

# ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ, МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ И ГРУНТОВЕДЕНИЕ

УДК 550.812.1

## Инженерно-геологическая оценка результатов геофизических исследований при поиске грунтовых строительных материалов

К.А. Алванян<sup>a,b</sup>, А.А. Филимончиков<sup>a</sup>, А.В. Татаркин<sup>a</sup>,  
П.А. Красильников<sup>a</sup>, Г.М. Батракова<sup>b</sup>, С.Г. Ашихмин<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Пермский государственный национальный исследовательский университет  
614068, Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: karinealvanyan@yandex.ru

<sup>b</sup>Пермский национальный исследовательский политехнический университет  
614990, Пермь, ул. Комсомольский пр-т, 29. E-mail: vsto08@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 27 августа 2023 г.)

Приведена оценка результатов геофизических исследований геологоразведочными методами при поиске месторождений грунтовых строительных материалов. Изложена стадийность исследований, основанная на применении прямых геологических методов, геофизических методов электротметрии, лабораторных исследований, современных подходов трехмерного моделирования, позволяющая повысить эффективность геологоразведочных работ. Представлена апробация описанного подхода, в ходе применения которого в сложных инженерно-геологических условиях открыт ряд месторождений грунтовых строительных материалов и реализована концепция рационального недропользования на примере освоения ряда месторождений Западной Сибири.

Ключевые слова: *грунтовые строительные материалы, методика малоглубинных геологоразведочных работ, электроразведка, цифровые физико-геологические модели, сложные инженерно-геологические условия, недропользование.*

DOI: 10.17072/psu.geol.23.4.295

### Введение

Рациональное использование недр во многом зависит от инженерно-геологических условий, которые оказывают большое влияние на выбор методов добычи сырья и комплекс мероприятий по обустройству месторождений. Актуальной задачей, необходимой для создания безопасной инфраструктуры осваиваемых территорий, особенно в труднодоступных районах, является поиск месторождений грунтовых строительных материалов (Алванян, 2009).

Одним из подходов для решения подобного рода вопросов может быть использование геофизических методов, основанных на тесной связи между изучаемыми параметрами и физическими свойствами горных пород (Огильви, 1990; Филимончиков, 2015). При

этом успешная реализация данного подхода требует обоснования и оценки полученных характеристик для конкретных территорий или регионов с позиций инженерной геологии (Середин, 2011; Татаркин, 2022).

Исследования проведены на ряде месторождений углеводородов (Протозановское, Северо-Тамаргинское, Косухинское, Северо-Тямкинское), расположенных в Тюменской области (рис. 1). Территория приурочена к южной части Западно-Сибирской равнины с развитой гидрографической сетью рек Иртыш, Демьянка. В плане поисков грунтовых строительных материалов изучаемая местность является весьма перспективной. Она характеризуется заболоченностью, слабой залесенностью, незначительным расчленением рельефа озерно-аллювиального и аллювиального типа.

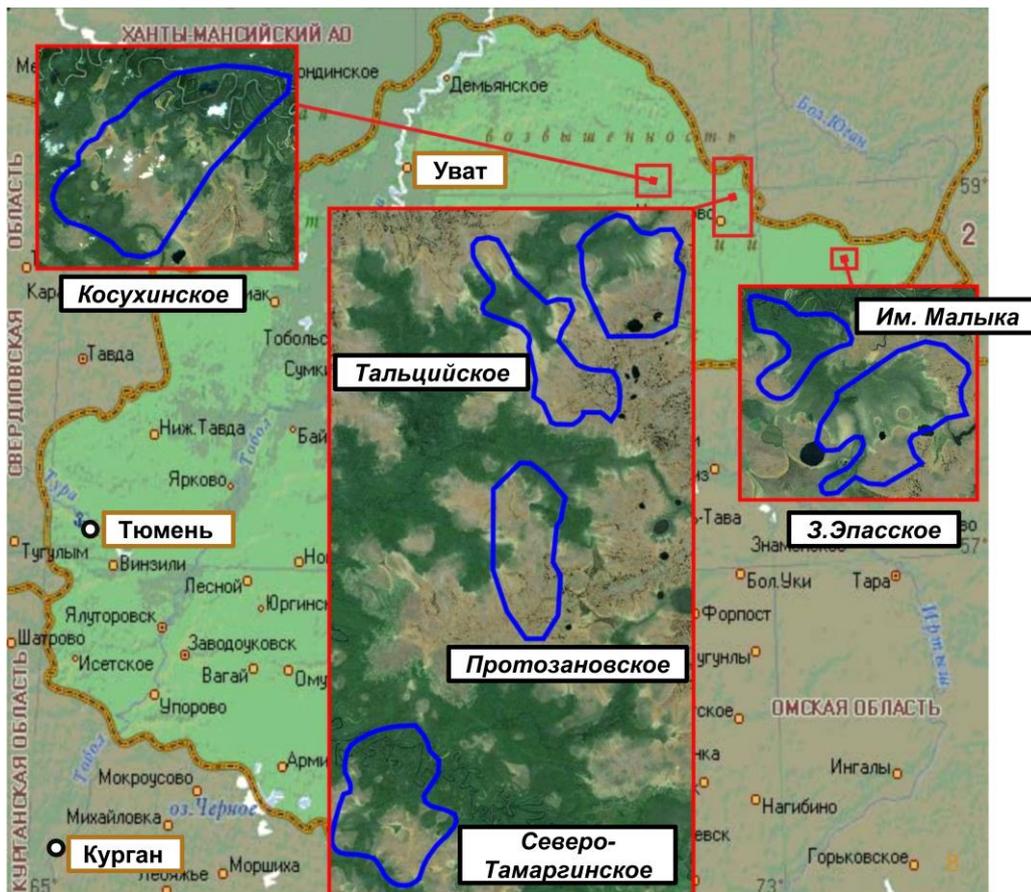


Рис. 1. Обзорная схема участка исследований

## Методика работ

**Геологические работы.** Поисковые работы проводились вначале в радиусе пятикилометровой зоны, затем в радиусе 10 и 15–20 км.

Бурение скважин осуществлялось после проведения маршрутного обследования и уточнения границ перспективных участков. Скважины бурились механическим колонковым способом станком УБШМ 1–13 с начальным диаметром 112 и 132 мм. Глубина выработок составила 10,0 м.

Территория в радиусе 5 км от месторождения разбуривалась наиболее детально. Бурение скважин на выделенных перспективных участках производилось с шагом до 400 м (после проведения геофизических работ и предварительной интерпретации результатов электрического зондирования). С учетом результатов геофизических исследований расстояние между выработками было увеличено до 800 м.

В радиусах 10 и 15–20 км, в пределах выделенных ландшафтно-индикационным ме-

тодом (анализ рельефа, гидросети, растительности) перспективных для поиска зон, бурилось по 2–3 разведочные скважины.

**Геофизические работы.** Методика исследований основана на использовании методов электротометрии в совокупности с данными лабораторных исследований и комплексного анализа полученных материалов (Татаркин, 2014; Татаркин, 2022). Для формирования прогнозной модели инженерно-геологических условий технологически на различных стадиях реализуются такие этапы, как камеральный, поисковый и оценочный. Элементами исследований являются: проведение натурных наблюдений, изучение физических свойств на образцах горных пород, выявление корреляционных связей, составление прогнозной модели и сравнительный анализ с результатами инженерно-геологических изысканий.

На предварительном этапе выполнялась оценка имеющихся данных о геологическом строении и особенностях объектов исследования, которые могли быть полезны для по-

вышения достоверности геофизических исследований. В рамках этого этапа с учетом особенностей геологического строения и особенностей изучаемых объектов выполнялись следующие мероприятия:

- 1) анализ фондовой геолого-геофизической информации;
- 2) построение общей геологической модели исследуемой территории;
- 3) численное моделирование электрических полей для уточнения поисковых признаков и оценки выделения инженерно-геологических элементов, связанных со строительными материалами;
- 4) определение методов, оценка необходимых ресурсов и возможных рисков с подготовкой рекомендаций по проведению геологоразведочных работ на исследуемой территории.

Поисковый этап включает в себя организацию полевых работ с использованием электрического зондирования, что позволяет получить данные создания трехмерных моделей изучаемых объектов. Измерения проводятся вдоль региональных профилей, чтобы выделить наиболее перспективные участки. Далее на этих участках реализуются дополнительные детальные электрометрические наблюдения с определением минерализации и температуры поверхностных и подземных вод. Эти данные помогают получить более полное представление о геологических условиях и свойствах исследуемой области. По результатам количественной интерпретации с учетом корреляционных связей между удельным электрическим сопротивлением (УЭС) и литологией пород составляется прогнозная модель процентного содержания глин.

На заключительном, оценочном этапе осуществлялся анализ цифровых моделей и корректировка полученных свойств с использованием данных лабораторного анализа УЭС (рис. 2).

Уточненные петрофизические характеристики лежат в основе окончательных уравнений корреляции для составления схем районирования изучаемых территорий по перспективности их освоения и определения запасов различных по типу строительных материалов.

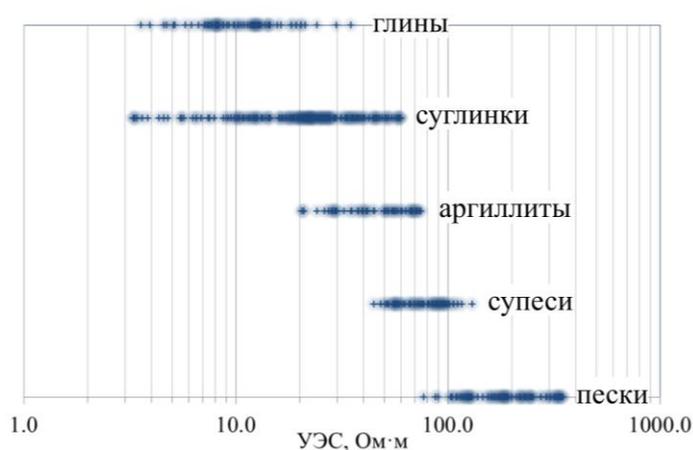


Рис. 2. Распределение УЭС по результатам лабораторных исследований

## Результаты исследований и их обсуждение

### Протозановское месторождение

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 5 км*

Данная зона была разделена на 6 участков, площадь которых варьировалась от 89,9 до 257 га. В общей сложности на 6 участках пробурено 43 скважины.

По данным полевых и лабораторных работ были встречены следующие грунты:

- торф ( $bQ_{IV}$ ) сильно- и среднеразложившийся водонасыщенный, мощностью 0,6–2,8 м, встречен на участках №№ 2, 3, 4, 5;
- глина ( $laQ_{II-III}$ ) мягко-, текучепластичная до текучей, тугопластичная, с примесью органических веществ мощностью 6,9–9,8 м, встречена на участках №№ 1, 2, 3, 4, 5, 6.

С поверхности территория покрыта почвенно-растительным слоем толщиной до 0,1–0,5 м.

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 10 км*

Пробурено 26 скважин.

По данным полевых и лабораторных работ были встречены следующие грунты:

- торф сильно- и среднеразложившийся водонасыщенный, мощностью 0,7–2,1 м;
- глина мягко-, текучепластичная, реже тугопластичная, с примесью органических веществ, мощностью 7,6–9,7 м.

С поверхности территория покрыта почвенно-растительным слоем толщиной до 0,3 м.

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 15 км*

Пробурено 45 скважин.

По данным полевых и лабораторных работ были встречены следующие грунты:

- торф сильно- и среднеразложившийся водонасыщенный, мощностью 0,8–1,7 м;
- суглинки туго- и мягкопластичные, мощностью 2,0–3,5 м;
- глина мягко-, текучепластичная, реже тугопластичная и полутвердая, с примесью органических веществ, мощностью 6,2–9,7 м.

С поверхности территория покрыта почвенно-растительным слоем толщиной до 0,3 м.

Грунты, согласно СНиП 2.05.02-85, относятся к слабым грунтам (показатель текучести  $>0,5$ ) и, согласно таблице Б.27 ГОСТ 25100-2020, относятся к сильно- и чрезмернопучинистым.

Глинистые грунты, имеющие показатель текучести  $<0,5$  с прослоями песка, которые при соответствующей подготовке грунта могли бы быть использованы в качестве грунтовых строительных материалов, встречены преимущественно с глубины 6,0 м, в единичных случаях – с глубины 4,5–5,0 м и в районе существующих карьеров глинистых грунтов.

Таким образом, по результатам камеральной обработки полевых и лабораторных работ, участок не перспективен для разработки карьера строительных материалов.

**Северо-Тамаргинское месторождение**

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 5 км*

Пробурено 192 скважины, встречены следующие грунты:

- торф среднеразложившийся водонасыщенный мощностью 1,7 м;
- супесь песчаная пластичная текучая мощностью 0,7–3,7 м;

– суглинок от тугопластичного до текучего, с примесью органических веществ, мощностью 1,1–6,0 м; 3,7–9,0 м;

– глина от тугопластичной до текучей консистенции, с примесью органических веществ, мощностью 6,2–9,7 м.

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 10 км*

Пробурено 7 скважин, встречены следующие грунты:

- суглинок мягко-, текучепластичный, мощностью 0,7–1,6 м;
- глина от мягкопластичной до текучепластичной консистенции, с примесью органических веществ, мощностью 8,1–9,7 м.

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 15–20 км*

Пробурено 20 скважин, встречены следующие грунты:

- торф среднеразложившийся водонасыщенный, мощностью 0,7–1,3 м;
- глина мягко-, текучепластичная, с примесью органических веществ, мощностью 8,7–9,7 м.

**Косухинское месторождение**

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 5 км*

Пробурено 28 скважин. По данным полевых и лабораторных работ были встречены следующие грунты:

- торф среднеразложившийся водонасыщенный, мощностью 0,4 м;
- песок мелкий влажный, мощностью 0,5–0,9 м;
- супесь песчаная пластичная, текучая, мощностью 1,0–1,4 м; редко до 7,9–9,7 м;
- суглинок от тугопластичного до текучепластичного, с примесью органических веществ, мощностью 1,5–5,0 м, 7,7–8,2 м;
- глина от тугопластичной до текучепластичной, с примесью органических веществ, мощностью 1,3–3,5 м, 6,4–8,4 м, редко до 9,7 м.

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 10 км.*

Пробурено 80 скважин, встречены следующие грунты:

– песок мелкий влажный, водонасыщенный, мощностью 0,3–1,6 м, редко до 2,5–3,7 м, в единичных случаях 5,1–7,2 м.

– супесь песчаная пластичная, текучая, мощностью 0,3–3,1 м, в единичных случаях 7,8–8,9 м;

– суглинок тугопластичный, редко мягкопластичный, с примесью органических веществ, мощностью 1,0–3,7 м, в единичных случаях 6,2 м;

– глина от полутвердой до текучепластичной, с примесью органических веществ, мощностью 1,3–3,5 м, 6,4–8,4 м, редко до 9,7 м.

– суглинок тугопластичный, мягкопластичный, мощностью 1,0–9,3 м, в единичных случаях до 6,2 м

– супесь пластичная, текучая, встречается локально, мощностью 0,3–3,1 м, в единичных случаях достигает 7,8–8,9 м.

– песок мелкий средней плотности, влажный, водонасыщенный, мощностью 0,3–1,6 м, редко 2,5–3,7 м, в единичных случаях 5,1–7,2 м.

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 15 км.*

В южной части радиуса пробурено 9 скважин. Скважины, пройденные в северной части участка изысканий, попадают в 5 и 10-километровые зоны Северо-Тяжминского месторождения. Встречены следующие грунты:

– глина тугопластичная, мягкопластичная, с примесью органических веществ, мощностью 0,8–2,2, 7,5–8,9 м.

**Северо-Тяжминское месторождение***Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 5 км*

Пробурено 15 скважин.

По данным полевых и лабораторных работ были встречены следующие грунты:

– торф сильноразложившийся водонасыщенный, мощностью 1,6 м;

– глина от тугопластичной до текучепластичной, с примесью органических веществ, мощностью 8,1–9,7 м.

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 10 км*

Пробурено 42 скважины, встречены следующие грунты:

– глина от полутвердой до мягкопластичной консистенции, с примесью органических веществ, мощностью 0,3–9,7 м.

– супесь песчаная текучая, мощностью 4,8 м.

*Инженерно-геологическая характеристика перспективных участков в радиусе 15 км*

– глина тугопластичной, мягкопластичной консистенции, с примесью органических веществ, мощностью 0,9–3,5, 6,2–9,7 м.

**Выводы**

Апробация и верификация разработанной методики выполнены на территории семи месторождений углеводородного сырья Западной Сибири. В ходе исследований определены суммарные объемы грунтов различных литологических разностей для более чем 80 перспективных участков, расположенных в зонах радиусом 20 км вокруг соответствующих нефтяных месторождений.

Пересчет удельного электрического сопротивления в процентное содержание глин проводился с учетом лабораторных измерений УЭС для температуры 20 °С.

По результатам анализа УЭС, для большей части исследуемых территорий характерно от 10 до 30 % содержания глинистых частиц, что соответствует по гранулометрической классификации грунтов глинам и суглинкам. Однако на ряде месторождений (Северо-Тамаргинском, Косухинском и Северо-Тяжминском) выделяются песчаные отложения, залегающие в интервале глубин от поверхности до 5 м. Ниже по разрезу отмечается закономерное увеличение глинистости. В качестве примера на рис. 3 приведены результаты районирования песчаных грунтов для трех месторождений с целью выделения перспективных участков грунтовых строительных материалов. Представленная про-

гнозная оценка процентного содержания глины прошла верификацию выполненным бурением, по результатам которого показан сравнительный анализ геолого-геофизических данных (табл. 1). Наибольшие расхож-

дения связаны с особенностями методов, в частности интегральностью технологий геофизических исследований и дискретностью при отборе проб в ходе проходки горных выработок.

**Таблица 1.** Результаты сравнительного анализа процентного содержания глины по данным геофизических исследований и бурения

Номер скважины	Интервал опробования, м	Грунт	Глинистость (%) по данным:		Относительное изменение (%)
			бурения	ВЭЗ	
<i>Северо-Тамаргинское месторождение</i>					
1	0–5	Суглинок песчанистый текучий	15,5	17,0	8,8
1	5–10	Суглинок тугопластичный	25,4	32,7	22,3
2	0–5	Суглинок песчанистый текучий	19,1	22,9	16,6
2	5–10	Суглинок мягкопластичный	22,2	31,1	28,6
6	0–5	Суглинок мягкопластичный	15,2	17,5	13,1
6	5–10	Суглинок тугопластичный	23,7	29,5	19,7
7	0–5	Суглинок мягкопластичный	15,1	18,3	17,5
7	5–10	Суглинок текучепластичный	20,2	21,5	6,0
13	0–5	Супесь пластичная	16,2	15,3	5,9
13	5–10	Суглинок тугопластичный	29,3	33,7	13,1
80	0–5	Супесь пластичная	20,5	25,3	19,0
80	5–10	Глина тугопластичная	32,9	35,4	7,1
<i>Косухинское и Северо-Тямкинское месторождения</i>					
525	0–5	Песок мелкий	0,5	0,7	23,1
	5–10	Песок мелкий	0,3	0,4	14,3
545	0–5	Суглинок тугопластичный	32,3	35,4	8,8
	5–10	Песок мелкий	0,7	0,7	7,7
546	0–5	Суглинок песчанистый	22,3	25,3	11,9
	5–10	Глина мягкопластичная	32	33,7	5,0
555	0–5	Суглинок тугопластичный	35,4	32,7	8,3
	5–10	Суглинок песчанистый	23,6	27,1	12,9
558	0–5	Суглинок песчанистый	21,3	19,7	8,1
	5–10	Глина тугопластичная	32	36,0	11,1
568	0–5	Песок мелкий	0,2	0,2	4,8
	5–10	Песок мелкий	0,3	0,4	25,0
596	0–5	Песок мелкий	0,4	0,5	20,0
	5–10	Песок мелкий	0,5	0,6	16,7
604	0–5	Глина тугопластичная	35,4	36,3	2,5
	5–10	Глина мягкопластичная	37,2	40,2	7,5
607	0–5	Суглинок песчанистый	21,6	18,3	18,0
	5–10	Глина тугопластичная	33,3	32,1	3,7
652	0–5	Суглинок песчанистый	23,6	28,6	17,5
	5–10	Суглинок песчанистый	22,1	29,7	25,6



# Engineering-Geological Assessment of the Results of Geophysical Research for Soil Construction Materials Surveying

**К.А. Алванян<sup>a,b</sup>, А.А. Филимончиков<sup>a</sup>, А.В. Татаркин<sup>a</sup>, П.А. Красильников<sup>a</sup>,  
G.M. Batrakova<sup>b</sup>, S.G. Ashikhmin<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614068, Russia.

E-mail: karinealvanyan@yandex.ru

<sup>b</sup>Perm State University, 15 Bukireva Str., Perm 614990, Russia. E-mail: vsto08@mail.ru

The article provides an assessment of the results of geophysical research using geological exploration methods when searching for deposits of building materials. The staged nature of research is outlined, based on the use of direct geological methods, electrometry geophysical methods, laboratory study, and modern approaches to three-dimensional modeling, which makes it possible to increase the efficiency of geological exploration work. The approbation of the described approach is presented. Using this methodology a number of construction materials deposits were discovered in difficult engineering-geological conditions, and the concept of rational subsoil use was implemented during the development of a number of deposits in Western Siberia.

*Key words: deposits of soil building materials; methods of shallow geological exploration; drilling; electrical exploration; digital physical and geological models; complex engineering and geological conditions; subsoil use.*

## References

- Alvanian A.K., Iblaminov R.G.* 2009. K voprosu o metodike razvedki mestorozhdeniy glin (na primere Ust'-Igumskogo mestorozhdeniya v Permskom kraye) [On the question of prospecting methods of clay deposits (on example of the Ust-Igum deposit in Perm region)]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. 11:27–35. (in Russian)
- Ogil'vi A.A.* 1990. *Osnovy inzhenernoy geofiziki*. [Fundamentals of Engineering Geophysics]. Moskva, Nedra, p. 501. (in Russian)
- Seredin V.V., Pushkareva M.V., Leybovich L.O., Bakhareva N.S.* 2011. Metodika inzhenerno-geologicheskogo rayonirovaniya na osnove bal'noy otsenki klassifikatsionnogo priznaka [Methodology of engineering-geological zoning based on a point assessment of a classification feature]. *Inzhenernaya geologiya*. 3:20–25. (in Russian)
- Tatarkin A.V., Filimonchikov A.A., Kostitsyn V.I.* 2022. Geologo-geofizicheskaya metodika poiskov mestorozhdeniy gruntovykh stroitel'nykh materialov [Geological and geophysical methods for searching for deposits of soil building materials]. *Aktual'nyye problemy geodezii, kartografii, kadastra, geoinformatsionnykh tekhnologiy, ratsional'nogo zemle- i prirodopol'zovaniya: Elektronnyy sbornik tezisov Mezhdunarodnoy nauchnotekhnicheskoy konferentsii, Novopolotsk, 09–10 iyunya 2022 goda*. Novopolotsk: Polotskiy gosudarstvennyy universitet imeni Yevfrosinii Polotskoy, pp. 44–47. (in Russian)
- Tatarkin A.V., Gileva M.I., Filimonchikov A.A.* 2014. K voprosu opredeleniya udel'nogo elektricheskogo soprotivleniya dispersnykh gruntov v laboratornykh usloviyakh [On the issue of determining the specific electrical resistance of dispersed soils in laboratory conditions]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*, 1:44–48. (in Russian)
- Tatarkin A.V., Shikanov D.V.* 2022. Metodicheskiye aspekty opredeleniya udel'nogo elektricheskogo soprotivleniya v laboratornykh usloviyakh [Methodological aspects of determining resistivity in laboratory conditions]. *Geologiya i poleznyye iskopayemye Zapadnogo Urala*. 5(42):272–275. (in Russian)
- Filimonchikov A.A., Tatarkin A.V., Gileva M.I.* 2015. Otsenka perspektivnosti mestorozhdeniy gruntovykh stroitel'nykh materialov metodami elektrometrii [Assessment of the prospects of deposits of soil building materials using electrometry methods] *Zapiski Gornogo instituta (SPbGU)*. 212:130–134. (in Russian)