

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

УДК 550.83

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
НА ПРИМЕРЕ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ГРУНТОВ СЕРГИЕВО-ПОСАДСКОГО РАЙОНА

V.V. ROMANOV¹, D.S. DAEV¹, L.E. CHESALOV², A.I. POSERENIN¹

*¹ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго-Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
e-mail: roman_off@mail.ru*

*²ФГБУ «Гидроспецгеология»
4, Маршала Рыбалко ул., г. Москва 123060, Россия
e-mail: info@specgeo.ru*

Проведён анализ значений сейсмических, электрических и физико-механических свойств грунтов, а также удельного электрического сопротивления вод источников и водоёмов на Сергиево-Посадском полигоне МГРИ-РГГРУ, расположенном в водоразделах рек Пажа и Торгоша (южный склон Клинско-Дмитровской гряды). Данные получены в ходе исследований методами наземной инженерной геофизики — сейсморазведки и электроразведки. В результате уточнено геологическое строение разреза от поверхности земли до глубины 15 м, а также гидрогеологические условия полигона, были определены свойства грунтов как оснований для зданий и сооружений. С помощью специально подготовленного почвенного радиометрического планшета выявлено влияние радиоактивного вещества на состояние нижележащих грунтов.

Ключевые слова: геофизические методы; четвертичный период; метод преломлённых волн; электроразведка; вертикальное электрическое зондирование.

DOI:10.32454/0016-7762-2018-5-59-63

ESTIMATION OF GEOPHYSICAL AND PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
ON THE EXAMPLE OF QUATERNARY SOILS OF SERGIEV POSAD DISTRICT

V.V. ROMANOV¹, D.S. DAEV¹, L.E. CHESALOV², A.I. POSERENIN¹

*¹Russian State Geological Prospecting University
23, Miklouho-Maklay's street, Moscow 117997, Russia*

*²Gidrospecgeologija
4, Marshala Rybalko street, Moskva 123060, Russia
e-mail: info@specgeo.ru*

The Sergiev Posad polygon of the MGRI-RSGPU is located on the watershed of the Pazha and Torgosha rivers located on the southern slope of the Klinsky-Dmitrovsky ridge; geologically, the upper part of its section is composed of clay soils of Quaternary and Cretaceous age. The paper gives an analysis of the values of seismic, electrical and physical and mechanical properties of soils, as well as resistivity of water sources and reservoirs. Main methods of near-surface geophysics allow obtaining this information. The performed methods made it possible to specify the geological structure of the first 15 meters of the section, to refine the hydrogeological conditions of the test site, to determine the properties of the grounds as bases for buildings and structures. Also, the effect of the radioactive substance on the state of the underlying soils has been established by means of a specially prepared soil radiometer plate .

Keywords: geophysical methods; Quaternary period; refracted wave method; resistivity survey; vertical electric sounding.

Сергиево-Посадский район расположен в южной части Московской синеклизы, на склоне Клинско-Дмитровской гряды — геоблока первого ранга. Наиболее возвышенные междуречья (водоразделы) Клинско-Дмитровской гряды являются возможными реликтами денудационной поверхности выравнивания позднепалеогенового возраста [2].

Территория исследований находится на водоразделе рек Торгоша и Пажа — притоков р. Воря [12]. Геофизические условия верхней части разреза до кровли верхнемеловых песков и суглинков (турон — коньяк) в течение нескольких десятилетий изучались в ходе второй учебной геофизической практики студентов МГРИ-РГГРУ и научно-исследовательских работ преподавателей на Сергиево-Посадском полигоне.

Изучаемый разрез сложен (сверху-вниз): мало-мощным (1—1,5 м) слоем покровных суглинков (р_г Q_{III}) верхнего неоплейстоцена, горизонтами московских (g Q_{IImsk}) и днепровских (g Q_{II dn}) морённых суглинков среднего неоплейстоцена, неразделенных флювиогляциальными отложениями [4]. Ниже залегает толща отложений верхнего мела (K₂). Общая мощность четвертичных отложений 15 м.

В гидрогеологическом отношении район полигона относится к Московскому артезианскому бассейну. На территории широкое развитие получили верховодка и спорадические горизонты грунтовых вод. Грунты, слагающие разрез, здесь отличаются достаточно высокой надёжностью в основании сооружений [4].

С помощью геофизических методов (сейсморазведки, электроразведки, радиометрии) необходимо было уточнить геологическое строение, определить физические и физико-механические свойства грунтов верхней части разреза, гидрогеологические условия.

Максимально информативными на территории полигона оказались методы сейсморазведки и

электроразведки. По измеренным скоростям продольных и поперечных волн были вычислены физико-механические свойства — динамические упругие модули, пористость, сцепление.

Методика геофизических работ

Сейсморазведочные исследования выполнялись методом преломлённых волн (МПВ) [7]. В качестве источника колебаний использовались удары тяжёлой кувалдой по металлической подложке с накоплением и вычитанием разнонаправленных горизонтальных воздействий в случае возбуждения поперечных волн [8]. Прямые и преломленные волны регистрировались сейсморазведочной 24-канальной станцией Диоген 24/14 при помощи расстановки длиной 46 м. Полученные цифровые сейсмограммы были обработаны с помощью программы SeisShall¹. При помощи алгоритма Кондратьева, подробно описанного в [1], годографы первых вступлений преобразовывались в непрерывные (томографические) распределения скоростей сейсмических волн (сейсмические разрезы), которые интерпретировались на основании данных разведочного бурения и шурфования. Итогом интерпретации являлись гео-сейсмические разрезы [10].

Из радиометрических методов на территории полигона использовалась наземная и шпуровая гамма-съёмки, выполняемые сцинтилляционными радиометрическими геологоразведочными приборами СРП-68-01 и СРП-68-03 соответственно (производство — АО «Геологоразведка»). Приборы предназначены для наземной гамма-съёмки и гамма-каротажа неглубоких (1—2 м) скважин (шпуров). Работы проводились на подготовленном радиометрическом планшете, где почвенный слой содержал радиоактивные компоненты. Наземная съёмка выполнялась для качественной оценки интенсивности гамма-излучения и выделения участ-

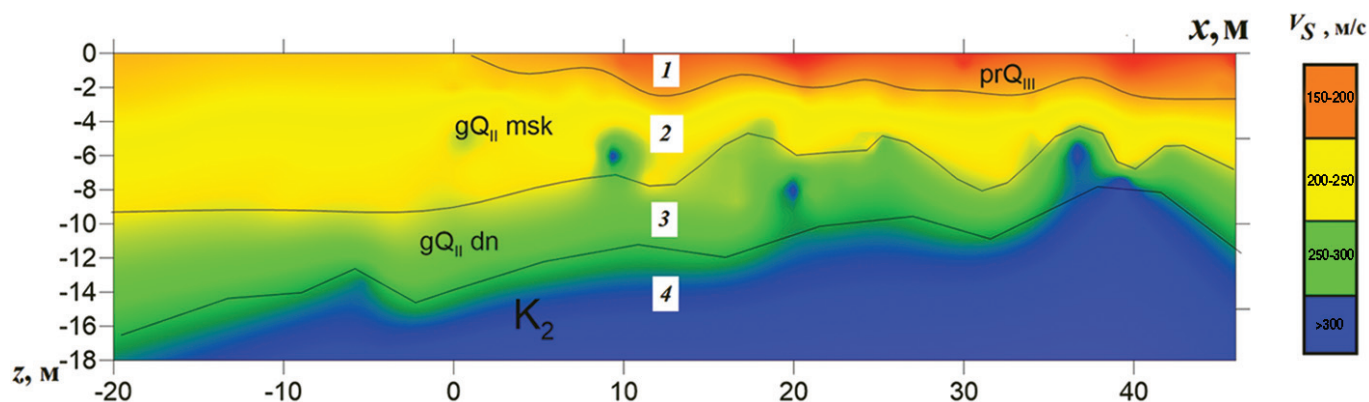


Рис. 1. Геосейсмический разрез: 1 — слой покровных суглинков, 2 — слой гляциальных суглинков московского горизонта, 3 — слой гляциальных суглинков днепровского горизонта, 4 — отложения верхнего мела

¹ Перечень свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ в Реестре программ для ЭВМ ФИПС (2016 год): <http://www.geoelectric.ru/ipi2win.htm>, дата обращения 10.08.2018.

ков с повышенным гамма-излучением (аномалий), шпуровая — для получения количественной информации по данному параметру. Оценка интенсивности аномалий гамма-излучения выполнялась с учётом всех предъявляемых требований [11].

Для проведения шпуровой гамма-съемки выбиралась точка на планшете, имеющая наибольшее значение интенсивности гамма-излучения. Затем определялось положение детектора путём перемещения зонда вдоль контрольного источника (по шпuru с шагом 10 см).

Из методов электроразведки применялось стандартное и круговое вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ и КВЭЗ), симметричное электропрофилеирование (СЭП), резистивиметрия водоемов и источников. Для выполнения ВЭЗ и СЭП применялся электроразведочный прибор «Электротест-2рм» и традиционная симметричная установка Шлюмберже с полуразносом питающих электродов (АВ) до 25 м [6]. Обработка и интерпретации данных ВЭЗ выполнялась в программе IPI2WIN² качественный анализ КВЭЗ и СЭП производился в программе Excel.

Для выполнения резистивиметрии применялся кондуктометр СОМ-100. Вода забиралась при помощи пластикового стаканчика, измерения выполнялись непосредственно в полевых условиях (удельная электропроводность (мкСм/см) и температура). Электроразведочные исследования выполнялись для уточнения геологического строения и гидрогеологических условий.

Результаты исследования

Отличительной особенностью изучаемого разреза, с позиций рационального использования комплекса геофизических методов, является его литологическая однородность (гляциальные и пергляциальные суглинки), плавное изменение физических свойств по вертикали и по латерали, глубокое залегание зеркала грунтовых вод (18—20 м), характерное для водоразделов [3].

Результатом сейсморазведочного исследования стали геосейсмические разрезы по продольным и поперечным волнам (рис. 1).

На разрезах прослежены сейсмические границы, найдены их средние глубины H , м; определены мощности слоёв h , м, и распределение интервальной скорости продольных V_p , м/с, и поперечных волн V_s , м/с, в слоях. На глубине около 8 м зафиксировано зеркало сезонной «висячей» верховодки, на что указывает скорость продольных волн, превышающая 1500 м/с в дисперсных грунтах [9]. По образцам грунта из стенок шурфов, пройденных на сейсморазведочных профилях, была установлена

² Комплекс IPI-1D — одномерная профильная интерпретация данных ВЭЗ и ВЭЗ-ВП. [http:// www.geoelectric.ru/ipi2win.htm](http://www.geoelectric.ru/ipi2win.htm), дата обращения 10.08.2018.

Таблица 1

Результаты анализа данных сейсморазведки

Номер слоя	Горизонт	h , м	H , м	ρ , г/см ³	V_s , м/с	V_p , м/с
1	ргQ _{III}	1,5	1,5	1,5—1,6	150—200	500—600
2	gQ _{II_{msk}}	4,5	6,0	1,9—2,1	200—250	600—1000
3	gQ _{II_{dn}}	5,0	11,0	2,1—2,2	250—300	1400—2500

Таблица 2

Результаты расчёта физико-механических параметров

Номер слоя	Горизонт	μ	G , МПа	E , МПа	C , кПа	n , %
1	ргQ _{III}	0,40—0,48	25—70	80—190	1—3	50—60
2	gQ _{II_{msk}}	0,39—0,47	100—170	280—500	4—7	40—50
3	gQ _{II_{dn}}	0,44—0,47	200—1400	620—4000	8—52	20—40

плотность ρ , г/см³, четвертичных отложений различного генезиса и возраста (табл. 1).

По полученным данным были вычислены динамические упругие константы — коэффициент Пуассона μ , модуль сдвига G , МПа, и Юнга E , МПа, а также сцепление C , кПа, и пористость n , %. Для расчёта брались уравнения связи геофизических и физико-механических параметров, фундаментальные (в случае упругих констант) или обладающие наибольшей степенью корреляции и универсальностью (табл. 2).

По результатам сейсморазведочного исследования была построена трёхслойная сейсмогеологическая модель с тремя нерезкими преломляющими границами, которые были сопоставлены с кровлями разновозрастных моренных суглинков и песчано-глинистыми отложениями верхнего мела. Для каждого слоя установлены сейсмические и физико-механические свойства — скорости, упругие модули, сцепление и пористость. Все определённые свойства имеют тенденцию увеличения с глубиной. Исключение составляет лишь коэффициент Пуассона, который практически одинаков во всех слоях разреза. Полученное распределение отражает общую тенденцию в верхней части разреза, которая выражается в росте с глубиной плотности, влажности, а также связанных с ними сейсмических (V_p , V_s) и физико-механических свойств (μ , G , E , C и n). Кроме того, с глубиной закономерно уменьшается пористость грунтов, что объясняется возрастанием литостатического давления.

Наибольшее количество информации о геоэлектрических свойствах разреза было получено при помощи вертикального электрического зондирования. Полевые кривые ВЭЗ в большинстве точек измерения относились к типу «Q», что соответствует трём слоям с постепенным уменьшением удельного электрического сопротивления УЭС, c , Ом · м. По-

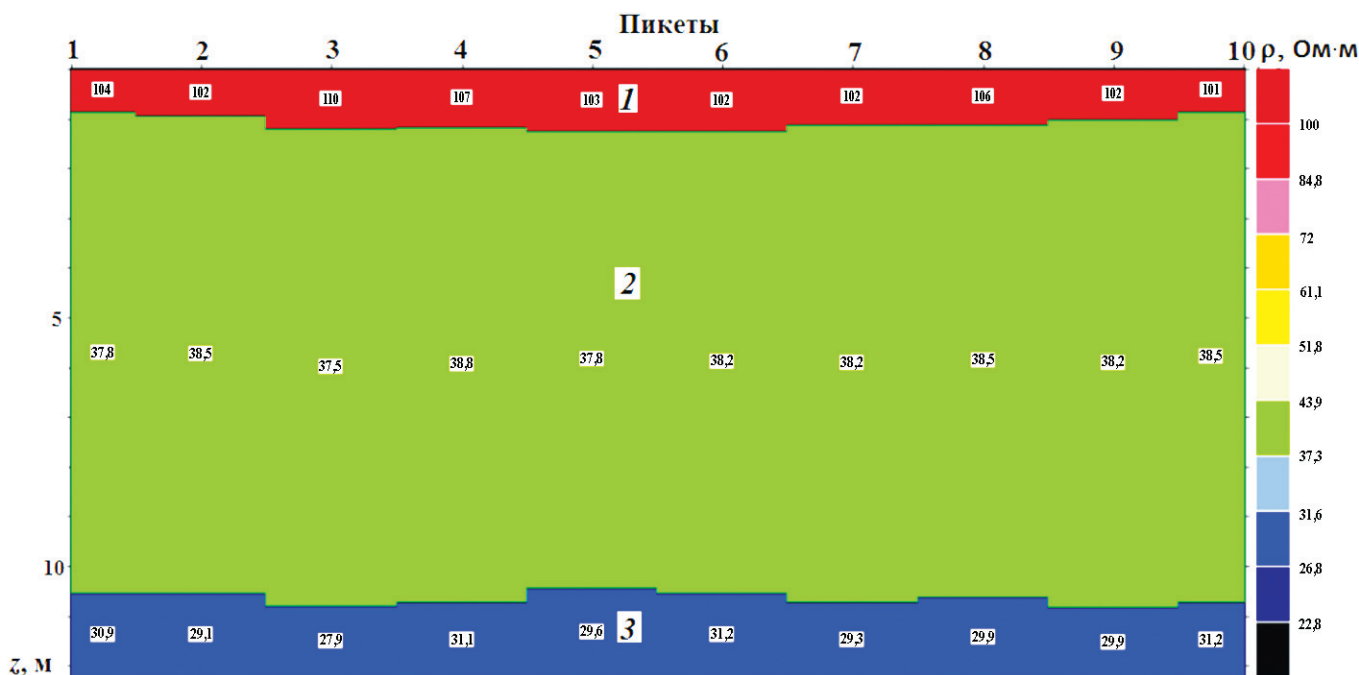


Рис. 2. Геоэлектрический разрез; 1–3 — слои: 1 — покровных суглинков, 2 — гляциальных суглинков московского горизонта, 3 — гляциальных суглинков днепровского горизонта

лученный геоэлектрический разрез (рис. 2.) позволил разделить верхнюю часть разреза на три относительно однородных слоя с различным УЭС.

Первый слой геоэлектрического разреза характеризуется повышенным УЭС (100 Ом · м) и сопоставляется с почвой и частью толщи покровных суглинков. Моренные суглинки по данным электроразведки не разделяются и прослеживаются как единая однородная толща с УЭС около 40 Ом · м. Отложения верхнего мела характеризуются наименьшим УЭС — 20 Ом · м. Высокие значения УЭС покровных суглинков объясняются их небольшой влажностью. В целом влажность грунтов возрастает с переходом от покровных суглинков к моренным, а затем к отложениям верхнего мела.

Анализ круговых ВЭЗ показал отсутствие выраженной анизотропии геоэлектрических свойств в изучаемой толще. Данные СЭП также не выявили значимых изменений УЭС по латерали, кроме отдельных низкоомных аномалий на заболоченных участках.

Любопытные результаты дала резистивиметрия. Удельное сопротивление в образцах воды, полученных в шурфах и искусственных водоёмах, составило 100–200 Ом · м, что говорит о низкой минерализации, характерной для атмосферных осадков. Этот факт указывает на отсутствие притока подземных вод к большинству водоёмов на территории полигона [5]. В родниках и водоёмах, подпитываемых подземными водами, УЭС фиксировалось на уровне 20–50 Ом · м, в заболоченных водоёмах 7–10 Ом · м.

По данным шпуровой гамма-съёмки установлено, что первые 2 м разреза на радиоактивном план-

шете подразделяются на два слоя. Первый представлен почвой и покровными суглинками, интенсивность гамма-излучения этого слоя составила в среднем 260 мкР/ч. Второй слой представлен гляциальными суглинками, с мощностью более 2,5 м. Интенсивность в этом слое меняется от 6 до 8 мкР/ч, что является фоновым значением для гамма-излучения.

Особенностью изучаемого разреза является его однородность (гляциальные и пергляциальные суглинки), плавное изменение физических свойств по вертикали и в латеральном направлении, глубокое залегание зеркала грунтовых вод (18–20 м), характерное для водоразделов [3].

Выводы

Всестороннее изучение четвертичных отложений на территории Сергиево-Посадского полигона геофизическими методами позволило установить, что наибольшей разрешающей способностью по уточнению геологического строения верхней части разреза в районе работ обладает сейсморазведочные методы преломлённых поперечных и продольных волн. Отсутствие резких сейсмических границ в исследуемой толще было учтено с помощью выбора алгоритма обработки годографов первых вступлений на основе способа Кондратьева.

Использование сейсморазведочных методов позволило выделить все слои суглинков различных возрастов и генезиса на глубину до 15 м, а также установить значения их физико-механических свойств в естественном залегании. Также выявлено, что коэффициент Пуассона не может считаться надёжным признаком состояния грунта при изуче-

нии толщ, аналогичных изученной. Картирование грунтовых вод на водоразделах затруднено из-за значительной глубины залегания их уровня, однако в ряде случаев при помощи продольных волн удавалось выделить сезонную верховодку в слабопроницаемых суглинках.

По данным электроразведки было уточнено состояние выделенных сейсморазведкой слоёв, однако разрешающая способность ВЭЗ оказалась ниже.

Из-за малой мощности слоя сезонная верховодка прослежена не была. Использование методов СЭП и КВЭЗ на объекте оказалось неэффективным. С помощью резистивиметрии было установлено, что питание водоёмов на территории Сергиево-Посадского полигона поверхностное — дождевое и снеговое. За исключением почвенного слоя на искусственно созданном радиометрическом планшете, грунты полигона практически не радиоактивны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимов О.В., Простов С.М. Изучение процессов укрепления неустойчивых грунтов оснований сооружений сейсмическим методом // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. № 6-1 (57). С. 15—19.
2. Григорьева С.В. Закономерности типизации геодинамических систем Сергиево-Посадского опорного участка и определение его структурной позиции // Сергеевские чтения. Инженерная геология и геоэкология. Фундаментальные проблемы и прикладные задачи Юбилейная конференция, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН/ Ответственный редактор В.И. Осипов. М., 2016. С. 605—609.
3. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С., Степанцова Л.В., Красин В.Н., Сафронов С.Б. Эколого-гидрологические и генетические особенности черноземовидных почв замкнутых западин севера Тамбовской низменности // Почвоведение. 2008. № 2. С. 198—213.
4. Калинин М.А. Современное геоэкологическое состояние ландшафтов Клино-Дмитровской гряды в пределах Московской области (на примере особо охраняемых природных территорий) // Сборник научных статей преподавателей и аспирантов по итогам Международной научной конференции молодых учёных, аспирантов и студентов «Наука на благо человечества — 2017» / Ответственный редактор и соавтор Е.А. Певцова. Москва. 2017. С. 25—30.
5. Калинин В.В., Казак А.В., Старовойтов А.В. Результаты комплексных геофизических исследований при решении геоэкологических задач на примере Новодевичих прудов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геохронология. 2008. № 6. С. 558—568.
6. Каринский А.Д., Даев Д.С., Мазитова И.К. Математическое моделирование С-эффекта и Р-эффекта в методах сопротивлений электроразведки // Геофизика. 2014. № 1. С. 36—45.
7. Крылатков С.М., Крылаткова Н.А., Крылевская А.Н., Гуськова В.Д. Сейсмические изображения геологической среды в методе преломленных волн // Фундаментальные исследования. 2015. № 2 (часть 24). С. 5409—5415.
8. Романов В.В. Изучение толщи четвертичных отложений Подмосквы инженерной сейсморазведкой // Геофизика. 2014. № 3. С. 41—48.
9. Романов В.В., Гапонов Д.А. Применение инженерной сейсморазведки при изучении грунтовых вод в глинистых грунтах // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2014. № 6 (184). С. 52—59.
10. Романов В.В., Иванов А.А., Кауркин М.Д. Инженерная сейсморазведка при изучении полигонов ТБО // Сергеевские чтения. Научная конференция в рамках IX Международного форума «Экология»: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. М., 2018. С. 142—146.
11. Романов В.В., Посеренин А.И., Мальский К.С. Метрология, стандартизация и сертификация. Учебное пособие. М., 2015. 120 с.
12. Фисун Н.В. Гидрогеологические особенности сеноманальского водоносного горизонта в междуречье рек Пажа и Торгоша (Сергиево-Посадский район Московской области) // Известия вузов. Геология и разведка. 2018. № 2. С. 45—50.

REFERENCES

1. Gerasimov O.V., Prostov S.M. The study of the processes of strengthening the unstable soils of the foundations of structures by the seismic method. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2006, no. 6-1 (57), pp. 15—19. (In Russian).
2. Grigor'eva S.V. Patterns of typification of geodynamic systems of the Sergiev-Posad reference site and the determination of its structural position. *Sergeyev readings. Engineering geology and geoecology. Fundamental problems and applied problems Jubilee conference dedicated to the 25th anniversary of the IGE RAS*, 2016, pp. 605—609. (In Russian).
3. Zajdel'man F.R., Nikiforova A.S., Stepancova L.V., Krasin V.N., Safronov S.B. Ecological, hydrological and genetic features of chernozem-like soils in closed depressions of the north of the Tambov Lowland. *Soil science*, 2008, no. 2, pp. 198—213. (In Russian).
4. Kalinin M.A. The current geoecological state of the Klin-Dmitrov ridge landscapes within the Moscow region (on the example of specially protected natural areas). *Collection of scientific articles of teachers and graduate students on the results of the International Scientific Conference of young scientists, graduate students and students «Science for the good of mankind — 2017»*. M., 2017, pp. 25—30. (In Russian).
5. Kalinin V.V., Kazak A.V., Starovojtov A.V. Results of complex geophysical studies in solving geoecological problems on the example of Novodevichy ponds. *Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geochronology*, 2008, no 6, pp. 558—568. (In Russian).
6. Karinskij A.D., Daev D.S., Mazitova I.K. Mathematical modeling of the C-effect and the P-effect in the methods of electrical resistance. *Geophysics*, 2014, no. 1, pp. 36—45. (In Russian).
7. Krylatkov S.M., Krylatkova N.A., Krylevskaja A.N., Gus'kova V.D. Seismic images of the geological environment in the method of refracted waves. *Basic research*, 2015, no. 2(part 24), pp. 5409—5415. (In Russian).
8. Romanov V.V. Study of the Quaternary sediments in the suburbs of engineering seismic. *Geophysics*, 2014, no. 3, pp. 41—48. (In Russian).
9. Romanov V.V., Gaponov D.A. The use of engineering seismic in the study of groundwater in clay soils. *Proceedings of higher educational institutions. North Caucasus region. Series: Natural Sciences*, 2014, no. 6 (184), pp. 52 — 59. (In Russian).
10. Romanov V.V., Ivanov A.A., Kaurkin M.D. Engineering seismic when studying landfills. *Sergeyev readings. Scientific conference in the framework of the IX International Forum «Ecology»: Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on the problems of geo-ecology, engineering geology and hydrogeology. Scientific Council of RAS on the problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology*, M., 2018, pp. 142—146. (In Russian).
11. Romanov V.V., Poserenin A.I., Mal'skij K.S. *Metrology, standardization and certification*. Tutorial. M., 2015, 120 p. (In Russian).
12. Fisun N.V. Hydrogeological features of the Cenomanian-Albian aquifer in the interfluvium of the Pazha and Torgosh rivers (Sergiev-Posad district, Moscow region). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka — [Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration]*, 2018, no. 2, pp. 45—50. (In Russian).