



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Верификация батиметрической
модели Ладожского озера на основе
натурных данных**

Исполнитель Рогачева Ольга Юрьевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Доктор географических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Науменко Михаил Арсеньевич
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой

(подпись)

Кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сикан Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

«17» июня 2016г.

Санкт-Петербург
2016



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Гидрологии суши

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему **Верификация батиметрической
модели Ладожского озера на основе
натурных данных**

Исполнитель Рогачева Ольга Юрьевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель Доктор географических наук, профессор
(ученая степень, ученое звание)

Науменко Михаил Арсеньевич
(фамилия, имя, отчество)

**«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой**

(подпись)
Кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

Сикан Александр Владимирович
(фамилия, имя, отчество)

« » июня 2016г.

Санкт–Петербург
2016

Содержание

1. Введение.....	3
2. Глава 1	
Физико-географическое описание бассейна Ладожского озера.....	5
Глава 2	
Характеристики исходных данных и методы статистической обработки информации.....	18
Глава 3	
Анализ полученных данных.....	21
3. Выводы.....	52
4. Список используемой литературы.....	53

ВВЕДЕНИЕ

Ладожское озеро – крупнейшее в Европе – является безальтернативным источником водоснабжения Санкт-Петербурга, многих городов Ленинградской области (Приозерска, Волхова, Новой Ладogi и др.) и Республики Карелия (Питкяранты, Импилахти, Сортавалы и др.). Распределение глубин Ладожского озера разнообразно. Знание глубин озера необходимо для навигации, судоходства, исследования озера. Точное количественное описание морфометрических характеристик Ладожского озера, формы его котловины и распределения глубин имеют первостепенное значение для изучения термического режима, волновых процессов, процессов, ответственных за перераспределение грунтообразующего материала, и его накопление в различных районах. Рельеф дна во многом определяет распространение речных вод в озере, особенно их динамику в придонных слоях. От формы и размеров озерной впадины зависят сроки замерзания и вскрытия ледостава в тех или иных районах, а так же даты наступления и продолжительность различных гидрологических сезонов. Объем котловины, заполненной водой, отражает водные ресурсы водоема.

В 1995 году впервые была создана цифровая батиметрическая модель Ладожского озера, которая была усовершенствована в 2013 году.

Целью настоящей работы является верификация морфометрической модели Ладожского озера на основе прямых эхолотных измерений глубины озера. Для достижения поставленной цели решить следующие задачи:

1. Подготовить исходные эхолотные измерения для сравнения их с модельными расчётами.
2. Рассчитать распределение глубин на основе модели для выбранных разрезов.
3. Рассчитать статистические характеристики глубин для эхолотных измерений и получить уравнение связи модельных расчетов и эхолотных.

Исходные модельные и эхолокационные данные были предоставлены Институтом озероведения РАН.

В настоящее время наиболее перспективным методом изучения морфометрии крупных озер является создание цифровых моделей. Построение морфометрических моделей основано на использовании реальных батиметрических карт и создании цифровых массивов данных о глубинах с их координатами.

Институт озероведения РАН проводит регулярные исследования озера с 1956 г., результаты которых обобщают для выявления тенденций изменения структур озерных систем.

1 Физико-географическое описание бассейна Ладожского озера



Ладожское озеро — крупнейшее пресноводное озеро в Европе и одно из самых северных среди великих озер мира. Относится к бассейну Балтийского моря Атлантического океана. Площадь озера составляет 18 329 км², из которых 457 км² приходится на острова; объём водной массы — 848 км³, длина береговой линии без учета длины береговой линии островов составляет 1570 км. Котловина озера расположена в районе соединения двух крупнейших геологических структур Европы - Балтийского кристаллического щита и Русской платформы.

Северная часть Ладоги находится на окраине Балтийского кристаллического щита, сложенного гранитами, гнейсами, пегматитами, слюдистыми сланцами, покрытыми не повсеместно чехлом четвертичных отложений небольшой мощности. По мере продвижения к югу возрастает мощность рыхлых четвертичных отложений, происходит постепенное погружение склонов кристаллического щита под мощные толщи осадочных

пород Русской платформы. Различия в геологическом строении бассейна отражаются на строении котловины и берегов Ладожского озера.

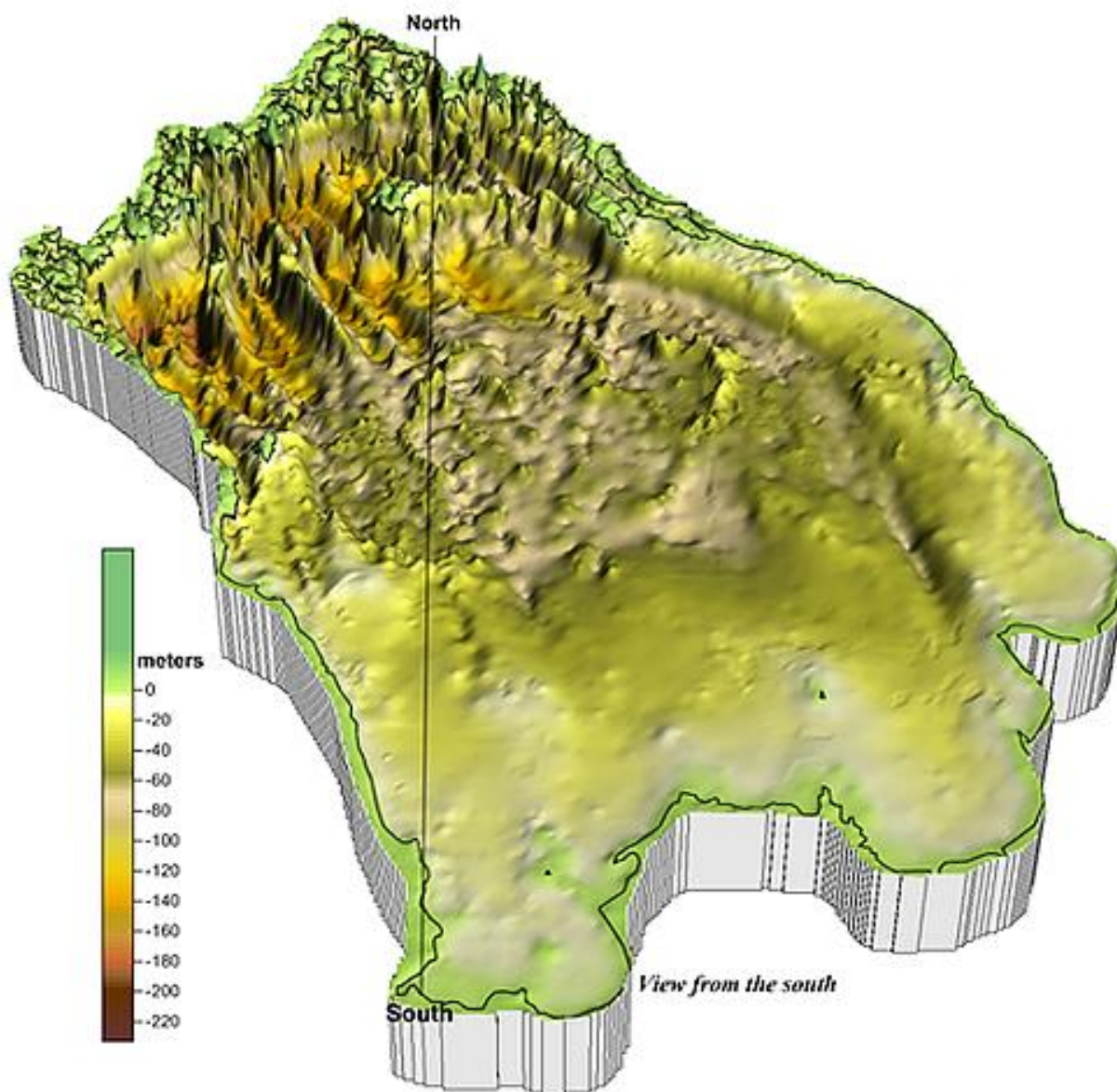


Рисунок 1 - Трехмерная модель Ладожского озера

Котловина озера вытянута в направлении с северо-северо-запада на юго-юго-восток. Берега северо-западной и северной частей Ладоги, сложенные кристаллическими породами, высокие и сильно расчленены. Рельеф дна северной части озера сложный. Он характеризуется наличием большого числа островов и чередованием глубоководных впадин, глубина которых местами превышает 100 м, с мелководными участками. Средняя глубина Ладожского озера 48,3 м. Максимальная глубина 230 м отмечена в северо-западной части озера. По направлению к югу рельеф берегов и дна постепенно становится

более спокойным, глубины уменьшаются. В прибрежной части озера довольно широко распространены песчаные и каменистые косы, а также скопления валунов.

По мере накопления информации о морфометрии озера и расширения решаемых задач на основе цифровой батиметрической модели Ладожского озера в ИНОЗ РАН проведено лимническое районирование глубин озера, необходимое для изучения эволюции физико-химических и биологических процессов в сезонном и годовом цикле. При этом использовались новые гипсометрическая кривая и гистограмма озера. Ладожское озеро было разбито на шесть районов: 1 – мелководный, 2 – переходный, 3 – район озёрного уступа, 4 – склоновый, 5 – глубоководный, 6 – впадины. На рисунке 2 приводится распределение глубин Ладожского озера с границами лимнических районов, полученное на основе современной батиметрической модели.

Каждый из шести выделенных лимнических районов обладает специфическими особенностями. При районировании были приняты во внимание обособленность или сочлененность районов между северной и южной частями озера. Это способствовало выделению районов озера, где темпы протекания лимнических процессов в значительной мере определяются характерным распределением глубин, специфическими условиями теплонакопления и теплоотдачи в годовом термическом цикле [Науменко, 1995, Ладожское..., 2002]. Среди более глубоких зон могут находиться подводные возвышенности, банки, вершины которых входят в состав более мелководных зон. Они имеют своеобразный температурный режим, свойственный мелководным зонам, что может определять повышенную продуктивность планктонных сообществ. Эти поднятия могут иметь и отличающиеся от соседних зон скорости осадконакопления. Поэтому внутри глубоководных зон могут существовать мелководные фрагменты, на что указывалось при районировании дна озера Байкал.

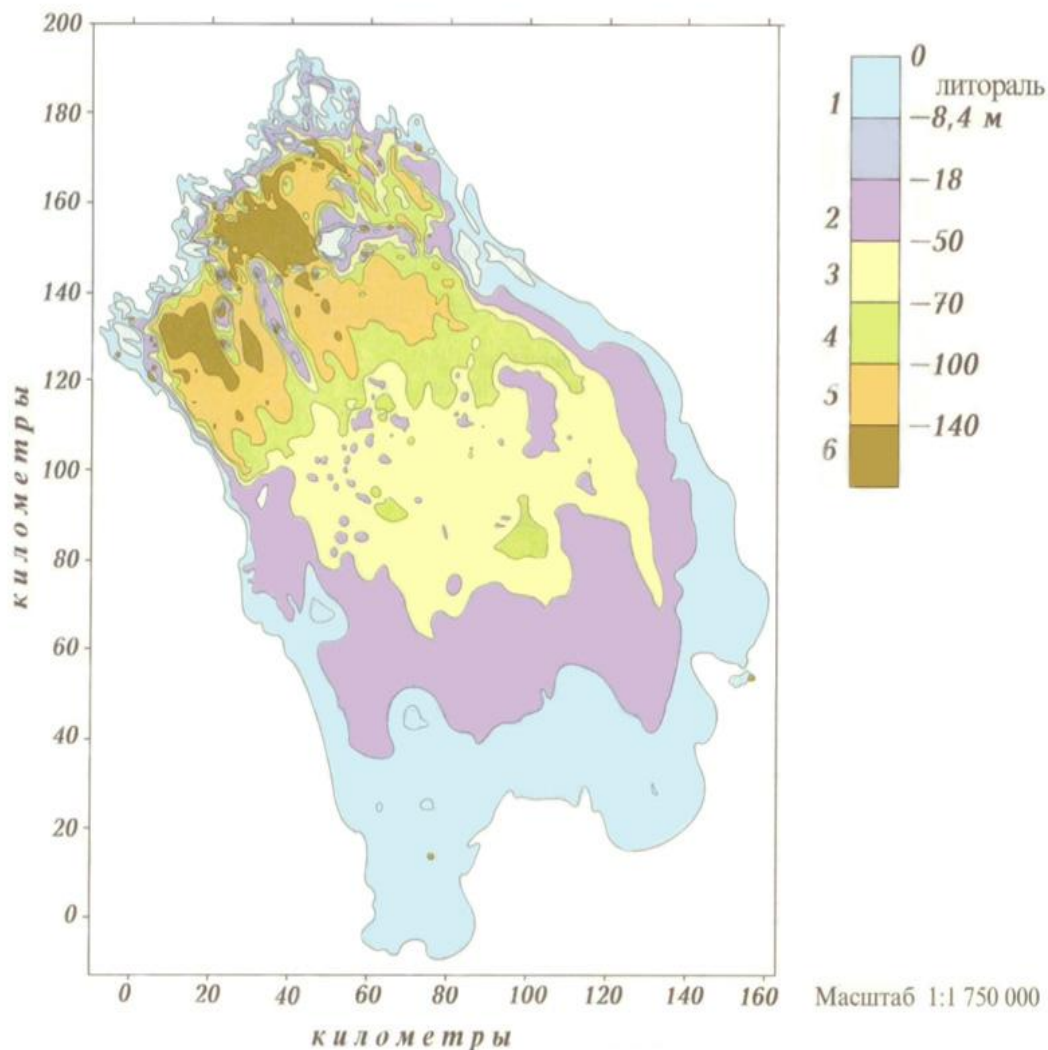


Рисунок 2 - Лимнические районы Ладожского озера

Статистические характеристики глубин H и уклонов γ лимнических районов Ладожского озера приводятся в табл. 1. В состав 1-го мелководного района входит литоральная зона (зона произрастания высшей водной растительности до глубины 8 м), которая занимает площадь 2543,0 км², ее объем составляет $V_{\text{лит.}} 9,67 \text{ км}^3$ (Науменко, 2013). Здесь глубина озера вычислена как средняя из всех значений глубин менее 0 м для эквидистантной сетки 425*345 узлов. Средняя глубина озера, т.е. отношение объема озера к его площади, составляет 47,7 м. Рассчитаны значения наибольшей крутизны склонов γ в каждом узле цифровой модели Ладожского озера и его водосбора.

Морфометрические характеристики лимнических районов Ладожского озера

Район	Площадь , км ²	Объем, км ³	Характеристики	Среднее	Медиана	Диапазон Н (м) и γ(град)	Ср. квд. откл.
1	5 465,0	46,7	Н, м	8,8	8,9	0,0-18	5,06
			γ, град	0,22	0,09	0,0-6,8	0,40
2	4 631,3	153,6	Н, м	33,2	32,7	18-50	9,46
			γ, град	0,44	0,17	0,0-11,0	0,73
3	3 693,4	221,1	Н, м	59,9	60,0	50-70	5,40
			γ, град	0,44	0,24	0,0-8,5	0,66
4	1 910,0	158,4	Н, м	82,9	81,7	70-100	8,84
			γ, град	0,81	0,42	0,0-11,1	1,01
5	1 487,9	174,7	Н, м	117,3	116,6	100-140	11,41
			γ, град	0,99	0,65	0,0-10,2	1,02
6	577,8	93,3	Н, м	161,9	157,2	140-230	17,11
			γ, град	1,16	0,88	0,0-11,8	1,01
Все озеро	17 765,4	847,8	Н, м	48,3	41,6	0,0-230	39,9
			γ, град	0,49	0,20	0,0-11,8	0,76

Южную часть озера образуют три крупных мелководных залива: бухта Петрокрепость (средняя глубина 4 м), губы Волховская (8 м) и Свирская (3 м). Средняя глубина в южной, открытой части озера 13 м.

Обширный водосборный бассейн Ладожского озера, общая площадь которого составляет 258 600 км², расположен на территории Республики Карелии, Ленинградской, Новгородской, Псковской, Вологодской, Тверской и Архангельской областей России, а также на части территорий Финляндии и Белоруссии. Он состоит из четырех водосборов: Ладожского (24,7 тыс.км²), Онежско-Свирского (84,4 тыс.км²), Ильмень-Волховского (80,2 тыс.км²),

Саймо-Вуоксинского (68,7 тыс.км²). Всего в бассейне Ладожского озера насчитывается около 50 тыс. озер, занимающих 17% площади водосбора, множество болот и малых рек, общей протяженностью до 45 тыс.км. Воды трех озер: Онежского, Ильмень, Саймы поступают в озеро с главными притоками – реками Свирь, Волхов, Вуокса, дающими около 86% общего поступления в озеро поверхностных вод.

Сток из озера осуществляется в финский залив через р. Неву. Ладожское озеро относится к димиктическим озерам, т.е. озерам, в которых температура поверхности воды дважды в год переходит через 4 °С, температуру наибольшей плотности воды, что приводит к полному вертикальному перемешиванию от поверхности до дна. В зависимости от горизонтальных размеров озер и распределения глубин в димиктических озерах в весенний период нагревания и осенний период охлаждения может возникать термическая фронтальная зона (термобар).

Весенняя фронтальная зона в Ладожском озере существует около двух месяцев – с начала мая до начала июля. В период развитой стратификации водная толща озера по вертикали разделяется на три слоя – на верхний квазиоднородный слой (эпилимнион), придонный с достаточно однородными и низкими температурами (гиполимнион) и расположенный между ними слой скачка (металимнион) с резким вертикальным градиентом характеристик. Наибольших значений средние температуры верхнего слоя воды достигают в августе ($\approx 16^\circ\text{C}$) и всей водной толщии озера ($\approx 6^\circ\text{C}$) в сентябре, а наименьших – в середине марта. Озеро полностью покрывается льдом в среднем около 15 февраля, однако один раз в 4-5 лет его центральная часть не замерзает. Течения в Ладожском озере по своему генезису неоднородны и зависят как от сезонных, так и от синоптических факторов. Перенос речных вод определяется господствующей системой течений. Весной до выхода фронта термического бара в зону его устойчивого существования движение вод в озере определяется слабо развитой ветровой деятельностью, а речные воды, поступая в озеро, локализуются преимущественно в прибрежной области. Летом циклональная циркуляция становится ведущей по всему озеру и зависит от синоптической

ситуации. Осенью с усилением ветровой деятельности и уменьшением горизонтальной неоднородности температуры преобладающими становятся ветровые течения. Изменение направления плотностных течений играет существенную роль в процессе переноса речных вод в прибрежной части озера. В частности, в осенне-зимний период изменение этого процесса приводит к поступлению вод реки Волхов вдоль южного побережья непосредственно к истоку Невы.

Главная роль в формировании химического состава озерных вод принадлежит речному притоку, который дает до 95% приходной части химического баланса озера. Основные показатели химического состава озерных вод можно условно объединить в 5 групп.

Первая группа – наиболее консервативные компоненты, на которые практически не влияют внутриводоемные процессы, это ионный состав и общая минерализация воды. Средняя минерализация основной водной массы ладожского озера составляет 64 мг/л. Воды озера относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы. Основная масса озера обладает малой пространственной и временной изменчивостью минерализации и ионного состава, что объясняется низким водообменом озера и большой динамичностью водных масс. В прибрежных районах, находящихся под непосредственным влиянием вод притоков, эти показатели могут меняться значительно.

Ко второй группе относятся так называемые «питательные вещества» - биогенные элементы, содержание которых в воде озера определяет интенсивность развития биологических процессов в водоеме. Они присутствуют в воде в виде неорганических и органических соединений (фосфор, азот, кремний).

Третья группа компонентов тесно связана с жизнью озера, режим их определяется как гидрологическими факторами, так и биологической жизнью водоема. К ним относятся содержание в воде углерода, значение рН, кислорода.

К четвертой группе относятся соединения металлов (железо, марганец, алюминий, медь, кобальт, и др.), концентрация которых в воде озера

определяется неоднородностью поступления их с водосбора, что связано с ландшафтными условиями территории и антропогенными факторами, а также происходящими в озере внутриводоемными процессами.

Пятая группа включает антропогенными и природные загрязняющие вещества. Они поступают с водосборного бассейна со сточными водами промышленных и сельскохозяйственных предприятий, от водного и наземного транспорта, а также являются вторичным продуктом распада в результате биохимических процессов. Сюда можно отнести нефтеуглеводороды, фенолы, лигносульфаты, синтетические поверхностно-активные вещества, соли тяжелых металлов, хлорорганические соединения и др.

Прозрачность воды у западного побережья Ладожского озера 2—2,5 м, у восточного побережья 1—2 м, в приустьевых участках 0,3—0,9 м, а к центру озера увеличивается до 4,5 м. Наименьшая прозрачность наблюдалась в Волховской губе (0,5—1 м), а наибольшая — к западу от Валаамских островов (летом 8—9, зимой свыше 10 м).

Состав биоты (фауны и флоры) Ладожского озера отличается большим видовым разнообразием – всего зарегистрировано около 400 видов животных и около 600 видов растений. Все живые организмы можно разделить на две основные категории: живущие в толще воды (фитопланктон, бактериопланктон, зоопланктон, рыбы и некоторые другие организмы) и обитающие на дне (перифитон, бентосные организмы, бактерии и высшая водная растительность). Ихтиофауну Ладожского озера составляют 53 вида и разновидности рыб. Уровень и скорость развития озерной биоты в разных частях акватории озера – сложный итог взаимодействия гидрофизических и гидрохимических процессов.

Распределение осадконакопления на дне Ладожского озера имеет четко ассиметричный характер. В северной части озера отмечается преобладание зон аккумуляции, а в южной господствуют условия подводного размыва или «нулевой седиментации», что связано с особенностями геологического строения и рельефа дна, а также с палеогеографическими этапами развития озера в позднем плейстоцене-голоцене. Поверхностные отложения Ладоги представлены всеми основными гранулометрическими типами от валунов до

глин, распределение которых определяется особенностями рельефа Ладужской котловины и характером гидродинамических процессов.

Донные отложения, накапливавшиеся в озерной котловине на протяжении всей истории существования водоема – результирующее отражение комплекса процессов превышения вещества на водосборе и в самом озере.

На озере наблюдаются постоянные волнения. Во время сильных штормов вода в нём «кипит», а волны почти сплошь покрыты пеной. В водном режиме характерны сгонно-нагонные явления (колебания уровня воды на 50—70 см ежегодно, максимально до 3 м), сейши (до 3—4 м), высота волн при штормах до 6 м. Озеро замерзает в декабре (прибрежная часть) — феврале (центральная часть), вскрывается в апреле — мае. Центральная часть покрывается сплошным льдом только в очень суровые зимы. Из-за длительного и сильного зимнего охлаждения вода в озере и летом очень холодная; она прогревается только в тонком верхнем слое и в прибрежной полосе. Температурный режим различается в центральной глубоководной части озера и на побережье. Температура воды на поверхности в августе до 24 °С на юге, 18—20 °С в центре, у дна около 4 °С, зимой подо льдом 0—2 °С. Вода пресная и чистая (кроме участков, загрязнённых промышленными стоками), минеральные вещества и соли растворены в ничтожно малом количестве. Вода относится к гидрокарбонатному классу (малое содержание солей кальция и магния, чуть больше никеля, алюминия).

Термический и динамический режимы озера наряду с климатическими особенностями северо-запада России в значительной степени определяется морфометрическими характеристиками его котловины. Действительно, характерные горизонтальные и вертикальные масштабы чаши озера определяют воздействие ветра на водную толщу (разгон и параметры волнения, степень перемешивания, горизонтальные и вертикальные скорости течения), площадь определяет интенсивность обмена массой и энергией с атмосферой, средняя глубина и объем – степень инерционности проникновения тепла вглубь и теплонакопления водной массой.

Примерно 85 % (3820 мм) приходной части водного баланса даёт приток речных вод, 13 % (610 мм) — атмосферные осадки и 2 % (90 мм) — приток подземных вод. Около 92 % (4170 мм) расходной части баланса идёт на сток Невы, 8 % (350 мм) — на испарение с водной поверхности. Уровень воды в озере не постоянен. Его колебания хорошо заметны по более светлой полосе на поверхности уходящих в воду скал. На Ладожском озере около 660 островов (площадью более 1 га) общей площадью 435 км². Из них около 500 сосредоточено в северной части озера, в так называемом шхерном районе, а также в составе Валаамского (ок. 50 островов, включая острова Байевые), Западного архипелагов и группы островов Мантсинсаари (ок. 40 островов). Самые крупные острова — Риеккалансари (55,3 км²), Мантсинсаари (39,4 км²), Кильпола (32,1 км²), Тулолансари (30,3 км²) и Валаам (27,8 км²). Наиболее известны на Ладожском озере Валаамские острова — архипелаг из примерно 50 островов площадью порядка 36 км², благодаря расположению на главном острове архипелага Валаамского монастыря. Также известен остров Коневец, на котором также расположен монастырь.

Особую важность приобретает знание точных значений морфометрических характеристик для составления водного, теплового и химического баланса Ладожского озера. От формы и размеров озерной впадины зависят сроки начала ледостава и льдоразрушения.

Климат

Климат над Ладожским озером умеренный, переходный от умеренно-континентального к умеренно-морскому. Такой тип климата объясняется географическим положением и атмосферной циркуляцией характерной для Ленинградской области. Это обуславливается сравнительно небольшим количеством поступающего на земную поверхность и в атмосферу солнечного тепла. Из-за небольшого количества солнечного тепла влага испаряется медленно. За год бывает в среднем 62 солнечных дня. Поэтому на протяжении большей части года преобладают дни с облачной, пасмурной погодой, рассеянным освещением. Продолжительность дня меняется от 5 часов 51 минуты в зимнее солнцестояние до 18 часов 50 минут в летнее солнцестояние.

Над озером наблюдаются так называемые «белые ночи», наступающие 25—26 мая, когда солнце опускается за горизонт не более чем на 9°, и вечерние сумерки практически сливаются с утренними. Заканчиваются белые ночи 16—17 июля. В общей сложности продолжительность белых ночей более 50 дней.

Амплитуда среднемесячных сумм прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе от 25 МДж/м² в декабре до 686 МДж/м² в июне. Облачность уменьшает в среднем за год приход суммарной солнечной радиации на 21 %, а прямой солнечной радиации — на 60 %. Среднегодовая суммарная радиация 3156 МДж/м². Число часов солнечного сияния — 1628 в год.

Заметное влияние на климатические условия оказывает само озеро. Это характеризуется сглаживанием экстремальных значений климатических характеристик, вследствие чего континентальные воздушные массы, проходя над поверхностью озера, приобретают характер морских воздушных масс. Средняя температура воздуха в районе Ладожского озера +3,2 °С. Средняя температура самого холодного месяца (февраля) - 8,8 °С, самого тёплого (июля) +16,3 °С.

Ветер

В течение года в большей части Ладожского озера преобладают юго-западные, южные и юго-восточные ветры. Средняя месячная скорость ветра преобладающего направления 6-9 м/сек. на озерных станциях и 4-8 м/сек. на береговых.

В южных и центральных районах Ладоги бывает до 30-60 дней в году с ветрами, скорость которых превышает 15 м/сек.; эти сильные ветры возникают чаще всего зимой. Самые большие скорости ветра за период 1947-1958 гг. достигали 34 м/сек. в районе Валаама и 24-28 м/сек. в районе южных озерных станций. Это случалось как в осенне-зимнее, так и в летнее время.

Как известно, над большими водоемами атмосферных осадков выпадает меньше, чем на их берегах. Причина в том, что над водой ослаблена интенсивность восходящих токов воздуха, так как воздух над водой меньше

прогревается; кроме того, над водоемами возникают иногда температурные инверсии.

Осадки

Определение количества атмосферных осадков над большими озерами затруднено тем, что посреди озера метеорологических станций немного, а береговые в этом отношении не очень показательны. Поэтому определению количества атмосферных осадков над Ладожским озером было посвящено специальное и весьма тщательное исследование, выполненное Е. А. Поповым (1966). Он впервые подсчитал отдельно жидкие и отдельно твердые осадки.

На Ладожском озере и его берегах осадки выпадают часто: число дней с осадками в году достигает 200. Осенью и зимой (ноябрь-февраль) осадки бывают чаще, весной и летом (апрель-июнь) реже.

В конце ноября или в первой половине декабря образуется устойчивый снежный покров. Он лежит до первой-второй декады апреля, т.е., 133-157 дней в году. Наибольшей высоты (толщины) покров достигает в феврале-марте. За зиму на озере насчитывается до 60-70 дней с метелями. Весной и осенью нередки туманы.

Средняя многолетняя сумма жидких осадков на Ладожском озере оказалась 380 мм в год, твердых – 226 мм, а всего 606мм, что на 20% превышает подсчеты прежних авторов.

В центральной части Ладожского озера выпадает при этом 500 мм, на южном и юго-восточном берегах 632-637мм, на северном и восточном 540-565мм и на западном 572мм.

Степень увлажнения территории определяется не только количеством атмосферных осадков, ибо они составляют лишь приходную статью увлажнения. Расходной статьей удобно считать (особенно в отношении озерного водоема) испаряемость, т. е. потенциальное испарение, или практически испарение с водной поверхности.

Н. Н. Иванов (1948, стр.180-181) по предложенной им формуле подсчитал, что в пунктах, ближайших к Ладожскому озеру, испаряемость составляет от 400 до 425мм в год. Это во всех случаях меньше количества

атмосферных осадков (500-637мм), и, стало быть, степень увлажнения района озера достаточно высокая: он получает больше атмосферной влаги, чем может испариться в типичной для него климатической обстановке.

Почвенный покров

На территории водосборного бассейна Ладожского озера распространены следующие элементарные процессы почвообразования: оподзоливание, гумусонакопление, глееобразование, торфонакопление. Процесс оподзоливания развивается в почвах автоморфного местоположения в условиях промывного типа водного режима под хвойными и мелколиственно-хвойными лесами. При разложении растительного опада, бедного зольными элементами и поступающего преимущественно на поверхность почвы, образуются агрессивные органические кислоты. Под их воздействием идет интенсивное кислотное выветривание материнской породы и вынос с нисходящим током влаги продуктов распада минералов в нижние горизонты. Главную роль в разложении первичных и вторичных минералов играют фульвокислоты. По мере вертикальной фильтрации, фульвокислоты насыщаются ионами железа, алюминия и других зольных элементов, их комплексные соединения с этими элементами теряют миграционную способность, выпадают в осадок, формируя на некоторой глубине (30–60 см) иллювиальный горизонт. Непосредственно под подстилкой образуется подзолистый горизонт, состоящий из кварца. На песчаных материнских породах формируются иллювиально-железистые подзолы, по мере увеличения влажности местности — иллювиально-гумусо-железистые подзолы и иллювиально-гумусовые подзолы. На суглинистых и глинистых материнских породах — подзолы и подзолистые почвы без выраженного иллювиально-гумусового горизонта.

2 Характеристика исходных данных и методы статистической обработки информации

Цифровая модель водосбора и подводного рельефа Ладожского озера была создана несколько лет назад на основе крупномасштабных карт. В качестве основной программы создания модели рельефа и его анализа была использована программа SURFER. К настоящему времени количество базовых точек с глубинами озера, используемых для построения модели Ладожского озера по сравнению с предыдущей версией, было увеличено на 24.4%. Среднее расстояние между ближайшими точками составляет 882 метра. Степень насыщенности, площадь, на которую приходится не менее одной точки, составляет 0.5 км^2 , а пространственное разрешение стало более детальным (шаг сетки $0.5 \times 0.5 \text{ км}$). В качестве основного метода интерполирования глубин морфометрической модели озера выбран метод кригинга. Было проведено нахождение оптимального шага эквидистантной сетки и радиуса интерполирования – максимального горизонтального расстояния, на котором учитываются базовые точки. Для шага интерполирования были выбраны 0.2, 0.5, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0 и 2.15 км (предложено программой), для радиуса интерполирования – 2, 5, 8, 10, 15, 20 и 174 км (предложено программой). 49 вычислений площади, объёма и ошибок интерполирования с различными сочетаниями параметров, включая и те, которые программа предложила по умолчанию, позволили найти их оптимальные величины.

Оптимальными параметрами были приняты параметры, при которых площадь акватории озера соответствует площади, определённой картографическими методами, с минимальной средней ошибкой интерполирования (в нашем случае 0.05 м) и наименьшей остаточной дисперсией. Таким образом, для используемого в построении морфометрической модели количества базовых точек (9855) оптимальными параметрами интерполирования были приняты: шаг – 0.5 км, радиус интерполирования – 8 км. Общее количество точек эквидистантной сетки,

используемых для вычисления морфометрических характеристик, составило 70 190. Измерения проводились при 5,1 м уровня Балтийской системы.

Исходные данные (замеры проводились эхолотом, измерения проводились через 1 метр):

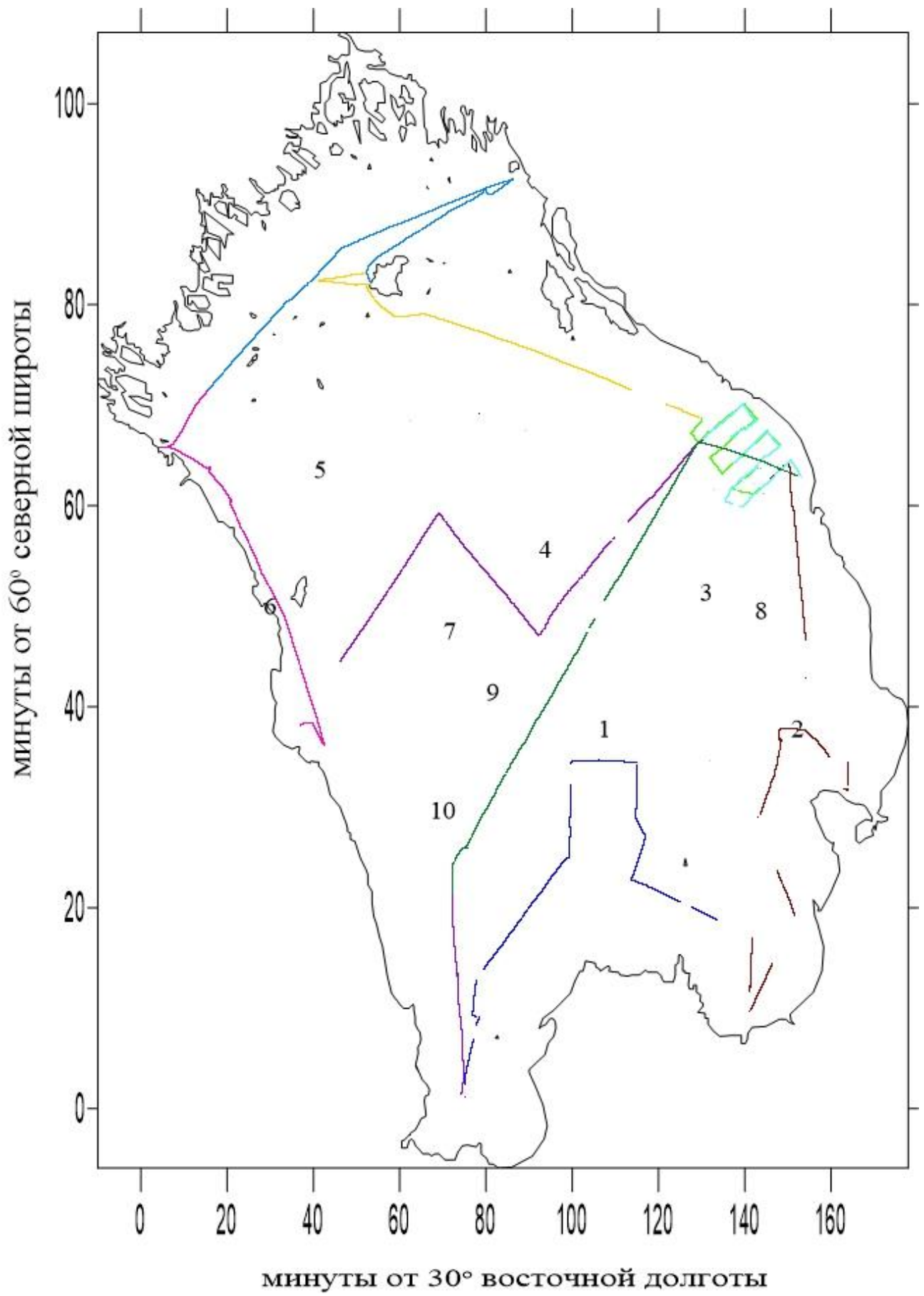


Рисунок 3 - Измерение глубин эхолотом

Исходные данные, полученные эхолотом

1 разрез:	2 разрез:	3 разрез:	4 разрез:	5 разрез:
19 882 замера (126 км)	20 987 замеров (162 км)	24 683 замера (76 км)	23 662 замера (100 км)	22 578 замеров (114 км)
сделаны 24 и 25 мая 2010 г.	сделаны 25 и 26 мая 2010 г.	сделаны 26 и 27 мая 2010 г.	сделаны 27 и 28 мая 2010 г.	сделаны 29 мая 2010 г.
6 разрез:	7 разрез:	8 разрез:	9 разрез:	10 разрез:
20 116 замеров (94 км)	22 277 замеров (115 км)	20 540 замеров (88 км)	24 157 замеров (122 км)	5 101 замер (37 км)
сделаны 29 мая 2010 г.	сделаны 30 мая 2010 г.	сделаны 30 и 31 мая 2010 г.	сделаны 31 мая 2010 г.	сделаны 31 мая 2010 г.

Общее количество замеров составило 203 983. Замеры проводились при 5,5 м уровня Балтийской системы. Разница между моделью и замерами 0,4 м.

Для обработки полученной информации использовались программы SURFER и GRAPHER.

3 Анализ полученных данных

По полученным данным строим совмещенные графики:

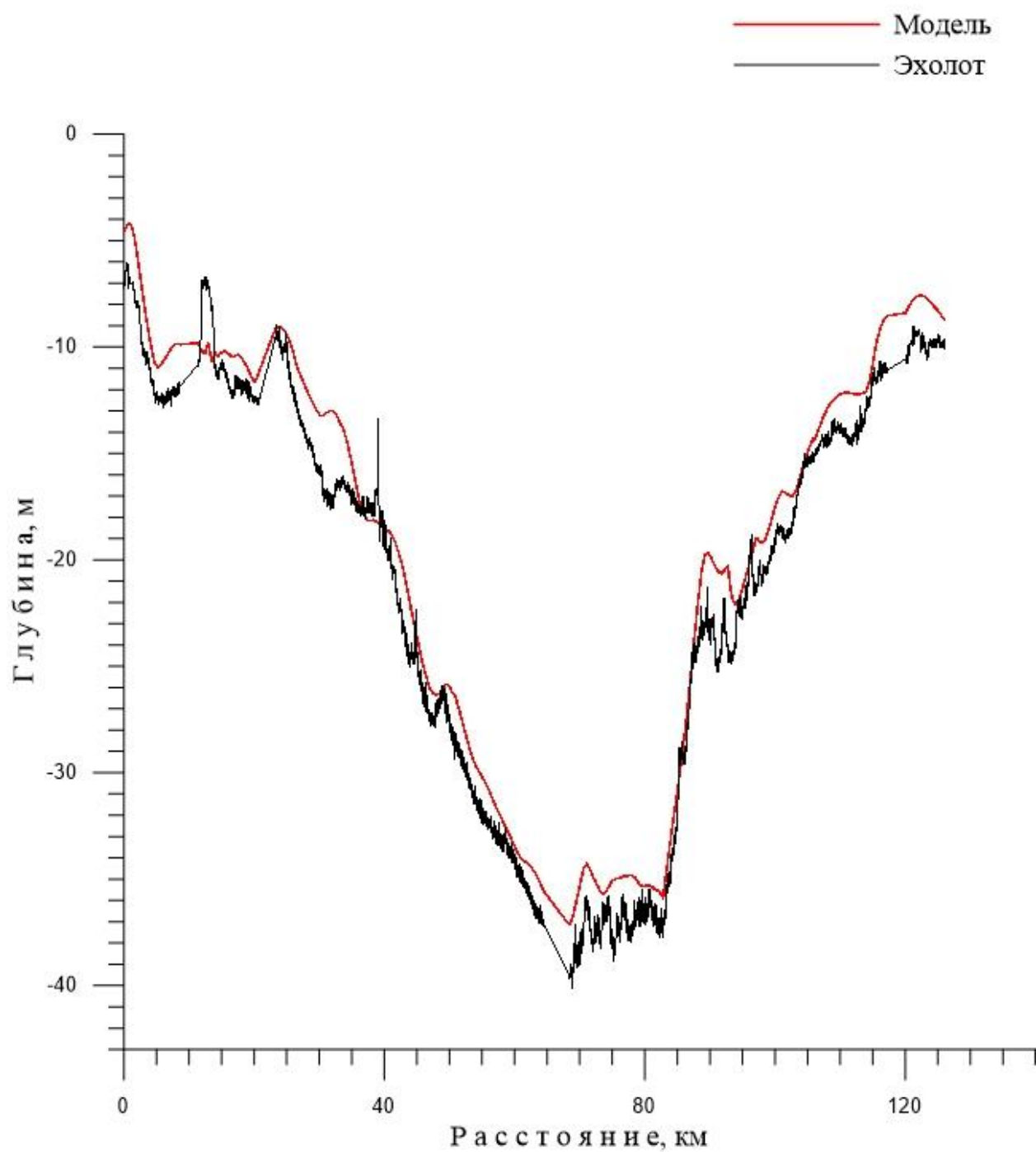


Рисунок 4 - Распределение глубин на разрезе 1

При помощи программы GRAPHER были получены следующие статистические характеристики данного разреза:

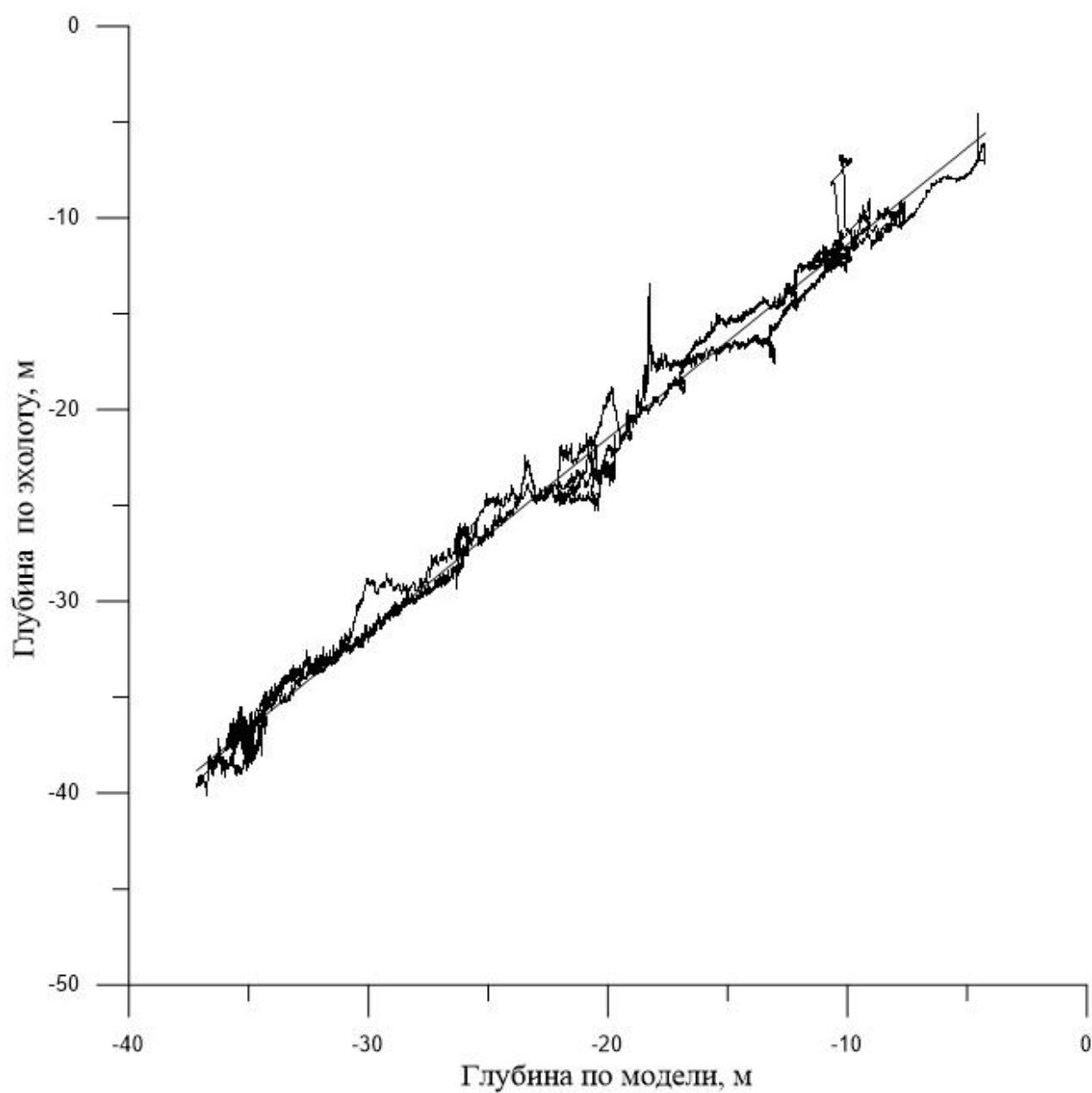


Рисунок 5 – Связь измерений, сделанных эхолотом и полученным по модели
1 разреза

Разрез 1 , длина 126 км

Модель		Эхолот	
Количество измерений	19177	Количество измерений	19177
Минимум	-37,16597736	Минимум	-40,1934688
Максимум	-4,230615923	Максимум	-4,568575519
Амплитуда	32,93536144	Амплитуда	35,62489328
Среднее значение, м	-20,29875664	Среднее значение, м	-21,78474155
Медиана, м	-18,53344251	Медиана, м	-19,5658243
Первая квантиль	-29,7506331	Первая квантиль	-31,01411261
Третья квантиль	-12,13495017	Третья квантиль	-13,610032
Дисперсия, м ²	92,61720002	Дисперсия, м ²	95,8529662
СКО	9,623783041	СКО	9,790452809

Fit 1: Linear
Equation $Y = 1.009645949 * X - 1.290184137$
Number of data points used = 19177
Average X = -20.2988
Average Y = -21.7847
Residual sum of squares = 27620.9
Regression sum of squares = 1.81046E+006
Коэффициент детерминации = 0.984973
Residual mean square, $\sigma\text{-hat-sq'd} = 1.44046$

Коэффициент детерминации в данном разрезе равен $0,984973 > 0,7$ [41] , значит, зависимость является надежной.

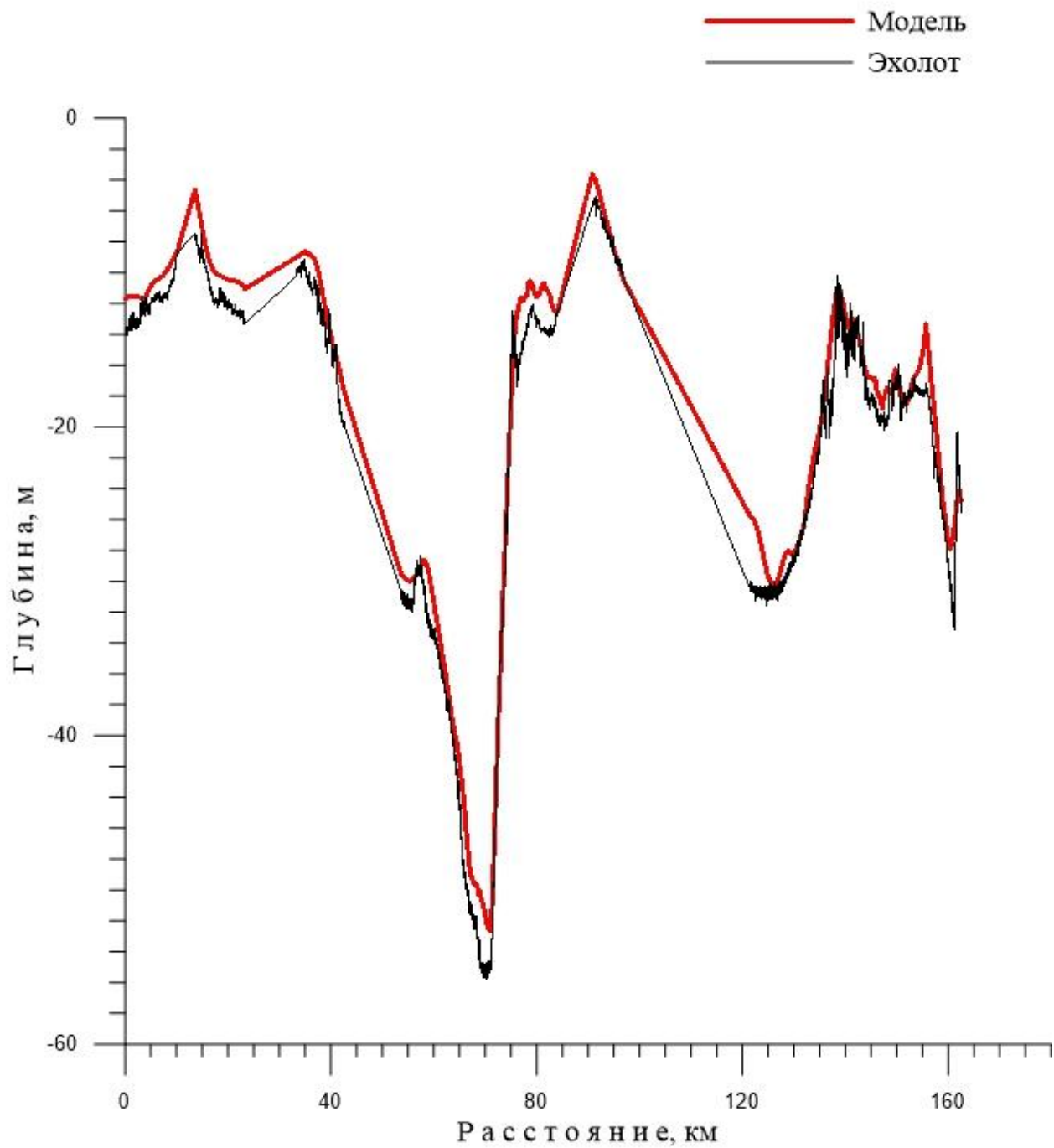


Рисунок 6 – Распределение глубин на разрезе 2

При помощи программы GRAPHER были получены следующие статистические характеристики данного разреза:

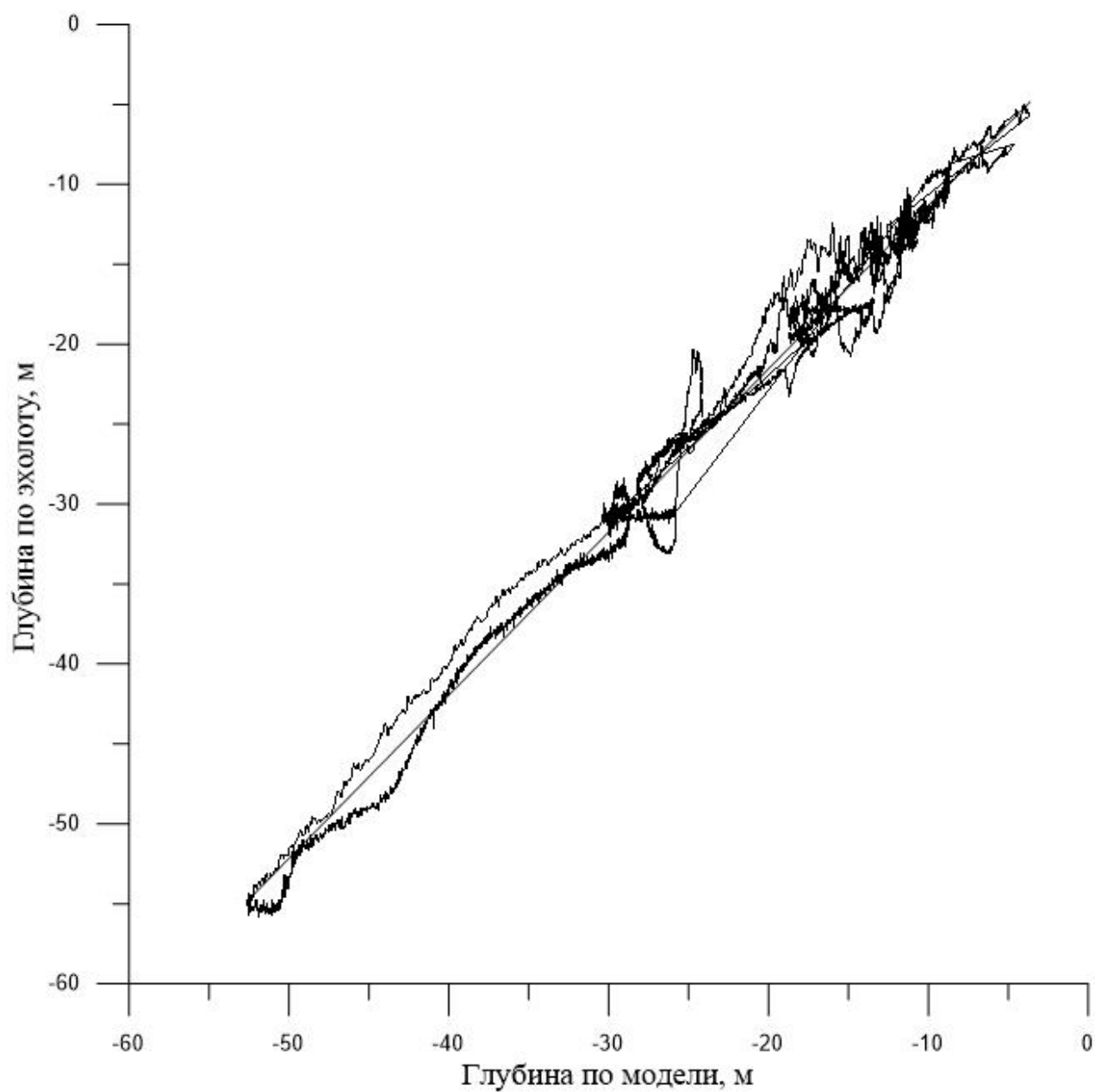


Рисунок 7 – Связь измерений, сделанных эхолотом и полученным по модели
2 разреза

Разрез 2, длина 162 км

Модель		Эхолот	
Количество измерений	19475	Количество измерений	19475
Минимум	-52,65869752	Минимум	-55,8736
Максимум	-3,637717596	Максимум	-5,026863695
Амплитуда	49,02097992	Амплитуда	50,8467363
Среднее значение, м	-21,72405339	Среднее значение, м	-23,29862493
Медиана, м	-17,85468343	Медиана, м	-19,200064
Первая квантиль	-28,98461664	Первая квантиль	-30,70931261
Третья квантиль	-11,56453364	Третья квантиль	-13,3661923
Дисперсия, м ²	145,495795	Дисперсия, м ²	153,3130217
СКО	12,06216378	СКО	12,38196356

Fit 1: Linear
Equation $Y = 1.020847319 * X - 1.12168328$
Number of data points used = 19475
Average X = -21.7241
Average Y = -23.2986
Residual sum of squares = 32864.3
Regression sum of squares = 2.95275E+006
Коэффициент детерминации = 0.988992
Residual mean square, $\sigma\text{-hat-sq'd} = 1.68769$

Коэффициент детерминации в данном разрезе равен $0,988992 > 0,7$ [41] , значит, зависимости являются надежными.

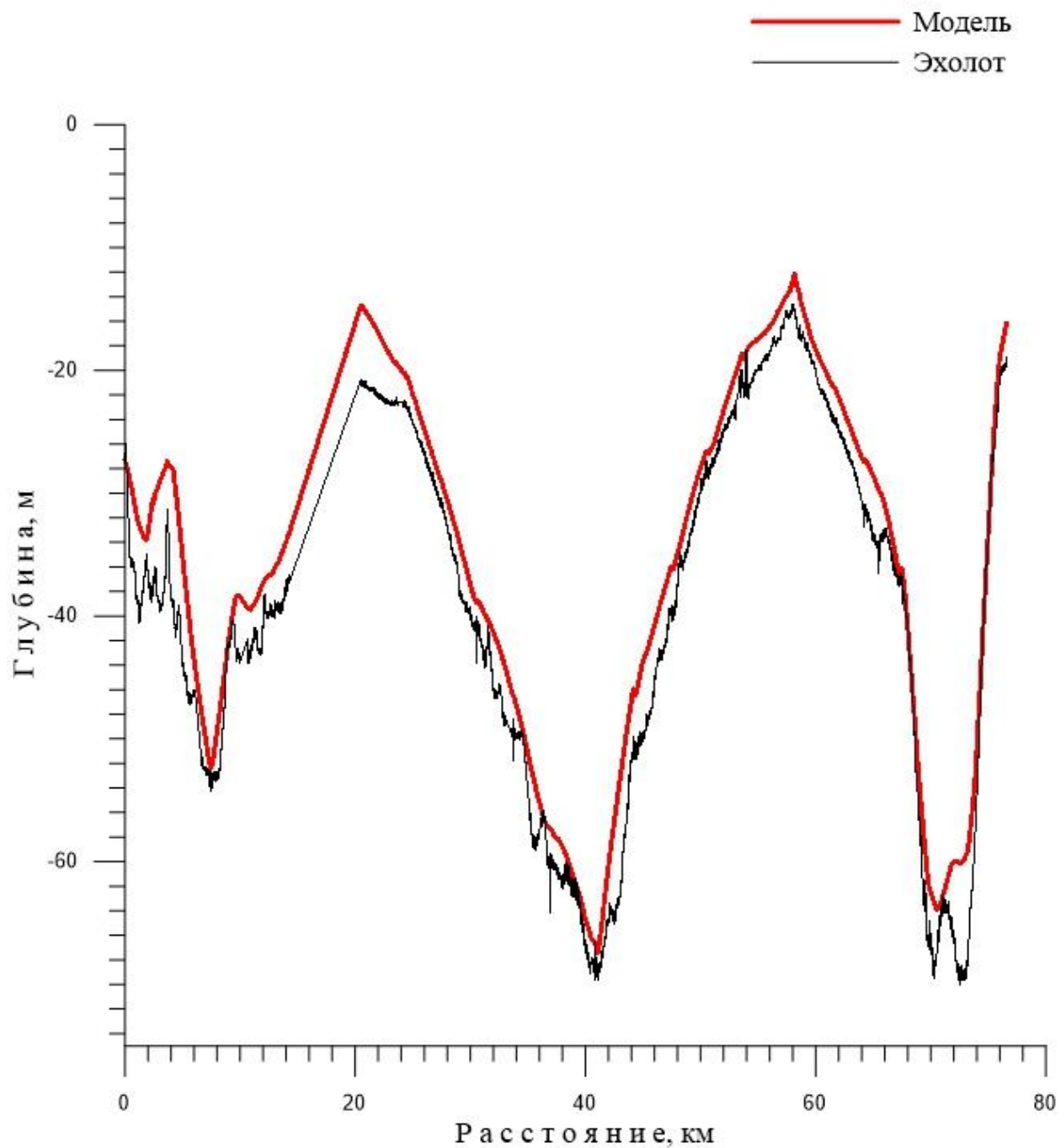


Рисунок 8 - Распределение глубин на разрезе 3

При помощи программы GRAPHER были получены следующие статистические характеристики данного разреза:

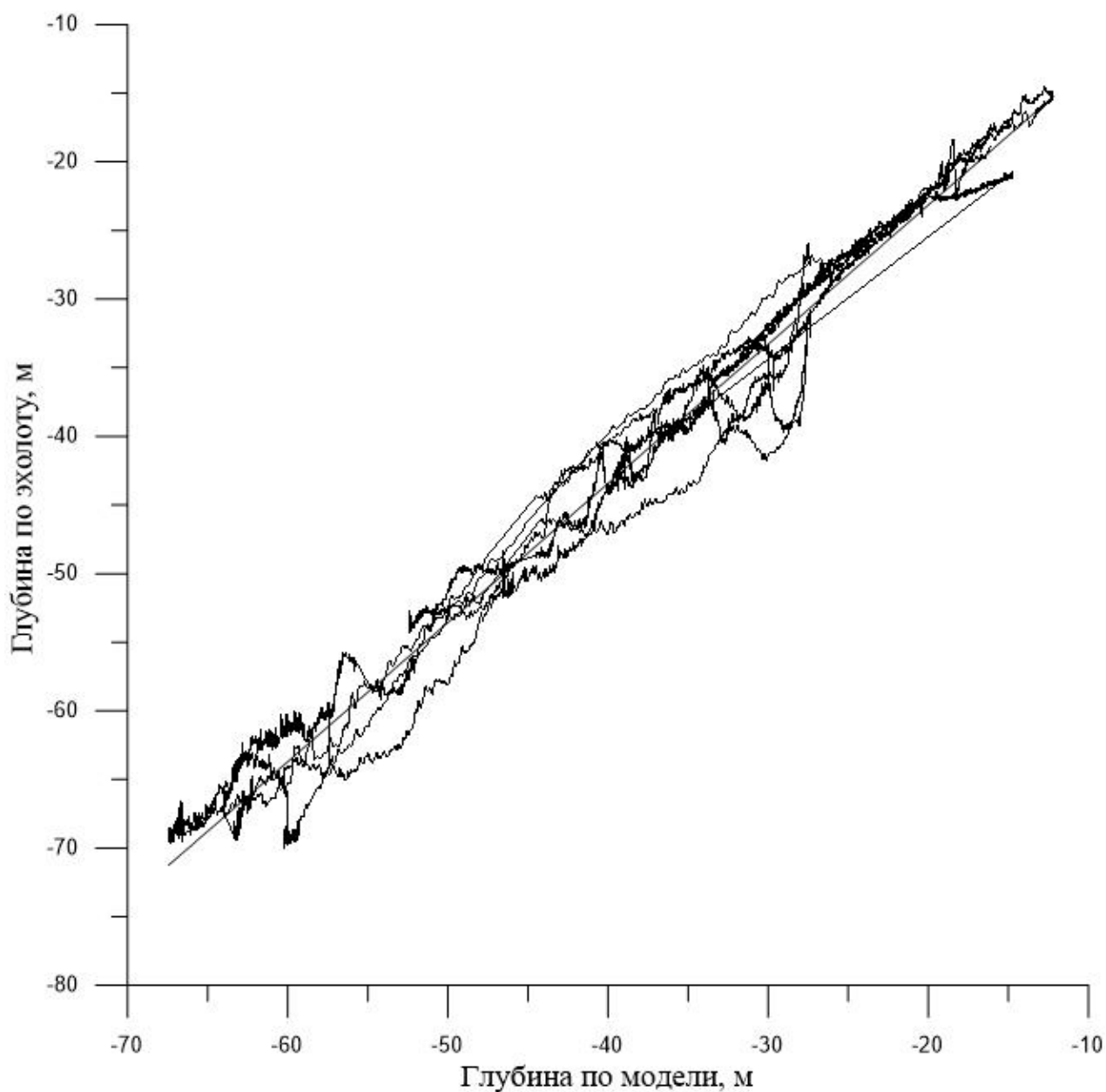


Рисунок 9 – Связь измерений, сделанных эхолотом и полученным по модели
3 разреза

Разрез 3, длина 76 км

Модель		Эхолот	
Количество измерений	19141	Количество измерений	19141
Минимум	-67,44986356	Минимум	-70,09434606
Максимум	-12,18221567	Максимум	-14,524432
Амплитуда	55,26764789	Амплитуда	55,56991406
Среднее значение, м	-37,32222468	Среднее значение, м	-40,71604841
Медиана, м	-36,02562806	Медиана, м	-39,36563322
Первая квантиль	-48,0597416	Первая квантиль	-51,48447726
Третья квантиль	-26,55902294	Третья квантиль	-28,11851261
Дисперсия, м ²	217,6013582	Дисперсия, м ²	227,8635562
СКО	14,75131717	СКО	15,09515009

Fit 1: Linear
Equation $Y = 1.013565951 * X - 2.88751227$
Number of data points used = 19141
Average X = -37.3222
Average Y = -40.716
Residual sum of squares = 82650.6
Regression sum of squares = 4.27866E+006
Коэффициент детерминации = 0.981049
Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 4.31844

Коэффициент детерминации данного разреза равен $0,981049 > 0,7$ [41], значит, зависимости являются надежными.

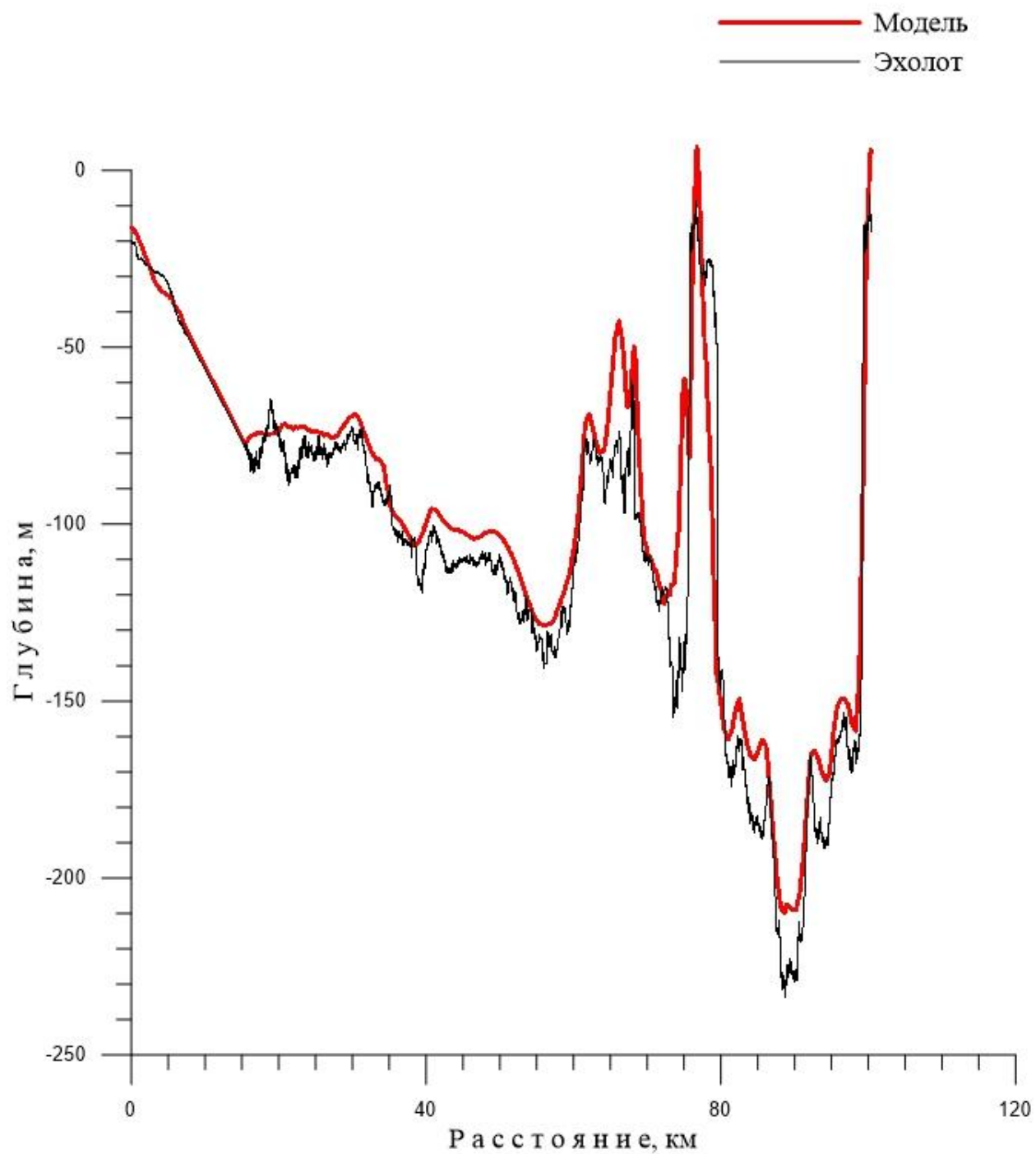


Рисунок 10 – Распределение глубин на разрезе 4

При помощи программы GRAPHER были получены следующие статистические характеристики данного разреза:

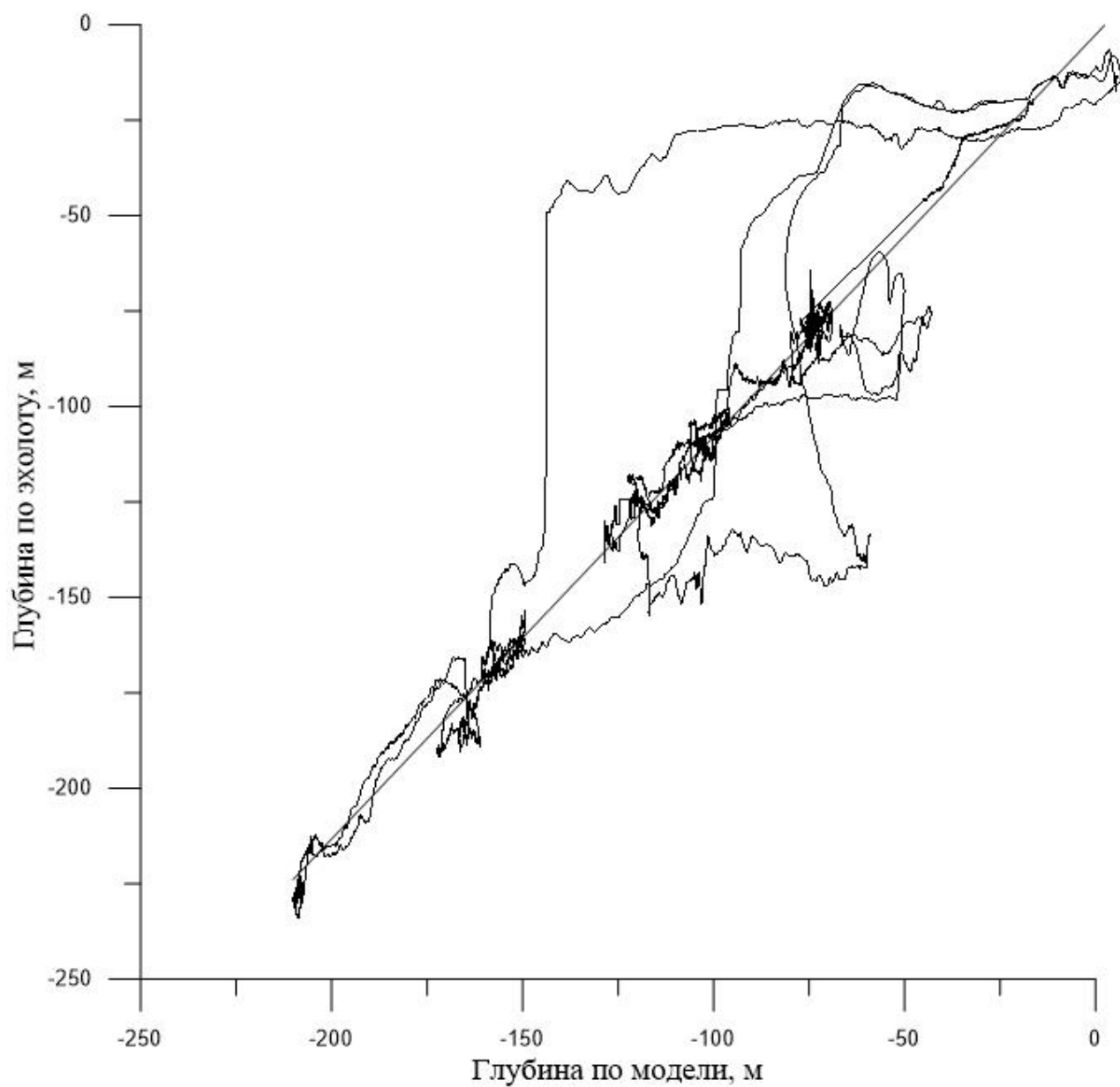


Рисунок 11 – Связь измерений, сделанных эхолотом и полученным по модели
4 разреза

Разрез 4, длина 100 км

Модель		Эхолот	
Количество измерений	21611	Количество измерений	21611
Минимум	-210,0295255	Минимум	-233,9682363
Максимум	6,683822108	Максимум	-6,672784
Амплитуда	216,7133476	Амплитуда	227,2954523
Среднее значение, м	-106,0150854	Среднее значение, м	-114,2809151
Медиана, м	-101,4787684	Медиана, м	-109,0782688
Первая квантиль	-143,7523268	Первая квантиль	-146,5686688
Третья квантиль	-73,2703474	Третья квантиль	-79,0554688
Дисперсия, м ²	2608,667641	Дисперсия, м ²	3109,008793
СКО	51,07511763	СКО	55,75848629

Fit 1: Linear
Equation $Y = 1.052883995 * X - 2.659328552$
Number of data points used = 21611
Average X = -106.015
Average Y = -114.281
Residual sum of squares = 4.69222E+006
Regression sum of squares = 6.24935E+007
Коэффициент детерминации = 0.93016
Residual mean square, $\sigma\text{-hat-sq'd} = 217.142$

Коэффициент детерминации данного разреза равен $0,93016 > 0,7$ [41] , значит, зависимости являются надежными.

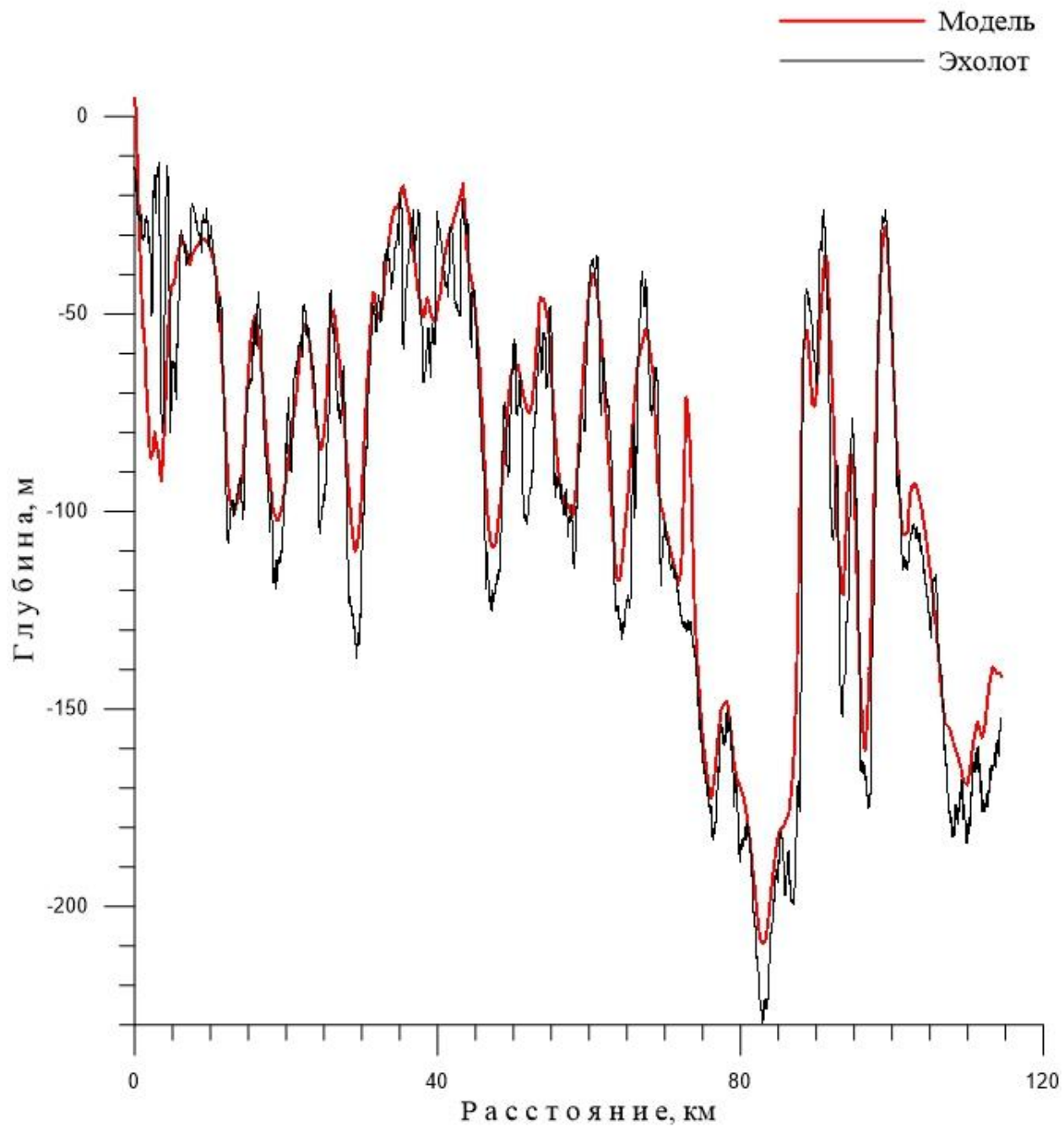


Рисунок 12 – Распределение глубин на разрезе 5

При помощи программы GRAPHER были получены следующие статистические характеристики данного разреза:

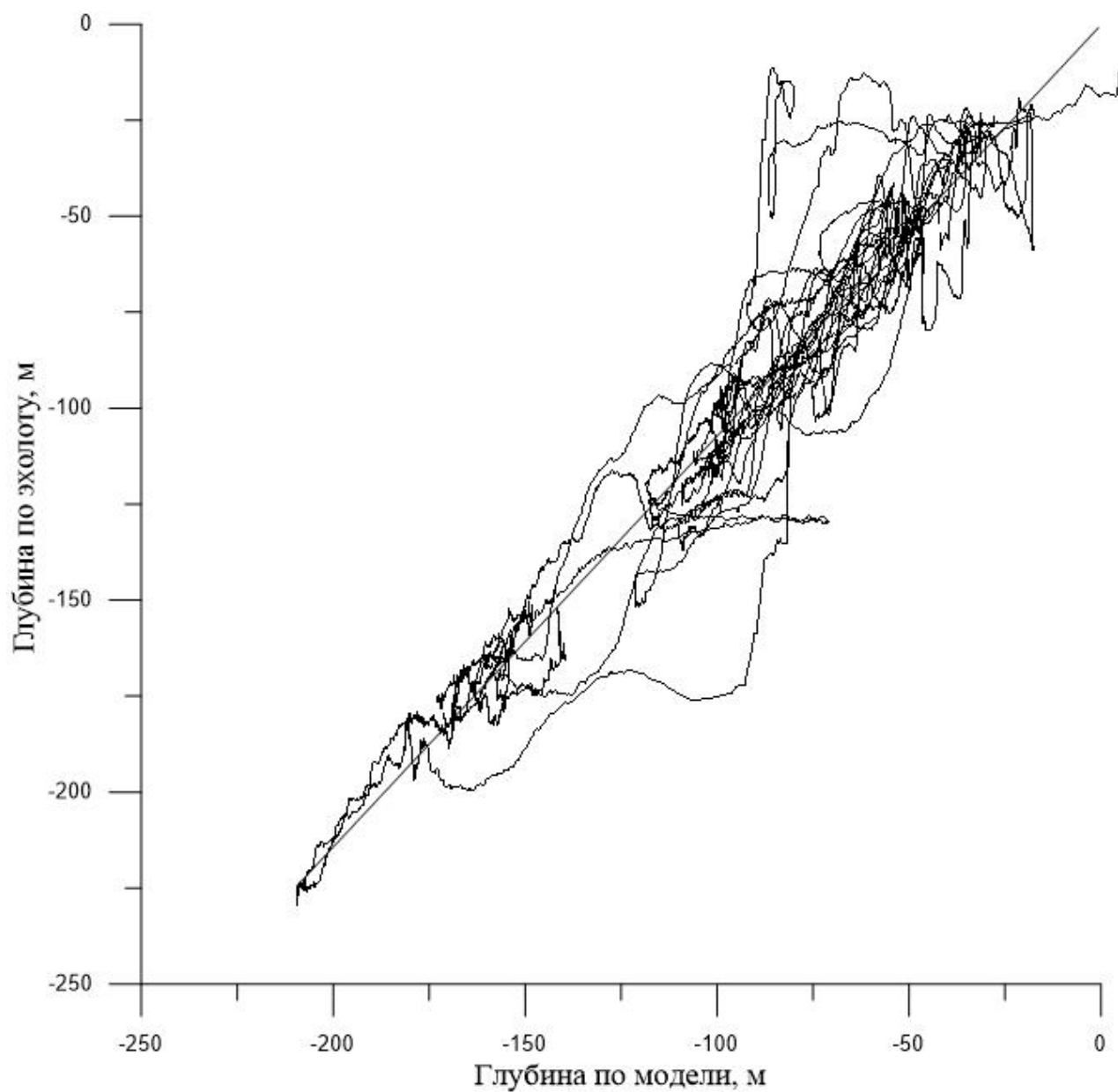


Рисунок 13 – Связь измерений, сделанных эхолотом и полученным по модели
5 разреза

Разрез 5, длина 114 км

Модель		Эхолот	
Количество измерений	22180	Количество измерений	22180
Минимум	-209,4651193	Минимум	-229,5791087
Максимум	4,722706233	Максимум	-11,476432
Амплитуда	214,1878255	Амплитуда	218,1026767
Среднее значение, м	-91,00296919	Среднее значение, м	-97,61247279
Медиана, м	-84,3049617	Медиана, м	-91,73515063
Первая квантиль	-115,9961764	Первая квантиль	-129,8656325
Третья квантиль	-52,95463552	Третья квантиль	-54,38007726
Дисперсия, м ²	2168,723472	Дисперсия, м ²	2699,860741
СКО	46,5695552	СКО	51,96018419

Fit 1: Linear
Equation $Y = 1.070438003 * X - 0.1994361503$
Number of data points used = 22180
Average X = -91.003
Average Y = -97.6125
Residual sum of squares = 4.76529E+006
Regression sum of squares = 5.51149E+007
Коэффициент детерминации = 0.92042
Residual mean square, $\sigma\text{-hat-sq'd} = 214.866$

Коэффициент детерминации данного разреза равен $0,92042 > 0,7$ [41], значит, зависимости являются надежными.

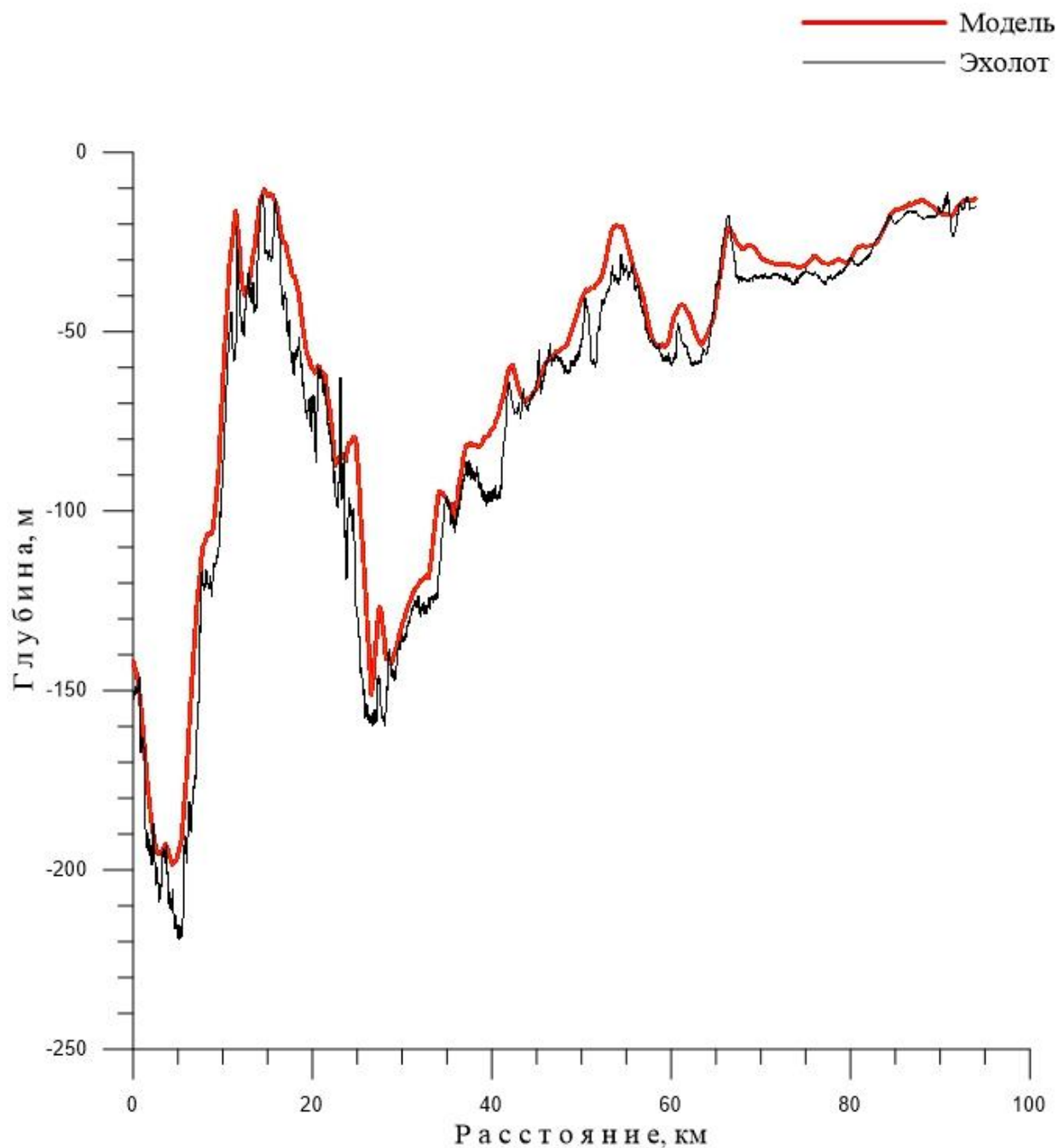


Рисунок 14 – Распределение глубин на разрезе б

При помощи программы GRAPHER были получены следующие статистические характеристики данного разреза:

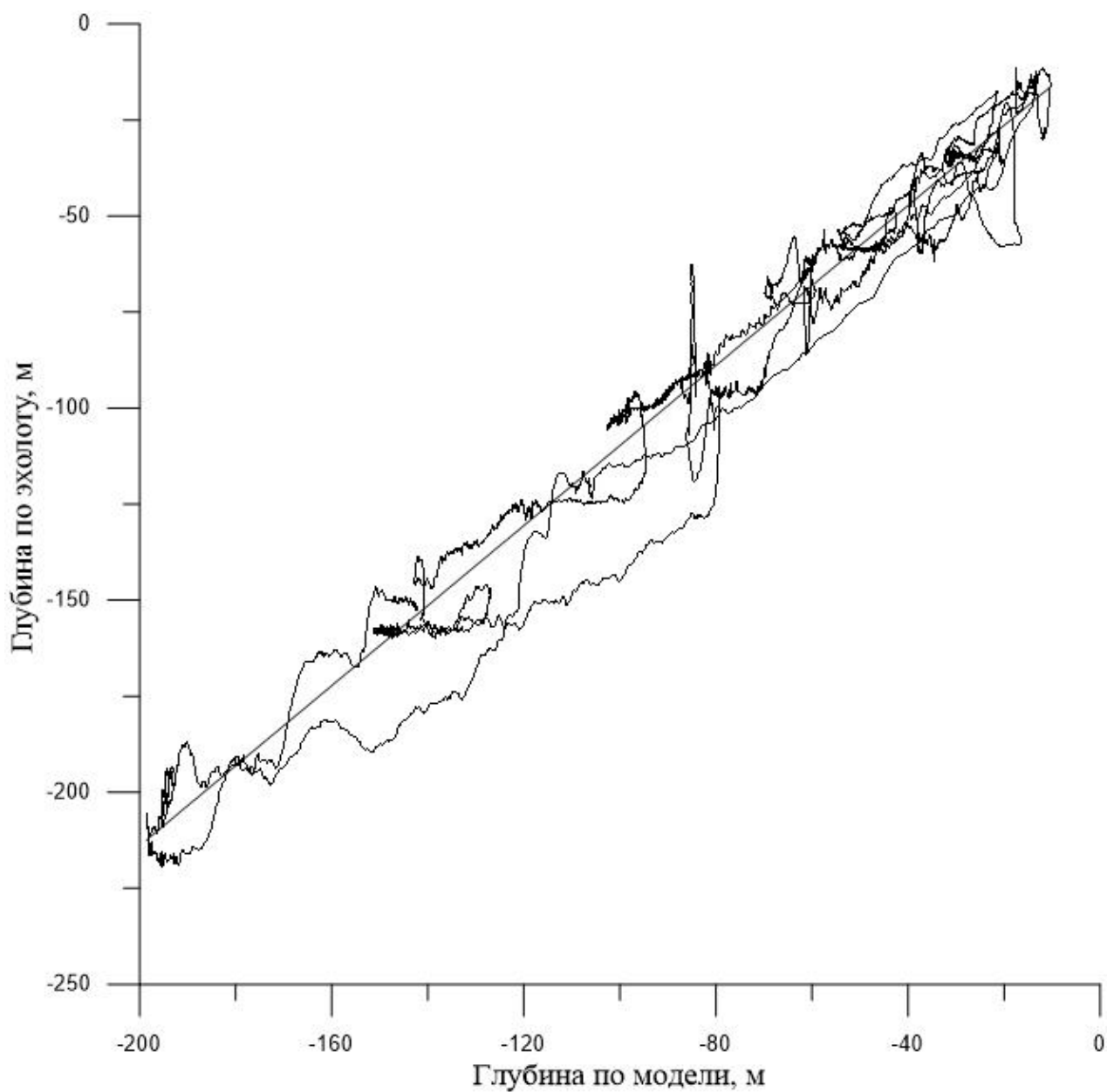


Рисунок 15 – Связь измерений, сделанных эхолотом и полученным по модели
6 разреза

Разрез 6 , длина 94 км

Модель		Эхолот	
Количество измерений	18255	Количество измерений	18255
Минимум	-198,5770814	Минимум	-219,629223
Максимум	-10,36251064	Максимум	-11,2630717
Амплитуда	188,2145708	Амплитуда	208,3661513
Среднее значение, м	-67,8686829	Среднее значение, м	-76,28073216
Медиана, м	-53,60966731	Медиана, м	-58,69482789
Первая квантиль	-98,03249898	Первая квантиль	-103,1346688
Третья квантиль	-30,17725273	Третья квантиль	-35,12891261
Дисперсия, м ²	2227,67554	Дисперсия, м ²	2483,821846
СКО	47,19825781	СКО	49,83795588

Fit 1: Linear
Equation $Y = 1.041721327 * X - 5.580477736$
Number of data points used = 18255
Average X = -67.8687
Average Y = -76.2807
Residual sum of squares = 1.2118E+006
Regression sum of squares = 4.41279E+007
Коэффициент детерминации = 0.973273
Residual mean square, sigma-hat-sq'd = 66.3891

Коэффициент детерминации данного разреза равен $0,973273 > 0,7$ [41] , значит, зависимости являются надежными.

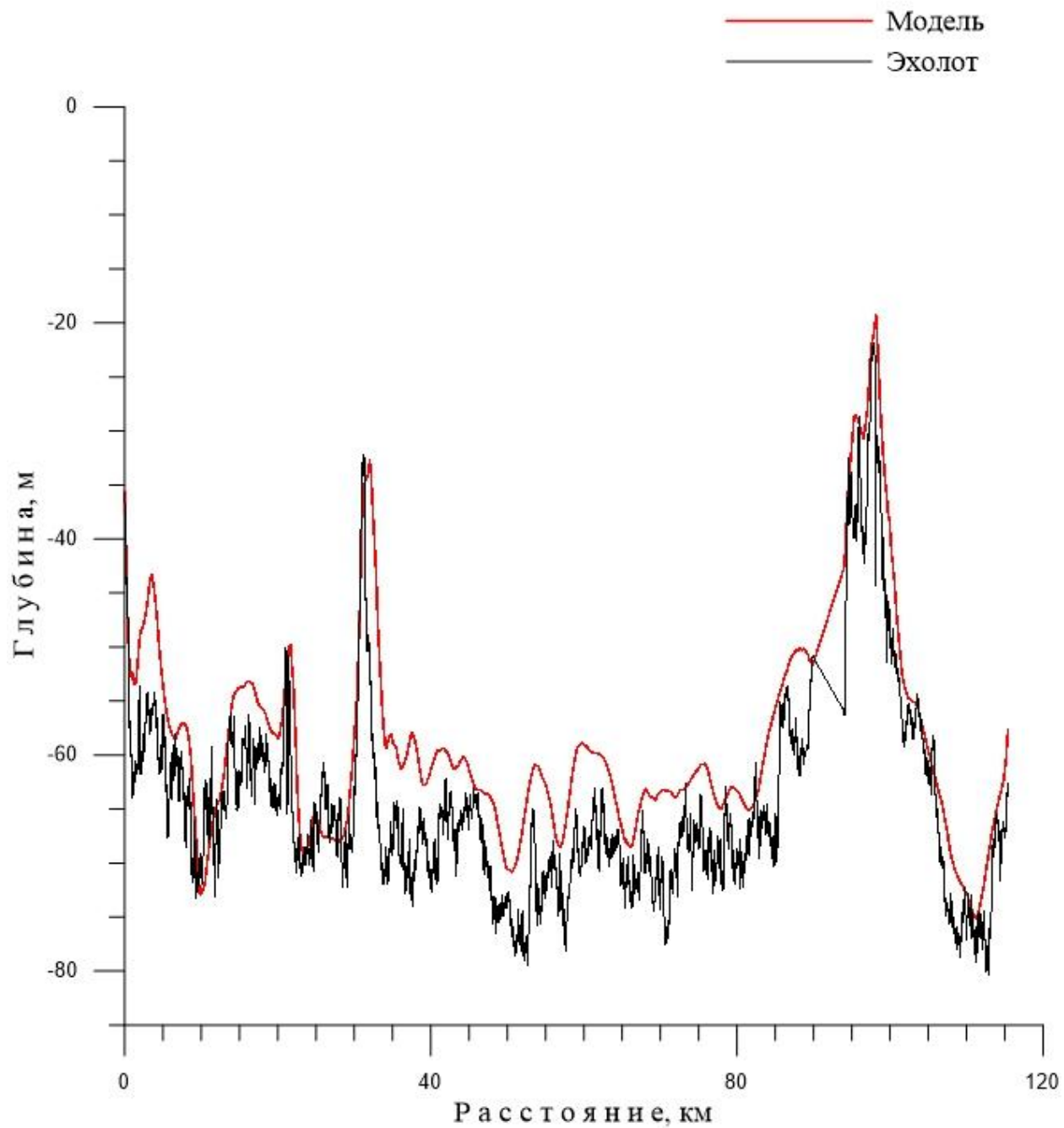


Рисунок 16 – Распределение глубин на разрезе 7

При помощи программы GRAPHER были получены следующие статистические характеристики данного разреза:

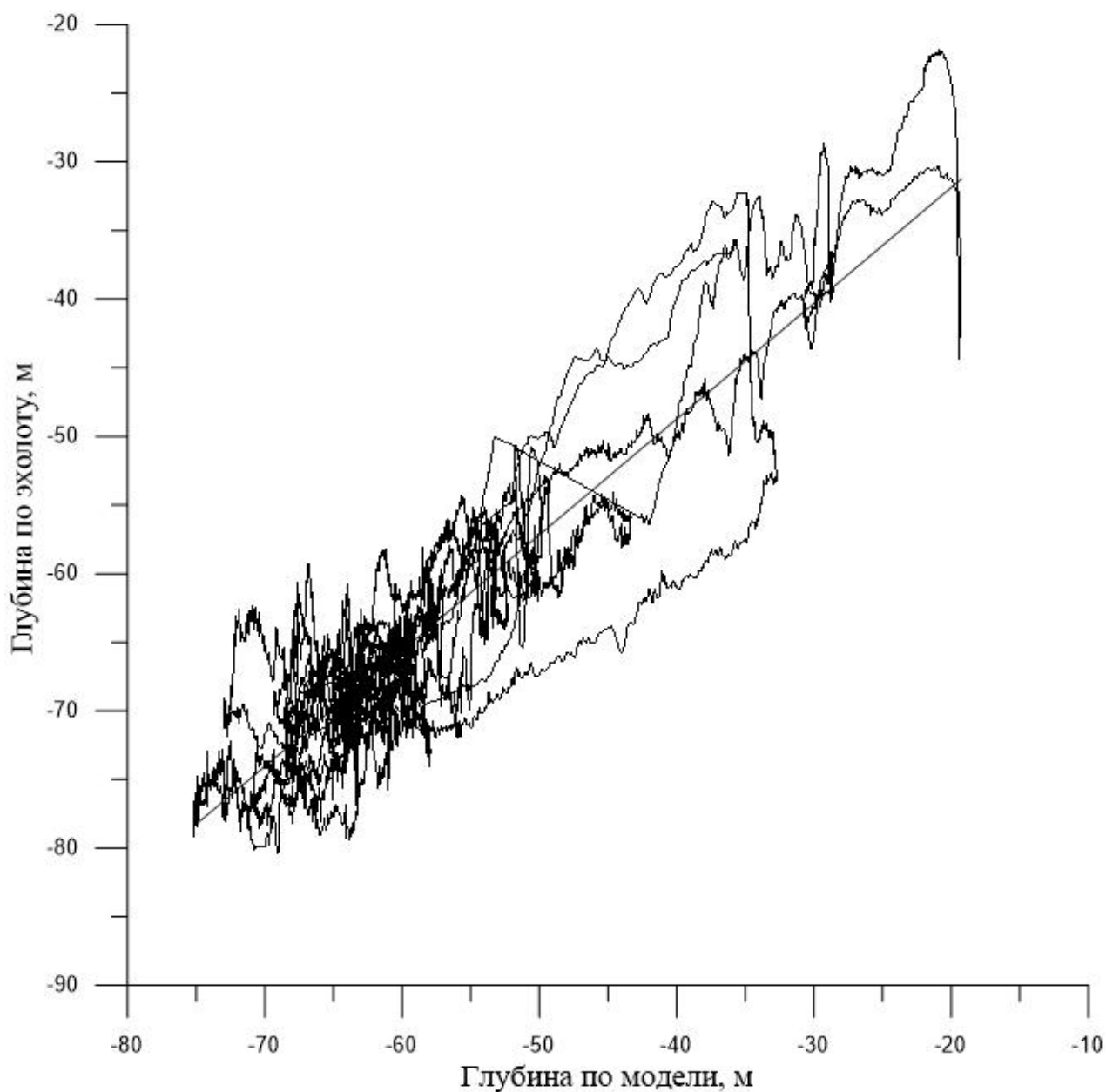


Рисунок 17 – Связь измерений, сделанных эхолотом и полученным по модели
7 разреза

Разрез 7, длина 115 км

Модель		Эхолот	
Количество измерений	21283	Количество измерений	21283
Минимум	-75,12676347	Минимум	-80,33563246
Максимум	-19,25431118	Максимум	-21,84450971
Амплитуда	55,87245229	Амплитуда	58,49112274
Среднее значение, м	-58,8919859	Среднее значение, м	-64,67180265
Медиана, м	-60,99390476	Медиана, м	-66,8634688
Первая квантиль	-64,40436574	Первая квантиль	-70,30770971
Третья квантиль	-55,30069731	Третья квантиль	-61,13322789
Дисперсия, м ²	96,50807098	Дисперсия, м ²	84,44726599
СКО	9,823852146	СКО	9,189519356

Fit 1: Linear
Equation $Y = 0.8432001145 * X - 15.0140734$
Number of data points used = 21283
Average X = -58.892
Average Y = -64.6718
Residual sum of squares = 336923
Regression sum of squares = 1.46028E+006
Коэффициент детерминации = 0.81253
Residual mean square, $\sigma\text{-hat-sq'd} = 15.8321$

Коэффициент детерминации данного разреза равен $0,81253 > 0,7$ [41] , значит, зависимости являются надежными.

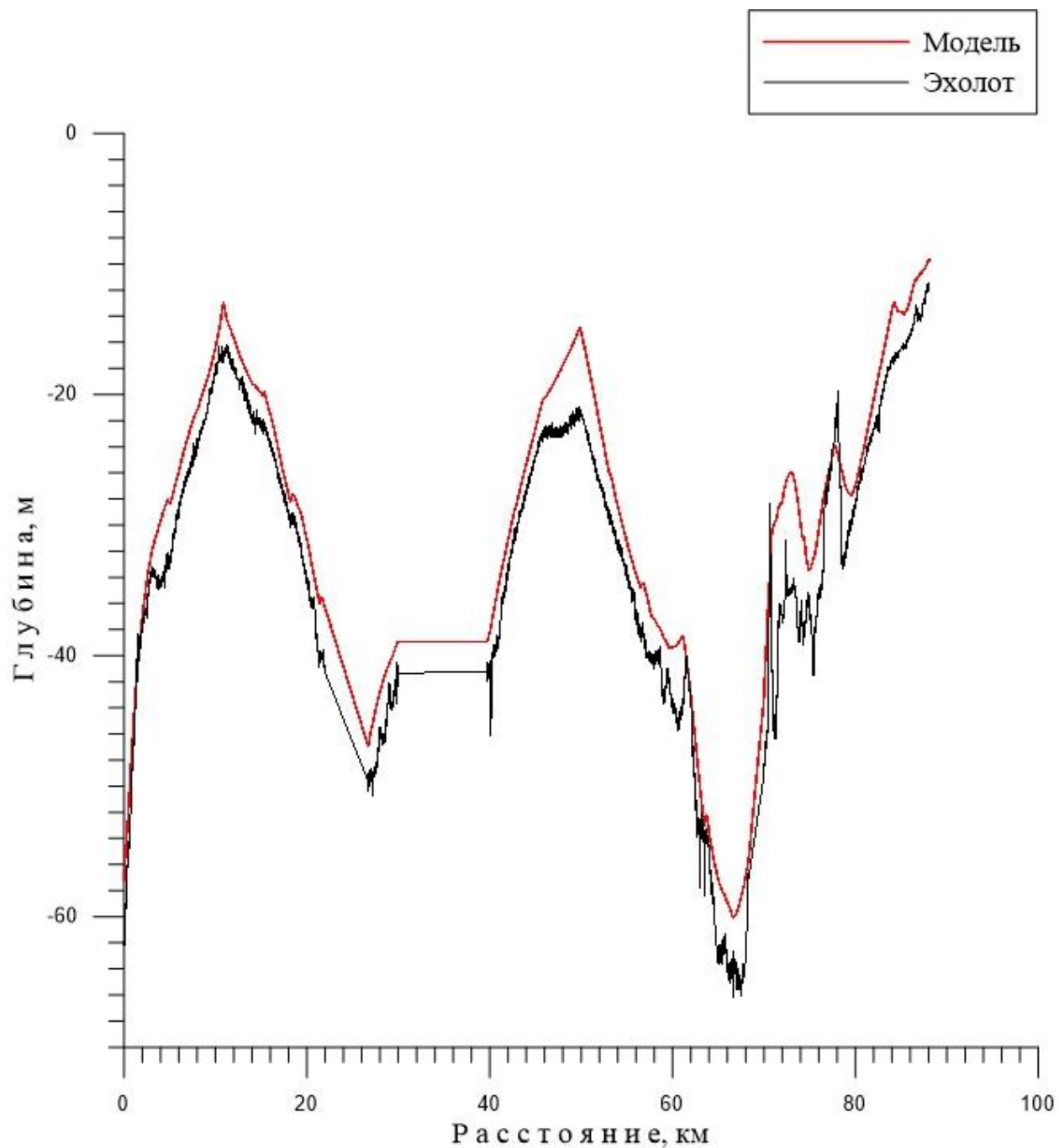


Рисунок 18 - Распределение глубин на разрезе 8

При помощи программы GRAPHER были получены следующие статистические характеристики данного разреза:

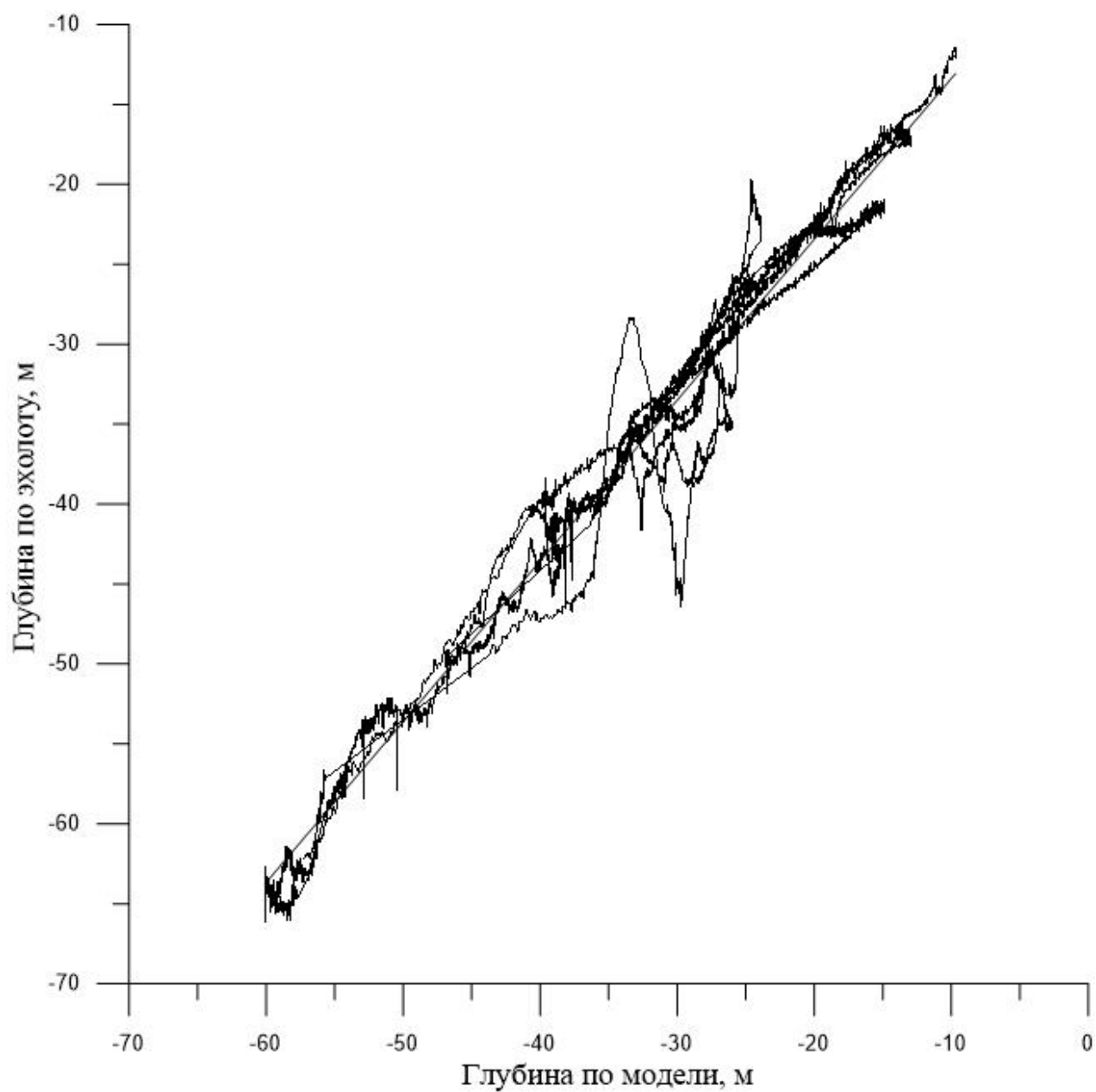


Рисунок 19 – Связь измерений, сделанных эхолотом и полученным по модели
8 разреза

Разрез 8, длина 88 км

Модель		Эхолот	
Количество измерений	15100	Количество измерений	15100
Минимум	-60,10970286	Минимум	-66,19290971
Максимум	-9,698025481	Максимум	-11,44595261
Амплитуда	50,41167738	Амплитуда	54,7469571
Среднее значение, м	-31,59913748	Среднее значение, м	-35,10298895
Медиана, м	-29,62335755	Медиана, м	-34,4278717
Первая квантиль	-39,04824541	Первая квантиль	-42,1576
Третья квантиль	-22,36496226	Третья квантиль	-24,8010688
Дисперсия, м ²	151,9674906	Дисперсия, м ²	158,2861499
СКО	12,32750951	СКО	12,58118237

Fit 1: Linear
Equation $Y = 1.005743446 * X - 3.322363516$
Number of data points used = 15100
Average X = -31.5991
Average Y = -35.103
Residual sum of squares = 68972.4
Regression sum of squares = 2.32099E+006
Коэффициент детерминации = 0.971141
Residual mean square, $\sigma\text{-hat-sq'd} = 4.56831$

Коэффициент детерминации данного разреза равен $0,971141 > 0,7$ [41], значит, зависимости являются надежными.

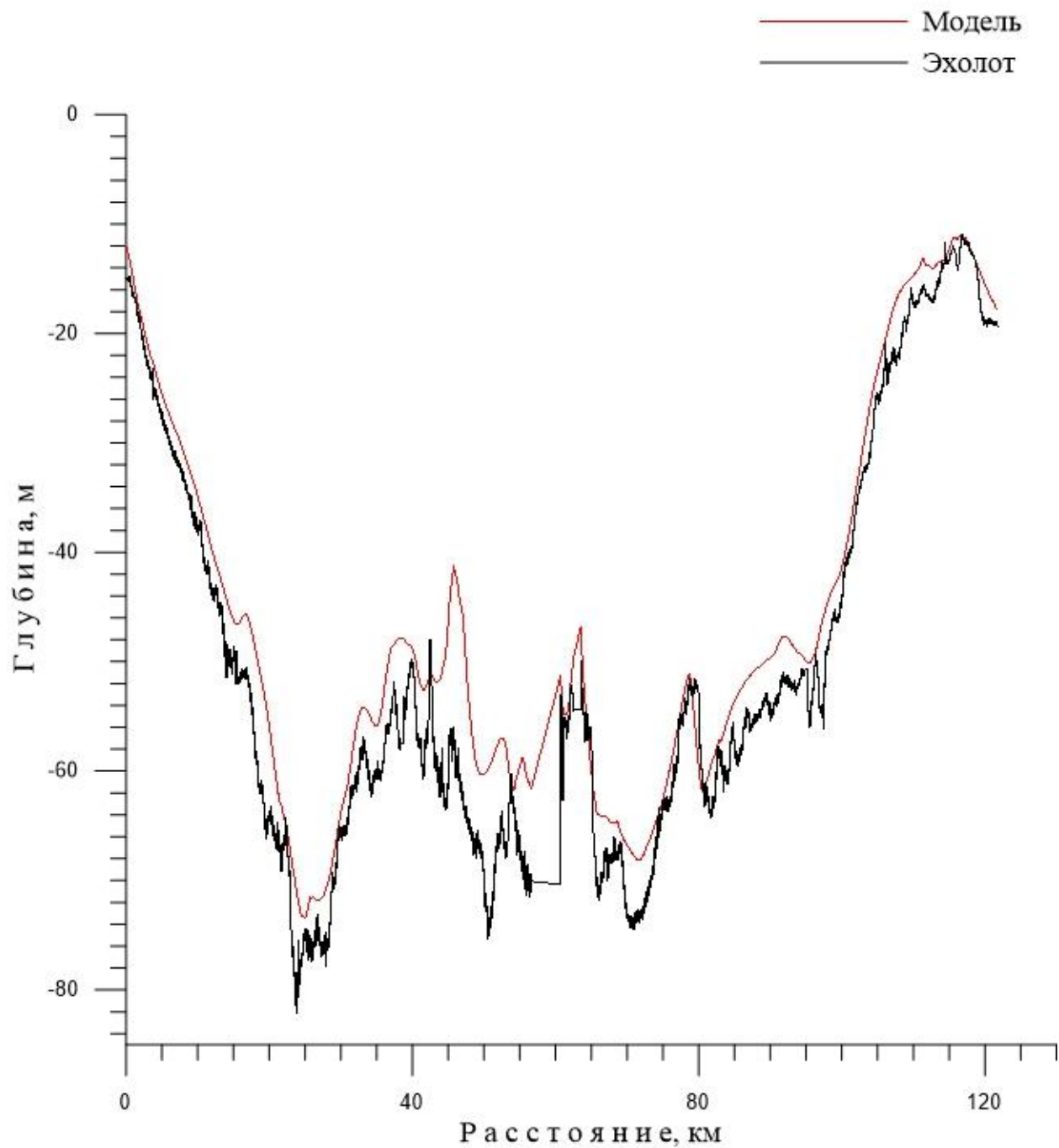


Рисунок 20 – Распределение глубин на разрезе 9

При помощи программы GRAPHER были получены следующие статистические характеристики данного разреза:

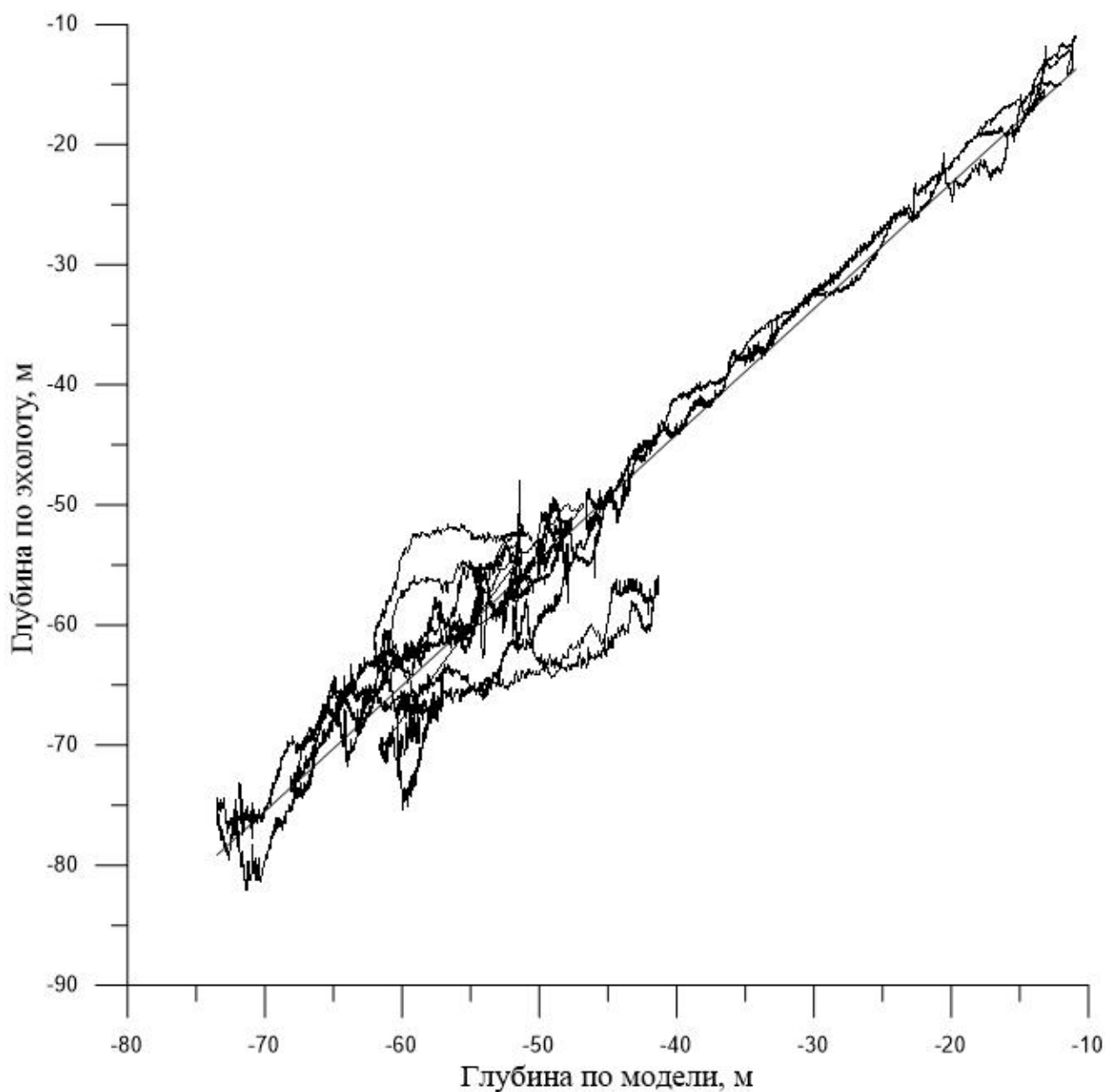


Рисунок 21 – Связь измерений, сделанных эхолотом и полученным по модели
9 разреза

Разрез 9, длина 122 км

Модель		Эхолот	
Количество измерений	22997	Количество измерений	22997
Минимум	-73,47618895	Минимум	-82,16443246
Максимум	-10,92174578	Максимум	-10,8973117
Амплитуда	62,55444317	Амплитуда	71,26712076
Среднее значение, м	-48,31557172	Среднее значение, м	-52,82393426
Медиана, м	-51,37698431	Медиана, м	-56,1784
Первая квантиль	-59,40101009	Первая квантиль	-64,94322789
Третья квантиль	-43,08620774	Третья квантиль	-48,43647726
Дисперсия, м ²	250,2548471	Дисперсия, м ²	285,3015397
СКО	15,81944522	СКО	16,89087149

Fit 1: Linear
Equation $Y = 1.045912531 * X - 2.29007237$
Number of data points used = 22997
Average X = -48.3156
Average Y = -52.8239
Residual sum of squares = 265362
Regression sum of squares = 6.29543E+006
Коэффициент детерминации = 0.959553
Residual mean square, $\sigma\text{-hat-sq'd} = 11.54$

Коэффициент детерминации данного разреза равен $0,959553 > 0,7$ [41], значит, зависимости являются надежными.

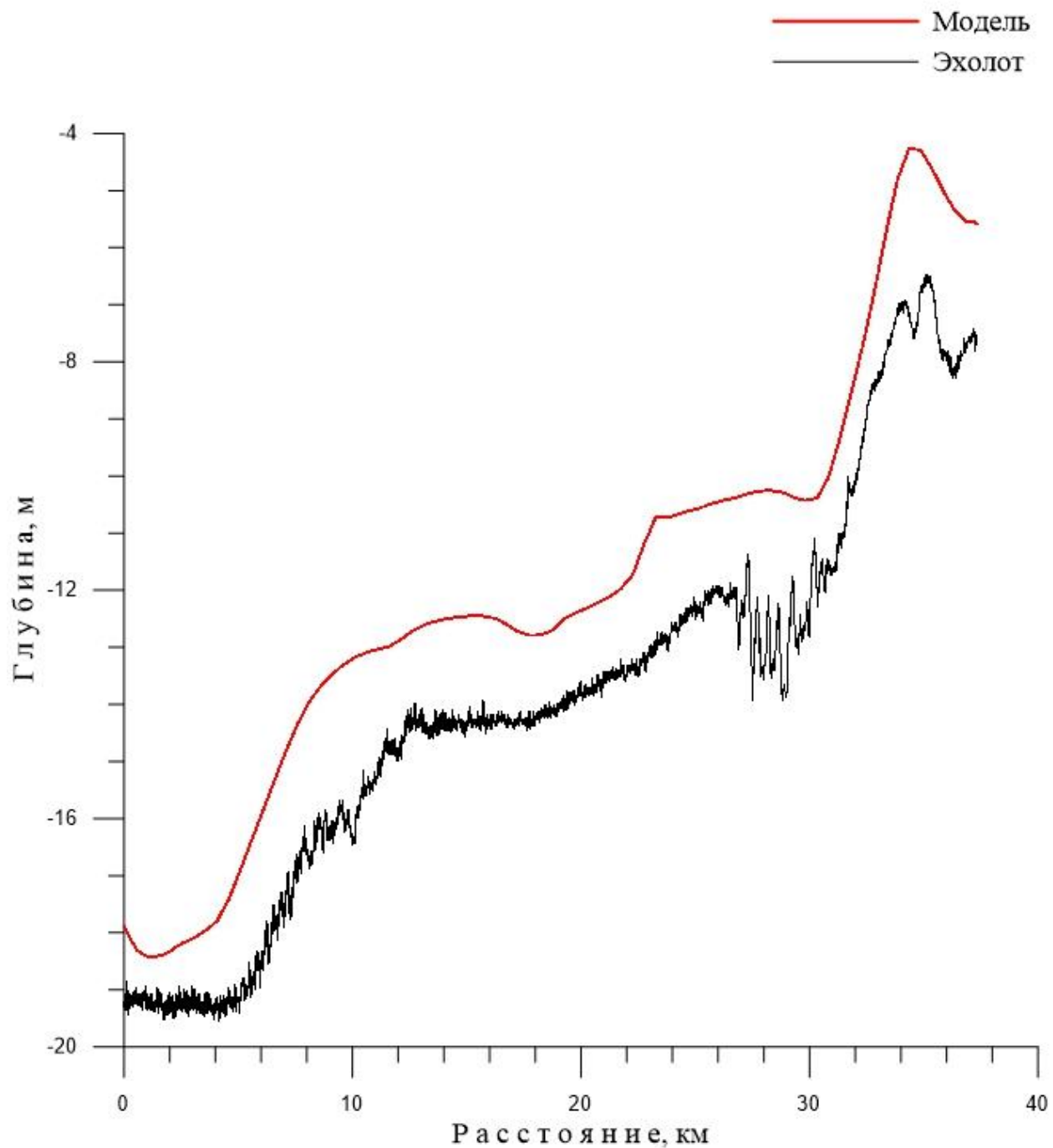


Рисунок 22 – Распределение глубин на разрезе 10

При помощи программы GRAPHER были получены следующие статистические характеристики данного разреза:

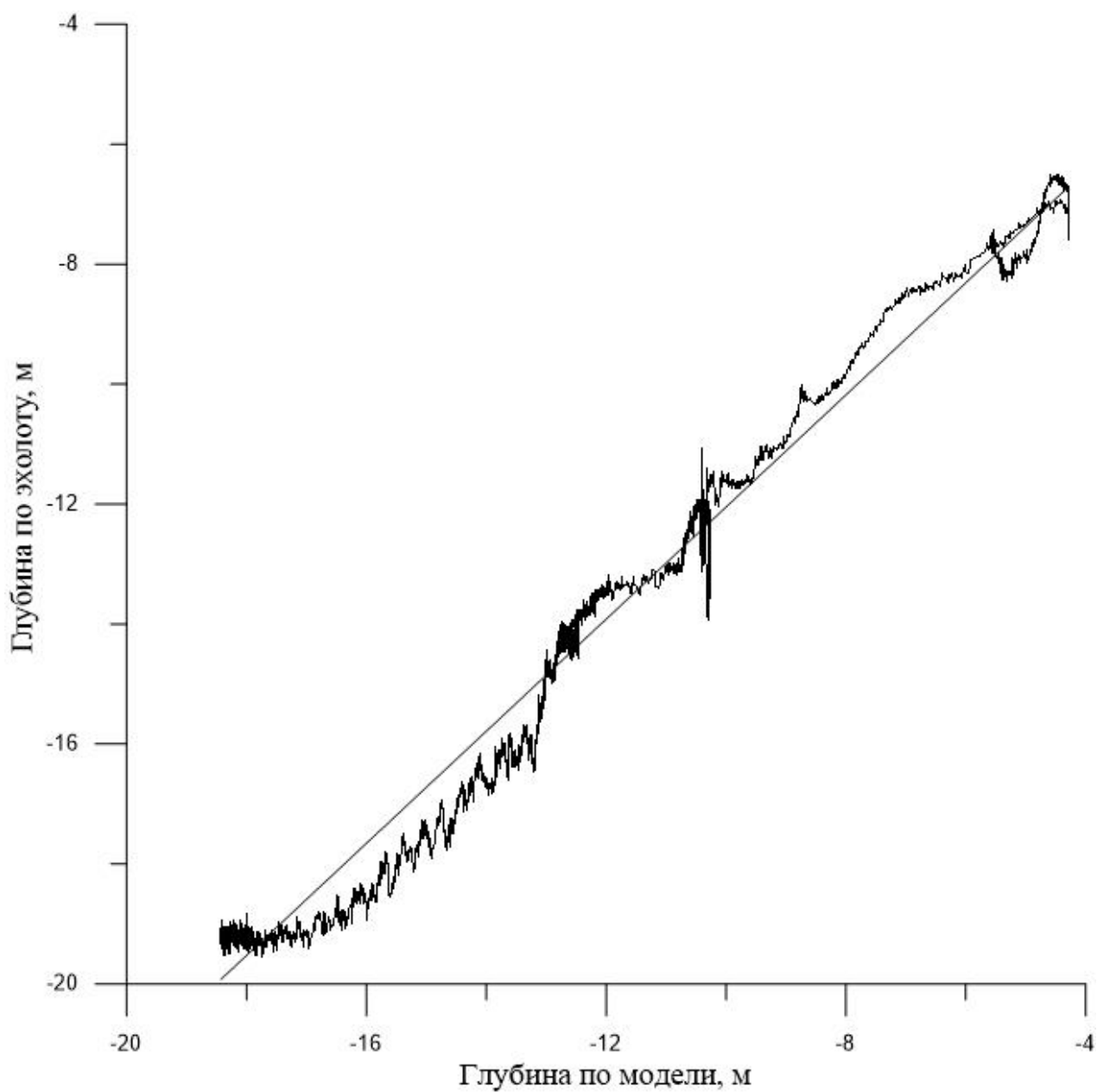


Рисунок 23 – Связь измерений, сделанных эхолотом и полученным по модели 10 разреза

Разрез 10, длина 37 км

Модель		Эхолот	
Количество измерений	5060	Количество измерений	5060
Минимум	-18,42758341	Минимум	-19,5658243
Максимум	-4,276115339	Максимум	-6,489904
Амплитуда	14,15146807	Амплитуда	13,0759203
Среднее значение, м	-12,11461976	Среднее значение, м	-14,02435389
Медиана, м	-12,47826328	Медиана, м	-14,18915261
Первая квантиль	-13,66859196	Первая квантиль	-16,32275261
Третья квантиль	-10,38272702	Третья квантиль	-12,36035261
Дисперсия, м ²	13,66543864	Дисперсия, м ²	12,20056256
СКО	3,696679408	СКО	3,492930369

Fit 1: Linear
Equation $Y = 0.9345630954 * X - 2.702477351$
Number of data points used = 5060
Average X = -12.1146
Average Y = -14.0244
Residual sum of squares = 1340.92
Regression sum of squares = 60381.7
Коэффициент детерминации = 0.978275
Residual mean square, $\sigma\text{-hat-sq'd} = 0.265109$

Коэффициент детерминации данного разреза равен $0,978275 > 0,7$ [41], значит, зависимости являются надежными.

Выводы

В результате проведённого исследования было проведено сравнение между прямыми эхолотными измерениями (измерения через 1 м) и моделью (шаг модели 500 м) для 10 разрезов. Практически на всех разрезах модель немного завышает глубины. На разных разрезах от 1,1 м до 15 м. Разница зависит от распределения глубин.

Измерения эхолотом с очень высоким коэффициентом детерминации соответствуют модели, но с учетом того, что модель имеет шаг 500 м, а измерения эхолотом делались примерно через 1 м, есть различия. Из 10 разрезов четыре имеют разницу примерно 2,5 м, один 3,3 м, два 1 м, один 0,2 м, один 5 м и один 15 м. При увеличении глубины, разница глубин увеличивается. На небольших глубинах разница может достигать - 20 % (2,5 м в абсолютных единицах), на глубоководных - 2% (2,5 м в абсолютных единицах).

Ввиду того что лодка, на которой был установлен эхолот, двигалась со скоростью примерно 15 км/ч и эхолот не всегда был в строго вертикальном положении, а мог отклоняться, то возможны некоторые погрешности в измерениях.

Ладожское озеро играет ключевую роль в экономике Европейской части страны в целом не только как крупнейший источник водных ресурсов, но и как важное звено исторической водной транспортной магистрали, связывающей Северо-Запад с центральными и южными регионами России и обеспечивающей выход на зарубежные рынки через Финский залив и Балтийское море. Поэтому нужно и дальше проводить исследования глубин эхолотом, чтобы получить более достоверную модель Ладожского озера.

Список литературы

1. Ладожское озеро. Атлас. ГУНИО. 2002.
2. Ладожское озеро – прошлое, настоящее, будущее / Под ред. В.А. Румянцева и В.Г. Дробковой.- СПб.: Наука, 2002.- 327 с.,105 ил.
3. Науменко М.А., Каретников С.Г. Ладожское озеро и его водосбор: цифровая модель и новые результаты // Тр. XII съезда Русского географического общества. Т. 6. СПб., 2005. С. 82–86.
4. Ладога/ Под ред. В.А.Румянцева, С.А.Кондратьева. СПб.: Нестор-История,2013.- 468с., ил.
5. Амантов А.В., Спиридонов М.А. Геология ладожского озера// Советская геология, 1989.№4.С.81-86.
6. Андреев А.П. Ладожское озеро. СПб,1875.-398с.
7. Бискэ Г.С. (ред.) Ладожское озеро (развитие рельефа и условия формирования четвертичного покрова котловины). Петрозаводск: Карелия, 1987.-205с.
8. Геологические памятники природы России. М.: Лориен,1998.-200с.
9. Грибушин А.И. Карелия: загадочная красота Русского Севера// Туристический справочник. Петрозаводск,2002.-198 с.
10. Гусаков Б.Л., Тержевик Ф.Ю. Лимническое районирование и особенности озерных процессов в лимнических зонах// Ладожское озеро: критерии состояния экосистемы/ Под ред. Н.А.Петровой, А.Ю. Тержевика. СПб., 1992. С.21-26.
11. Румянцев В.А., Дробкова В.Г., Измайлова А.В. Озера европейской части России – СПб.: ЛЕМА, 2015. – 392 с.
12. Догановский А.М., Мякишева Н.В. Уровень Ладожского озера в различных диапазонах частот // Ладожское озеро/под ред. Н.Н.Филатова. Петрозаводск, 2000. С.352–358.
13. Заповедная природа Карельского перешейка. СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004.-312 с.

14. Иванова З.М., Кириллова В.А. Расчет речного притока в Ладожское озеро и сток реки Невы // Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л.: Изд-во ЛГУ, 1966. С. 119–132.
15. Калесник С.В. Ладожское озеро // Л.: Гидрометеиздат, 1968. -159с.
16. Науменко М.А. Новое определение морфометрических характеристик Ладожского озера // Доклады Академии Наук. 1995. Т. 345. № 4. С. 514–517.
17. Охлопкова А.Н. Течения Ладожского озера // Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л., 1966. С. 265–278.
18. Субетто Д.А. История формирования Ладожского озера и его соединения с Балтийским морем // Общество, среда, развитие. 2007. № 1 (10). С. 111–120.
19. Филатов Н.Н. (Ред.). Климат Карелии. Изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы. Петрозаводск, 2004. - 223с.
20. Черняева Ф.А. Морфометрическая характеристика Ладожского озера // Гидрологический режим и водный баланс Ладожского озера. Л.: Изд. Лен. гос. университета, 1966. С. 58–80.
21. Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб.: ГГИ, 2008. - 600с.
22. Воронцов П.А. О бризах Ладожского озера. Труды ГГО. 1958. Вып. 73. С. 87–106.
23. Симонов Ю.Г. Морфометрический анализ рельефа. М.-Смоленск: Изд-во СГУ, 1998. - 272 с.
24. Петров К.М. Подводные ландшафты. Теория, методы исследований. Л.: Наука, 1989. - 126 с.
25. Горелова Э.М., Кириллова В.А., Распопов И.М. Ладога. Л.: Лениздат, 1974. - 140 с.
26. Давыдов Л.К. Гидрография СССР. Т.2. Л.: Изд-во ЛГУ, 1955. - 600с.
27. Даринский А.В. Ленинградская область. Л.: Лениздат, 1975. - 384 с.
28. Даринский А.В. Невский край. СПб.: Фирма “Глагол”, 2000. - 256 с.

29. Догановский А.М. Уровенный режим Ладожского озера — показатель изменения климата: Материалы итоговой сессии учен. совета. Ч.1. Секция метеорологии и гидрологии. СПб., 2003. С.76–78.
30. Ежегодник качества поверхностных вод суши по гидробиологическим показателям на территории деятельности СЗУГКС в 1987 году. Л., 1988.-130 с.
31. Ефремова Т.В., Пальшин Н.И. Сроки ледовых явлений на водоемах северо-запада России//Метеорология и гидрология.№8.С. 89–98.
32. Исаченко А.Г., Дашкевич З.В., Карнаухова Е.В. Физико-географическое районирование Северо-Запада СССР. Л.: Изд-во ЛГУ,1965.-248с.
33. Ладожское озеро. Атлас. СПб.: ИНОЗ РАН,2002. -128 с.
34. Ладожское озеро. Мониторинг, исследование современного состояния и проблемы управления Ладожским озером и другими большими озерами. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН,2000.- 490с.
35. Лозовик П.А., Потапова И.Ю. Поступление химических веществ с атмосферными осадками на территорию Карелии//Водные ресурсы. 2006.№33(1).С.111–118.
36. Макрушин А.В. Биологический анализ качества вод. Л., 1974.-60 с.
37. Почвы Ленинградской области /под ред. В.К. Пестрякова.Л.:Лениздат, 1973.- 343с.
38. Науменко М.А. Сравнительный анализ морфометрических характеристик Ладожского и Онежского озёр//Ладожское озеро/под ред. Н.Н. Филатова. Петрозаводск, 2000.С. 319–324.
39. Медрес П.Л. Ледовый режим Ладожского озера по материалам авиаразведок// Труды ГГИ. Вып.66. Л.: Гидрометеиздат, 1957.С. 92-140.
40. Геоэкология Ладожского озера. СПб: ВНИИ геологии и минеральных ресурсов Мирового океана,1995.- 209 с.
41. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность «Гидрология» направления подготовки «Гидрометеорология». – СПб.: изд. РГГМУ. 2007. – 279 с.
42. Дружинин В.С., Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебное пособие. Направление

«Гидрометеорология». Специальность «Гидрология». – СПб.: изд. РГГМУ.
2001. - с.