

УДК 550.831+551.4.075:551.89

Л. А. Кулешова, Г. С. Михневич

**ПРИМЕНЕНИЕ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОГО МЕТОДА РАЗВЕДКИ
ПРИ ИЗУЧЕНИИ ПОГРЕБЕННЫХ ПАЛЕОВРЕЗОВ
НА ТЕРРИТОРИИ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ**

75

В работе представлены результаты гравиметрического обследования территории близ г. Светлогорска в прибрежной части Калининградской области, характеризующейся залеганием в ее дочетвертичной поверхности двух палеоврезов. На полученных графиках аномалии силы тяжести палеоврезы отражаются глубокими локальными минимумами. На основе анализа пространственного распределения палеоврезов по гравиметрическим данным сделано предположение о захоронении в подповерхности не отдельных палеоструктур, а системы пересекающихся V-образных понижений.

This paper summarizes the results of gravity surveys conducted across two palaeoincisions cut into the sub-Quaternary surface in the coastal area of the Kaliningrad region near Svetlogorsk. Strong local negative anomalies caused by the palaeoincisions are observed on the gravity anomaly profiles. The analysis of the palaeoincision's spatial distribution by using gravity data assumed that there is the system of intersecting V-shaped depressions rather than individual paleostructures buried in the subsurface.

Ключевые слова: гравиразведка, поверхность дочетвертичных отложений, палеоврезы, палеодолины, Калининградская область.

Key words: gravity investigation, sub-Quaternary surface, palaeoincisions, tunnel valleys, Kaliningrad region.

Введение

Древние погребенные долины (палеоврезы) являются важными геологическими структурами дочетвертичного рельефа Калининградской области. Заключая в себе относительно полную стратиграфическую последовательность четвертичных отложений, они служат почти единственными источниками информации о длительном периоде развития территории за последние 2,6 млн лет (начиная с рубежа неогенового и четвертичного времени). Помимо палеогеографического аспекта, исследование погребенных долин вызвано необходимостью решить практические задачи: значительная часть палеоврезов заполнена водовмещающими породами, активно использующимися для хозяйственно-питьевого водоснабжения (например, палеоврезы в районе г. Балтийска, Светлогорска, Славска) [3; 7]. Также положение древних врезов должно учитываться при геолого-съемочных и инженерно-геологических изысканиях ввиду часто наблюдаемой резкой фациальной изменчивости между подстилающими и заполняющими их отложениями [1; 6].



Верное отображение древних долинных структур на картах и качественное описание их характеристик достигается с помощью прогрессивных методов разведки геологических отложений. Наиболее усовершенствованная методика выработана в странах Европы (Дании, Германии, Нидерландах), где в течение последних 10–15 лет наблюдается повышенный научный интерес к захороненным долинам [10; 12–16; 18].

Все методы по выявлению погребенных долин могут быть условно объединены в следующие группы: разведочное бурение, сейсморазведка, электроразведка, гравиразведка [13]. Среди них электроразведка занимает ведущее положение: метод переходных процессов (ТЕМ) широко применяется при картировании древних врезов. Подобный метод обеспечивает необходимую густоту данных сетки, накладываемой на изучаемую территорию, и, таким образом, картирование врезов производится с достаточной степенью точности [12–14]. Однако в областях, где контрасты удельного сопротивления горных пород незначительны, ТЕМ-метод оказывается неэффективным. В этом случае прибегают к другим геофизическим методам [17].

Наиболее простым и экономичным является гравиметрический метод разведки. В его основе лежит изучение распределения поля силы тяжести в зависимости от изменения плотности пород. Ввиду того что возмущающий объект – дочетвертичные породы – в случае погребенной долины залегает недалеко от поверхности наблюдения, уже незначительный дефект плотности может вызвать аномалию, амплитуда которой соизмерима с сигналом от кристаллического основания в районе исследований [9]. Основной практический недостаток гравиметрического метода заключается в том, что с его помощью трудно обнаружить мелкие детали геологического строения. Поэтому данный метод мало используется в детальных гидрогеологических исследованиях и с успехом применяется при картировании крупных погребенных долин. Как правило, гравиразведка предшествует другим, более детальным методам полевой геофизики (сейсморазведке, электроразведке) и поисковому бурению, так как позволяет с меньшими экономическими затратами выделять наиболее перспективные участки для постановки более подробных исследований [8; 9].

Цель настоящей работы – исследовать возможность использования гравиметрического метода разведки для выявления древних погребенных форм рельефа в Калининградской области на примере участка, характеризующегося залеганием в его дочетвертичной поверхности двух палеоврезов.

Ранее, в 70-х гг. прошлого века, литовские ученые показали эффективность применения метода высокоточной гравиметрии при разведывании и картировании врезов в поверхности дочетвертичных пород в условиях юго-восточной части Балтийского региона [9]. В ходе интерпретации материалов гравиметрических съемок выяснилось следующее: отложения, заполняющие палеоврезы, дефект плотности которых составляет $0,1 \text{ г/см}^3$ при мощности вреза 100 м, вызывают возмущение поля силы тяжести значительной амплитуды [9]. Учитывая, что плотность глинистых пород, песчаников, мергелей, слагающих дно и борта вреза, находится в пределах $1,8–2,4 \text{ г/см}^3$, а песков, заполняющих вре-



зы, $-1,5-1,7 \text{ г/см}^3$, возникает хорошо выраженный дефект плотности [7]. Сопоставление графиков аномалии силы тяжести с геологическими профилями ряда долин выявило такие закономерности: в случае если палеоврезы заполнены песками и моренными суглинками, они отражаются глубокими локальными минимумами аномалии силы тяжести, ширина которых соизмерима с их поперечными разрезами; палеоврезы с преобладающим заполнением моренных суглинков имеют «сжатую» форму аномалии силы тяжести, не соответствующую ширине врезов [9].

Материалы и методы

В основе работы лежит комплексный подход с применением гравиметрического метода исследования района и учета геологической ситуации.

Территория близ г. Светлогорска, где проводились гравиметрические измерения, характеризуется залеганием в ее дочетвертичной поверхности двух древних врезов. Существование одного из них было доказано буровыми данными еще в 70-х гг. XIX в. [11]. Достаточно подробно палеоврез был исследован в 60–70-х гг. XX в. в ходе гидрогеологических работ в этом районе. В плане он прослеживается от пос. Сальское и Зори до пос. Рыбное (рис. 1) и уходит далее в акваторию Балтийского моря [2]. Ориентировка палеовреза – юго-запад – северо-запад (рис. 1, 2). Дно вреза имеет абсолютную отметку от -20 м до -80 м . Ширина варьирует (от бровки до бровки) от $0,5$ до $1,5 \text{ км}$ [7]. Его днище, сложенное песками и глинами, на различных участках врезается в породы неогена, нижнего и среднего палеогена, а также среднего плейстоцена. Палеоврез заполнен мощной толщей четвертичных отложений. Среди них доминируют межледниковые пески и пески с гравием и галькой, формирующие московско-валдайский водоносный горизонт, на эксплуатации которого частично основано водоснабжение г. Светлогорска.

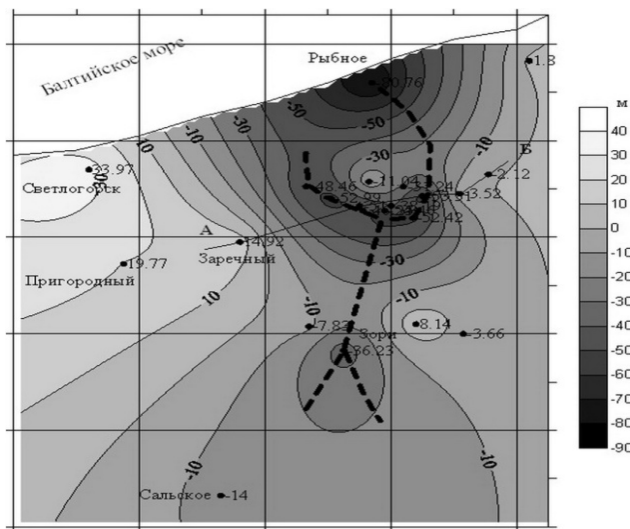


Рис. 1. Рельеф поверхности дочетвертичных отложений в районе г. Светлогорска. Пунктирной линией показаны линии тальвега палеовреза. Размеры изображенной сетки – $1 \times 1 \text{ км}$ [7]

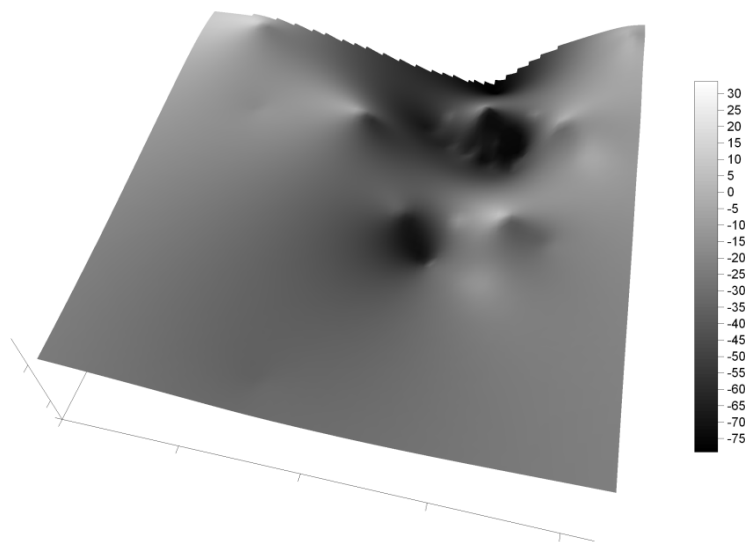


Рис. 2. 3-D модель дочетвертичной поверхности в районе г. Светлогорска

В непосредственной близости от рассматриваемого вреза существует еще один палеоврез субмеридионального направления, протягивающийся от пос. Грачевка через пос. Майский до г. Светлогорска. Верхняя часть вреза обнажается в береговом обрыве на западной окраине г. Светлогорска. Отметка дна вреза в пос. Майский составляет - 40 м, возраст также позднеэоценовый-раннеплейстоценовый [7].

Поскольку отложения, слагающие древние врезы, существенно различаются между собой по литологическому составу, в данной геологической среде формируются плотностные неоднородности, которые, в свою очередь, обуславливают существование здесь гравитационной аномалии. Вывод: палеоврезы должны отчетливо регистрироваться гравиметрическим прибором. Для относительных измерений силы тяжести был использован кварцевый астазированный гравиметр ГАК-7. Предварительно, перед полевыми наблюдениями, была проведена работа по эталонированию гравиметра ГАК-7 и определена его цена деления.

Необходимо отметить, что исследуемая территория характеризуется недостаточной геофизической изученностью: проводились только среднемасштабные исследования (1 : 200000), детальная съемка не применялась [19].

Учитывая простирание границ погребенных врез в сравнении с современной застройкой и проходимость, на карте (рис. 3) были намечены наиболее результативные маршруты для полевых гравиметрических измерений. Первый маршрут был проложен вдоль железнодорожных путей в пос. Заречный; второй — южнее, через пос. Зори. Точки третьего маршрута изначально планировалось измерять по линии в прибрежной части Балтийского моря (на расстоянии 80 м от уре-



за воды). Однако данный участок почти на всем своем протяжении является труднопроходимым. Кроме того, по данным бурения было выяснено: древняя долина здесь врзается в песчаные палеогеновые отложения, и из-за малых различий в плотности пород по профилю аномалия силы тяжести могла находиться в пределах ошибки измерений. Поэтому третий вдольбереговой разрез был смещен вглубь побережья от ранее намеченного на 400–500 м. Четвертый и пятый маршруты были проложены в соответствии с предполагаемыми контурами другой («западной») палеодолины в районе пос. Майский – Пригородный. Измерения по маршрутам проводились летом 2012 и 2013 гг.



Рис. 3. Полевая опорная сеть (прямоугольниками показаны рядовые точки маршрутов, за «0» принят исходный опорный пункт)

Наблюдения осуществлялись рядовыми рейсами по центральной опорной системе, то есть начинались и заканчивались на исходном опорном пункте. Продолжительность каждого рейса составляла не более 2 часов (вводить ограничения продолжительности рейсов нужно для учета смещения нуля-пункта и контроля качества рядовых рейсов). За исходный опорный пункт была взята точка «0», расположенная на относительно ровной поверхности вначале первого маршрута. Хотя данная точка находится близ железной дороги, что, в свою очередь, может обуславливать различия в измерениях из-за влияния проходящих поездов, ее положение на местности крайне удобно, так как от точки «0» можно беспрепятственно и быстро (в течение 7–15 минут) доехать до остальных маршрутов.

Каждый маршрут включал в себя 9–12 станций, расстояние между ними варьировало в среднем от 150 до 200 м. Во избежание ошибок и для повышения точности измерений отчеты на каждой станции брались по 3 раза, иногда и более.



Результаты

По каждому рейсу графическим методом [4] были выявлены значения силы тяжести относительно опорной точки: по оси абсцисс откладывалось время, в течение которого делались измерения на той или иной станции, по оси ординат — средние значения отсчетов гравиметра в начале и в конце рейсов на опорном пункте. Затем на основе двух средних отсчетов строился линейный график (рис. 4). Показатели $g_{\text{опорн}}$ на рядовых станциях определялись по перпендикуляру от их времени к прямой $g_{\text{опорн}}$. Всего было построено 12 таких графиков, соответствующих каждому из 12 рейсов (по 2–3 графика на каждый маршрут).

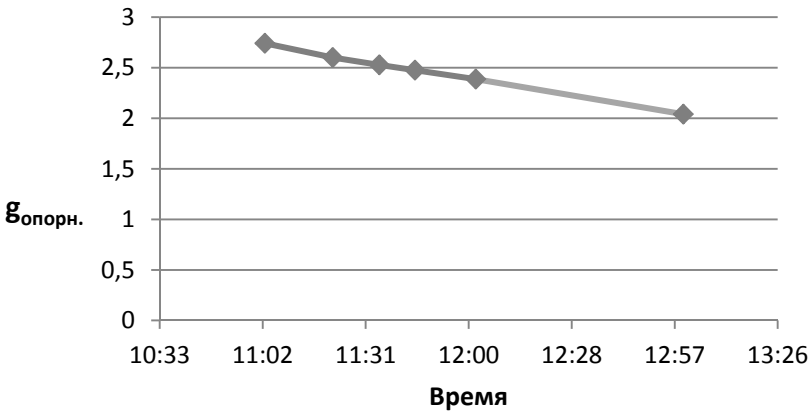


Рис. 4. Определение значений силы тяжести относительно опорной точки по 1 рейсу

На следующем этапе работы были получены значения изменения силы тяжести (Δg) и построены соответствующие графики по профилям 1–3 и 4, 5 поперек двух палеоврезов (рис. 5, 6).

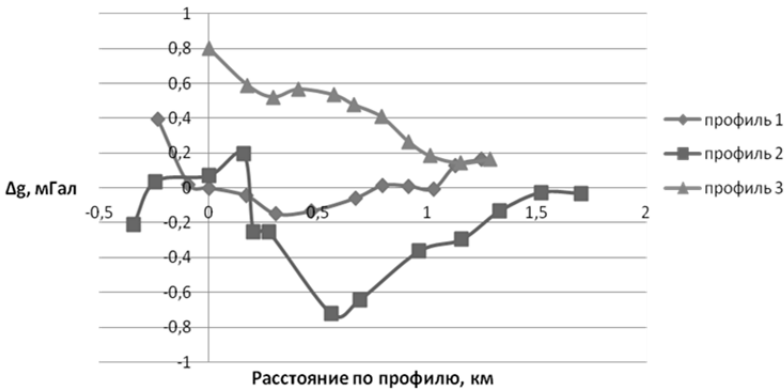


Рис. 5. Графики изменения силы тяжести по профилям 1–3 поперек палеовреза в районе пос. Зори, Заречный и Рыбное

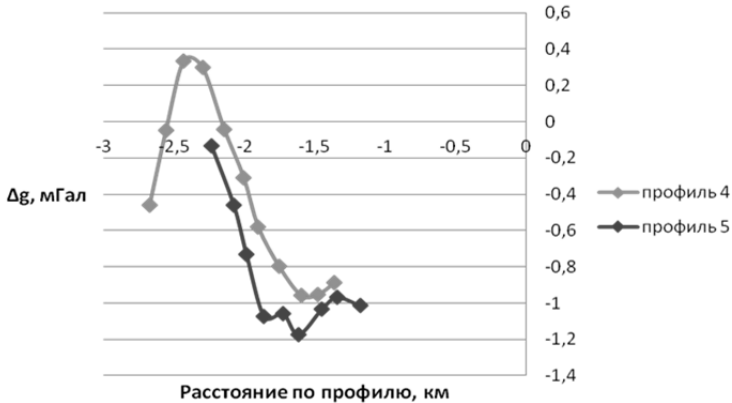


Рис. 6. Графики изменения силы тяжести по профилям 4, 5 поперек палеовреза в районе пос. Майский и Пригородный

Первые два профиля на рисунке 5 позволяют отчетливо идентифицировать залегание палеовреза в непосредственной близости от дневной поверхности. На третьем профиле четкий локальный минимум не прослеживается. Это, возможно, исправляется введением поправки за гравитационное влияние вертикального уступа. Остальные два профиля (4 и 5) на рисунке 6 устанавливают только левый борт другого погребенного вреза субмеридионального направления.

Интересен тот факт, что наименьшие показатели Δg на графиках на всех пяти профилях соответствуют наибольшим абсолютным отметкам в рельефе местности, а положительные значения сопоставимы с понижениями в рельефе.

На следующем этапе вычислений была введена редукция Буге¹ относительно опорной точки: $\Delta g_{\text{Буге}} = 0,3086H - 0,0419\sigma H$, $\sigma = 1,8 \text{ г/см}^3$ — плотность поверхностного слоя. А затем по формуле $G_{\text{аном}} = (\Delta g + \Delta g_{\text{Буге}})k$, где k — цена деления гравиметра (мГал), были получены аномалии силы тяжести в мГал, и построены соответствующие графики по имеющимся профилям (рис. 7, 8).

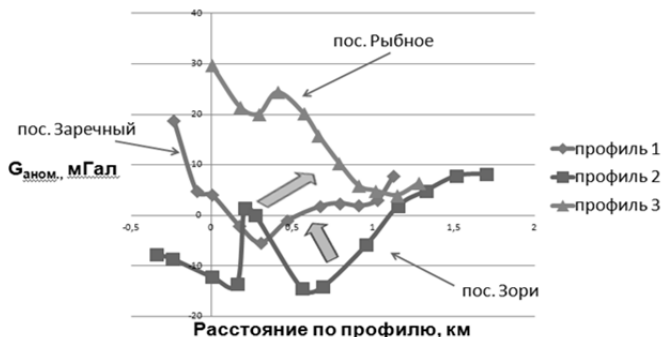


Рис. 7. Графики аномалии силы тяжести по профилям 1–3 поперек палеодолины в районе пос. Зори, Заречный и Рыбное

¹ Значения абсолютных высот на измеряемых станциях были взяты с топографических планов масштаба 1 : 500.

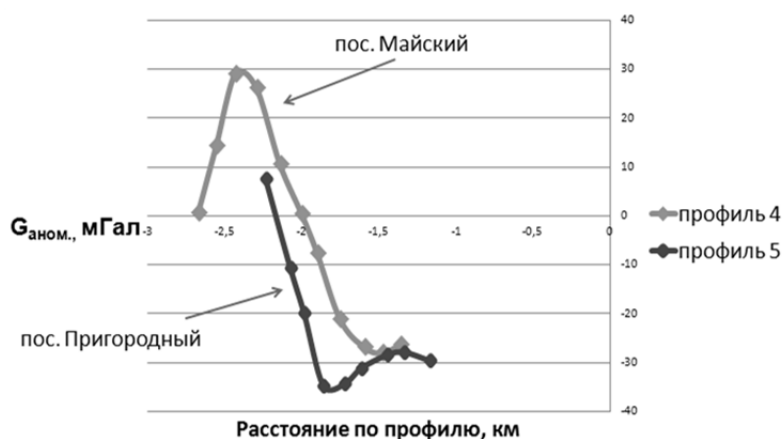


Рис. 8. Графики аномалии силы тяжести по профилям 4, 5 поперек палеодолины в районе пос. Майский и Пригородный

Стоит отметить, что по третьему профилю в пос. Рыбное был выполнен расчет на поправку вертикального уступа. Он дал вклад, составляющий порядка 2–5 %. Такая величина поправки в данном случае не может существенно изменить отдельные детали аномального поля. Примем также во внимание тот факт, что система наблюдения точек по третьему маршруту испытывала аномальное влияние уступа на всем своем протяжении. Поэтому последним можно пренебречь.

Кроме того, были произведены контрольные расчеты влияния топографических неровностей: как показывает аномальная составляющая вертикального градиента силы тяжести, их суммарная величина не превышает 0,1 мГал (максимальное значение равняется около 0,5 мГал). Введение поправок за рельеф и разновысотность является в таких условиях излишним.

В связи с небольшими изменениями температуры воздуха в ходе полевых измерений (на 0,5–1 °С) поправки за влияние температуры в показания прибора также не вводились. Однако отмечается зависимость показаний гравиметра ГАК-6М от изменения температуры (около 0,07 мГал на 1 °С) [8].

Из графиков на рисунке 7 видно, что направление палеовреза ориентировано на северо-запад на участке от пос. Зори до железнодорожных путей, затем он поворачивает на северо-восток к г. Пионерску. Структура аномального гравитационного поля у пос. Зори определяется двумя крупными минимумами силы тяжести. Их, вероятно, можно коррелировать с залеганием в дочетвертичной поверхности двух палеопритоков. Севернее (близ пос. Сельский) они объединяются, образуя один долинообразный (корытообразный) врез, протяженность аномалии которого, по-видимому, больше 2 км. При приближении к морю палеоврез также испытывает разветвление основного палеоруслу.



Интересно заметить, что при приближении к берегу аномальный эффект приобретает положительные значения. Возможно, такая закономерность связана с понижающимися в сторону моря абсолютными высотами дневной поверхности или с разностями в отложениях, выполяющих врез, по мощности и по составу.

Профили 4 и 5 на рисунке 8 характеризуются наибольшими отрицательными аномалиями силы тяжести, амплитуды которых соответственно достигают -28 и -35 мГал. Это в 2,5 раза превышает показатели по 2-му профилю в пос. Зори. Как предполагается, горизонтальные размеры аномалий достигают 1,5–2 км. В центральной части отрицательной аномалии (профиль 5) отмечается выполаживание аномального графика, что может соответствовать области разветвления палеодолины, как и на 2-ом профиле. Однозначно это можно констатировать только после проведения дополнительных гравиметрических измерений на продолжении профиля.

83

Заключение

Работы по прослеживанию палеовреза методом гравиметрии в прибрежной части Калининградской области, в районе г. Светлогорска, дали положительные результаты. Полученные графики аномалии силы тяжести отчетливо регистрируют два палеовреза, один из которых зафиксирован от пос. Зори до пос. Рыбное, другой тянется от пос. Майского к г. Светлогорску. Глубокие локальные минимумы $G_{\text{аном}}$ в пределах отдельных профилей (близ пос. Зори и Рыбное) позволяют констатировать имеющиеся здесь ответвления от основного палеорусла. Это обстоятельство указывает на то, что в плане конфигурация палеоврезом более сложная, чем отображенная только по данным бурения. Как можно предположить, мы имеем дело уже не с единичной палеоструктурой, а с системой пересекающихся V-образных понижений.

Таким образом, исследование древних погребенных форм рельефа должно опираться не только на буровые данные, но и на результаты геофизических исследований.

Список литературы

1. Аносов Г.И., Дробиз М.В., Котельников К.А. и др. Рекогносцировочные работы по сейсмическому микрорайонированию города Калининграда методом Накамура // Будівельні конструкції : міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-ослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку та будівництва України. Київ, 2010. Вип. 73 : Будівництво в сейсмічних районах України. С. 356–363.
2. Блажчишин А.И. Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в Балтийском море. Калининград, 1998.
3. Вайтонис В.П., Иодказис В.И. Роль тектоники в формировании месторождений подземных вод четвертичных отложений Южной Прибалтики // Тектоника и полезные ископаемые Белоруссии и Прибалтики : сб. статей / Калинингр. гос. ун-т ; науч. ред. М.М. Ермолаев [и др.]. Калининград, 1978. С. 59–64.



4. Гайнанов А.Г., Мелихов В.Р. Крымская геофизическая учебная практика : метод. руководство для студентов-геофизиков II курса геологического факультета МГУ. М., 1974. Ч. 1 : Гравиразведка.
5. Кирпичева И.В., Андреева Л.П. Отчет о гидрогеологических работах, проведенных в районе г. Светлогорска Калининградской области в 1968–70 гг. с подсчетом запасов по состоянию на 1.01.1972 г. Гусев, 1972. Т. 3, папка 2 : Графические приложения.
6. Климентов П.П., Кононов В.М. Методика гидрогеологических исследований : учебник для геологоразведочных и горных вузов и факультетов. М., 1978.
7. Михневич Г.С. Особенности строения поверхности дочетвертичных отложений на территории Калининградской области // Вестник СПбГУ. 2015. Сер. 7 : Геология. География. Вып. 3. С. 21–35.
8. Немцов Л.Д. Высокоточная гравиразведка. М., 1967.
9. Погребенные палеоврезы поверхности дочетвертичных пород Южной Прибалтики / отв. ред. А.А. Гайгалас. Вильнюс, 1976.
10. Bosch J.H.A., Bakker M.A.J., Gunnink J.L., Paap B.F. Airborne electromagnetic measurements as basis for a 3D geological model of an Elsterian incision // Z. dt. Ges. Geowiss. 2009. № 160 (3). P. 249–258.
11. Jentzsch A. Die geognostische Durchforschung der Provinz Preußen in Jahre 1877 mit eingehender Berücksichtigung des gesamten norddeutschen Flachlandes // Schriften der physikalisch-ökonomischen Gesellschaft zu Königsberg. Königsberg, 1878. S. 185–257.
12. Jørgensen F., Sandersen P.B.E. Buried and open tunnel valleys in Denmark – erosion beneath multiple ice sheets // Quaternary Science Reviews. 2006. № 25. P. 1339–1363.
13. Jørgensen F., Sandersen P.B.E. Buried valley mapping in Denmark: evaluating mapping method constraints and the importance of data density // Z. dt. Ges. Geowiss. 2009. P. 211–223.
14. Jørgensen F., Lykke-Andersen H., Sandersen P.B.E. et al. Geophysical investigations of buried Quaternary valleys in Denmark: an integrated application of transient electromagnetic soundings, reflection seismic surveys and exploratory drillings // Journal of Applied Geophysics. 2003. № 54. P. 215–228.
15. Kluivert S.J., Bosch J.H.A., Ebbing J.H.J. et al. Onshore and offshore seismic and lithostratigraphic analysis of a deeply incised Quaternary buried valley-system in the Northern Netherlands // Journal of Applied Geophysics. 2003. № 53. P. 249–271.
16. Kristensen T.B., Huuse M., Piotrowski J.A., Clausen O.R. A morphometric analysis of tunnel valleys in the eastern North Sea based on 3D seismic data // Journal of Quaternary Science. 2007. Vol. 22. P. 815–901.
17. Smit F.W.H. Buried glacial valleys as drinking water reservoirs: An assessment on function and risks in their role as drinking water reservoirs in the ice-marginal landscape of northern Europe, 2011.
18. Thomsen R., Søndergaard V.H., Sørensen K.I. Hydro-geological mapping as a basis for establishing site-specific groundwater protection zones in Denmark // Hydrogeology Journal. 2004. № 12. P. 550–562.
19. Гравиметрическая карта: Северо-Западный федеральный округ, Калининградская область (масштаб 1 : 1000000). СПб., 2004. URL: http://www.vsegei.ru/ru/info/gisatlas/szfo/kaliningradskaya_obl/grav.jpg (дата обращения: 10.05.2014).

Об авторах

Любовь Александровна Кулешова — инженер-исследователь лаборатории геологии Атлантики Атлантического отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН; асп., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.
E-mail: lubov_kuleshova@mail.ru



Галина Сергеевна Михневич — канд. геогр. наук, доц., Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград.

E-mail: mi78galina@mail.ru

About the authors

Liubov Kuleshova, Research Engineer of the Laboratory of Atlantic Geology, Atlantic Branch of the P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences; Engineer, Ph.D. student, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: lubov_kuleshova@mail.ru

Dr Galina Mikhneviches, Associate Professor of the Department of Ocean geography, I. Kant Baltic Federal University, Russia.

E-mail: mi78galina@mail.ru