

Исследование палеовреза с помощью гравиметрических наблюдений

© 2020 Л. М. Буданов¹, Н. П. Сенчина*², О. М. Шнюкова², Г. Д. Горелик²

¹Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, Россия,

²Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия,

*E-mail: n_senchina@inbox.ru

Резюме. Задача изучения палеодолин актуальна для территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области из-за слабой устойчивости грунтов и высокого риска нарушения инженерных конструкций в районах развития указанных структур. Кроме того, палеодолины региона являются источником возобновляемых запасов питьевой воды за счет значительной мощности рыхлых отложений, выполняющих врезы. Картирование и оценка мощности коллектора могут быть полезны при выборе и мониторинге в процессе эксплуатации источников водоснабжения ближайших населенных пунктов (г. Сестрорецк, пос. Солнечное Ленинградской области и др.). Поскольку плотность вмещающих пород выше, чем выполняющих врезы отложений, палеодолины представляют собой участки с относительно увеличенной мощностью малоплотных отложений, над которыми ожидаются отрицательные гравиметрические аномалии. Выполнены наблюдения вдоль одного профиля, секущего предполагаемое расположение исследуемого вреза. Исследование проведено с помощью высокоточного гравиметра CG-5 Autograv с геодезическим сопровождением. Работы продемонстрировали эффективность гравиразведки при решении поставленной задачи, а также показали пользу проведения площадных гравиметрических наблюдений и комплексирования с мало-глубинными сейсмическими исследованиями. Аномалия над врезом составила примерно 1 мГал, результаты показали наличие тектонического нарушения под палеоврезом, с вертикальным смещением в нижележащих отложениях, которое не наследуется современным рельефом. Наблюдения, обработка и интерпретация данных выполнены при участии студентов Санкт-Петербургского горного университета в рамках факультативных занятий.

Ключевые слова: гравиметр, гравиразведка, редукция Буге, гравитационное поле, палеорусл, палеодолина, инженерная геофизика, Финский залив, Ленинградская область, ледниковые отложения

Для цитирования: Буданов Л.М., Сенчина Н.П., Шнюкова О.М., Горелик Г.Д. Исследование палеовреза с помощью гравиметрических наблюдений. *Геосистемы переходных зон*, 2020, т. 4, № 3, с. 288–296. <https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.3.288-296>

For citation: Budanov L.M., Senchina N.P., Shnyukova O.M., Gorelik G.D. Study of paleochannels by means of gravimetric observations. *Geosistemy perehodnykh zon = Geosystems of Transition Zones*, 2020, vol. 4, no. 3, pp. 288–296. (In Russ.). <https://doi.org/10.30730/gtrz.2020.4.3.288-296>

Study of paleochannels by means of gravimetric observations

Leonid M. Budanov¹, Natalia P. Senchina*², Olga M. Shnyukova², Gleb D. Gorelik²

¹A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute, St. Petersburg, Russia

²Saint Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

*E-mail: n_senchina@inbox.ru

Abstract. Investigation of ancient river valleys – paleochannels – is of particular relevance for the territory of St. Petersburg and the Leningrad region due to a poor stability of rocky soils here and the subsequent high risk of structural damage during the construction of multi-storey buildings. In addition, paleochannels in the region constitute a source of renewable drinking water owing to a significant capacity of sandy sediments. The mapping and estimation of the capacity of such reservoirs may be useful for the selection and monitoring during operation of water sources feeding the nearest settlements (Sestroretsk, Solnechnoye, etc.). Since the density of the enclosing rocks is higher than that of incising sediments, paleochannels

constitute areas having a relatively high thickness of low-density sediments, over which negative gravimetric anomalies can be expected. At the first stage of the study, observations along a single profile crossing the assumed position of the paleochannel under study were performed. The study was conducted using a high-precision gravimeter Autograv CG-5 with geodesic tracking. The research confirmed the efficiency of gravity survey for solving the research tasks, as well as for performing areal gravimetric observations combined with shallow seismic surveys. The anomaly above the incision under study was approximately 1 mGa. The study revealed the presence of tectonic disruptions under the paleochannel, vertically displaced respective to the underlying sediments not inherited by the modern relief. Observations, processing and interpretation of the data were performed with the participation of students from the St. Petersburg Mining University in the framework of elective classes.

Keywords: gravimeter, gravity survey, Bouguer reduction, gravitational field, paleo-bed, paleo-valley, engineering geophysics, Gulf of Finland, Leningrad region, glacial deposits

Благодарности и финансирование

Авторы благодарят И.В. Лыгина, доцента кафедры геофизических методов исследования земной коры МГУ имени М.В. Ломоносова, за советы по улучшению статьи; Н.О. Медведева, инженера гравиметрической партии Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского, за активное участие в полевом этапе работ.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (грант № 19-35-50072, «Выявление палеодолин в современных береговых зонах российских секторов Балтийского моря»).

Введение

Для геологического строения северной Европы характерно наличие сложной системы погребенных плиоцен-плейстоценовых врезов [Геологический атлас... , 2009]. Исследования, направленные на изучение системы палеодолин, ведутся с начала XX в., когда было установлено их существование. На сегодняшний день накоплен значительный объем данных, полученных как на суше [Дашко и др., 2011; Jørgensen, Sandersen, 2008; Kirsch et al., 2006], так и на акваториях морей [Спирidonov, 2010; Mads, Lykke-Andersen, 2000; Velegrakis et al., 2010].

Высокий интерес к погребенным долинам связан с их геологическими особенностями. Информация о строении погребенных долин отражает условия седиментации в ледниковые и межледниковые периоды и может быть использована для палеореконокструкций. Помимо этого палеодолины являются коллекторами подземных вод, которые представляют все больший интерес для водоснабжения. Причиной интереса служит то, что воды в них могут быть лучше защищены от загрязнения, чем приповерхностные водоносные горизонты [Kirsch et al., 2006].

В Санкт-Петербурге и Ленинградской области в настоящее время продолжают активно осваиваться обширные территории,

возводятся промышленные и жилые сооружения, в том числе высотные, прокладываются коммуникации и т.д. Палеодолины, в связи с высокой мощностью менее устойчивых четвертичных отложений, создают потенциально высокий геологический риск при строительстве многоквартирных домов сплошной застройки, объектов инженерной и транспортной инфраструктуры, магистралей городского и районного значения и т.д. (рис. 1 а). Слабая устойчивость грунтов в районе их развития может привести к нарушению целостности построек из-за увеличения нагрузки на геологическую среду [Дашко и др., 2011]. В зоне расположения погребенных долин фиксируется высокое положение уровня грунтовых вод, поэтому при строительстве необходимо принимать во внимание интенсивность их воздействия на материал фундамента [Дашко и др., 2011]. Палеоврезы являются неблагоприятным фактором при освоении подземного пространства, поэтому их наличие нужно учитывать при строительстве подземных линий метрополитена и коллекторных тоннелей, которые рекомендуется прокладывать в дочетвертичных отложениях, ниже самой глубокой части палеодолин – тальвега. В связи с этим анализ распространения и состояния древних погребенных врезом имеет большое

инженерно-геологическое, гидрогеологическое и экологическое значение.

На территории города и в акватории Невской губы погребенные долины являются врезами в дочетвертичных породах вендского (в центральной и северной части рассматриваемого района) или кембрийского (на юге) возраста, которые выполнены и перекрыты четвертичными отложениями (рис. 1 б). Палеодолины характеризуются значительной глубиной вреза – до 100 м при ширине до 1–2 км, крутизна склонов относительно невелика и изменяется обычно в пределах 12–15°, реже 18°, в верхней части – менее 10° [Николаева, Норова, 2012]. В четвертичной толще в пределах долин выделяют до трех ледниковых и межледниковых комплексов, встречающихся на территории города. Моренные толщи представлены преимущественно суглинками с гравием,

галькой и валунами, являющимися водоупором. Межморенные водоносные образования представлены песками, супесями, песками с гравием и галькой [Буданов и др., 2017].

Показанные на рис. 1 б палеодолины прослежены преимущественно с помощью анализа данных бурения скважин, что является дорогостоящим способом изучения недр. Бурение производится по неравномерной сети. В данной работе рассматривается возможность картирования погребенных врезов на территориях, слабо изученных бурением, а также перспективы более детального рассмотрения внутренней структуры объектов с помощью гравirazведки с привлечением других геофизических методов исследования.

В качестве полигона для опытно-методических работ выбран пляж на берегу Финского залива вблизи г. Сестрорецк (рис. 1 с) ввиду транспортной доступности, благоприятных

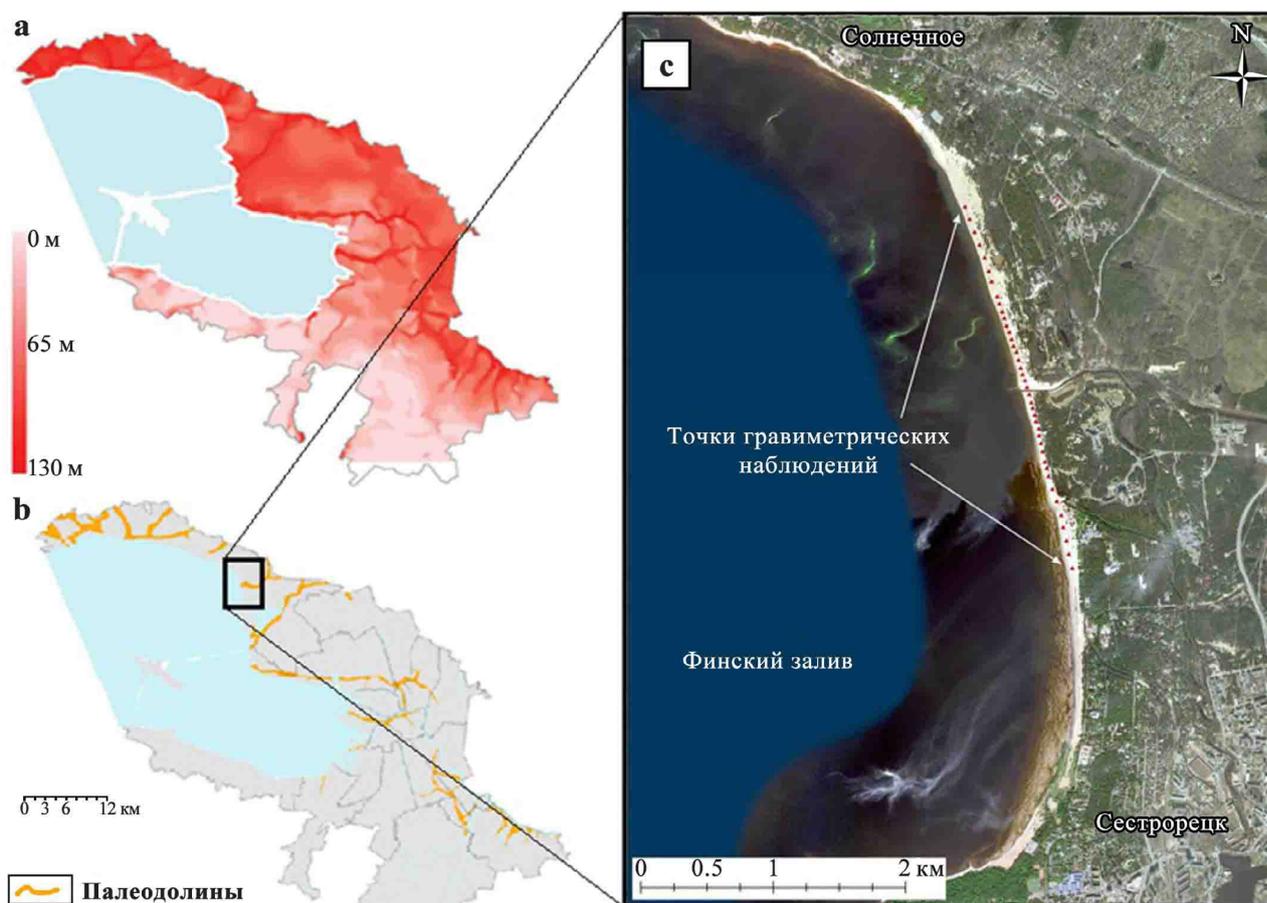


Рис. 1. Схемы мощности четвертичных образований (а) и расположения палеодолин (б) в пределах Санкт-Петербурга. Профиль гравиметрических наблюдений (с) (с использованием [Геологический атлас... , 2009; Ядута, 2006; Climate Proof...]).

Figure 1. The schemes of the Quaternary sediments (a), and the paleovalleys location within the territory of St. Petersburg (b). Gravimetric observations stations (c) (using [Geological Atlas... , 2009; Yaduta, 2006; Climate Proof...]). Paleovalleys are shown with an orange line.

природных условий, пологого рельефа и ожидаемой на основе геологических сведений выравненности палеовреза в физических полях.

Обоснование выбора методики работ

По данным многочисленных скважин, пробуренных в Ленинградской области [Дашко и др., 2011], плотность рыхлых четвертичных отложений, выполняющих врезы палеодолин рассматриваемого региона, меньше плотности коренных отложений. Плотность отложений ледниковых, межледниковых и послеледниковых комплексов варьирует в пределах от 1.76 до 2.27 г/см³, а вендских глин, поверхность которых осложнена врезам, – от 2.67 до 2.76 г/см³ (см. таблицу). Мощность четвертичной толщи вне палеодолин варьирует незначительно – от 20 до 45 м, а в тальвегах погребенных долин достигает 150 м. Увеличение мощности рыхлых четвертичных отложений, а также возможное наличие тектонически ослабленных пород в основании вреза [Ауслендер, 2002; Дашко и др., 2011; Ядута, 2006] приводит к отрицательной избыточной плотности в типовом разрезе палеодолин, которая проявляется в виде отрицательной аномалии в поле силы тяжести. Успешное применение высокоточной гравиразведки в исследованиях, направленных на изучение палеодолин, подтверждает эффективность метода не только при локализации врезов, но и в уточнении характера его заполнения [Малов, 1999; Mads, Lykke-Andersen, 2000].

Для оценки информативности метода при изучении палеодолин выполнено компьютер-

Таблица. Плотность и состав отложений, слагающих разрез

Table. Density and composition of sediments

№	Состав отложений*	ρ , г/см ³
1	Суглинки (глиацальные)	2.02–2.27
2	Пески/супеси	1.70–1.95
3	Глины	2.17–2.26
4	Песчаник	2.25–2.60

* Отложения со схожим литологическим составом и физическими свойствами в пределах палеодолины могут встречаться в комплексах различных возрастов, поэтому они сгруппированы по преимущественному составу, не по возрасту. Коренные отложения – глины и песчаники – относятся к котлинскому горизонту венда.

*Sediments with similar lithological composition and physical properties within the area of paleovalley can occur in the complexes of different ages, so they are grouped by their predominant composition, not by age. The bedrock sediments – clay and sandstones – belong to the Vendian Kotlin horizon.

ное моделирование – решение прямой задачи гравиразведки для типового разреза палеоруслы, характерного для региона. В целях оценки геологической обстановки и выбора оптимального варианта проведения полевых работ составлена по априорным данным модель изучаемого объекта – двумерный плотностной разрез (рис. 2).

Объектом моделирования выступает палеоруслы, заполненное переслаивающимися суглинками, песками и супесями, с углами склонов около 10°. Вмещающие породы представлены характерными для района вендскими глинами. Для моделирования использовались такие априорные сведения, как скважинные колонки, на которых указаны границы горизонтов, сведения о геологическом строении района на региональном уровне, определенные по керну значения плотностей слагающих разрез пород и т.д. В совокупности все эти сведения помогли оценить пространственные и петрофизические характеристики модели. Сеть наблюдений, используемая при моделировании, была выбрана в соответствии со съемкой масштаба 1:25 000 согласно изданной в 1975 г. «Инструкции по гравиметрической разведке» Всесоюзного научно-исследовательского института геофизических методов разведки (<http://www.geokniga.org/books/48>). Такой выбор обусловлен геометрическими размерами изучаемого объекта: глубина вреза в дочетвертичной толще до 100 м при ширине до 1–2 км. Шаг наблюдений при моделировании составлял 50 м. Моделирование показало, что указанный шаг съемки приемлем для выделения палеоруслы и количественной интерпретации параметров аномалеобразующего объекта (см. рис. 2).

Дополнительно проведено изучение магнитного поля для выделения возможного тектонического нарушения, залегающего в основании вреза. Использовался протонный магнитометр GSM-19T. При наличии режима непрерывной съемки с автоматической GPS-привязкой («walking mode») вопрос о шаге наблюдений не стоял (https://userpage.fu-berlin.de/geodyn/instruments/Manual_GEM_GSM-19.pdf). Обработка данных, включавшая введение поправки за вариации магнитного поля, проведена в модуле MagBase в программном пакете Oasis Montaj.

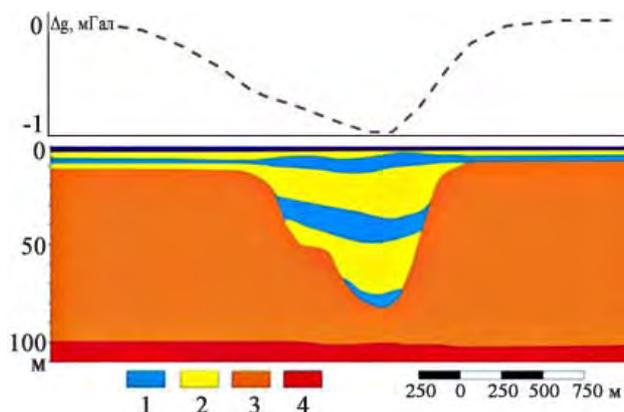


Рис. 2. Априорная физико-геологическая модель и гравитационное поле, рассчитанное по модели погребенной долины. 1 – суглинки (гляциальные), 2 – пески/супеси, 3 – глины, 4 – песчаник.

Figure 2. A-priori physical-geological model and gravitational field computed according to the model of the buried valley. 1 – glacial loams, 2 – sands/sandy loams, 3 – clays, 4 – sandstone.

Основными трудностями в применении метода являлись наличие на берегу металлических конструкций и отсутствие информации о магнитных свойствах слагающих разрез пород, ввиду чего метод имел подчиненное значение.

Методика полевых гравиметрических исследований и обработки материалов

Гравиметрическая съемка выполнялась с использованием современного автоматического микропроцессорного гравиметра CG-5 Autograv (Scintrex Ltd, Канада) по профилю, расположенному вдоль уреза воды по берегу Финского залива в районе нахождения палеодолины (рис. 1 с). Расположение точек наблюдения на профиле, параллельном береговой линии в пределах пляжа, на котором отсутствуют значительные перепады высот, позволило минимизировать влияние окружающего рельефа на регистрируемые данные. Шаг наблюдений составлял 50 м в центральной части профиля (над предполагаемым расположением тальвега и склоновых участков погребенной долины) и 100 м на его периферии.

Съемка и подготовка оборудования к работе проводились в соответствии с инструкцией CG-5 Manual (https://scintrexltd.com/wp-content/uploads/2017/02/CG-5-Manual-Ver_8.pdf). На рядовых пунктах гравиметрических наблюдений измерения производились

в режиме – три цикла продолжительностью по 30 с, выполнялся оперативный контроль качества наблюдений.

При реализации гравиметрической съемки для учета остаточного дрейфа нуля выбирался локальный опорный гравиметрический пункт (ОГП), длительность рейсов не превышала 2 ч для обеспечения микрогальной точности. Работы проводились с условным уровнем наблюдаемых величин, без приведения к абсолютным значениям гравитационного поля. Режим наблюдений на ОГП – девять циклов измерений продолжительностью по 30 с.

Каждое звено съемки проконтролировано путем выполнения повторных измерений на рядовых гравиметрических пунктах. Среднеквадратичное отклонение по результатам оценки измерений на контрольных точках составляет 9 мкГал.

Топогеодезическое обеспечение (привязка точек наблюдений) осуществлялось с использованием портативного GPS/ГЛОНАСС-навигатора, а изменение альтитуд рельефа на профиле фиксировалось нивелирной съемкой. Погрешность измерений по вертикали составляла 0.5 см, а перепад высот по результатам измерений не превышал 2 м.

Обработка полевых материалов выполнялась в программном пакете Oasis Montaj от Geosoft Inc, Канада (https://www.academia.edu/18154231/montaj_Gravity_and_Terrain_Correction). В данные были внесены следующие поправки: приливно-отливные (лунно-солнечные) вариации, дрейф нуля (остаточный), за высоту точки наблюдения и промежуточный слой. В определении аномальной составляющей поля, обусловленной плотностной неоднородностью разреза, учтено изменение нормального гравитационного поля с широтой расположения точки наблюдения.

Результаты и обсуждение

Первичная интерпретация проводилась без привлечения данных других методов и показала неограниченную вариативность моделей, удовлетворяющих наблюдаемому полю и известным данным о значениях плотностей пород. Это связано с неоднозначностью решения обратной задачи гравиразведки. Однако все они свидетельствуют об отрицательной эффективной плотности отложений, выполняющих врез.

В связи с этим для интерпретации были привлечены данные сейсмических исследований. Результаты сейсмических исследований, полученные на факультативном занятии студентов Горного университета, проводимых под руководством авторов, позволили закрепить в плотностной модели некоторые однозначно интерпретируемые границы. Учитывая особенности геологического строения для палеодолин исследуемого региона, сейсмические границы и границы блоков плотностной модели соответствуют друг другу, так как в данных условиях границы, на которых происходит изменение акустической жесткости, и границы, на которых изменяются плотности, на физико-геологической модели палеодолины совпадают. Оптимальным способом изучения палеодолины представляется сочетание гравиметрических и сейсмических исследований вдоль одного профиля с их комплексной интерпретацией.

Так, по результатам комплексной интерпретации данных гравиразведки и сейсморазведки установлено, что крутизна склонов вреза изменяется в пределах от 8° до 12° , южный склон осложнен террасой, тальвег расположен на абсолютной глубинной отметке около 100 м и смещен по латерали от предполагаемого (по данным схемы, опублико-

ванной в [Геологический атлас... , 2009]) положения в северном направлении более чем на 400 м, глубина вреза в дочетвертичных породах составляет около 50 м, а террасы палеодолины расположены на уровне около 70 м.

Дополнительное подтверждение наличия ступени возможно по данным магниторазведки – в средней части профиля поле претерпевает резкое изменение, что свидетельствует о вертикальном перепаде поверхности вендских глин вблизи разлома, контролирующего палеоврез. Представленные на рис. 4 данные были получены в результате непрерывной пешеходной съемки магнитного поля вдоль нескольких профилей. Выполнение работы в зимний период позволило пройти по льду, отдалившись от антропогенных аномалий, расположенных на берегу (ярко-розовый цвет на карте, рис. 4). Съемка проведена с учетом вариаций магнитного поля протонными магнитометрами GSM-19Т.

Данные магниторазведки не позволяют выделить собственно долину, однако достоверно локализуют связанное с палеоврезом тектоническое нарушение по выраженной градиентной зоне.

По итогам этапа магнитной съемки, в данном регионе не представляется перспективным использование магниторазведки

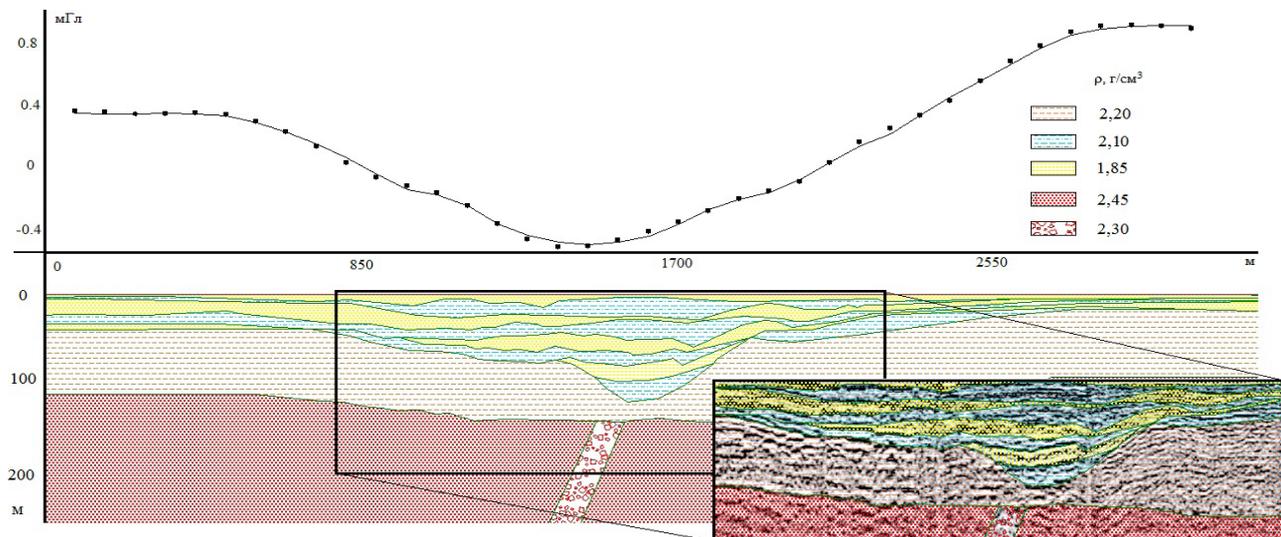


Рис. 3. Результат гравитационного моделирования по изученному профилю. В верхней части рисунка: точки – измеренные значения, черная линия – выбранное (модельное) поле (поле в редукции Буге с условным уровнем). Внизу показана двумерная плотностная модель. Врезка – фрагмент разреза, полученного по данным сейсморазведки в сопоставлении с границами плотностных блоков. Растяжение по вертикали в 2.5 раза.

Figure 3. The result of gravitational simulation along the studied profile. In the upper part of the figure: the points – measured values, the black line – model field (field in the Bouguer reduction with nominal level). Below a two-dimensional density model is shown. The inset at the right part of the picture – a fragment of the section obtained using the seismic data in comparison with the boundaries of the density blocks. Vertical spreading: 2.5.

для выделения врезов древних рек, однако объекты сопровождающего ряда, такие как разрывные нарушения, можно выделить по высокоградиентным зонам магнитного поля.

Анализируя проведенный цикл работ – грави-, магниторазведку, а также результаты сейсморазведки, можно отметить:

1) затраты времени на гравиразведку небольшие (1 полный день съемки), результат получен быстро, положение палеовреза локализовано точно. Применение рекомендовано, особенно на поисковом этапе;

2) затраты времени на магниторазведку небольшие (примерно 3 ч съемки), однако прямых признаков палеовреза не обнаруживается. Применение для картирования палеодолин не рекомендуется;

3) затраты времени на сейсморазведку значительные (большая группа операторов и помощников, 2 полудневных выезда и относительно длительная обработка), палеоврез выделен однозначно и достоверно. Метод рекомендуется как заверяющий для сублинейных отрицательных аномалий, полученных по данным гравиметрии.



Рис. 4. Результат магнитной съемки (в том числе ледовой).

Figure 4. The result of magnetic survey (including ice survey).

Заключение

По результатам выполненной работы установлены геометрические характеристики погребенной долины (глубина вреза, крутизна склонов) и плотностные параметры заполняющего врез материала. Уточнено положение тальвега: ожидаемое его положение по данным бурения оказалось на 400 м севернее предполагаемого изначально; установлено наличие террас палеодолины. Результаты показали наличие тектонического нарушения под палеоврезом.

Метод гравиметрии показал высокую эффективность в решении задачи картирования палеорусл. Аномалия над врезом составила примерно 1 мГал, что достаточно для обнаружения палеодолины с помощью гравиметрии. Однако для построения достоверного плотностного разреза и установления количественных характеристик аномалеобразующего объекта необходимо привлечение результатов структурных методов, например результатов сейсмических исследований.

Предполагается широкий интерес к направлению изучения палеодолин в береговых зонах окрестностей Санкт-Петербурга. Общественно-деловой комплекс «Лахта Центр», самый северный небоскреб в мире, находится вблизи палеовреза, что учтено в конструкции здания (фундамент установлен на сваи с глубиной заложения 82 м). Развитие района приведет к необходимости дальнейшего углубленного изучения особенностей погребенных долин прибрежной зоны. Для успешного применения гравиметрии в инженерно-геологических задачах требуется определение диапазона гравитационных аномалий, характерных для палеоврезов, в зависимости от литологических и геометрических их особенностей. Возможно ранжирование территорий по эффективности применения гравиметрии на основе изучения плотностного контраста вмещающих и заполняющих врез горных пород. Необходима разработка критериев выделения террас в крыльях вреза и тектонических нарушений в заложении тальвега на основе моделирования и множественных практических наблюдений.

Список литературы

1. Ауслендер В.Г., Яновский А.С., Кабаков Л.Г., Плешивцева Э.С. **2002**. Новое в геологии Санкт-Петербурга. *Минерал*, 1(4): 51–58.
2. Буданов Л.М., Глазунов В.В., Сергеев А.Ю., Кропачев Ю.П. **2017**. Картирование погребенных долин в пределах акватории озера Сестрорецкий Разлив по данным комплексных гидрогеофизических исследований. *Материалы 13-й конференции и выставки «Engineering Geophysics 2017»*. Кисловодск, 190–198.
3. Геологический атлас Санкт-Петербурга, **2009**. Санкт-Петербург: Комильфо, 57 с.
4. Дашко Р.Э., Александрова О.Ю., Котюков П.В., Шидловская А.В. **2011**. Особенности инженерно-геологических условий Санкт-Петербурга. *Развитие городов и геотехническое строительство*, 1: 1–47. <http://www.urban-development.ru/2011/2.pdf>
5. Малов Н.Д. **1999**. О причинах аварии в Петербургском метро. *Минерал*, 2(3): 44–47.
6. Николаева Т.Н., Норова Л.П. **2012**. Инженерно-геологическая оценка особенностей строения древней долины на севере Санкт-Петербурга. *Грунтоведение*, 1: 44–52.
7. Спиридонов М.С. и др. **2010**. Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря. СПб.: ВСЕГЕИ, 78 с.
8. Ядута В.А. **2006**. Новейшая тектоника Санкт-Петербурга и Ленинградской области. *Минерал*, 1: 28–35.
9. Huuse M., Lykke-Andersen H. **2000**. Overdeeped Quaternary valleys in the eastern Danish North Sea: morphology and origin. *Quaternary Science Reviews*, 19: 1233–1253. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(99\)00103-1](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(99)00103-1)
10. *Climate Proof Living Environment*. URL: <http://cliplive.infoeco.ru/index.php?id=34> (дата обращения: 05.05.2020).
11. Jørgensen F., Sandersen P.B.E. **2008**. Mapping of buried tunnel valleys in Denmark: new perspectives for the interpretation of the Quaternary succession. *Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) Bulletin*, 15: 33–36. <https://doi.org/10.34194/geusb.v15.5037>
12. Reinhard K., Rumpel H.-M., Scheer W., Wiederhold H. **2006**. *Groundwater resources in buried valleys – a challenge for geosciences*. Hannover: Leibniz Inst. for Applied Geosciences (GGA-Institut), 299 p.
13. Velegrakis A.F., Ballay A., Poulos S., Radzevičius R., Bellec V.K., Manso F. **2010**. European marine aggregates resources: Origins, usage, prospecting and dredging techniques. *J. of Coastal Research, SI*, 51: 1–14.

References

1. Auslender V.G., Ianovskii A.S., Kabakov L.G., Pleshivtseva E.S. **2002**. Nove v geologii Sankt-Peterburga [New in geology of Saint Petersburg]. *Mineral*, 1(4): 51–58. (In Russ.).
2. Budanov L.M., Glazunov V.V., Sergeev A.Yu., Kropachev Yu.P. **2017**. Kartirovanie pogrebennykh dolin v predelakh akvatorii ozera Sestroretskii Razliv po dannym kompleksnykh gidrogeofizicheskikh issledovaniy [Mapping of the buried valleys within the water area of the Sestroretsky Lake Spill according to the data of complex hydrogeophysical studies]. In: *Materialy 13-i konferentsii i vystavki “Engineering Geophysics 2017” [13th Conference and Exhibition “Engineering Geophysics 2017”]*. Kislovodsk, 190–198. (In Russ.).
3. *Geological Atlas of Saint Petersburg*. **2009**. St. Petersburg: Komilfo, 57 p. (In Russ.).
4. Dashko R.E., Aleksandrova O.Yu., Kotiukov P.V., Shidlovskaya A.V. **2011**. Osobennosti inzhenerno-geologicheskikh uslovii Sankt-Peterburga [Features of geotechnical conditions of St. Petersburg]. In: *[Urban development and geotechnical construction]*, 1: 1–47. (In Russ.). <http://www.urban-development.ru/2011/2.pdf>
5. Malov N.D. **1999**. O prichinakh avarii v Peterburgskom metro [About the causes of the accident in the St. Petersburg metro]. *Mineral*, 2(3): 44–47. (In Russ.).
6. Nikolaeva T.N., Norova L.P. **2012**. Inzhenerno-geologicheskaya otsenka osobennostei stroeniia drevnei doliny na severe Sankt-Peterburga [Engineering geological assessment of the features of the structure of the ancient valley in the north of St. Petersburg]. *Gruntovedenie* [Soil Science], 1: 44–52. (In Russ.).
7. Spiridonov M.S. et al. **2010**. *Atlas geologicheskikh i ekologo-geologicheskikh kart Rossiiskogo sektora Baltiiskogo moria [Atlas of geological and ecological-geological maps of the Russian sector of the Baltic Sea]*. St. Petersburg: VSEGEL, 78 p. (In Russ.).
8. Yaduta V.A. **2006**. Noveishaia tektonika Sankt-Peterburga i Leningradskoi oblasti [The latest tectonics of St. Petersburg and the Leningrad region]. *Mineral*, 1: 28–35. (In Russ.).
9. *Climate Proof Living Environment*. URL: <http://cliplive.infoeco.ru/index.php?id=34> (accessed 05.05.2020).

10. Huuse M., Lykke-Andersen H. **2000**. Overdeeped Quaternary valleys in the eastern Danish North Sea: morphology and origin. *Quaternary Science Reviews*, 19: 1233–1253. [https://doi.org/10.1016/s0277-3791\(99\)00103-1](https://doi.org/10.1016/s0277-3791(99)00103-1)
11. Jørgensen F., Sandersen P.B.E. **2008**. Mapping of buried tunnel valleys in Denmark: new perspectives for the interpretation of the Quaternary succession. *Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) Bulletin*, 15: 33–36. <https://doi.org/10.34194/geusb.v15.5037>
12. Reinhard K., Rumpel H.-M., Scheer W., Wiederhold H. **2006**. *Groundwater resources in buried valleys – a challenge for geosciences*. Hannover: Leibniz Inst. for Applied Geosciences (GGA-Institut), 299 p.
13. Velegrakis A.F., Ballay A., Poulos S., Radzevičius R., Bellec V.K., Manso F. **2010**. European marine aggregates resources: Origins, usage, prospecting and dredging techniques. *J. of Coastal Research, SI*, 51: 1–14.

Об авторах

БУДАНОВ Леонид Михайлович, кандидат географических наук, инженер, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, Россия, vsegei@vsegei.ru
СЕНЧИНА Наталия Петровна (ORCID 0000-0001-5458-648X; ResearcherID E-3465-2014; Scopus ID 56401906000), кандидат геолого-минералогических наук, старший преподаватель, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, n_senchina@inbox.ru
ШНЮКОВА Ольга Михайловна, студент, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, shnyu_olga@icloud.com
ГОРЕЛИК Глеб Дмитриевич (ORCID 0000-0002-9890-5275; ResearcherID Y-8429-2018; Scopus ID 57210743877), кандидат технических наук, старший преподаватель, Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия, gleb.gorelik@yandex.ru