* – древнесвирский аллювий; *pH* – голоценовый палиострий нерасчлененный (торф); *laHld* – голоценовый лимнио-аллювий ладожской трансгрессии.

Рис. 3.2 Строение поздне- послеледниковой толщи на левом берегу р. Свирь ниже г. Лодейное Поле в ур. Канона

облекающими, и тем самым подчеркивающими деформации. В прикровельной зоне часто наблюдаются угольные примазки и следы ожелезнения по корням растений. Единично в толще встречаются гальки кристаллических пород – дропстоуны. Кровля глин размыта. Максимальная видимая мощность выходов достигает 2,5 м, выше и ниже по течению мощность уменьшается, и кровля глин опускается ниже уреза реки (Прим. урез р. Свирь в районе исследований– 6 м абс. выс.) (Рис. 3.3).



Рис. 3.3. Ленточные глины в основании разреза в ур. Канома (Фото – И.В. Сумарева, 2014 г.)

Выше разрез слагает толща песков, по совокупности структурно- текстурных признаков в ней выделяется несколько пачек:

1. В основании, приконтактной зоне, хорошо выраженный базальный горизонт. Он сложен плохо окатанными гравием и галькой. Горизонт ожелезнен и обводнен, ввиду того что подстилающая толща ленточных глин является водоупором. Мощность горизонта около 0,3 м. (Рис. 3.4)

2. Желтовато-бурые грубозернистые пески со значительной примесью гравия, слойчатость – косая разнонаправленная, падение слоев направлено как в сторону современного течения р. Свири, так и в обратную. Встречаются маломощные прослои слабо окатанного гравийно-галечного материала. Мощность пачки до 0,5 м.



*Рис 3.4. Базальный горизонт в основании песчаной пачки в ур. Канома
(Фото – М.В. Шитов, 2016 г.)*

3. Чередование слоев средне-крупнозернистого песка бежевато-серого цвета со слабонаклоненной косой слойчатостью. Встречаются крупные гравийные зерна и плохоокатанная галька (размером до 7 см по длинной оси), мощность слоев до 20 см. Со слоями грубозернистого бежево-коричневого песка, с большим количеством гравийных зерен, с отчетливой крупномасштабной косой слойчатостью, падения слойков направлено в сторону современного течения р. Свири, угол падения достигает 25° , а мощность косых серий 25 см. Ближе к кровле слои с отчетливой косой слойчатостью теряются, уступая место преимущественно параллельнослоистым пескам и алевритам (Рис. 3.5). В прикровельной зоне, верхней трети пачки, повсеместно распространены хорошо различимые неровные, извилистые, выдержанные по простиранию, маломощные (до 1,5–2 см) ожелезненные бурые алевритистые прослои, наложенные на основную слоистость и, в целом, секущие ее. Мощность пачки 2,5 м (Рис. 3.6).

Венчает разрез массивная, неясно слоистая толща зеленовато-серых песков и алевритов. В основании – алевритистая и тонкопесчаная. Контакт с нижележащей толщей имеет сложную морфологию, он неявный, отсутствуют признаки эрозионной поверхности. На контакте слои нижележащих косослоистых песков прослеживаются хорошо, но они заметно деформированы, разорваны, фрагментированы, иногда перемяты.



Рис. 3.5. Крупномасштабная косая слойчатость в пачке песков в ур. Канома (Фото – А.В. Воробьева, 2016 г.)

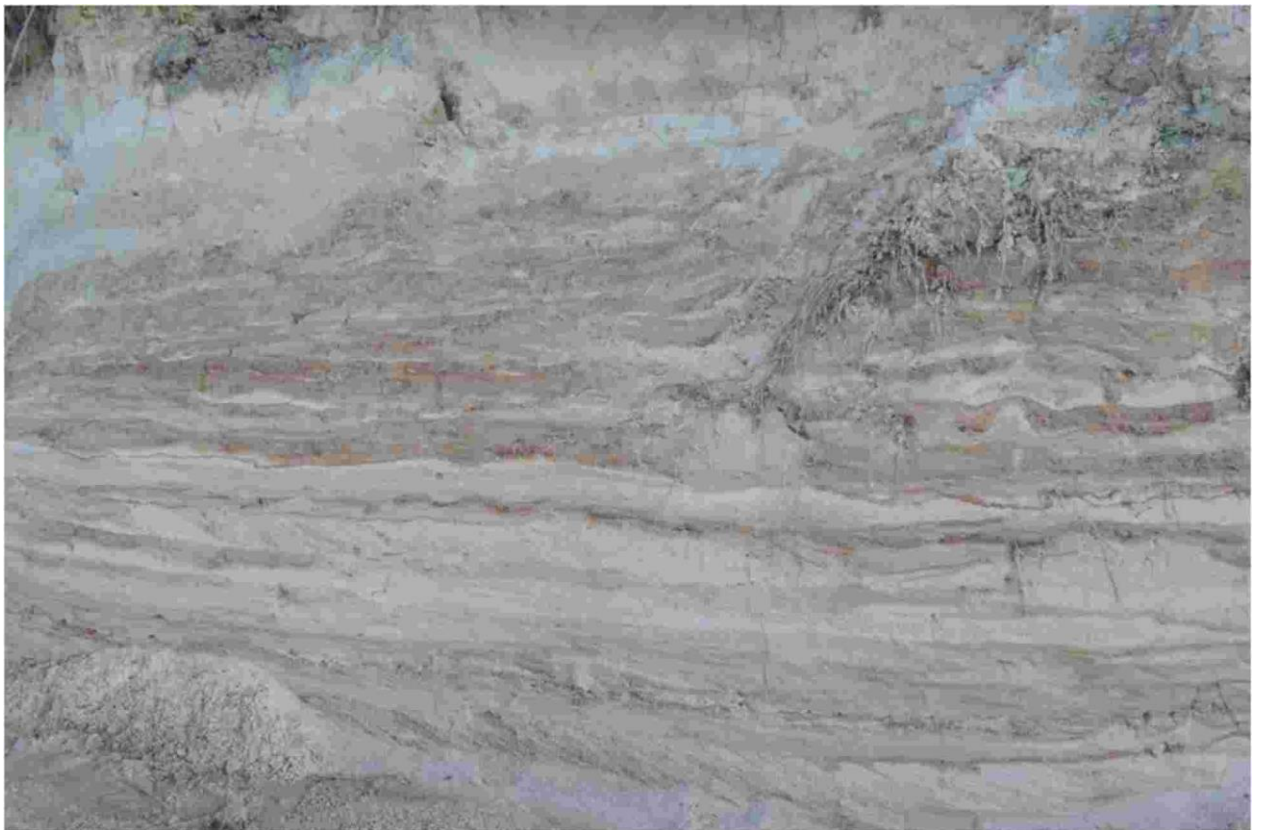


Рис. 3.6. Многочисленные бурые ожелезненные прослои в кровле песчаной пачки в ур. Канома (Фото – М. В. Шитов, 2016 г.)

Слоистость теряется постепенно, в приконтактной зоне лишь местами встречаются отдельные плохо различимые фрагменты подстилающих отложений, окруженные вышележащими лёссоподобными породами (Рис. 3.7.).

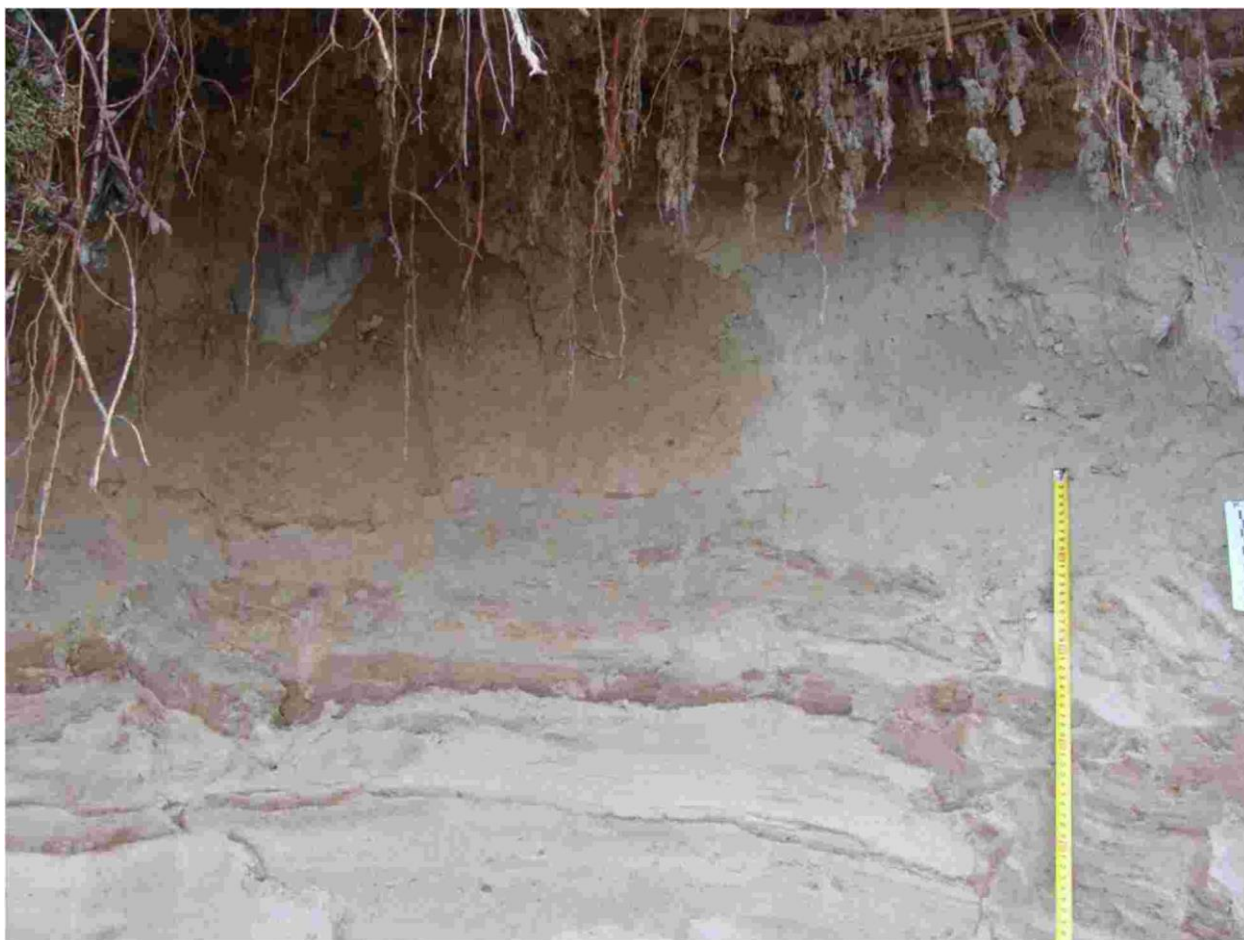


Рис. 3.7. Верхняя пачка, ур. Канона (Фото – А.В. Воробьева, 2015 г.)

Иногда подстилающие пески включены в толщу пятнами с нечеткими размытыми краями, распределены пятна неоднородно и бессистемно. На некоторых участках породы верхней и песчаной толщ взаимно проникают друг в друга на расстояние около 20 см, при этом их «языки», в общем, довольно бесформенны и размыты (Рис. 3.8.). На участках с реликтами слоистости так же наблюдаются немногочисленные разрывы, или же вертикальные ходы, высотой до 10 см, шириной до 1,5 см. Далее вверх по разрезу, примерно с середины толщи алевритистый и тонкопесчаный материал сменяется более грубыми разностями, вплоть до желтовато-палевых грубопесчаных и гравийных отложений в кровле (Рис. 3.9). Выраженных текстурных признаков в верхней части толщи практически не наблюдается, в целом, она однообразна и массивна, лишь местами намечаются невыдержанные по простиранию линзы более грубого материала, мощность которых не превышает 2 см. В толще многочисленны гальки и валуны кристаллических

пород (размером до 40 см). Контакт, в общем, выдержан, но его высота изменяется по латерали в пределах 0,5 м. Мощность верхней пачки составляет порядка 0,5–1,2 м.



Рис. 3.8. Внедрения в виде языков, ур. Канона (Фото – А.В. Воробьева, 2015 г.)

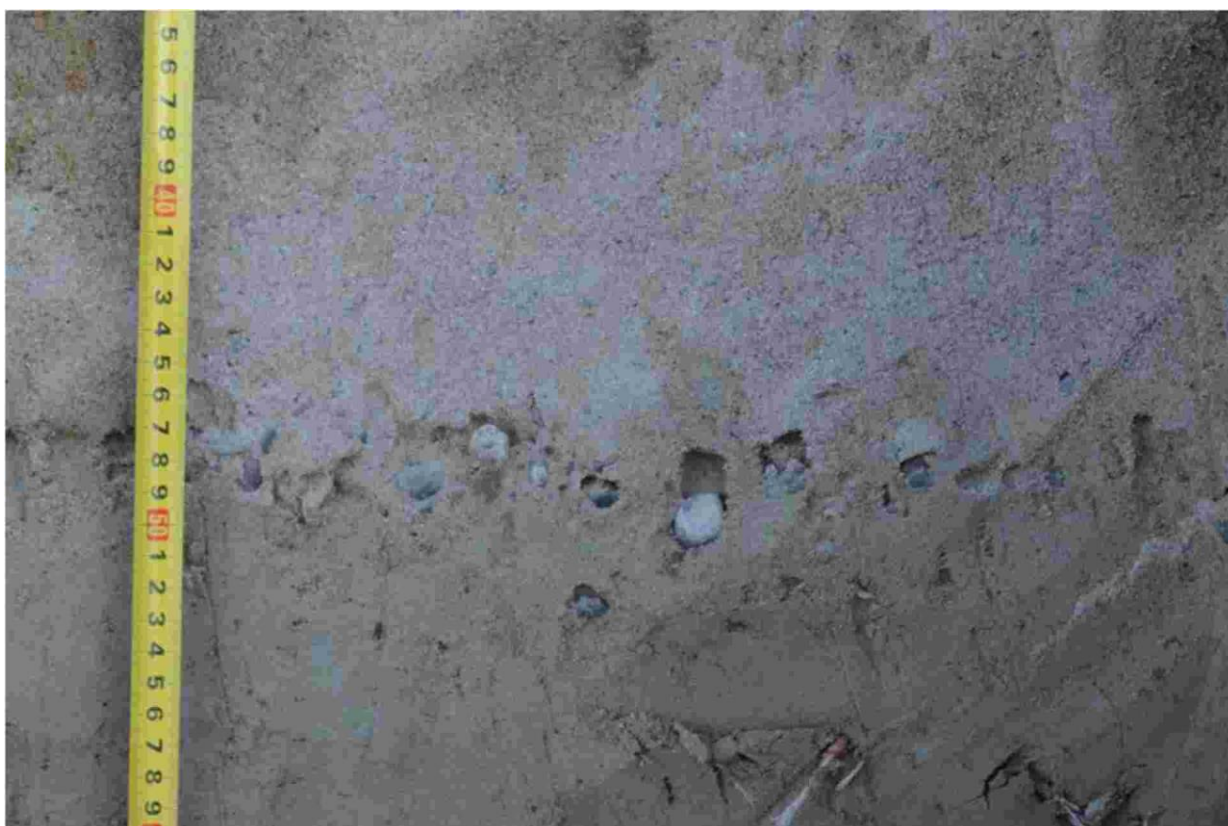


Рис. 3.9. Гравийно-галечный прослой в верхней пачке в ур. Канона (Фото – М.В. Шитов, 2016 г.)

На всем протяжении обнажения были обнаружены многочисленные клиновидные структуры (Рис. 3.10). Они распространены в косослоистой песчаной толще. Характерное расстояние между клиньями составляет обычно 5–10 м. Вертикальная протяженность клиньев изменяется от 1,5 м до 4 м; в плане они, видимо, образуют полигональную систему. Ширина устья изменчива, от 5 см до 40 см, к низу клинья сужаются до нескольких сантиметров. В большинстве случаев клинья заполнены буровато-серым алевритовым материалом, но встречаются и заполненные средне-крупнозернистым песком. Смещения крыльев не наблюдается. На контакте с вмещающими породами наблюдаются деформации, с обеих сторон клинформы осложнены сериями ступенчатых сбросов, направленных в сторону полости, которые хорошо распознаются благодаря чередованию слоев (Рис. 3.11).

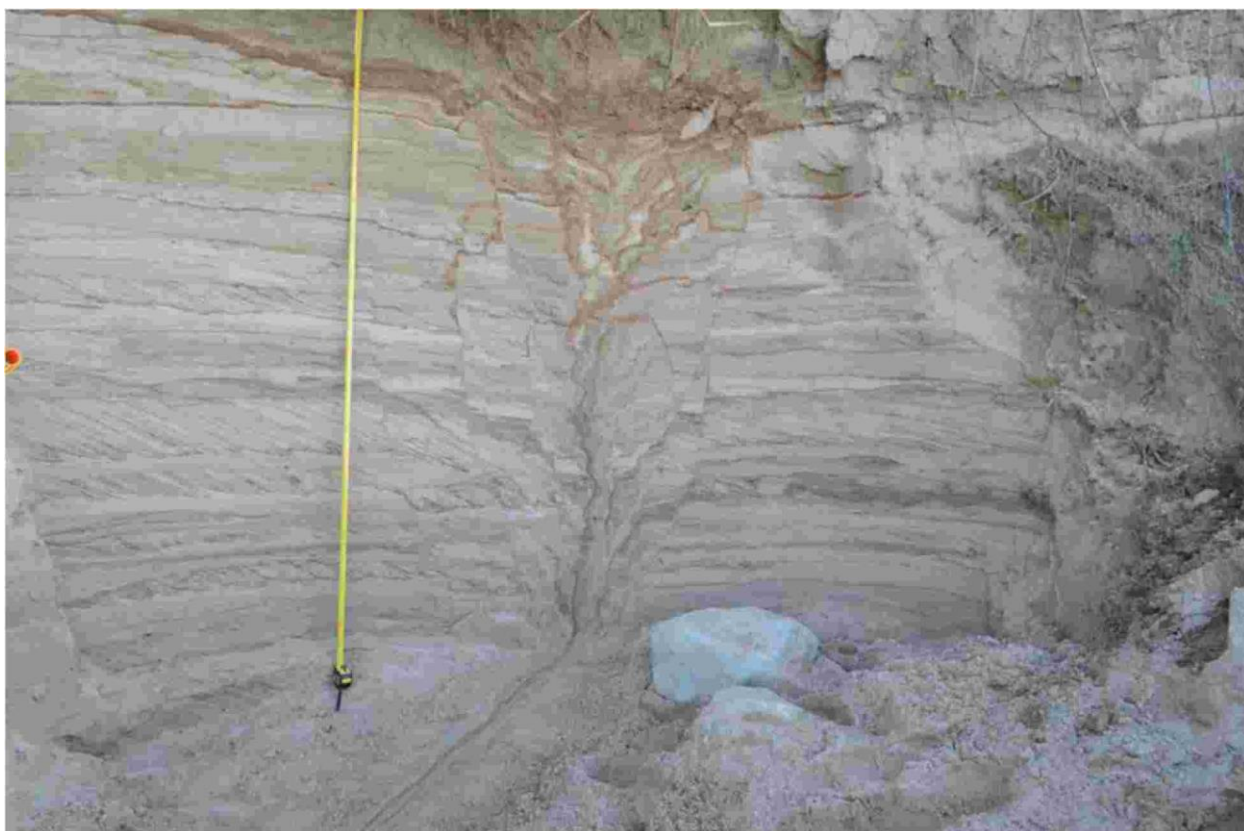
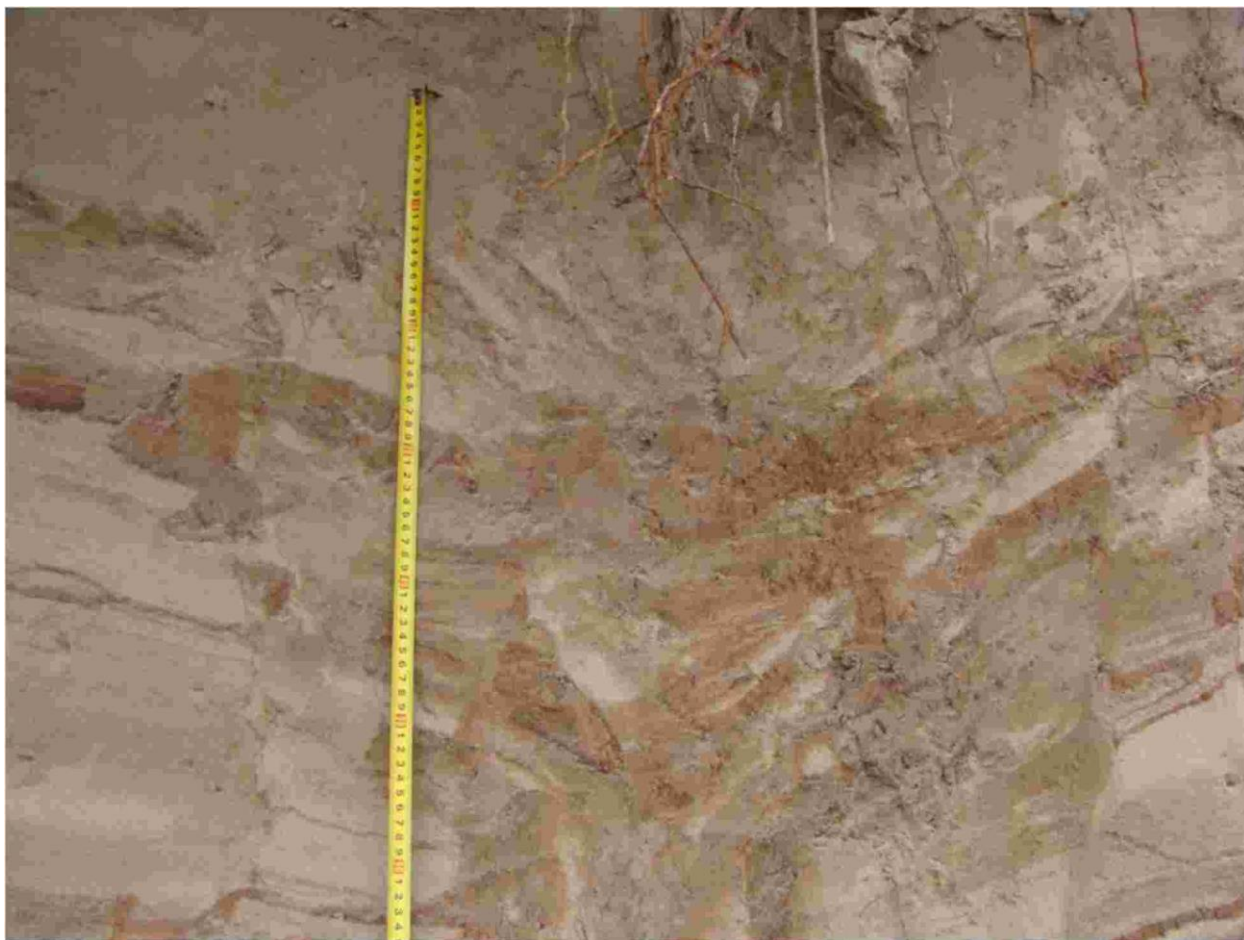


Рис. 3.10. Клиновидные структуры, ур. Канона (Фото – М.В. Шитов, 2016 г.)

Иногда в устье сохраняются деформированные слои, центральные части которых проседают в сторону клиньев (Рис. 3.11). Также наблюдаются следы обрушения перекрывающих пород в сторону трещины (Рис. 3.12). В приустьевой части слои вмещающих пород порой задраны вверх, встречаются бугры выпирания (амплитудой до 10 см). Вероятнее всего, исходя из формы клина, мощности, следов заваливания верхних слоев, наличия ступенчатых сбросов и бугров выпирания, данные клиновидные структуры

являются псевдоморфозами по эпигенетическим повторно-жильным льдам (Романовский, 1977).



*Рис 3.11. Следы заваливания слоев в устье клина, ур Канома
(Фото – А.В Воробьева, 2016 г.)*

В одной из расчисток встречен клин, морфология которого затруднительна. Природа его, судя по взаимоотношению с вмещающими песками, возможно, эпигенетическая, или же он несет в себе следы изменений в сезонно-талом слое и имеет двухъярусное строение. Вертикальная протяженность клина около 2 м, ширина устья достигает 1,2 м, к низу сужаясь до 10 см; заполнен клин песчано-алевритистым материалом, встречена также крупная (размером 7 см в поперечнике) окатанная галька кристаллических пород, схожая с теми, что встречаются в кровле перекрывающей пачки. Примечательно, что простирание клиновидных структур вскрывающихся в стенке обрыва разнится, зафиксированы северо-восточные и северо-западные направления.



Рис 3.12. Ступенчатые сбросы, направленные в сторону клина, ур. Канона (Фото – А.В. Воробьева, 2016 г.)

3.4. Гранулометрический анализ проблематичных отложений

3.4.1. Методы исследований

Для детального определения ее структуры осадка верхней пачки и в целях установления генезиса толщи для образцов осадочного материала автором был проведен гранулометрический анализ. Для этого использовались образцы, отобранные из трех расчисток, расположенных на расстоянии около 20 м друг от друга, в соответствии с первичным полевым расчленением из основания пачки, ее центральной и верхней частей. Всего в трех расчистках было отобрано 9 образцов осадочного материала.

Гранулометрический состав был определен в ходе камеральных работ в феврале 2016 г. Согласно методике В.Н. Шванова (Шванов, 1969), были взяты навески осадка массой 50 г, затем они были доведены до сухого состояния в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течении суток. Отмучивание частиц меньше 0,01 мм производилось в градуированном стакане, при помощи стеклянного сифона, один конец которого располагался в 4 см от дна стакана. Подготовленная навеска помещалась в стакан и заливалась водой до уровня 84 мм (т.к. анализ проводился при н.у.), затем образец

взмучивали, и по истечении 480 сек, открыв сифон, суспензию, находящуюся выше 4 см от дна стакана и содержащую частицы менее 0,01 м сливали. Операцию повторяли до тех пор, пока столб жидкости выше устья сифона не становился полностью прозрачным. Полученный остаток вновь высушивался в сушильном шкафу, после чего проводился «сухой» рассев на стандартном наборе сит с размером ячеек от 0,05 мм до 2 мм (19-фракционный ситовой анализ). Результаты анализа представлены в таблице. №, границы между гранулометрическими классами приведены согласно Л.Б. Рухину (Рухин, 1969). Также, для всех исследованных образцов были построены эмпирические полигоны распределения (ЭПР) и кумулятивные кривые, с которых взяты данные о среднем размере частиц, а также значениях моды (M_0). Для определения степени сортированности осадка рассчитаны значения относительной энтропии (H) (Романовский, 1988).

Результаты анализа приведены в Таблице 1, границы между гранулометрическими классами приведены согласно Л.Б. Рухину (Рухин, 1969). Также для всех исследованных образцов были построены эмпирические полигоны распределения (ЭПР) и кумулятивные кривые, с которых взяты данные о среднем размере частиц, а также значениях моды (M_0) (Рис 3.13). Для определения степени сортированности осадка рассчитаны значения относительной энтропии (H).

3.4.1. Результаты исследований

Как следует из Таблицы 1, данные полевых наблюдений в целом, подтверждаются. Изученные отложения в нижней и средней частях пачки представляют собой по классификации Л.Б. Рухина (Рухин, 1969) супесь алевритистую. Отложения верхней части пачки представляют собой почти чистый песок, в котором примесь алевро-пелитового материала изменяется от 1,6 до 3,5 вес. %.

Более подробную характеристику гранулометрического состава отражают данные анализа кривых ЭПР и относительной энтропии. Согласно им, в основании пачки осадок представлен тонкозернистым песком, средний размер зерен которого варьирует в пределах 0,11–0,16 мм. Кривые ЭПР одно- или бимодальные с превалирующим значением моды $\sim 0,094$ мм. Материал плохо сортирован, значение относительной энтропии составляет от 0,71 до 0,74. В средней части пачки наблюдается схожая картина. Осадочный материал здесь представлен так же тонкозернистым песком со средним размером частиц от 0,9 мм до 0,11 мм. Кривые ЭПР одномодальные с пиком в 0,09 мм. Согласно анализу относительной энтропии песок плохо сортирован, значения (H) составляют от 0,69 до 0,76. В кровле верхней пачки наблюдаются иные характеристики. Материал представлен среднезернистым слегка гравийным песком, средний диаметр

зерен которого изменяется в широких пределах от 0,29 мм до 0,46 мм. Кривые ЭПР были полимодальные, что изначально позволяет сделать вывод о плохой сортировке осадка. Это так же подтверждается данными относительной энтропии (H), которая изменяется от 0,69 до 0,86.

		Гравий (>2 мм), вес. %	Песок (0,05- 2 мм), вес. %	Алеврит+Пелит (<0.05 мм), вес. %
Нижняя часть	Обр.1	0,00	79,56	13,27
	Обр. 2	0,00	95,93	4,06
	Обр. 3	0,00	85,57	14,42
Средняя часть	Обр. 4	0,00	90,83	9,16
	Обр. 5	0,00	88,72	11,27
	Обр. 6	0,00	85,68	14,31
Верхняя часть	Обр. 7	2,15	96,27	1,57
	Обр. 8	0,20	96,26	3,53
	Обр. 9	6,32	92,07	1,60

Табл.1. Гранулометрический состав осадочного материала верхней пачки в урочище Канона.

Исходя из анализа кривых ЭПР, которые, как правило, не полимодальные, а уно- или бимодальные, а также наличия, хоть и плохой, но сортировки осадка, можно сделать вывод, что осадочный материал изначально отлагался в водной среде. Уномодальность кривых, свойственная отложениям основания и средней части пачки, свидетельствует, видимо, о стационарном отложении взвешенного материала, которое могло происходить в области слабых постоянных течений. Характеристики кровли пачки, напротив, соответствуют отложениям более динамичной среды.

Судя по наблюдениям автора на разрезах схожего строения вне пределов описываемой территории – на р. Оять между дер. Шириничи и Шангиничи и на реке Свирь в ур. Новая Деревня, алевро-песчаная пачка, венчающая разрез, перекрывающая и частично заполняющая устья широких клиновидных трещин, имеет своеобразную ячеистую текстуру, характерную для так называемых нивейно-эоловых песков (Dijkmans, 1989). Учитывая отмеченные выше локальность распространения и форму геологического тела, сложенного отложениями верхней пачки ее образование следует связывать с криогенными и эоловыми процессами на поверхности невысокой гряды, параллельной руслу палео-Свири, например – невысокого прируслового вала. При такой интерпретации генезиса пачки находится объяснение более грубого состава верхней части пачки, что

может быть связано с эоловыми явлениями и формированием характерных для перигляциальных условий горизонтов дефляции. Валуны и крупная галька были принесены, вероятно, при ледоходе льдинами, которые застревали на поверхности прируслового вала.

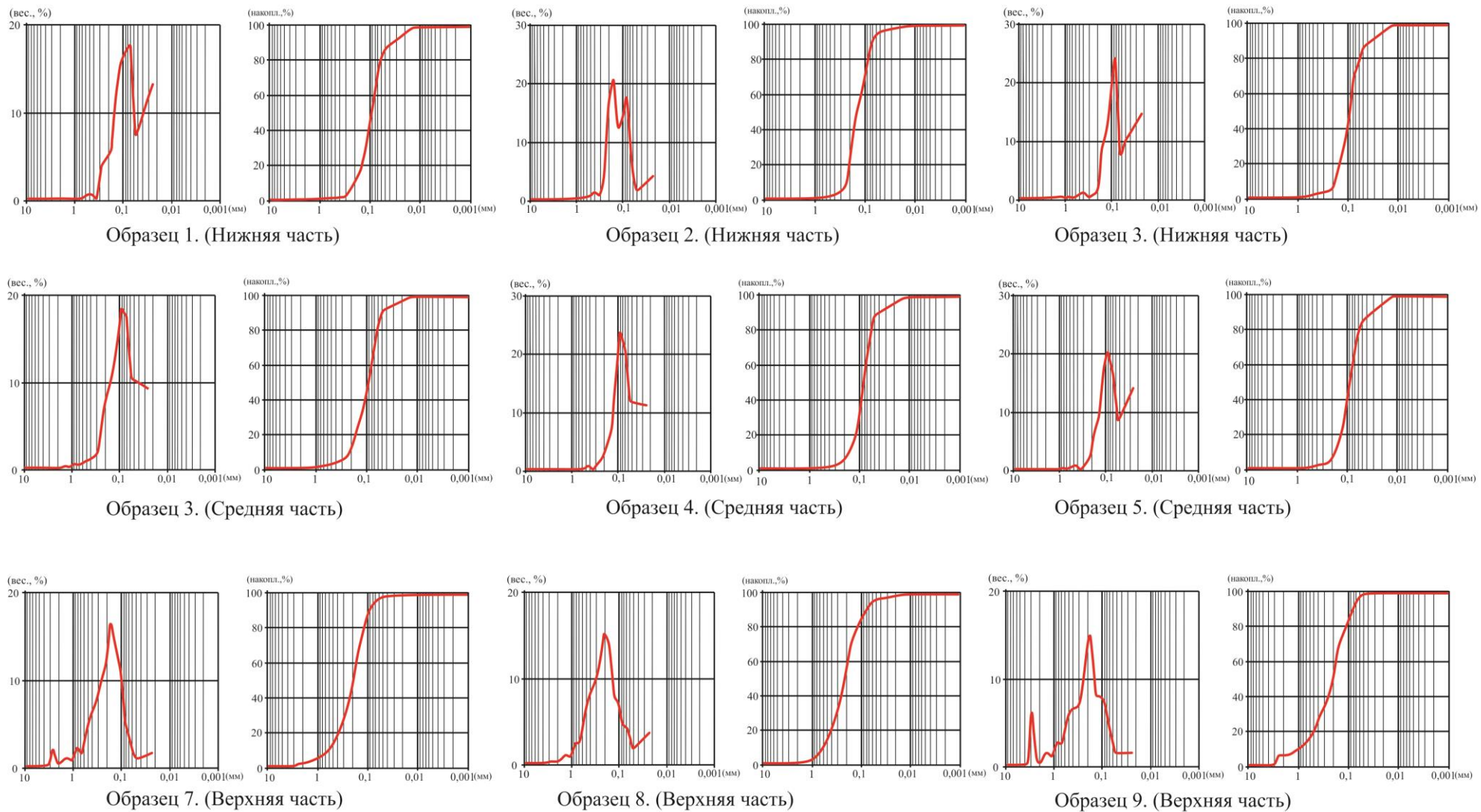


Рис 3.13. Результаты гранулометрического анализа проблематичных отложений. Эмпирические полигоны распределения (слева) и кумулятивные кривые(справа)

3.5. Донные отложения малых озер.

3.5.1. Методы исследования.

Для выявления изменений условий седиментации (палеогидрологических событий) в однообразной толще иловых отложений, использовались литологические методы, включавшие определение гранулометрического состава терригенной составляющей илов, определение естественной влажности и потерь при прокаливании (ППП) при 550 °С и 900 °С. Анализы производились в феврале 2015 г. в лаборатории кафедры почвоведения СПбГУ при содействии А.Г. Рюмина. Естественная влажность была определена путем высушивания небольших навесок образца до постоянного веса при температуре 105 °С в течение 6 ч. Для определения потерь при прокаливании навески образца, до этого использованные для определения естественной влажности, были прокалены в муфельной печи в течение 24 часов.

Гранулометрический состав терригенной части осадка был определен в 72 образцах. При подготовке проб для удаления органической составляющей 0,5–2 г навеску образца обрабатывали 30 % раствором перекиси водорода (H_2O_2), после чего ее помещали на песчаную баню до полного выпаривания перекиси водорода, действия повторяли дважды, затем пробу охлаждали и обрабатывали в ультразвуковой ванне. Для предотвращения коагуляции использовался раствор пирофосфата натрия ($Na_4P_2O_7$). Для определения гранулометрического состава использовался лазерный анализатор – Shimadzu SALD-2201. В результате анализа были получены данные в виде 24 фракций от 3 мкм до 1000 мкм с шагом $\sqrt[10]{10}$ мкм. Для удобства интерпретации результаты гранулометрического анализа представлены в виде 3 фракций: песчаной, алевритовой и глинистой, границы между классами приводятся согласно Л.Б. Рухину (Рухин, 1969). Кроме того, для минеральной составляющей осадка был определен коэффициент сортированности материала (σ_ϕ), для расчета которого использовалась программа GRADISTAT (Blott, 2001). От таких характеристик как мода, медиана и коэффициент асимметрии было решено отказаться, так как полученные при обработке результатов гранулометрического анализа кривые распределения в подавляющем большинстве оказались полимодальными.

3.5.2. Результаты исследования

Результаты палинostrатиграфического расчленения и литологического изучения донных отложений малых озер приведены на Рис. 3.14. На данном рисунке для удобства последующей интерпретации на диаграммах для каждого озера сведены воедино данные о

литологическом составе осадков, количестве содержащегося в них органического вещества (ППП₅₅₀ и ППП₉₀₀), гранулометрическом составе минеральной части и степени ее сортированности.

Наибольшим постоянством изученных характеристик отличаются иловые отложения оз. Охталское и оз. Рыбье, которые находятся, соответственно, на самых низких и самых высоких гипсометрических отметках.

Урез воды оз. **Охталского** расположен на отметке 8,1 м абс. высоты. Глубина озера на участке бурения – 2,7 м, мощность пройденных осадков – 3,55 м. Согласно первичному макроскопическому описанию кернов, вскрытые в ходе бурения донные отложения представляют собой (сверху вниз, в скобках – номер слоя на Рис. 3.14):

- 2,70–3,40 м (3): сапропель черный, обводненный, клейкий, массивный, вязкий, однородный;
- 3,40–6,25 м (2): сапропель темно-коричневый, вязкий, однородный, слегка глинистый.
- 6,25 м–конец забоя (1): минеральное дно. Сложено бежевым мелкозернистым хорошо сортированным песком.

Донные отложения озера Охталского в целом имеют весьма низкие потери при прокаливании осадка, которые изменяются от 10% до 28% с общей тенденцией к увеличению количества органического вещества снизу вверх по разрезу (Рис 3.14, Приложение 1). Согласно классификации Н.В. Кордэ (Кордэ, 1960), в интервале 6,25–4,25 м глубины донные отложения представлены высокозольными озерными отложениями, которые вверх по разрезу переходят в обедненные сапропели. Гранулометрический состав терригенной составляющей осадка удивительно однороден; на всем протяжении разреза (6,25–2,75 м) она представлена тонкопесчанистыми грубыми алевритами. Во всех исследованных образцах содержания основных гранулометрических фракций лишь незначительно отклоняются от средних значений (Рис 3.14, Приложение 1). Содержание алевритовой фракции составляет в среднем около 42%, пелитовой – 32%, песчаной – 25%. Степень сортированности терригенного материала на всем протяжении разреза – плохая ($\sigma_{\phi} \approx 1,8$). По данным спорово-пыльцевого анализа (СПА) выделяются отложения суббореального и субатлантического периодов. По базальной части толщи сапропеля (пачка 2), получена ¹⁴C датировка 3900±120 л.н. (ЛУ-6982), которая находится в полном соответствии с хронологией по данным спорово-пыльцевого анализа (середина суббореального времени).

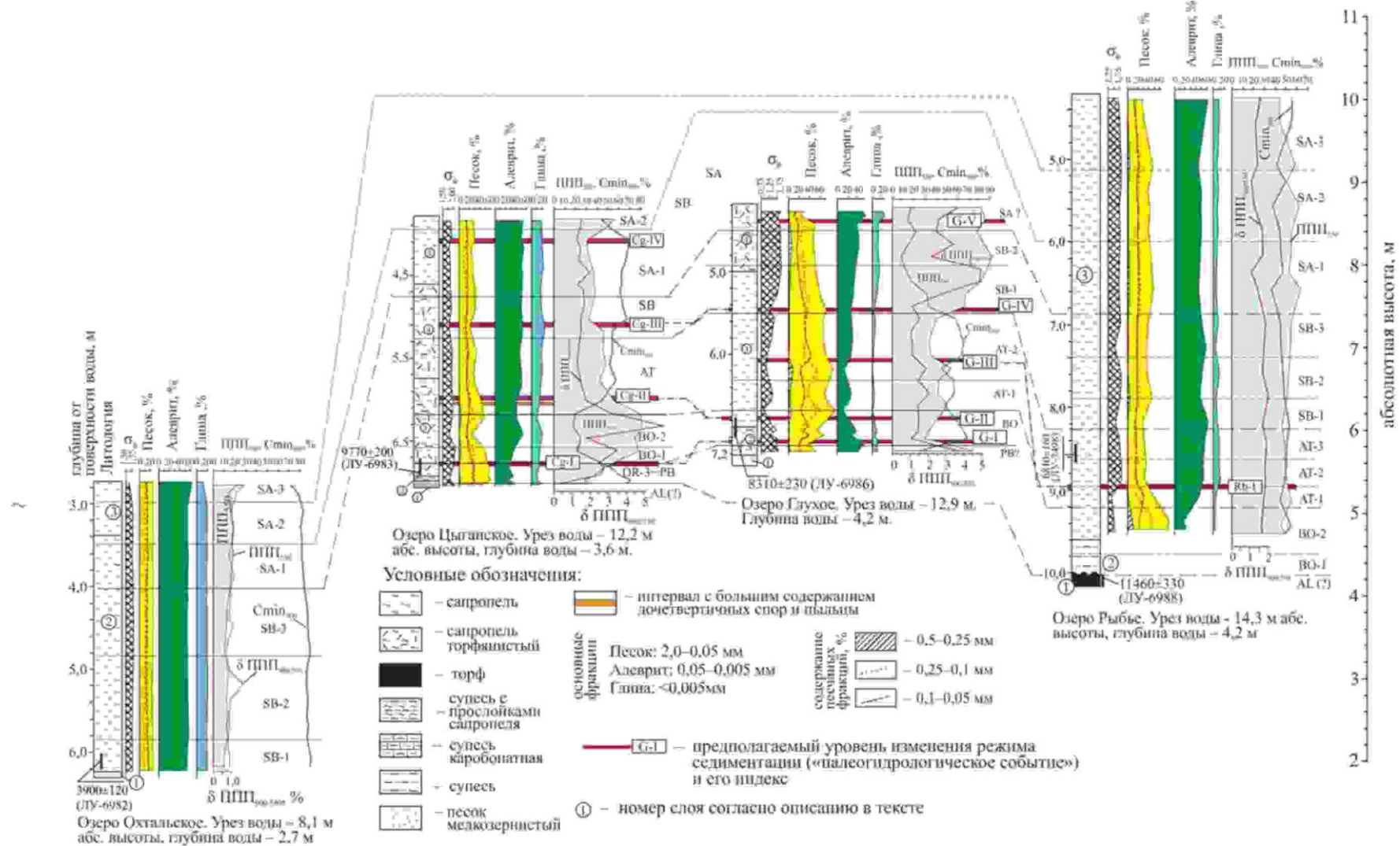


Рис. 3.14. Литологический состав отложений малых озер Лодейнопольского района и уровни с изменением режима седиментации («палеогидрологическое событие»)

Почти столь же стационарный режим седиментации уже на протяжении почти всего голоцена фиксируется и в донных отложениях оз. **Рыбьего**. Урез воды расположен на отметке 14,3 м абс. выс.; глубина воды на участке бурения – 4,20 м, мощность пройденных осадков – 6,00 м. Скважиной здесь были вскрыты (сверху вниз):

- 4,20–9,58 м (3): сапропель черного цвета, однородный, массивный, вязкий, клейкий. Начиная с глубины 9,18 м с тонкими линзовидными слойками рыжевато-бежевой супеси, мощностью 0,7 – 1,2 см;
- 9,58–9,97 м (2): тонкозернистая супесь рыжевато-бежевого цвета, с высоким содержанием органического вещества, с тонкими слабовыраженными слойками сапропеля мощностью порядка 1-2 мм;
- 9,97–10,20 м (1): погребённый торф тёмно-коричневый, плотный; кровля торфа неровная, с многочисленными неглубокими ямками и бороздами, что указывает на эрозионный контакт торфа и вышележащей толщи супесей (пачка 2).

По торфу в основании разреза (1) получена датировка 11460 ± 330 л.н. (ЛУ-6988), что соответствует аллерёду. Согласно данным СПА накопление толщи сапропеля началось в бореальном периоде, при этом в разрезе отсутствуют отложения позднего дриаса и пребореала. По сапропелю в интервале 8,45 – 8,62 м получена датировка 6810 ± 160 л.н. (ЛУ-7498), что не противоречит данным спорово-пыльцевого анализа, указывающим на средне-позднеатлантический возраст отложений.

Литологический состав толщи сапропеля весьма однообразен. Потери при прокаливании (ППП₅₅₀) составляют в среднем 51% (Рис. 3.14, Приложение 2), то есть озерные отложения представлены слегка обедненными и типичными сапропелями согласно классификации Н.В. Кордэ (Кордэ, 1960). Незначительные изменения ППП₅₅₀ фиксируются лишь в интервале разреза 7,0–5,0 м, относящемуся к ранне- и среднесубатлантическому времени; здесь отмечается небольшое (менее чем на 10%) увеличение содержания органической компоненты. Единственное более или менее заметно выраженное изменение режима седиментации фиксируется по данным гранулометрического анализа на глубине около 9,00 м в отложениях, относящихся к рубежу ранне- и среднеатлантического подпериодов (**Rb-I**) (Рис. 3.14). Терригенный материал в основании разреза в интервале 9,45–9,00 м представлен плохо сортированным ($\sigma_{\phi} \approx 1,5$) грубоалевритистым тонким песком. Четко выражена тенденция к уменьшению количества песчаной фракции, ее содержание падает с 79% до 42%. Содержание алевритовой фракции, напротив, возрастает с 16% до 42%, содержание пелитовой фракции практически не изменяется. Начиная с глубины 9,00 м (граница АТ-1 и АТ-2) терригенный материал представляет собой уже тонкопесчанистый грубый алеврит.

Содержание алевритовой фракции составляет в среднем 42%, песчаной – 31%, глинистой 15%. Степень сортированности материала плохая, значения σ_{ϕ} изменяется от 1,6 до 1,8.

Иной характер изученные характеристики имеют в оз. Цыганском и оз. Глухом, которые занимают промежуточное высотное положение на отметках около 12–13 м абс. высоты.

Урез воды оз. **Цыганского** располагается на 12,2 м абс. выс. На участке бурения глубина озера составляет 3,6 м, а мощность пройденных осадков – 3,45 м. В ходе бурения были вскрыты следующие отложения (сверху вниз):

- 3,60–4,60 м (5): заторфованный сапропель черного цвета, сильно обводненный, комковатый, с большим количеством макроостатков растений;
- 4,60–5,75 м (4): сапропель темно-коричневый, черный, сильно обводненный, с большим количеством стеблей растений;
- 5,75–6,85 м (3): сапропель коричневый, с высоким содержанием макроостатков растений. В интервале 6,65 – 6,85 м слоистый. Слойки плохо различимы, имеют мощность от 0,5 см до 1,5 см;
- 6,85–6,95 м (2): переслаивание сапропеля и супеси. Слойки имеют расплывчатые нечеткие границы, мощность слоев от 0,5 см до 1,5 см;
- 6,95–7,05 м (1): минеральное дно, представлено тонкозернистой известковой рыжевато-бежевой супесью.

Согласно палинологическим данным (Рис. 3.14), известковистая супесь (1) в основании разреза имеет аллерёдские спорово-пыльцевые спектры (один, самый нижний образец); остальная часть слоя (1), слой (2) и основание слоя (3) относятся к позднему дриасу–пребореалу, а вышележащая толща сапропелей имеет бореально-субатлантический возраст. По основанию сапропелей (3) была получена датировка 9770 ± 200 л.н. (ЛУ-6983), что хорошо согласуется с результатами спорово-пыльцевого анализа.

Как следует из Рис 3.14, закономерные изменения литологического состава сапропелей фиксируют несколько уровней изменения режима седиментации. Первый (**Сг-И**) – на глубине 6,7 м (граница нерасчлененного позднего дриаса–пребореала и раннего бореала). Он выражен резким ростом органической составляющей с 32–54% до 74–81%. При этом гранулометрический состав терригенной части осадка как в выше-, так и в нижележащих отложениях весьма изменчив. Судя по соотношению основных гранулометрических классов (Рис 3.14) терригенная составляющая меняется в этом интервале от тонкопесчанистого грубого алеврита до грубоалевритистого тонкого песка.

Преобладает песчаная фракция, ее содержание составляет в среднем 49%. Средние содержания алевритовой и пелитовой фракции составляют 28% и 22% соответственно (Приложение 3). Материал плохо сортирован ($\sigma_{\phi} \approx 1,9$). В интервале 6,55-6,30 м наблюдается резкое изменение литологического состава. На глубине 6,42 м содержание песчаной фракции падает до 24%, а содержание алевритовой и пелитовой фракций напротив возрастает до 39% и 37% соответственно. При этом степень сортировки материала (σ_{ϕ}) улучшается с 2 до 1,7.

В основании атлантической части изученного разреза на глубине 5,95–6,0 м наблюдается 5-сантиметровый интервал с большим количеством переотложенных дочетвертичных спор и пыльцы. Указанный интервал, видимо, фиксирует интенсивный кратковременный размыв территории водосбора озера. Этот размыв выражается в изменении режима седиментации, которое фиксируется литологическими методами на глубине около 5,9 м (**Cg-II**). Здесь наблюдается заметное уменьшение ППП₅₅₀ с 74-81% до 56- 42%. Постепенно уменьшается содержание песчаной фракции с 48% до 35% и растет содержание пелитовой фракции с 18% до 28%. Содержание алевритовой фракции практически не изменяется, составляя в среднем 35%. Степень сортированности материала остается плохой ($\sigma_{\phi} \approx 1,9$).

Третий уровень (**Cg-III**) с признаками палеогидрологического события отмечен на глубине 5,1 м в отложениях относящихся приблизительно к середине суббореального времени. Значения ППП₅₅₀ уменьшаются и в среднем составляют в этом интервале 34%. Гранулометрический состав терригенной составляющей сапропелей, в целом, не меняется. Он представлен тонкопесчанистым грубым алевритом. Содержание алевритовой фракции составляет в среднем 38% (минимум – 34%, максимум – 41%). Среднее содержание песчаной фракции составляет 28%, пелитовой – 34%. Уровень так же отмечен небольшим минимумом песчаной фракции, здесь ее содержание падает до 20%, а содержание пелитовой фракции увеличивается до 40%. Степень сортировки материала – плохая ($\sigma_{\phi} \approx 1,87$).

Последний, четвертый уровень (**Cg-IV**) фиксируется в отложениях, относящихся к концу раннего субатлантика, на глубине около 4 м. Он выражается увеличением значений ППП₅₅₀ с 31% до 56%. В минеральной части осадка существенных изменений не происходит, терригенный материал, как и в подстилающих отложениях, представлен тонкопесчанистым грубым алевритом.

Озеро Глухое имеет урез воды с отметкой 12,9 м абс. высоты, глубина воды на

участке бурения – 4,2 м. В результате бурения были вскрыты следующие отложения (сверху вниз):

- 4,20–4,65 м (4): торфянистый сапропель черного цвета, сильно обводненный, с большим количеством макроостатков растений;
- 4,65–6,90 м (3): торфянистый сапропель коричневого цвета, с высоким содержанием макроостатков растений. В интервале 6,65 – 6,90 м слоистый. Слойки различимы плохо, мощность слоиков от 0,5 до 1,0 см;
- 6,90–7,20 м (2): супесь с прослойками сапропеля, однородная, слегка комковатая;
- 7,20 м–конец забоя (1): минеральное дно. Представлено бежевым мелкозернистым хорошо сортированным песком.

Судя по данным спорово-пыльцевого анализа, супесь (пачка 2) (Рис. 3.14) в основании разреза, вероятно, относится к пребореалу, а вышележащая толща сапропелей характеризуется бореально-субатлантическим возрастом. По основанию сапропелей (3) получена датировка 8310 ± 230 л.н. (ЛУ-6986), что соответствует концу бореального времени.

По данным литологического анализа в иловых отложениях фиксируется несколько изменений режимов седиментации. Первый уровень (**G-I**) отмечен на глубине 7,1 м, на границе отложений пребореального и бореального возраста (Рис 3.14). Он выражается в резком – почти в два раза – снижении значений ППП_{550} : от 61% до 30%. Гранулометрический состав терригенной части сапропелей становится грубее (Рис 3.14). Так, содержание песчаной фракции резко возрастает с 39% до 69%, а содержания алевритовой и пелитовой фракций снижаются соответственно с 44% до 26 % и с 17% до 5% (Приложение 4). Сортированность обломочного материала при этом резко улучшается, о чем свидетельствует уменьшение σ_{ϕ} от 1,8 до 1,3.

Второй уровень (**G-II**) изменения режима седиментации выделяется на глубине 6,6 м в отложениях конца бореального времени. Здесь на фоне постепенного возрастания ППП_{550} (среднее 42%) снизу вверх по разрезу преобладающая в терригенной части осадка песчаная фракция достигает максимального содержания – 90%, содержание алевритовой фракции снижается до 10%, а глинистые частицы практически пропадают. Степень сортированности материала при этом значительно улучшается ($\sigma_{\phi} \approx 0,88$).

Третий уровень (**G-III**) со следами изменения режима седиментации выражается в значительном увеличении количества терригенной составляющей сапропелей на глубине 6,1 м, в отложениях, относящихся ко второй половине атлантического периода. Как видно на Рис. 3.14 среднее значение ППП_{550} с 54% до 35%. При этом увеличивается содержание

песка в минеральной части осадка, которое достигает здесь 86%, а содержание алеврита снижается до 14%, а пелитовый материал практически отсутствует.

Четвертый уровень (**G-IV**) изменения режима седиментации фиксируется на глубине около 5,5 м и почти точно совпадает с атлантико-суббореальной границей. Здесь отмечается (Рис. 3.14) резкое увеличение значений ППП₅₅₀ от 41% до 60% и даже до 90%. Гранулометрический состав терригенной составляющей сапропелей становится тоньше. Содержание песчаной фракции постепенно снижается до 50%, содержание алевритовой и пелитовой фракций немного возрастает, достигая 30% и 20% соответственно. Степень сортированности материала при этом ухудшается ($\sigma_{\phi} \approx 1,9$).

Последний, пятый уровень (**G-V**) фиксируется на глубине около 4,5 м, в отложениях, предположительно субатлантического возраста. Здесь наблюдается небольшое уменьшение ППП с 80% до 70%, а так же проявляется тенденция к утонению гранулометрического состава минеральной части сапропелей. Содержание обломочных частиц песчаной фракции уменьшается с 50% до 25%, а содержание алевритовых и пелитовых частиц, напротив, увеличивается и достигает 53% и 27% соответственно.

3.6. Выводы

Таким образом, результаты наших исследований позволяют описать геологическое строение толщи поздне- и послеледниковых отложений в среднем течении реки Свирь в районе г. Лодейное Поле, выделить основные этапы ее формирования и установить их связь с ключевыми событиями последних 12 тысяч лет геологической истории района (Рис. 3.15). Кроме того, оказалось возможным существенно уточнить рисовку геологических карт наших предшественников (Митюшёв, 1973; Брисюк, 2014), а также несколько скорректировать модель позднеледникового развития р. Свирь согласно И. Н. Демидову (Демидов, 2005, 2006) (Рис. 3.16).

Как видно на Рис. 3.15, в основании позднеледниковой толщи залегает тилл ошашковского оледенения, который с размывом перекрывает озерно-ледниковые отложения. Они слагают в районе работ хорошо выраженную в рельефе террасу с абсолютными отметками площадки около 15–20 м абс. выс. В строении террасы отражено несколько этапов существования приледникового водоема. Первоначально он имел отметки порядка 35–40 м абс. высоты, а затем регрессировал и его уровень установился на отметках около 20 м абс. выс. В это время, в самом начале аллерёда или несколько ранее, произошел прорыв палео-Свири и формирование толщи косослоистых грубо-песчаных отложений, которые находятся в сложных латеральных взаимоотношениях с горизонтально слоистыми мелкозернистыми озерно-ледниковыми песками.

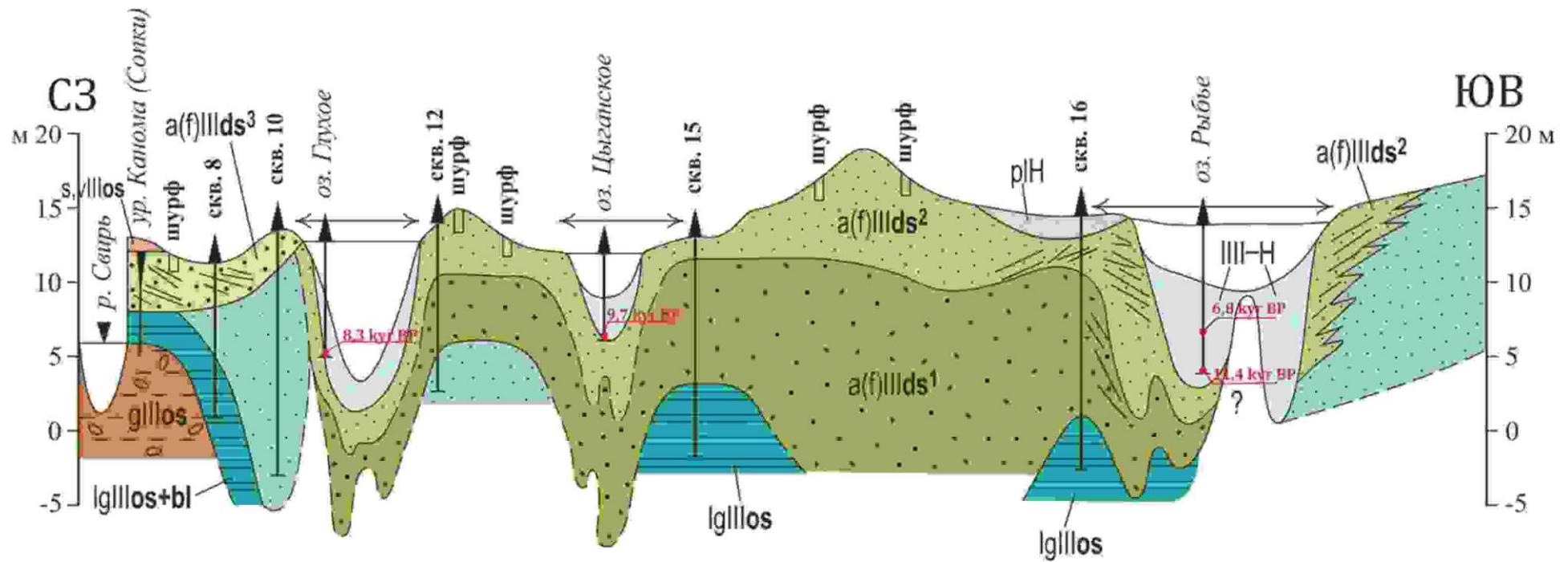


Рис. 3.15. Схема залегания поздне- и послеледниковых отложений в районе среднего течения р. Свирь

Индексы стратиграфо-генетических подразделений: *glllos* – тилл осташковского оледенения (валунные суглинки); *lglllos+bl* – гляциолимний нерасчлененный (пески мелко-среднезернистые, супеси, суглинки горизонтально слоистые); *lglllos* – осташковский гляциолимний (ленточные глины); *a(f)lllds¹* – гляциофлювиал прорыва Свири (галка, гравий, пески крупнозернистые); *a(f)lllds²* – гляциофлювиал прорыва Свири (пески среднезернистые косослоистые); *s,vlllos* – эолий, солифлюксий (алевроитистые пески); *pH* – палюстрий (торф)

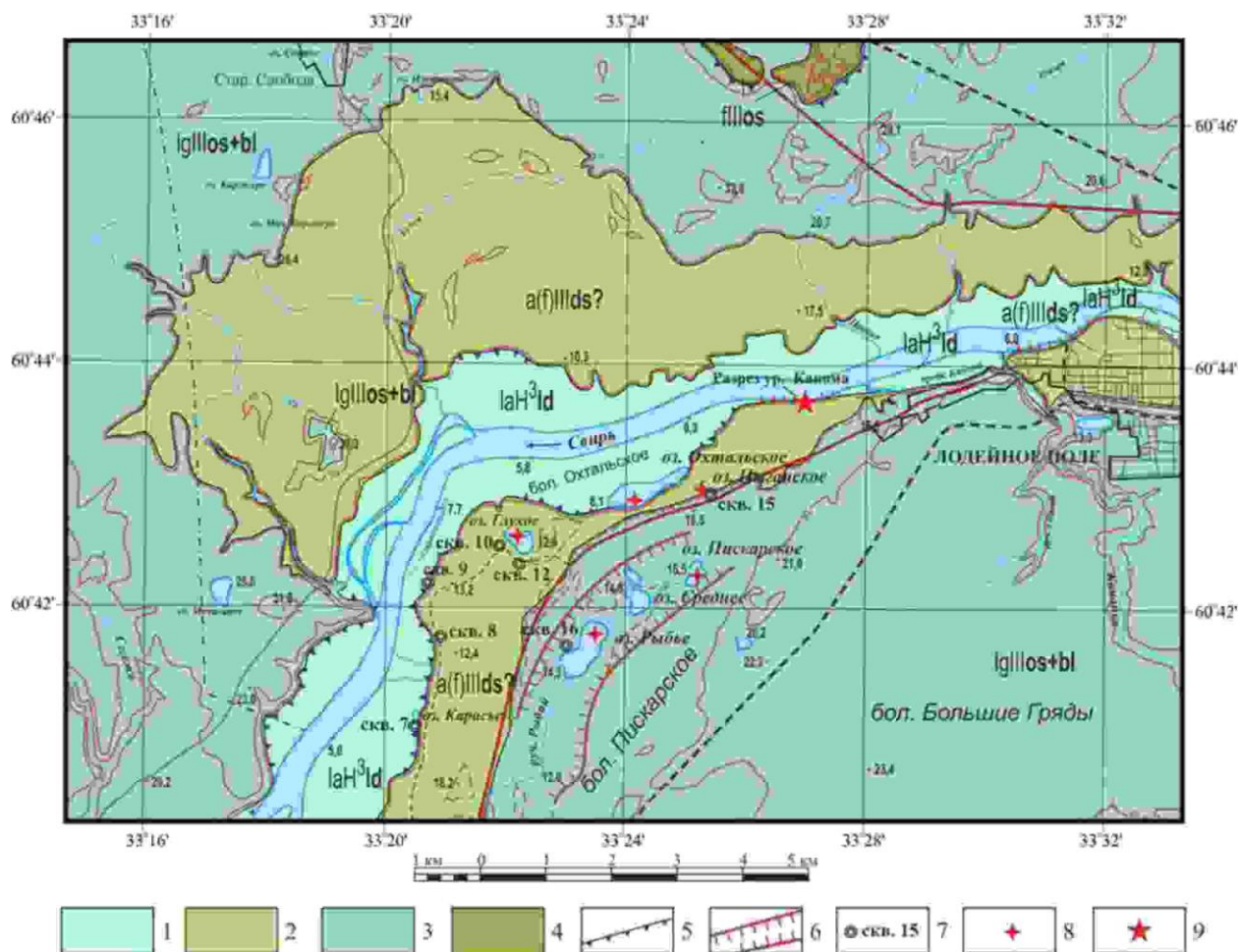


Рис. 3.16. Схема строения четвертичной толщи в среднем течении р. Свирь

1 – laH^3ld – лимноаллювий ладожской трансгрессии (гиттии, алевриты); 2 – $a(f)lllds?$ – предполагаемый гляциофлювиал прорыва Свири (галька, гравий, пески крупно- и среднезернистые косослоистые); 3 – $lglllos+bl$ – гляциолимний (пески мелко-среднезернистые, супеси, суглинки горизонтально слоистые); 4 – $flllos$ – озовая гряда; 5 – абразионные уступы; 6 – предполагаемое полупогребенное русло пра-Свири; 7 – скважины; 8 – скважины на побережьях малых озер; 9 – опорный разрез в ур. Канома

В ходе прорыва Свири образовалась, вероятно, ее современное русло, а также полупогребенное в настоящее время палеорусло (реликтовое) на месте цепочки озер Рыбье–Среднее–Пискарьское, которые расположены за грядой валообразных возвышений, первоначально являвшихся прирусловым валом пра-Свири. За этим последовало дальнейшее снижение уровня приледникового бассейна и формирование террасы с отметками площадки 12–13 м абс. выс., сложенной косослоистыми грубозернистыми песками; разрез этой террасы можно наблюдать в урочище Канома. Судя по палиностратиграфическим данным и результатам определения возраста подсапропелевого торфа, котловины озер, расположенных на поверхности 12–13-метровой террасы –

Цыганского и Рыбьего были заложены, вероятно, еще в аллерёде, спустя немного времени после формирования террасовой поверхности. Таким образом, прорыв пра-Свири произошел в аллерёде или несколько ранее, что согласуется с выводами И.Н. Демидова (Демидов, 2005, 2006), однако никаких свидетельств последующего прекращения стока и второго – позднедриасового прорыва вод Онежского приледникового озера и возобновления стока по Свири, нами не установлено.

Исходя из результатов спорово-пыльцевого анализа также следует, что в донных отложениях изученных озер, как правило, отсутствуют отложения позднего дриаса и пребореала, либо, этот стратиграфический интервал имеет сильно сокращенную мощность, причем отложения этого возраста представлены супесями (озера Цыганское, Рыбье, Пискарьское), которые с размывом перекрывают подсапропелевый торф. Отложение этих супесей связано, вероятно, с установлением на данной территории сурового холодного сухого климата и развития здесь многолетнемерзлых пород, существование которых достоверно фиксируется благодаря наличию многочисленных криогенных образований в разрезе 12–13-метровой террасы в урочище Канона: морозобойных трещин, следов ожелезнения по шлямбуркам сегрегационного льда и разнообразных криотурбаций. Наличие криогенных, то есть субэдральных, образований однозначно указывает на то, что уровень озерно-ледникового бассейна в момент их формирования был ниже отметок 12 м абс. выс. Учитывая значительную вертикальную протяженность псевдоморфоз по ледяным клиньям (до 4 м) и распространение криогенных образований, следует признать, что их образование происходило в очень суровых климатических условиях с широким распространением вечномерзлых грунтов. Такие условия на изучаемой территории могли существовать только в позднем дриасе, что позволяет датировать криогенные образования и момент снижения уровня приледникового бассейна именно этим временем.

Начиная с бореального времени, отложения малых озер представлены уже типичными органо-минеральными осадками (сапропелями). Судя по нашим данным, в донных отложениях озер с урезом воды на отметках 12–13 м абс. высоты (Цыганское и Глухое) на протяжении голоцена фиксируется несколько синхронных палеогидрологических событий. Так, надежно выявляются события на рубеже пребореального и бореального времени (события Cg-I и G-I), бореального и атлантического (Cg-II и G-II), в начале суббореала (Cg-III и G-IV) и, хронологически несколько менее надежно – на рубеже ранне- и среднесубатлантического времени (Cg-IV и G-V). Два последних палеогидрологических события фиксируют, очевидно, начало и завершение развития позднеголоценовой ладожской трансгрессии. При этом в разрезе

донных отложений озера Рыбье с урезом воды на отметке 14,3 м абс. высоты фиксируется только одно палеогидрологическое событие на рубеже ранне- и среднеатлантического времени, которое имеет, видимо, климатическую природу. Никаких свидетельств изменения режима седиментации в озере Рыбье, связанных с ладожской трансгрессией, не установлено. Это указывает на то, что уровень ладожской трансгрессии не превышал отметки 14 м абс. высоты.

Судя по результатам изучения отложений ладожской трансгрессии, вскрытых бурением и в береговых обнажениях, они представлены в районе работ отложениями эстуарных фаций (аледритами, торфами, гиттиями) формирующими хорошо выраженную 10-м террасу, которая отделена от 12–13-метровой пра-Свирской террасы четким абразионным уступом (Рис. 3.16).

В ходе наших работ установлено, что в пределах листа Р-36-XXVII Государственной геологической карты масштаба 1:200 000 (Митюшёв, 1973; Брисюк, 2014) границы и возраст геологических тел требуют уточнения. Так, террасовая поверхность с отметками площадки около 20 м находится вне пределов распространения отложений ладожской трансгрессии. Ее слагают озерно-ледниковые и флювиогляциальные (аллювиальные) древнесвирские отложения, которые находятся в сложных латеральных взаимоотношениях. Древнесвирские отложения слагают и более низкую террасовую поверхность с отметками площадки 12–13 м абс. высоты, которая связана с финальной стадией развития пра-Свири в условиях низкого стояния уровня приледникового бассейна (Балтийского ледникового озера).

Заключение.

В результате наших исследований было описано геологическое строение толщи поздне- и послеледниковых отложений в среднем течении реки Свирь в районе г. Лодейное Поле, а также установлены последовательность и возраст основных геологических событий позднеледникового–голоцена района наших исследований. Таким образом, цель, поставленная при выполнении настоящей работы, нами достигнута. В ходе работы были выделены и о контурены геологические тела, связанные с различными стратиграфо-генетическими подразделениями, прослежены их границы, установлен характер их взаимоотношения между собой, а также с современным и погребенным рельефом, на основе чего была построена новая актуальная схема соотношений четвертичных образований района исследований.

Кроме того, были получены новые данные, представляющие интерес при проведении будущих геологических и палеогеографических исследований. К ним относятся:

1. Реконструкция механизма образования регионально распространенной террасы с отметками площадки 13–20 м абс. выс., которая связана с формированием долинного зандра при прорыве р. Свирь в регрессирующий приледниковый бассейн;

2. Выявление криогенных образований, свидетельствующих о существовании холодного безледного периода, на протяжении которого уровень озерно-ледникового бассейна не превышал в районе исследования 12–13 м абс. высоты;

3. Определение максимального уровня распространения вод ладожской трансгрессии, которые, как оказалось, не превышали отметок 13–14 м абс. высоты;

4. Установление возраста заложения котловин малых озер в районе исследования и установление основных закономерностей осадконакопления в них на протяжении позднеледникового–голоцена.

Результаты наших исследований, изложенные в настоящей работе, позволили не только решить несколько дискуссионных проблем, но поставили ряд острых новых вопросов. Какова была история приледниковых бассейнов района? Где и когда на территории Ленинградской области были распространены многолетнемерзлые породы? Решение этих вопросов требует дальнейших широких исследований на современном научно-техническом уровне.

Список литературы

Опубликованные материалы:

1. Демидов И.Н. Донные отложения и колебания уровня Онежского озера в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. Петрозаводск, 2004. С. 207-218.
2. Демидов И. Н. Деградация поздневалдайского оледенения в бассейне Онежского озера // Геология и полезные ископаемые Карелии Вып. 8. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2005 г. С. 134–142
3. Демидов И.Н. О максимальной стадии развития Онежского приледникового озера, изменениях его уровня и гляциоизостатическом поднятии побережий в позднеледниковье // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 9. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006 г. С. 171–178
4. Едемский М.Б. Остатки культуры доисторического человека, найденные в последние годы в Северо-западном крае Европейской России // Природа, 1927, № 7. С. 62-71.
5. Земляков Б.Ф. Нежежемская неолитическая стоянка // Тр. Комиссии по изучению четвертичного периода. Вып. II, Л. 1932. С. 47-69
6. Кордэ Н.В. Биостратификация и типология русских сапропелей. М., Изд-во АН СССР, 1960. 219 с.
7. Колька В.В., Корсакова О.П., Лаврова Н.Б.. Палеогеографические условия осадконакопления в малых озерных котловинах Поморского берега Белого моря, Республика Карелия // Труды КарНЦ РАН. No 5. Сер. Лимнология. 2015. С. 70-85
8. Костин С.И. Значение озерных иловых отложений в изучении колебаний климата // Труды Главного управления гидрометеорологической службы при совете министров СССР/ Под. ред. О.А. Дроздова и Е.В. Воробьевой. Ленинград, 1970. Выпуск 258. С. 37-48.
9. Малаховский Д.Б., Арсланов Х.А., Гей Н.А, Джигиоридзе Р.Н., Козырева М.Г. Новые данные по голоценовой истории Ладожского озера / Эволюция природных обстановок и современное состояние геосистемы Ладожского озера / Под ред. Н.Н. Давыдовой и Б.И. Кошечкина. СПб, 1993. С. 61-73.
10. Марков К.К. Послеледниковая история юго-восточного побережья Ладожского озера // Вопросы географии. Выпуск 12. 1949. С. 213–220

11. Марков К.К, Порецкий В.С, Шляпина Е.В. О колебаниях уровня Ладожского и Онежского озер в послеледниковое время // Труды комиссии по изучению Четвертичного периода, т. 4, вып. 1, 1934
12. Павловская Е. А., Потапович А. А. Строение и генезис котловин малых озер по данным георадиолокации и электротомографии // V международная конференция молодых ученых и специалистов памяти академика А.П. Карпинского, «ВСЕГЕИ». Санкт-Петербург, 2017. 565-569 с.
13. Перфильев Б. В. Изучение заиления водоемов и абсолютная геохронология // Изв. ВГО, т, 84, вып, 4, 1952
14. Романовский Н.Н. Формирование полигонально-жильных структур. Новосибирск: Наука, 1977
15. Рухин Л.Б. Основы литологии. Учение об осадочных породах. Издание 3-е. Л., «Недра», 1969. 703 с.
16. Хотинский Н. А. Дискуссионные проблемы реконструкции и корреляции палеоклиматов голоцена // Палеоклиматы позднеледниковья и голоцена. М.: Наука, 1989. С. 12-17.
17. Шитов М.В. Голоценовые трансгрессии Ладожского озера: диссертация кандидата геолого-минералогических наук 25.00.01- Санкт-Петербург, 2007.
18. Шванов В. Н. Песчаные породы и методы их изучения. Л., Недра, 1969.
19. Blott S.J., Pye K. Gradistat: a grain size distribution and statistics package for the analysis of unconsolidated sediments// Earth Surface Processes and Landforms №26. 2001. pp. 1237-1248.
20. Dijkmans I. W, Mucher H. J. Niveo-aeolian sedimentation of loess and sand: an experimental and micromorphological approach// Earth surface processes and landforms, 1989, vol. 14,303-315
21. Saarnisto M., Gronlund T., Ekman I. Lateglacial of Lake Onega contributions to the History of the eastern Baltic Basin // Quaternary International, 1995, vol. 27. pp. 111-120.

Фондовые материалы:

22. Брисюк А.В. Отчёт о результатах работ по объекту «ГДП-200 листов Р-36-XXVIII, XXIX (Подпорожская площадь)». Книга 2 (Объяснительная записка к Госгеолкарте-200 листа Р-36-XXVIII (Лодейное Поле)) ОАО «Севзапгеология» Санкт-Петербург, 2014

23. Брисюк А.В., ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 1:200 000, Ильменская серия, лист Р-36-XXVIII, Санкт-Петербург, 2014

24. Митюшев В.П., ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА СССР ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАСШТАБА 1:200 000, Тихвинско-Онежская серия, лист Р-36-XXVIII, Москва, 1973

25. Митюшев В.П., Объяснительная записка к государственная геологическая карта СССР четвертичных отложений масштаба 1:200 000, Тихвинско-Онежская серия, лист Р-36-XXVIII, Москва, 1973

Приложения

Приложение 1.

Гранулометрический состав терригенного материала в донных отложениях оз. Охтальского, об. %.

Размер частиц, мкм Глубина, м	1000	500	400	315	250	200	160	125	100	80	60	50	40	30	25	20	16	12,5	10	8	6	5	4	3
2,725	0,00	0,00	0,00	0,13	0,88	2,31	4,12	4,46	4,59	5,57	3,10	3,18	3,60	3,01	6,12	9,56	12,98	10,66	7,34	5,10	2,11	2,28	2,53	6,39
3,025	0,00	0,00	0,00	0,01	0,32	1,48	3,65	4,58	4,99	6,40	4,08	5,31	7,64	5,17	6,34	6,08	6,19	5,13	4,78	5,36	2,90	3,16	3,59	12,86
3,225	0,00	0,00	0,00	0,02	0,36	1,58	3,79	4,62	4,86	6,10	3,92	5,23	7,74	5,32	6,55	6,25	6,28	5,07	4,67	5,34	2,96	3,17	3,53	12,66
3,425	0,00	0,00	0,00	0,02	0,40	1,70	3,98	4,74	4,92	6,16	3,95	5,15	7,28	4,89	6,17	6,21	6,55	5,41	4,93	5,56	3,05	3,21	3,52	12,21
3,625	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	1,01	3,12	4,34	4,95	6,46	4,04	5,03	6,94	4,69	5,92	6,04	6,77	6,03	5,64	6,20	3,28	3,44	3,75	12,21
3,825	0,00	0,00	0,00	0,06	0,58	1,97	4,15	4,75	4,84	5,98	3,82	5,01	7,11	4,81	6,16	6,36	6,90	5,77	5,14	5,44	2,85	3,04	3,40	11,87
4,075	0,00	0,00	0,00	0,05	0,55	1,95	4,15	4,69	4,69	5,77	3,76	5,03	7,19	4,81	6,06	6,16	6,59	5,49	5,02	5,68	3,11	3,26	3,52	12,46
4,175	0,00	0,00	0,00	0,04	0,47	1,83	4,15	4,87	4,98	6,08	3,84	5,04	7,33	5,07	6,48	6,51	6,72	5,44	4,98	5,55	2,94	3,10	3,40	11,20
4,225	0,00	0,00	0,00	0,06	0,56	1,91	4,02	4,56	4,62	5,77	3,81	5,10	7,26	4,86	6,16	6,28	6,58	5,25	4,76	5,53	3,05	3,28	3,68	12,92
4,425	0,00	0,00	0,00	0,05	0,55	1,99	4,33	4,99	4,98	5,77	3,47	4,53	6,91	5,01	6,50	6,48	6,53	5,12	4,65	5,51	3,12	3,32	3,61	12,61
5,225	0,00	0,00	0,00	0,01	0,32	1,52	3,74	4,53	4,65	5,56	3,41	4,48	6,86	5,06	6,69	6,70	6,70	5,21	4,75	5,80	3,37	3,59	3,89	13,16
5,775	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	1,44	3,66	4,55	4,83	6,13	3,98	5,32	7,87	5,42	6,74	6,51	6,47	5,07	4,69	5,51	3,02	3,22	3,54	11,75
6,225	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	1,04	3,24	4,64	5,51	7,49	4,67	5,56	7,19	4,81	6,20	6,19	6,19	4,78	4,26	5,18	3,09	3,35	3,65	12,83

Приложение 2.

Гранулометрический состав терригенного материала в донных отложениях оз. Рыбьего, об. %.

Размер частиц, мкм Глубина, м	1000	500	400	315	250	200	160	125	100	80	60	50	40	30	25	20	16	12,5	10	8	6	5	4	3
4,275	0,00	0,00	0,00	0,26	1,52	3,46	5,18	4,67	4,08	4,58	2,98	4,38	7,63	6,00	7,95	7,82	7,83	6,39	5,92	6,20	2,82	2,54	2,45	5,33
4,475	0,00	0,00	0,00	0,22	1,31	3,13	5,05	5,08	5,07	6,30	3,89	4,77	6,50	4,56	6,09	6,36	6,95	6,27	6,36	7,16	3,25	2,61	2,28	6,81
5,075	0,00	0,16	1,19	3,17	4,81	5,64	6,43	5,83	6,11	8,50	5,57	6,68	7,95	4,57	5,18	4,68	4,36	3,33	3,09	3,31	1,69	1,72	1,73	4,30
5,375	0,00	0,00	0,08	0,87	2,84	5,06	6,80	6,02	5,57	6,99	4,60	5,82	7,52	4,73	5,78	5,68	5,89	4,89	4,43	4,41	2,08	2,05	2,09	5,82
5,575	0,00	0,00	0,20	1,42	3,43	5,08	6,29	5,69	5,84	8,18	5,52	6,86	8,62	5,25	6,14	5,61	5,26	3,96	3,49	3,60	1,74	1,73	1,74	4,37
5,875	0,00	0,00	0,18	1,30	3,17	4,78	6,12	5,72	5,90	7,98	5,12	6,12	7,59	4,75	5,83	5,66	5,54	4,30	4,04	4,70	2,44	2,19	1,86	4,71
6,575	0,00	0,09	0,92	2,86	4,77	5,92	6,93	6,28	6,44	8,81	5,74	6,83	8,13	4,76	5,43	4,88	4,55	3,48	3,19	3,15	1,37	1,21	1,15	3,11
6,975	0,00	0,00	0,05	0,69	2,53	4,72	6,52	6,01	5,89	7,58	4,75	5,59	6,84	4,38	5,59	5,63	5,77	4,82	4,79	5,65	2,82	2,34	1,79	5,28
7,275	0,00	0,00	0,15	1,22	2,94	4,31	5,32	4,79	4,87	7,06	5,26	7,37	10,60	6,93	8,14	7,17	6,25	4,32	3,65	3,62	1,62	1,32	1,00	2,11
7,575	0,00	0,00	0,01	0,44	2,01	4,12	6,05	5,81	5,75	7,40	4,76	5,85	7,35	4,52	5,46	5,31	5,45	4,62	4,65	5,79	3,08	2,64	2,13	6,82
7,875	0,00	0,15	1,22	3,37	5,22	6,10	6,69	5,64	5,47	7,42	5,09	6,50	8,15	4,77	5,50	5,09	4,80	3,69	3,52	3,92	1,90	1,61	1,15	3,07
8,175	0,00	0,00	0,00	0,15	1,01	2,66	4,65	4,79	4,77	6,09	4,07	5,53	8,43	6,14	8,02	7,93	7,87	6,15	5,51	5,88	2,74	2,17	1,52	3,92
8,375	0,00	0,00	0,00	0,16	1,10	2,92	5,14	5,34	5,31	6,78	4,43	5,63	7,42	4,82	6,11	6,13	6,35	5,43	5,52	6,68	3,37	2,86	2,30	6,21
8,675	0,00	0,00	0,08	0,82	2,54	4,45	6,06	5,46	5,05	6,19	4,04	5,21	7,08	4,67	5,89	5,88	6,07	5,15	5,15	6,22	3,21	2,68	1,95	6,17
8,875	0,00	0,00	0,00	0,27	1,59	3,66	5,65	5,37	5,10	6,29	4,03	5,07	6,75	4,45	5,69	5,75	6,02	5,23	5,42	6,79	3,53	3,05	2,56	7,78
9,075	0,00	0,00	0,06	0,61	1,75	3,31	5,68	6,98	8,67	12,92	8,50	9,98	11,22	5,83	5,67	4,27	3,50	2,23	1,74	1,71	0,84	0,85	0,83	2,86
9,375	0,05	0,68	2,77	6,14	9,82	12,60	14,32	10,96	8,74	8,81	4,26	4,02	3,81	1,89	1,93	1,63	1,47	0,86	0,70	0,72	0,40	0,41	0,39	2,62
9,475	0,06	0,81	3,26	6,63	9,49	11,21	12,47	10,20	8,69	8,51	4,12	4,36	4,79	2,44	2,46	2,05	1,91	1,31	0,98	1,00	0,52	0,52	0,51	1,69

Приложение 3.

Гранулометрический состав терригенного материала в донных отложениях оз. Цыганского, об. %

Размер частиц, мкм Глубина, м	1000	500	400	315	250	200	160	125	100	80	60	50	40	30	25	20	16	12,5	10	8	6	5	4	3
3,875	0,00	0,00	0,00	0,16	1,01	2,61	4,59	4,91	4,93	5,83	3,43	4,17	5,70	3,97	5,38	5,90	6,81	6,13	5,80	6,30	3,27	3,44	3,75	11,91
4,075	0,00	0,00	0,00	0,19	1,22	3,07	5,22	5,38	5,27	6,29	3,85	4,84	6,62	4,45	5,69	5,73	5,80	4,53	4,19	5,00	2,83	3,19	3,68	12,96
4,175	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	1,26	3,77	4,93	5,10	5,85	3,40	4,35	6,72	5,00	6,57	6,53	6,54	5,19	4,87	5,87	3,37	3,64	3,92	12,95
4,425	0,00	0,00	0,00	0,03	0,34	1,31	3,25	4,57	5,53	7,24	4,14	4,53	5,71	4,12	5,69	5,87	5,85	4,64	4,55	5,80	3,41	3,76	4,23	15,44
4,475	0,00	0,00	0,00	0,04	0,52	1,95	4,30	4,95	4,97	5,92	3,64	4,65	6,60	4,58	5,93	5,92	6,03	5,00	4,92	6,02	3,39	3,62	3,98	13,07
4,675	0,00	0,00	0,00	0,15	1,01	2,68	4,91	5,54	5,82	6,98	4,03	4,84	6,88	4,98	6,42	6,09	5,75	4,40	4,14	5,14	2,96	3,17	3,38	10,73
4,925	0,00	0,00	0,00	0,19	1,21	3,10	5,42	5,70	5,51	6,17	3,56	4,46	6,51	4,65	6,07	6,04	5,93	4,50	4,11	5,06	2,96	3,20	3,51	12,18
5,125	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,80	2,76	4,14	4,60	5,26	2,83	3,39	5,42	4,53	6,58	6,99	7,04	5,28	4,78	6,14	3,72	4,10	4,64	16,92
5,425	0,00	0,00	0,00	0,15	1,05	2,90	5,52	6,31	6,49	7,35	3,91	4,38	5,92	4,27	5,59	5,41	5,15	4,04	4,04	5,19	3,02	3,24	3,58	12,51
5,675	0,00	0,00	0,00	0,16	1,05	2,71	4,81	5,22	5,29	6,18	3,52	4,23	6,06	4,46	5,94	5,95	5,93	4,72	4,47	5,50	3,23	3,53	3,89	13,17
5,825	0,00	0,00	0,09	0,71	1,98	3,46	5,09	5,06	4,89	5,75	3,52	4,53	6,57	4,67	6,12	6,08	6,00	4,74	4,48	5,40	3,04	3,23	3,49	11,13
6,025	0,00	0,00	0,00	0,35	2,08	4,88	7,87	7,91	7,56	8,28	4,40	4,83	5,98	3,97	4,92	4,47	3,95	3,07	3,30	4,11	2,29	2,60	3,05	10,13
6,225	0,00	0,05	0,85	2,73	4,88	6,70	8,26	7,07	6,24	7,22	4,52	5,70	7,15	4,08	4,52	4,17	4,21	3,27	2,96	3,31	1,85	2,01	2,13	6,12
6,425	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	1,19	3,64	4,88	5,17	5,91	3,20	3,76	5,60	4,39	6,15	6,49	6,82	5,56	5,26	6,47	3,77	4,01	4,25	13,31
6,575	0,00	0,04	0,61	2,35	4,54	6,31	7,95	7,12	6,46	7,15	4,06	4,80	6,10	3,72	4,22	3,73	3,39	2,67	2,88	3,81	2,33	2,69	3,18	9,89
6,825	0,00	0,00	0,00	0,53	2,50	5,80	10,23	11,19	11,03	11,71	5,76	5,50	4,70	2,07	2,29	2,47	2,80	1,93	1,76	2,05	1,33	1,65	2,02	10,71
6,925	0,00	0,00	0,01	1,16	3,71	6,56	9,56	9,27	8,99	10,34	5,78	6,50	7,24	3,68	3,79	3,37	3,20	2,03	1,62	1,77	1,07	1,22	1,37	7,77
6,975	0,24	0,07	0,20	1,36	3,73	6,67	10,29	10,64	10,49	11,65	5,99	5,86	5,32	2,46	2,53	2,32	2,36	1,68	1,53	1,86	1,16	1,36	1,61	8,62
7,025	0,00	0,00	0,16	1,10	2,70	4,46	6,76	7,40	8,03	9,83	5,21	4,98	4,60	2,57	3,65	4,08	3,84	2,88	3,37	4,46	2,48	2,69	2,95	11,81

Приложение 4

Гранулометрический состав терригенного материала в донных отложениях озера Глухого, об. %

Размер частиц, мкм Глубина, м	1000	500	400	315	250	200	160	125	100	80	60	50	40	30	25	20	16	12,5	10	8	6	5	4	3
4,275	0,000	0,000	0,119	0,906	2,336	3,842	5,394	5,139	4,705	4,966	2,657	3,151	4,699	3,786	5,571	6,040	6,217	4,973	4,866	6,319	3,818	4,178	4,480	11,839
4,325	0,000	0,000	0,000	0,000	0,197	1,259	3,620	4,637	4,718	5,148	2,689	3,145	4,985	4,243	6,278	6,773	7,025	5,647	5,422	6,933	4,129	4,487	4,811	13,854
4,425	0,000	0,006	0,486	2,079	4,422	6,850	9,359	8,594	7,546	7,709	4,137	4,862	6,065	3,568	4,248	4,232	4,272	3,119	2,803	3,245	1,902	2,133	2,312	6,049
4,575	0,027	0,372	1,527	3,176	4,701	5,838	6,961	6,190	5,994	7,744	5,009	6,050	7,123	4,028	4,607	4,334	4,203	3,044	2,645	2,996	1,751	1,951	2,128	7,599
4,725	0,000	0,190	1,393	3,659	5,749	7,038	7,823	6,160	5,335	6,700	4,533	5,687	6,764	4,024	4,968	4,677	4,032	2,740	2,655	3,233	1,901	2,163	2,414	6,160
4,975	0,000	0,027	0,601	2,476	4,941	7,014	9,035	8,215	7,423	7,952	4,371	4,922	5,644	3,357	3,953	3,434	2,785	2,081	2,552	3,479	2,121	2,510	2,965	8,141
5,275	0,000	0,000	0,076	1,318	4,015	7,275	10,978	10,826	10,146	10,581	5,254	5,463	5,977	3,159	3,414	3,096	2,865	1,879	1,674	2,031	1,253	1,429	1,547	5,744
5,475	0,000	0,000	0,000	0,722	3,358	7,647	13,116	13,795	13,217	14,117	6,832	6,278	5,709	2,691	2,709	2,354	1,996	1,030	0,897	1,004	0,544	0,561	0,516	0,910
5,575	0,000	0,000	0,091	1,223	3,708	6,962	11,104	11,666	11,597	13,099	6,761	6,586	6,064	2,865	2,895	2,438	2,180	1,370	1,182	1,357	0,803	0,900	0,994	4,154
5,825	0,000	0,000	0,004	0,917	3,279	6,503	10,644	11,507	11,947	14,277	7,679	7,635	7,230	3,394	3,260	2,550	2,047	1,117	0,891	0,954	0,555	0,609	0,631	2,371
6,025	0,000	0,000	0,000	0,006	0,956	4,062	9,890	13,443	15,621	18,946	9,608	8,662	6,817	2,649	2,307	1,696	1,298	0,663	0,599	0,686	0,364	0,372	0,392	0,963
6,175	0,000	0,209	2,031	5,955	10,473	14,152	16,861	13,429	10,307	8,860	3,961	3,918	3,487	1,543	1,528	1,146	0,894	0,444	0,316	0,304	0,110	0,058	0,014	0,001
6,475	0,000	0,000	0,275	1,806	4,487	7,560	11,285	11,628	11,710	13,196	6,657	6,465	6,171	2,978	3,006	2,449	2,081	1,328	1,033	1,126	0,643	0,694	0,755	2,670
6,575	0,259	0,256	0,193	1,530	5,213	9,871	14,756	13,897	12,077	11,674	5,554	5,491	5,209	2,322	2,242	1,912	1,661	0,895	0,683	0,797	0,494	0,538	0,579	1,895
6,675	0,000	0,000	0,837	4,678	10,580	15,756	19,236	14,910	11,069	9,378	3,801	3,158	2,711	1,137	1,026	0,840	0,572	0,165	0,085	0,053	0,008	0,000	0,000	0,000
6,875	0,000	0,000	0,000	0,056	0,933	3,275	7,757	10,774	12,776	16,139	8,808	8,746	8,101	3,654	3,365	2,577	2,212	1,396	1,133	1,247	0,707	0,772	0,839	4,733
6,925	0,000	0,000	0,000	0,554	2,417	5,253	8,799	9,444	9,572	11,523	6,655	7,295	7,720	3,906	4,063	3,512	3,144	2,091	1,646	1,832	1,080	1,227	1,423	6,843
6,975	0,000	0,000	0,000	0,112	1,408	4,465	9,654	12,486	14,153	17,133	8,937	8,553	7,459	3,101	2,738	2,014	1,568	0,865	0,645	0,659	0,365	0,384	0,359	2,943
7,025	0,000	0,000	0,012	0,967	3,101	5,620	8,584	8,772	8,791	10,766	6,390	7,157	7,648	3,910	4,124	3,590	3,278	2,293	1,886	2,151	1,246	1,383	1,556	6,774
7,075	0,000	0,000	0,000	0,263	1,617	3,861	6,082	5,846	5,944	8,692	6,385	8,395	10,511	5,915	6,412	5,488	4,593	2,964	2,709	3,090	1,577	1,677	1,896	6,081
7,175	0,000	0,017	0,627	2,310	4,470	6,561	8,674	7,958	7,363	8,516	5,073	6,046	7,370	4,199	4,575	4,051	3,791	2,634	2,278	2,562	1,422	1,529	1,653	6,321