

Отчет о выполнении проекта

№ 21-77-10102

«История развития и деградации гигантского позднеплейстоценового озера на Камчатке»,

в период с 1 июля 2022 г. по 30 июня 2023 г.

Номер регистрации сведений о начинаемой научно-исследовательской работе в единой государственной информационной системе учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения (rosrid.ru):

121121600127-0

1.1. Заявленный в проекте план работы научного исследования на отчетный период

Июль-август: геоморфологическое дешифрирование дистанционных данных на участки возможных подпруд и долин прорыва. Дистанционные работы будут направлены на поиск следов суперпаводковой эрозии и аккумуляции: брошенных и переуглубленных долин, спилвеев и террас в предполагаемых долинах прорыва. Детальное структурно-геоморфологическое дешифрирование активных разломов на пересечении современного русла р. Камчатки с Восточно-Камчатской зоной разломов (хр. Кумроч). для определения вклада подвижек по разломам в формирование подпруды и впадины ЦКД в целом Дешифрирование и интерпретация данных дистанционного зондирования будет опираться на следующие источники: стереоснимки КН-9 Hexagon (пространственное разрешение около 5 м), гидрологически корректная цифровая модель рельефа по материалам радарной съемки HydroSHEDS (пространственное разрешение около 25 м) и наиболее детальной открытой цифровой модели местности ArcticDEM (пространственное разрешение 2 м).

6-9 сентября: командировка Зеленина и Мухаметшиной в г. Санкт-Петербург для выступления с докладами по первичным результатам геоморфологического дешифрирования и спорово-пыльцевого анализа на Международной конференции «Палеолимнология северной Евразии».

Сентябрь: полевые работы на Камчатке. Описание и опробование выявленных разрезов, сгущение сетки шурфов/скважин для уточнения уровней стояния озера; рекогносцировочные работы в возможных долинах прорыва – съемка с квадрокоптера, геоморфологическая съемка, описание и опробование рыхлых отложений, палеосейсмологические наблюдения.

Октябрь-февраль: пробоподготовка и анализ спорово-пыльцевых образцов (ИГ РАН, г. Москва), гранулометрических и диатомовых образцов (ЦКП СПбГУ и ВСЕГЕИ, г. Санкт-Петербург). Интерпретация, пробоподготовка и часть геохимических исследований образцов тефры (ГЕОХИ РАН, г. Москва). Микрозондовый и LA-ICP-MS анализ образцов тефры предполагается продолжать проводить в Германии в рамках долгосрочного сотрудничества с ГЕОМАР и Кильским университетом (г. Киль). На момент написания отчета работы немецких партнеров проекта с российскими образцами не испытывают никаких затруднений, последняя партия образцов была передана в апреле 2022 г.

Февраль-июнь: обобщение накопленных результатов, уточнение геоморфологической карты ЦКД и ее обрамления, создание принципиальных схем развития долин стока, представление результатов исследований по проекту на международных и всероссийских конференциях, подготовка отчетных публикаций, разработка программы полевых работ отчетного года 2023-2024.

В связи с возможными изменениями в сроках и формате проведения конференций, мы не можем предложить однозначную программу докладов и соответствующих командировок. Наиболее вероятны доклады на всероссийской конференции «Пути эволюционной географии» и 54 Тектоническом совещании (командировки не требуются). Уже

поданы две заявки на участие в 5 Международной конференции «Палеолимнология северной Евразии» (Россия, г. Санкт-Петербург, сентябрь 2022 г.), докладчики Зеленин и Мухаметшина. Часть результатов будет представлена на XV Всероссийской палинологической конференции «Актуальные проблемы современной палинологии» 1-3 июня 2022 г. (тезисы уже приняты организаторами конференции).

1.2. Заявленные научные результаты на конец отчетного периода

К концу второго года исследований будут получены следующие результаты:

- 1) Статья по возрастной модели и пыльцевым спектрам опорного разреза озерных отложений на берегу Ключевского озера (район пос. Ключи) будет доведена до публикации в международном рецензируемом журнале.
- 2) Будут проведены полевые работы в Центральной Камчатской депрессии с отбором образцов тефры для аналитических исследований, а также озерных осадков на радиоуглеродное датирование, литологический, диатомовый и спорово-пыльцевой анализы; будет проведена лабораторная обработка образцов.
- 3) Ранее составленная геоморфологическая карта ЦКД будет уточнена по материалам полевых и дистанционных работ. Методические принципы составления карты будут оформлены в виде рукописи для подачи в Journal of Maps (Q1)
- 4) Будет составлена принципиальная схема развития речной сети ЦКД во второй половине позднего плейстоцена.
- 5) Ранее созданная нами тефрохронологическая модель (Ponomareva, Pendea, Zelenin et al., 2021) для последних 30 тыс.л. за счет новых корреляций, полученных в рамках проекта, будет продлена до ~ 50 тыс.л.н.

1.3. Сведения о фактическом выполнении плана работы в отчетный период

План работ по проекту в отчетный период включал в себя:

1. основной блок полевых работ,
2. пробоподготовку и аналитические исследования тефры,
3. комплекс аналитических исследований отложений,
4. обработку и дешифрирование дистанционных данных,
5. представление результатов.

Фактически выполненные работы в соответствии с этим планом заключались в следующем:

1. В пределах предполагаемого озера проведены полевые работы, направленные на изучение озерных отложений; кроме того, полевая геоморфологическая съемка проводилась на северной границе современного бассейна р. Камчатка (рис. 1). Описаны и опробованы разрезы в береговых обрывах среднего течения р. Камчатка и ее притоков – рек Малая Кимитина, Караковая (Козыревка), Пахча, Еловка. На формах рельефа без естественных обнажений были заложены шурфы, ручным буром пройдены скважины глубиной от 2 до 10 м. Опробование проводилось с интервалом 10-20 см, для обнажений с однородным грансоставом – с интервалом 40-50 см. Всего было отобрано 866 образцов на различные виды анализа (см пп. 2, 3). Помимо описания и опробования отложений выполнялись измерения абсолютной высоты слоев с помощью геодезического ГНСС-приемника в режиме RTK, а также съемка местности с квадрокоптера с последующим расчетом цифровой модели местности и точной привязкой точек опробования. Первичная обработка полевых материалов включала в себя оцифровку полевых дневников, составление схем полевого дешифрирования, а также колонок описанных разрезов с расположением на них точек опробования.

К сожалению, полевые работы на южном подножье вулкана Шивелуч, запланированные на апрель 2023 г. (бурение моренных озер со льда с целью их тефрохронологического датирования) не состоялись из-за пароксизмального извержения вулкана Шивелуч, затруднившего доступ к пресной воде не только в полевых условиях, но и в ближайшем к месту предполагаемых работ поселке Ключи. Данные работы будут проведены летом 2023г, поскольку условия работ существенно улучшатся после весеннего снеготаяния, приводящего к смыву и уплотнению пепла.

2. Был проведен геохимический анализ стекол всех ключевых горизонтов тефры, опробованных в рамках проекта. Пробоподготовка, проведенная для 76 образцов, включала мытье образцов в дистиллированной воде, высушивание, изучение под микроскопом, подготовку шашек для геохимического анализа.

Геохимические исследования единичных частиц стёкол из тефры с определением содержания главных и микроэлементов проводились с использованием электронного микроскопа и масс-спектрометрии индукционно-

связанной плазмы с лазерной абляцией (LA-ICP-MS) в Гельмгольц Центре исследования океана ГЕОМАР и Университете г. Киль (Германия). Было получено около 950 микрозондовых анализов по 65 образцам тефры. Затем в 15 случаях, требующих более полной геохимической характеристики, с помощью LA-ICP-MS было получено 123 измерения содержания микроэлементов (31 элемент) в вулканических стёклах.

В соответствии с принятой методикой был проведен предварительный анализ полученных геохимических данных с построением парных диаграмм и с интерактивных таблиц, позволяющих проводить статистическую проверку сходства химических характеристик тефры. Для установления корреляций между отдельными разрезами и датирования горизонтов тефры полученные данные были сопоставлены с ранее опубликованными нами данными о составе пирокластических продуктов вулканов Камчатки (Portnyagin et al., 2020), с данными о составе ранее изученных нами пеплов из осадков Охотского моря и Тихого океана, а также геохимическими данными первого года работ по проекту. Корреляции пеплов с датированными морскими и наземными колонками позволили продлить тефрохронологическую модель существенно древнее 30 тыс. л.н. и обеспечить однозначную возрастную привязку исследуемых объектов, а также их классификацию по этапам развития рельефа ЦКД.

3. В ходе полевых работ было получено 617 образцов на гранулометрический анализ из 57 разрезов и скважин. Пробоподготовка и анализ образцов осуществлялись в лаборатории палеоархивов природной среды ИГ РАН. Для гранулометрического анализа бралась проба 0,5-0,7 г, заливалась пирофосфатом натрия и подвергалась перемешиванию на ротаторе в течение 12 часов. Затем образцы промывались и перед измерением помещались на 30 минут в ультразвуковую ванну для тщательной диспергации частиц. Для измерения магнитной восприимчивости проба высушивалась в сушильном шкафу при температуре 40 градусов Цельсия в течение 12 часов. Гранулометрический анализ выполнялся на лазерном дифрактометре Malvern Mastersizer 3000 (позволяет получать данные об объемной доле частиц размером 2-2000 мкм). В дополнение к гранулометрическому анализу, измерялась магнитная восприимчивость (MS) на приборе ZHstruments 150-SL, позволяющая определять обогащенность образцов магнитными минералами. Разность магнитных восприимчивостей при разных частотах (FD) позволяет выделять влияние почвенных процессов (диагенетических изменений, появлений новых форм магнитных минералов) и содержание тефры в осадке. Оба графика (MS и FD) служат дополнительным инструментом стратификации разрезов и позволяют сравнивать колонки разрезов между собой. Обработка образцов продолжается.

Диатомовый анализ проводился для проб из опорного разреза Кампен на базе микропалеонтологической лаборатории ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург по стандартной методике, описанной в руководстве "Диатомовые водоросли СССР, 1974". Для дезинтеграции осадка и очистки створок диатомей бралась навеска массой 80-120 г и заливалась 150 мл пирофосфата натрия $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, после чего производилось разделение осадка путем отмучивания. Далее из полученного на предыдущем этапе осадка путем центрифугирования в пробирках с тяжелой жидкостью ГПС-В удельной массой 2,35 г/см³ выделялась легкая фракция. После чего на завершающем этапе были приготовлены постоянные препараты с использованием среды Эляшева. На данный момент обработаны 24 пробы с интервалов 0,9-3,35 и 5,62-8,45 м от уреза воды. Таксономическое определение диатомовых водорослей проводилось на световом микроскопе МИКМЕД-3 при увеличении 1500 раз с использованием масляной иммерсии. Определение таксонов почти всегда проводилось до вида, реже до рода с помощью атласов и определителей (Krammer, Lange-Bertalot, 1986, 1988; Куликовский и др, 2016). Количественный подсчет створок производился до 300 штук. После окончания аналитической работы был произведен синтез полученных данных. Результаты подсчета и определения диатомей объединялись в диатомовой диаграмме и экологической таблице, в которой указывались экологические характеристики: приуроченность к местообитанию, географическая приуроченность, отношение к pH среды.

4. На основании дистанционных и полевых геоморфологических данных существенно детализирована геоморфологическая схема ЦКД (приложение 2), созданы детальные схемы на район современного стока р. Камчатка (рис. 2) и водораздел бассейнов рек Камчатка и Озерная (рис. 3). Легенда общей геоморфологической схемы ЦКД была дополнена классификацией вулканических форм рельефа по возрасту, для чего была проведена компиляция опубликованных текстовых и картографических материалов. Работа с геопространственными данными осуществлялась в созданной нами ранее ГИС, дистанционный доступ к которой был организован с рабочих мест исполнителей проекта.

5. В отчетный период первые результаты работ по проекту были представлены на всероссийских и международных конференциях (3 доклада, см. п. 1.10). По материалам докладов на конференции «Палеолимнология Северной Евразии» были подготовлены и опубликованы две статьи в тематическом выпуске журнала *Limnology and Freshwater Biology* (см. форму 2о).

На момент написания отчета также подготовлена, сдана в редакцию и находятся на рецензии рукопись статьи, посвященной динамике рельефа ЦКД со времени последнего ледникового максимума (журнал «Геоморфология и палеогеография», Q2); в течение отчетного периода (до 30 июня) будет сдана статья, посвященная созданию геоморфологической карты ЦКД (Journal of Maps, Q1) и . В соответствии с текущей трактовкой учета публикаций, обе этих статьи будут иметь повышающий коэффициент 2. Основные тезисы этих публикаций приведены в разделе 1.4, подразделы 6 и 5 соответственно.

Все планируемые в отчетный период работы выполнены полностью:

да

1.4. Сведения о достигнутых конкретных научных результатах в отчетном периоде

В соответствии с заявленным планом были получены следующие результаты:

1. Были проведены полевые работы в Центральной Камчатской депрессии, направленные на описание и опробование разрезов рыхлых отложений исследуемого периода, выполнена геоморфологическая съемка местности, включавшая в себя полевое дешифрирование дистанционных данных и съемку с квадрокоптера для построения цифровых моделей местности.

2. Для части образцов был выполнен гранулометрический анализ, включая составление отчетной графики и ее интерпретацию (рис. 4). Осуществлены пробные исследования магнитной восприимчивости осадка.

3. Диатомовый анализ был выполнен для 20 проб из обнажения «Камплен» в интервале 0,9-7,20 м от уреза воды (рис. 5). Диатомовые комплексы были установлены в девяти интервалах. Всего было определено 19 таксонов диатомовых водорослей и цисты золотистых водорослей. Все встреченные диатомовые водоросли – пресноводные. По приуроченности к местообитанию 17 видов из них бентосные и 2 планктонные. По количеству видов и по количеству створок абсолютно преобладают аэрофильные виды, на их долю приходится 75-99% от общего состава комплекса. Также диатомовые комплексы характеризуются низким таксономическим разнообразием, количество видов в препарате обычно составляет 4-6, в редких случаях до 10. Обнаруженные диатомовые комплексы почти полностью представлены аэрофильными видами, обитающими в олиготрофных пресноводных условиях либо на периодически пересыхающем мелководье (Van Dam et al., 1994). На интервале 7,20-7,22 м., соответствующем началу накопления почвенно-пирокластического чехла в субаэральных условиях, разнообразие и доля алкалифилов увеличивается. В целом, из-за малого количества и низкого таксономического разнообразия диатомовый анализ оказался менее информативен, чем спорово-пыльцевой анализ (рис.6), основные результаты которого были представлены в отчете прошлого года.

4. Тефрохронологические исследования. Судя по составу вулканического стекла, изученные нами пеплы из озёрных отложений связаны с извержениями в пределах всех вулканических районов Камчатки: Восточного фронта, тыловой зоны, ЦКД и Срединного хребта. Такое разнообразие составов облегчает идентификацию и корреляцию вновь описанных пеплов с ранее датированными.

Тефрохронологические исследования показали, что на подножии вулкана Шивелуч, а также вдоль западной окраины Ключевской группы вулканов преобладают озерные отложения моложе 30 тыс. лет. Оценка возраста отложений в разрозненных разрезах проводилась с помощью сопоставления вновь описанных и ранее изученных нами маркирующих пеплов (Ponomareva et al., 2021). При движении на юг в отложениях т.н. «песчаного острова», который представляет собой озерную дельту (Куприна, 1970), появляются более древние пеплы (около 40 тыс. лет). Этот факт подтверждает длительное формирование отложений «песчаного острова» и не позволяет считать их результатом катастрофического спуска подпружного озера, как предполагалось в работе Певзнер и др. (2020). Далее на юг обнажаются все более древние осадки. В основании самых высоких т.н. больших яров ЦКД обнажаются среднеплейстоценовые озерные отложения (Брайцева и др., 1968). Среднеплейстоценовый возраст этих отложений (около 300 тыс. лет) подтверждается и нашими исследованиями (Пonomарева и др., 2022).

Кроме главных маркирующих горизонтов тефры, зажатых в возрастном диапазоне 25 – 30 тыс. лет (EVF-1, EVF-2, Ver, Gog-28, Geys30), нами установлены более древние маркирующие горизонты тефры, как например, пока безымянный пепел яров КамМал и Смево (рис. 7) с грубой оценкой возраста порядка 40 тыс. лет. Этот пепел по своему составу ближе всего к специфическим пемзам вулкана Шивелуч, которые отличаются от тефр Молодого Шивелуча пониженным

содержанием калия (Ponomareva et al., 2017; Derkachev et al., 2020).

5. Ранее составленная геоморфологическая карта ЦКД была уточнена по материалам полевых и дистанционных работ. Был создан макет (Приложение 2) геоморфологической карты Центральной Камчатской депрессии масштаба 1 : 600 000 (в 1 см 6 км). Методические принципы составления карты представлены в виде рукописи для подачи в Journal of Mars (Q1), которая в течение отчетного периода (до 30 июня) будет сдана в редакцию. Информация о вулканических формах рельефа была собрана из опубликованных источников и генерализована в соответствии с масштабом карты. Экзогенные формы рельефа были нанесены на карту в соответствии с результатами полевых работ и дешифрирования дистанционных данных. Особо обозначены объекты, допускающие неоднозначную интерпретацию возраста или генезиса. Картографические материалы такого рода были представлены только в ряде работ, опубликованных полвека назад, и имели существенно меньшую детальность (Брайцева и др, 1968; «Камчатка, Курильские,...», 1974).

6. Была разработана и обоснована модель развития гидрографической сети ЦКД с 30 тыс. л.н. Была проведена ревизия масштабов и хронологии последнего ледникового максимума на пути современного стока р. Камчатка, тесно связанная с вулканической историей Шивелуча – крупнейшего ледоема этой части ЦКД. Спуск озера, вероятно, был постепенным и начался около 19 тыс. лет назад, во время холодного периода LGM (рис. 8), то есть не являлся прямым следствием климатических изменений. Поскольку зона ледниковой аккумуляции расположена в привершинной части вулкана Шивелуч, для которого в позднем плейстоцене известны крупные секторные обрушения, изменения в высоте ледовой дамбы могут быть вызваны разрушением либо ростом вулканической постройки. Тенденция тектонического погружения ЦКД препятствует полному осушению озерного бассейна - даже сейчас в широкой пойме реки Камчатка располагается озерная система с общей площадью водной поверхности, сопоставимой с крупнейшими озерами полуострова.

7. Статья по пыльцевым спектрам опорного разреза Камплен (район пос. Ключи), запланированная для публикации в отчетном периоде (см п. 1.2), находится на доработке у иностранных соавторов. Для сохранения и укрепления международных контактов мы приняли решение поддержать их участие в работе над статьей, хоть это и привело к задержке сдачи статьи.

Все запланированные в отчетном периоде научные результаты достигнуты:

да

В ходе реализации проекта выполнялись эксперименты с участием лабораторных животных:

нет

1.5. Описание выполненных в отчетном периоде работ и полученных научных результатов для публикации на сайте РНФ

на русском языке

В пределах предполагаемого озера проведены полевые работы, направленные на изучение озерных отложений; кроме того, полевая геоморфологическая съемка проводилась на северной границе современного бассейна р. Камчатка. Описаны и опробованы разрезы в береговых обрывах среднего течения р. Камчатка и ее притоков – рек Малая Кимитина, Караковая (Козыревка), Пахча, Еловка. На формах рельефа без естественных обнажений были заложены шурфы, ручным буром пройдены скважины глубиной от 2 до 10 м. Опробование проводилось с интервалом 10-20 см, для обнажений с однородным грансоставом – с интервалом 40-50 см. Всего было отобрано 866 образцов на различные виды анализа. Помимо описания и опробования отложений выполнялись измерения абсолютной высоты слоев с помощью геодезического ГНСС-приемника в режиме RTK, а также съемка местности с квадрокоптера с последующим расчетом цифровой модели местности и точной привязкой точек опробования. Первичная обработка полевых материалов включала в себя оцифровку полевых дневников, составление схем полевого дешифрирования, а также колонок описанных разрезов с расположением на них точек опробования.

Был проведен геохимический анализ стекол всех ключевых горизонтов тефры, опробованных в рамках проекта. Судя по составу вулканического стекла, изученные нами пеплы из озерных отложений связаны с извержениями в пределах всех вулканических районов Камчатки: Восточного фронта, тыловой зоны, Центральной Камчатской депрессии (ЦКД) и

Срединного хребта. Такое разнообразие составов облегчает идентификацию и корреляцию вновь описанных пеплов с ранее датированными.

Тепхронологические исследования показали, что на подножии вулкана Шивелуч, а также вдоль западной окраины Ключевской группы вулканов преобладают озерные отложения моложе 30 тыс. лет. Оценка возраста отложений в разрозненных разрезах проводилась с помощью сопоставления вновь описанных и ранее изученных нами маркирующих пеплов (Ponomareva et al., 2021). При движении на юг в отложениях т.н. «песчаного острова», который представляет собой озерную дельту (Куприна, 1970), появляются более древние пеплы. Этот факт подтверждает длительное формирование отложений «песчаного острова» и не позволяет считать их результатом катастрофического спуска подпрудного озера, как предполагалось в работе Певзнер и др. (2020). Далее на юг в полосе обнажаются все более древние осадки. В основании самых высоких т.н. больших яров ЦКД обнажаются среднеплейстоценовые озерные отложения (Брайцева и др., 1968). Среднеплейстоценовый возраст этих отложений (около 300 тыс. лет) подтверждается и нашими исследованиями (Пономарева и др., 2022).

Ранее составленная геоморфологическая карта ЦКД была уточнена по материалам полевых и дистанционных работ. Был создан макет геоморфологической карты ЦКД масштаба 1 : 600 000 (в 1 см 6 км). Методические принципы составления карты представлены в виде рукописи для подачи в Journal of Maps (Q1). Информация о вулканических формах рельефа была собрана из опубликованных источников и генерализована в соответствии с масштабом карты. Экзогенные формы рельефа были нанесены на карту в соответствии с результатами полевых работ и дешифрирования дистанционных данных. Особо обозначены объекты, допускающие неоднозначную интерпретацию возраста или генезиса. Картографические материалы такого рода были представлены только в ряде работ, опубликованных полвека назад, и имели существенно меньшую детальность (Брайцева и др., 1968; «Камчатка, Курильские,...», 1974).

Была разработана и обоснована модель развития гидрографической сети ЦКД с 30 тыс. л.н. Была проведена ревизия масштабов и хронологии последнего ледникового максимума на пути современного стока р. Камчатка, тесно связанная с вулканической историей Шивелуча – крупнейшего ледоема этой части ЦКД. Спуск озера, вероятно, был постепенным и начался около 19 тыс. лет назад, во время холодного периода LGM, то есть не является прямым следствием климатических изменений. Поскольку зона ледниковой аккумуляции расположена в привершинной части вулкана Шивелуч, для которого в позднем плейстоцене известны крупные секторными обрушения, изменения в высоте ледовой дамбы могут быть вызваны разрушением либо ростом вулканической постройки. Тенденция тектонического погружения ЦКД препятствует полному осушению озерного бассейна - даже сейчас в широкой пойме реки Камчатка располагается озерная система с общей площадью водной поверхности, сопоставимой с крупнейшими озерами полуострова.

на английском языке

Within the limits of the supposed lake, field works were carried out to study lake deposits; in addition, a field geomorphological survey was carried out at the northern boundary of the modern Kamchatka River basin. The sections in the coastal bluffs of the middle reaches of the Kamchatka River and its tributaries - the Malaya Kimitina, Karakovaya (Kozyrevka), Pakhcha, and Yelovka Rivers - were described and sampled. Pits were dug and boreholes from 2 to 10 m deep were drilled on landforms without natural outcrops. Sampling was conducted at 10-20 cm intervals, and at 40-50 cm intervals for outcrops with homogeneous composition. A total of 866 samples were taken for analysis. In addition to describing and sampling of sediments, we measured the absolute height of the layers using a geodetic GNSS receiver in RTK mode, as well as UAV surveying.

Geochemical composition of key tephra horizons was analyzed. Judging by the composition of volcanic glass, the studied tephra from lake sediments originated from all volcanic areas of Kamchatka: the Eastern Front, the Rear-Arc, the Central Kamchatka Depression (CKD), and the Sredinny Range. A variety of compositions facilitates the identification and correlation of newly described ashes with previously dated ones.

Tephrochronological studies outlined lake deposits younger than 30 ka that prevail at the foot of Shiveluch volcano, as well as along the western margin of the Kliuchevskoi group of volcanoes. The age of the sediments was estimated by comparing the newly described and previously studied marker tephra layers (Ponomareva et al., 2021). Southward, the sediments of the so-called "sand island", which is a lake delta (Kuprina, 1970), older ashes appear. This fact confirms the long-term formation of the "sand island" deposits and does not allow us to consider them the result of catastrophic discharge of a dammed lake, as suggested by Pevzner et al. (2020). Further to the south, older sediments are exposed along the CKD floor. Middle

Pleistocene lake sediments are exposed at the base of the highest so-called great bluffs of the CKD (Braitseva et al., 1968). The Middle Pleistocene age of these deposits (about 300 thousand years) is also confirmed by our studies (Ponomareva et al., 2022).

A draft of the geomorphological map of the Central Kamchatka Depression at a scale of 1 : 600 000 (in 1 cm 6 km) was created. The map creation methods have been presented as a manuscript for submission to the Journal of Maps. Information on volcanic landforms was collected from published sources and generalized to the scale of the map. Exogenous landforms were mapped following the results of our field work and interpretation of remote data. Objects with ambiguous interpretation of its age or genesis are highlighted. Similar cartographic materials were presented only in a number of works published half a century ago and had considerably less detail (Braitseva et al., 1968; "Kamchatka, Kuril,...", 1974).

A model of the CKD hydrographic network evolution since 30 ka was developed. The scale and chronology of the last glacial maximum along the modern drain of the Kamchatka River was reviewed, closely related to the volcanic history of Shiveluch, the largest source of glaciation in this part of the CKD. The lake descent was probably gradual and began about 19 thousand years ago within the LGM, so it is not a direct consequence of climatic changes. As the glacial accumulation zone is located in the summit of the Shiveluch volcano, for which large sectoral collapses are known in the Late Pleistocene, changes in the ice dam height may be caused by the destruction or growth of the volcanic edifice. The tendency of tectonic submergence of the CKD prevents complete drainage of the lake basin - even now in the wide floodplain of the Kamchatka River there is a lake system with a total water surface area comparable to the largest lakes of the peninsula.

1.7. Перечень публикаций в отчетном периоде по результатам проекта

1. Зеленин Е.А., Пономарева В.В., Федоров Г.Б., Гуринов А.Л., Захаров А.Л., Дирксен О.В., Мухаметшина Е.О., Портнягин М.В. (Zelenin E.A., Ponomareva V.V., Fedorov G.B., Gurinov A.L., Zakharov A.L., Dirksen O.V., Mukhametshina E.O., Portnyagin M.V.) **Giant Late Pleistocene paleolake in Central Kamchatka depression (Kamchatka Peninsula, Russian Far East)** Limnology and Freshwater Biology (2022 г.)

2. Мухаметшина Е.О., Зеленин Е.А., Пендеа И.Ф. (Mukhametshina E.O., Zelenin E.A., Pendea I.F.) **Paleoclimatic conditions of a Late Pleistocene mega-lake in Kamchatka** Limnology and Freshwater Biology (2022 г.)

Приложение 1

Иллюстрации к промежуточному отчету по гранту РФФ 21-77-10102
«История развития и деградации гигантского позднеплейстоценового озера
на Камчатке» за 2022-2023 гг.



Рис. 1. Точки полевых работ 2022 года

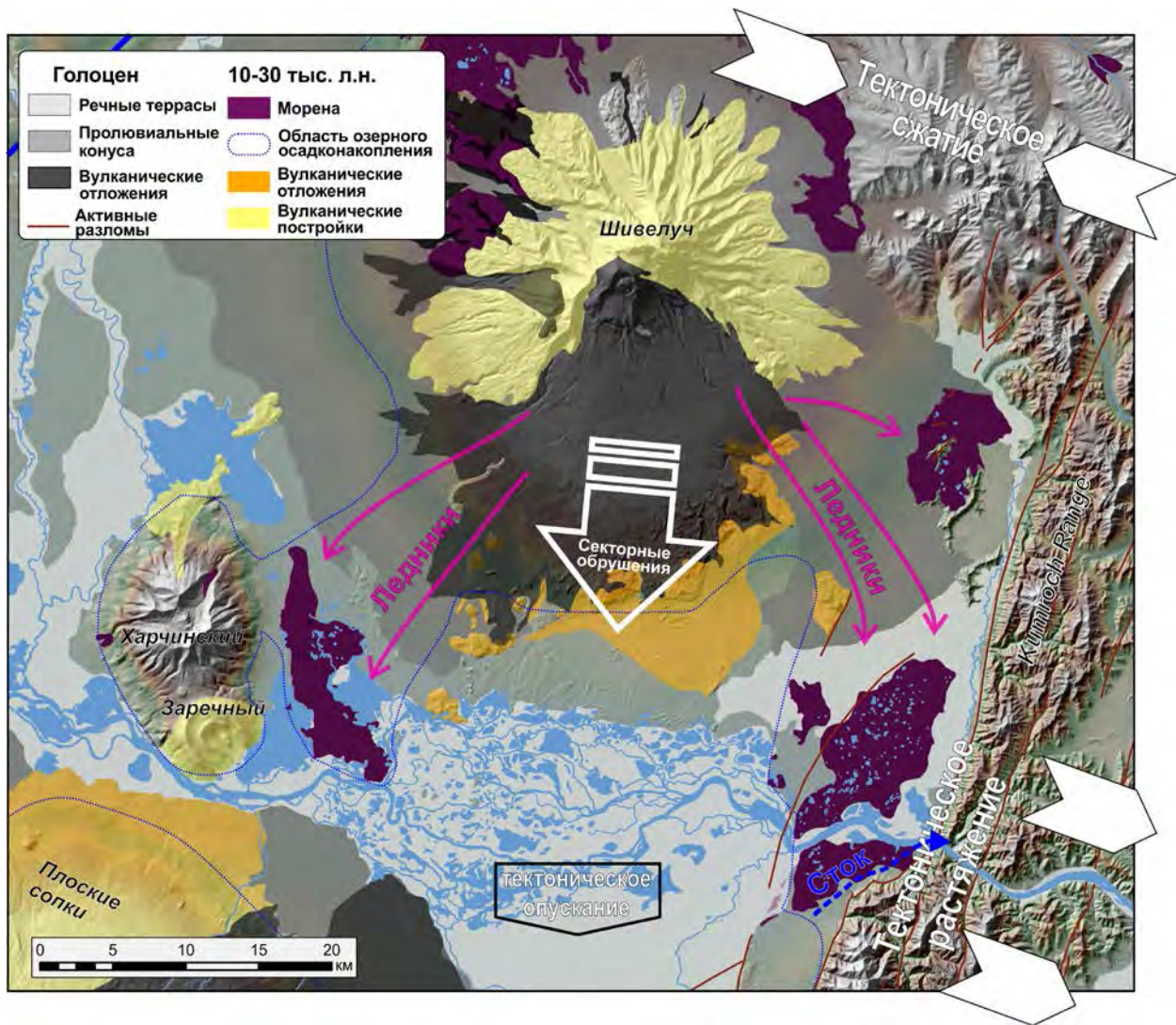


Рис. 2. Схема геоморфологических процессов на район современного стока р. Камчатка.

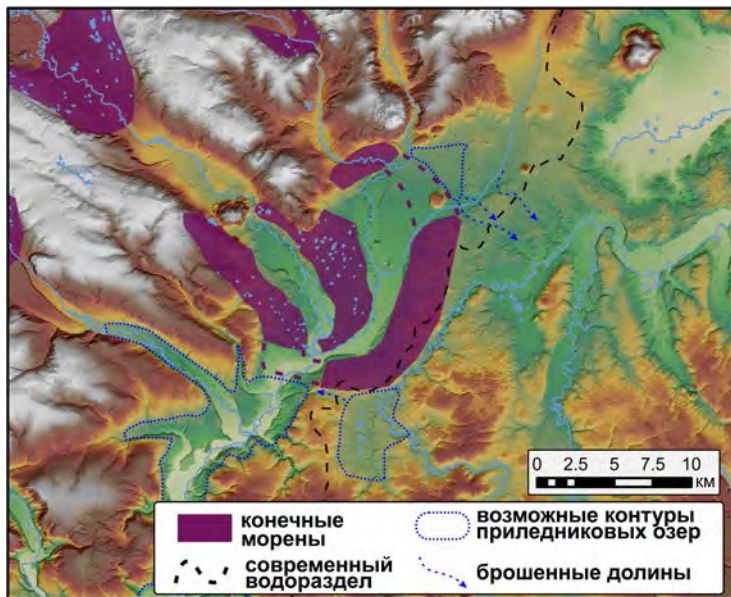


Рис. 3. Геоморфологическая схема водораздела бассейнов рек Камчатка и Озерная.

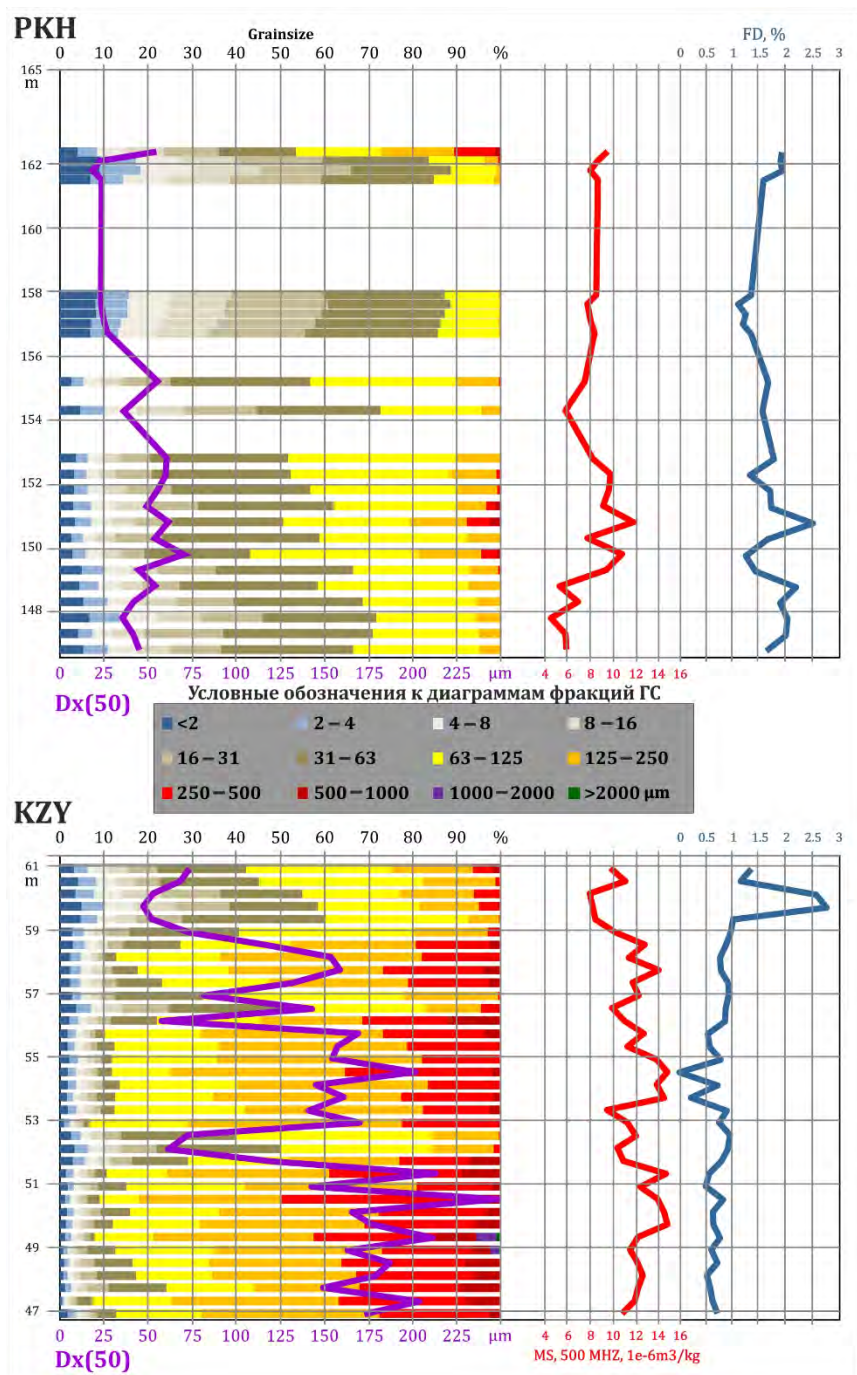


Рис. 4. Пример результатов исследования грансостава и магнитной восприимчивости для двух опорных разрезов ЦКД: РКН (разрез 16-1 по Ропомарева et al., 2021 в среднем течении реки Пахча, западное подножье Ключевской группы вулканов) и КЗУ (Козыревский яр – крупнейшее обнажение в долине р. Козыревка, левого притока р. Камчатка). В обоих случаях голоценовый почвенно-пирокластический чехол, уверенно идентифицируемый по спектру горизонтов тefры, не включался в описание и опробование.

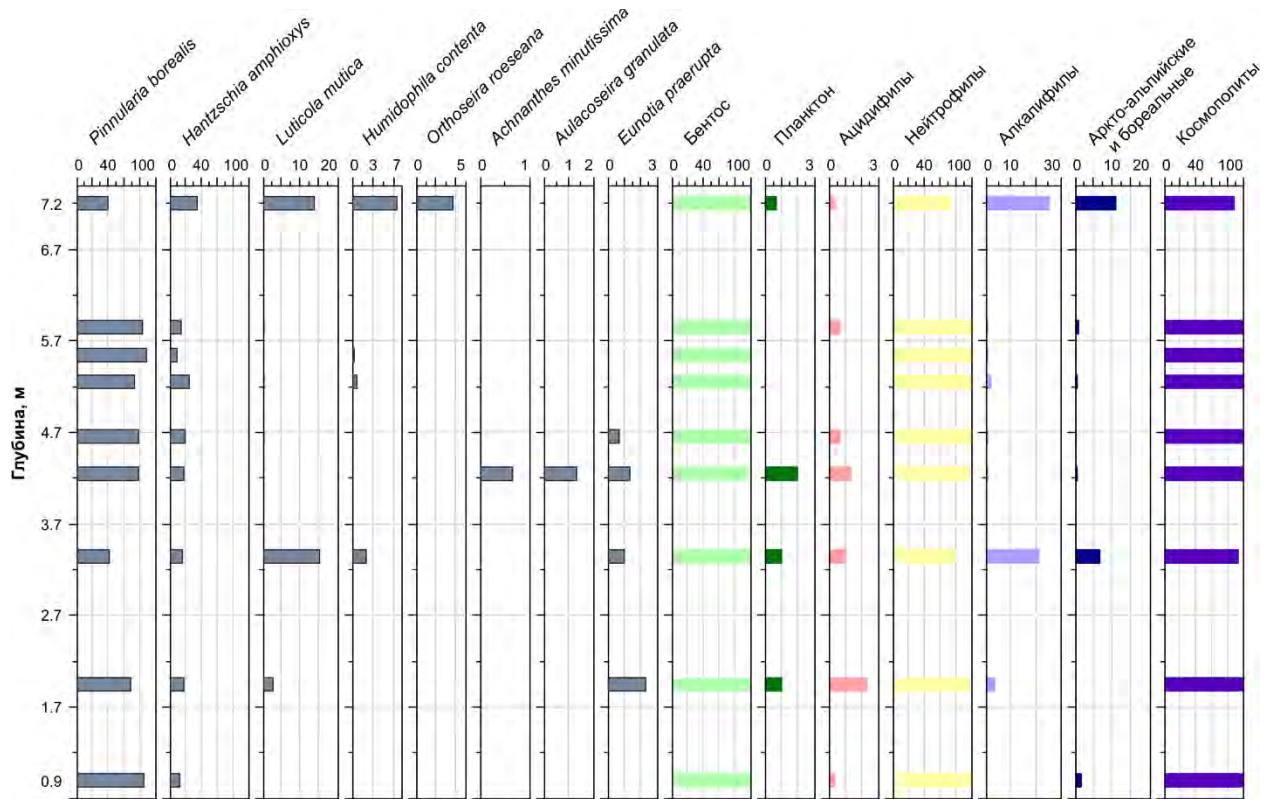


Рис. 5. Распределение наиболее представленных видов диатомовых водорослей и экологические группы диатомовых комплексов в отложениях опорного разреза Камплен.

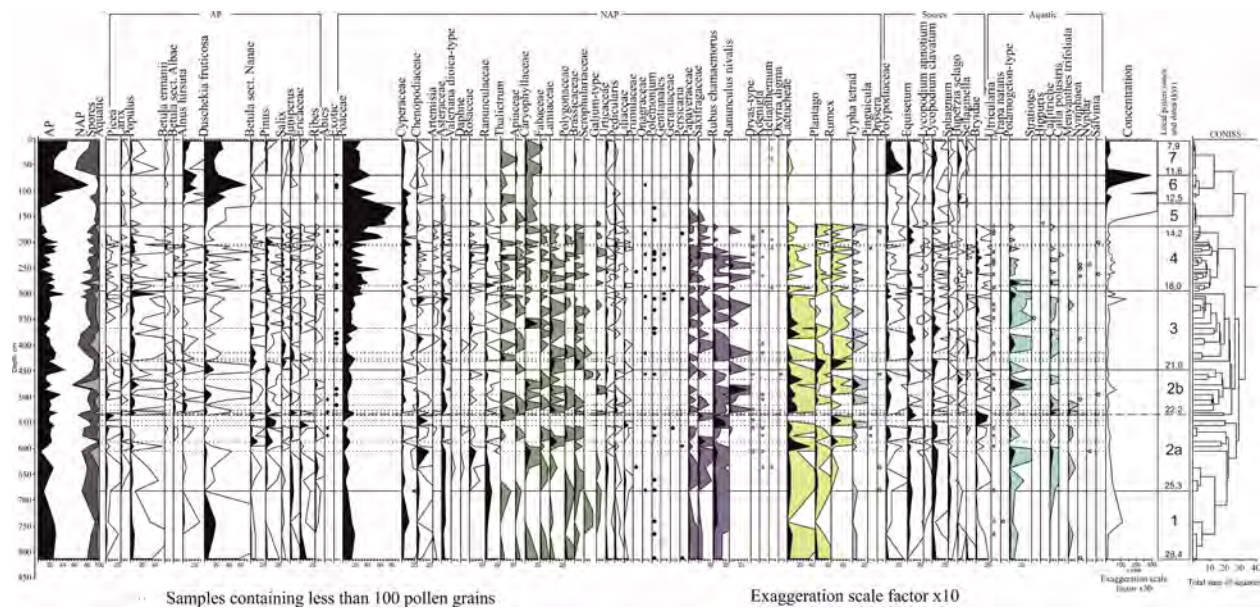


Рис. 6. Спорово-пыльцевая диаграмма опорного разреза Кампен.

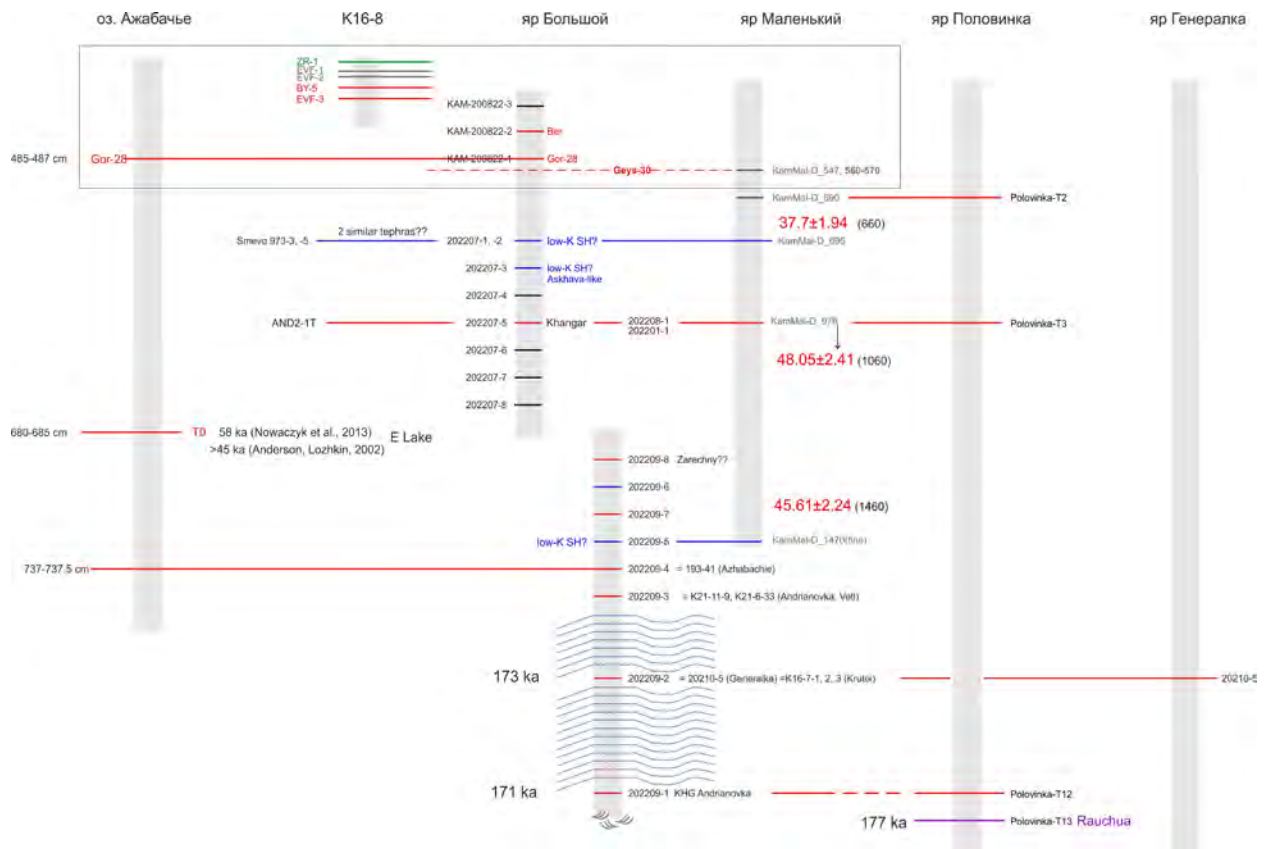


Рис. 7. Схема тифрохронологических корреляций опорных разрезов позднего плейстоцена ЦКД. Серым цветом показаны все образцы и корреляции, известные до начала работ по проекту, черным – новые данные. Красным показаны ОСЛ – датировки, выполненные в Университете Лозанны (Georgina King, personal communication), данные не опубликованы.

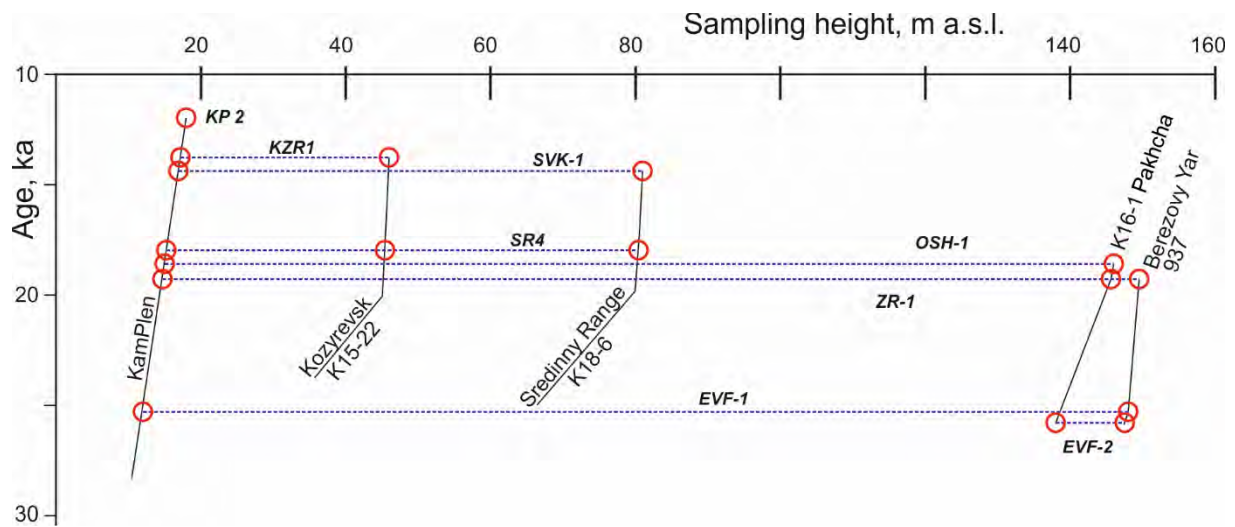


Рис. 8. График зависимости возраста наиболее молодых пеплов в озерных разрезах в зависимости от их высоты над уровнем моря.

