

УДК 624.131.1

Инженерно-геологическое районирование участка железной дороги методом вероятностной оценки классификационного показателя

Ю.Н. Селезнева^a, М.Р. Ядзинская^b^aФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»
Пермь, Комсомольский проспект, 29. E-mail: yulish94@mail.ru^bФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
Пермь, ул. Букирева, 15. E-mail: marinayadzinskaya@mail.ru*(Статья поступила в редакцию 3 ноября 2020 г.)*

Изложена методика специального инженерно-геологического районирования территории железнодорожного пути. Для этого были проанализированы геокриологические условия участка железной дороги «Пангоды – Новый Уренгой», характеризующиеся островным распространением многолетнемерзлых пород. Анализ показал, что на участке изысканий широко развит процесс подтопления, который будет оказывать большое влияние на проектирование и эксплуатацию сооружения. В работе был использован метод вероятностной оценки для обоснованного разделения территории. В результате исследования были выделены три таксона, характеризующиеся как подтопленные территории, потенциально подтопляемые и неподтопляемые в силу своего геологического строения. Рекомендованы мероприятия по снижению негативного влияния процессов подтопления.

Ключевые слова: инженерно-геологическое районирование, классификационный показатель, вероятностная оценка, подтопление, граничные значения.

DOI: 10.17072/psu.geol.20.2.142

Введение

Эффективное и рациональное освоение территории не обходится без предварительной оценки инженерно-геологических условий. На основании оценки проводится инженерно-геологическое районирование – деление территории на соподчиненные части, характеризующиеся общими инженерно-геологическими условиями.

Районирование выполняют по разным методикам и классификационным показателям. В связи с этим результаты районирования определенной территории могут отличаться друг от друга.

В практике районирования существуют три группы способов оценки геологических признаков: балльный (Новокрещенных А.А., 2014, Середин В.В., 2011), нормирования (Бондарик Г.К., 1982)) и вероятностно-статистический (Галкин В.И., 2017, Середин В.В. 2011, 2014, Толмачев В.В., 1980, Ядзинская М.Р., 2016). Методику выбирают в зависимости от цели районирования.

Территория исследований представляет собой участок 731–752 км перегона «Пангоды – Новый Уренгой» Свердловской железной дороги. В геоморфологическом отношении участок исследований расположен в пределах Ненецкой возвышенности на четвертичной аллювиально-морской пологоволнистой, слаборасчлененной аккумулятивной равнине, сложенной с поверхности мощной толщей рыхлых четвертичных отложений. Орографически это плоская, в различной степени заболоченная, заозеренная и залесенная пологоувалистая местность. Характерны холмы и гряды различного простирания. Участок изысканий приурочен к долине р. Томчару-Яха.

В тектоническом отношении участок изысканий располагается на северо-западе Западно-Сибирской плиты и небольшой части ее складчатого Полярно-Уральского обрамления.

В геологическом строении района работ принимают участие рыхлые отложения средне- и верхнечетвертичного возраста. Природные грунты с поверхности перекры-

ты техногенными грунтами (tQ_{IV}), слагающими железнодорожную насыпь. Под насыпью залегают озерные четвертичные отложения (IQ_{II}), представленные песками, супесями, суглинками, и биогенные четвертичные отложения (bQ_{IV}), представленные торфом.

Целью данной работы является оценка инженерно-геологических условий территорий строительства участка железной дороги «Пангоды – Новый Уренгой» с позиций надежной работы этого сооружения в сложных инженерно-геологических условиях (район островного распространения многолетнемерзлых пород). Для достижения поставленной цели необходимо провести специальное инженерно-геологическое районирование.

Методика

Авторами использована методика, основанная на вероятностной оценке инженерно-геологических условий (Середин В.В. 2011, Ядзинская М.Р., 2016).

Методика инженерно-геологического районирования сводится к выбору, количественной оценке и ранжированию ведущих геологических признаков, которые определяются целью районирования. Далее рассчитывается классификационный показатель (K_p), для него определяются граничные значения и выделяются таксоны.

Методика вероятностной оценки классификационного показателя имеет следующие особенности:

- неизвестен классификационный показатель на всей территории;
- неизвестны граничные значения классификационного показателя;
- известны участки территории, где сооружения находятся в устойчивом и неустойчивом состоянии.

Алгоритм оценки следующий:

- 1) Составляется модель «сооружение – природная среда».
- 2) Формируются две выборки по факторному признаку: для устойчивого (I) и для неустойчивого (II) состояния.
- 3) Для каждого участка определяется интервальная вероятность. По полученным интервальным вероятностям для каждого

участка строится номограмма или рассчитывается уравнение регрессии. С помощью номограммы или уравнения регрессии рассчитывается вероятность отнесения точки наблюдения к устойчивому или неустойчивому участку по каждому признаку из каждой подобласти.

4) Рассчитывается общая вероятность отнесения точки к I или II участку с использованием интервальных вероятностей. Общая вероятность будет являться классификационным признаком.

5) Обосновываются граничные значения классификационного признака, и составляется модель районирования.

6) Составляется карта инженерно-геологического районирования, описываются таксоны.

Результаты

Важным признаком устойчивости территории являются геологические процессы. На территории изысканий распространен процесс подтопления. При подъеме уровня подземных вод может происходить замачивание грунтов, и как следствие, дополнительные осадки оснований. Подтопление подземными водами ведет к водонасыщению грунтов оснований, ухудшению их деформационных характеристик и изменению напряженного состояния сжимаемой толщи основания.

Таким образом, за геологический признак, оказывающий существенное воздействие на устойчивость территории, была принята глубина залегания уровня грунтовых вод.

Критическое положение уровня воды, согласно СП 50-101-2004, равно 3 м. Таким образом, участки с УГВ выше 3 м относятся к подтопленным. К не подтопленным участкам отнесены территории, где подземные воды не встречены на всей глубине изысканий (от 10 до 20 м). Таким образом, к I эталонному участку будут отнесены территории с глубиной залегания УГВ ниже 10 м. В ходе районирования необходимо решить задачу, к каким участкам будут отнесены территории с УГВ ниже 3 м. Для каждого эталонного участка составлена выборка по геологическому признаку «глубина залегания УГВ» (табл. 1). Суть вероятностного подхода сводится к определению вероятности отнесения геологического признака к I, либо ко II эталонному участку (Галкин, 2017).

Таблица 1. Выборка по геологическому признаку «уровень грунтовых вод»

№ скважины	Уровень грунтовых вод, м		№ скважины	Уровень грунтовых вод, м		№ скважины	Уровень грунтовых вод, м	
	I	II		I	II		I	II
с-623	-	2,2	с-653	>20	-	с-675	-	1,5
с-632	>10	-	с-655	-	0,2	с-676	-	0
с-633	>10	-	с-658	-	0,1	с-679	-	0
с-643	-	1,4	с-665	>18	-	с-685	-	1,2
с-646	-	1,9	с-667	>15	-	с-688	-	0
с-647	-	0	с-671	>18	-	с-689	-	2,5
с-648	-	0,9	с-672	>15	-	с-701	>18	-
с-652	-	2,1	с-673	-	0	с-768	>15	-

Реализация данного подхода требует изучения распределения значений выбранного геологического признака в классах I и II. Для этого вычислим значения интервалов по формуле Стерджеса:

$$h = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{1 + 3,321 \lg n}, \text{ где}$$

X_{\max} и X_{\min} – максимальное и минимальное значение показателя, n – количество скважин. Величина интервала составила: $h \approx 3$.

После этого в каждом интервале определяются частоты, частости и интервальные вероятности (табл. 2). По значениям интервальных вероятностей для каждого участка строится номограмма. В качестве примера взята номограмма вероятности отнесения точек опробования к эталонному участку II (подтопленные территории) (рис.1). По экспериментальным данным и полученному графику определяется вероятность отнесения точек опробования ко II эталонному участку (подтопленные территории).

Таблица 2. Расчет частот, частостей и интервальных вероятностей

Интервал	Частота		Частость			Интервальная вероятность	
	I	II	I	II	I+II	P1	P2
0–3	0	20	0,00	0,67	0,67	0,00	1,00
3–6	0	0	0,00	0,00	0,00	-	-
6–9	0	0	0,00	0,00	0,00	-	-
9–12	3	0	0,10	0,00	0,10	1,00	0,00
12–15	3	0	0,10	0,00	0,10	1,00	0,00
15–18	4	0	0,13	0,00	0,13	1,00	0,00
Итого	10	20	0,33	0,67			

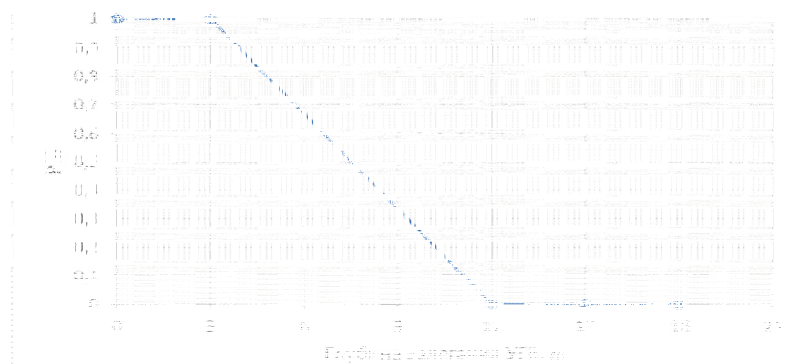


Рис. 1. График вероятности отнесения точки опробования ко II эталонному участку

Таблица 3. Определение вероятности отнесения точки опробования ко II эталонному участку

№ скважины	Уровень грунтовых вод, (м)	P(II)	Номер скважины	Уровень грунтовых вод, (м)	P(II)	Номер скважины	Уровень грунтовых вод, (м)	P(II)
с-490	3,6	0,93	с-521	3	1	с-559	3,9	0,90
с-491	8	0,45	с-522	3,9	0,90	с-560	4	0,89
с-492	нет	0	с-523	1	1	с-561	нет	0
с-493	нет	0	с-524	3	1	с-562	1,3	1
с-494	3,8	0,91	с-525	2,3	1	с-564	2,8	1
с-495	3,6	0,93	с-526	5,8	0,69	с-565	нет	0
с-496	5,2	0,76	с-528	3,7	0,92	с-567	4,4	0,85
с-497	3,1	0,99	с-529	нет	0	с-568	0	1
с-498	0,1	1	с-531	5,1	0,77	с-569	4,5	0,84
с-499	нет	0	с-532	1	1	с-570	3	1
с-500	5,9	0,68	с-533	4,9	0,79	с-571	2,7	1
с-501	6,3	0,63	с-534	нет	0	с-573	4,6	0,82
с-502	0	1	с-535	0,1	1	с-574	нет	0
с-503	4,2	0,86	с-537	нет	0	с-576	4,6	0,82
с-504	нет	0	с-538	0,2	1	с-577	0,3	1
с-505	1,6	1	с-540	0,2	1	с-578	нет	0
с-506	нет	0	с-541	0,1	1	с-579	4,3	0,86
с-507	нет	0	с-542	3,8	0,91	с-580	0,2	1
с-508	0,1	1	с-543	0,2	1	с-581	1	1
с-509	3,2	0,98	с-544	2,2	1	с-582	2,1	1
с-510	1,6	1	с-546	1,9	1	с-583	0,6	1
с-511	нет	0	с-547	0,1	1	с-584	1,2	1
с-512	1,2	1	с-549	0	1	с-585	нет	0
с-513	0,4	1	с-550	нет	0	с-586	нет	0
с-514	0,5	1	с-552	4,5	0,84	с-587	нет	0
с-515	3,2	0,98	с-553	1,6	1	с-588	2,5	1
с-516	0,1	1	с-554	1,5	1	с-589	нет	0
с-517	2	1	с-555	нет	0	с-590	4,8	0,80
с-519	0,1	1	с-556	6,2	0,65	с-591	4,9	0,79
с-520	нет	0	с-558	4,5	0,84	с-592	1,8	1

В качестве классификационного показателя использована вероятность $P_{\text{общ}} = K_p$.

Модель инженерно-геологического районирования основана на типизации территорий по подтопляемости (идентична СП 11-105-97 ч. II): считается, что если УГВ залегает выше 3 м (в этом случае $P=1$), то территория 100% подтопленная; потенциально подтопляемые территории – территории с вероятностью их подтопления более 50% (с УГВ до 6,3 м); не подтопляемые территории с

УГВ ниже 6,3 м. На основании разработанной модели построена карта инженерно-геологического районирования (рис. 2) (Красильников и др. 2009, Красильников, 2020). Таким образом, по подтопляемости территории исследования выявлено три таксона: I – не подтопляемые территории, II – потенциально подтопляемые, III – подтопленные.

Модель районирования представлена в табл. 4.

Таблица 4. Модель районирования

Таксон	Типизация участков	Р
I	Не подтопляемые	<0,50
II	Потенциально подтопляемые	0,50-1,0
III	Подтопленные	1,0

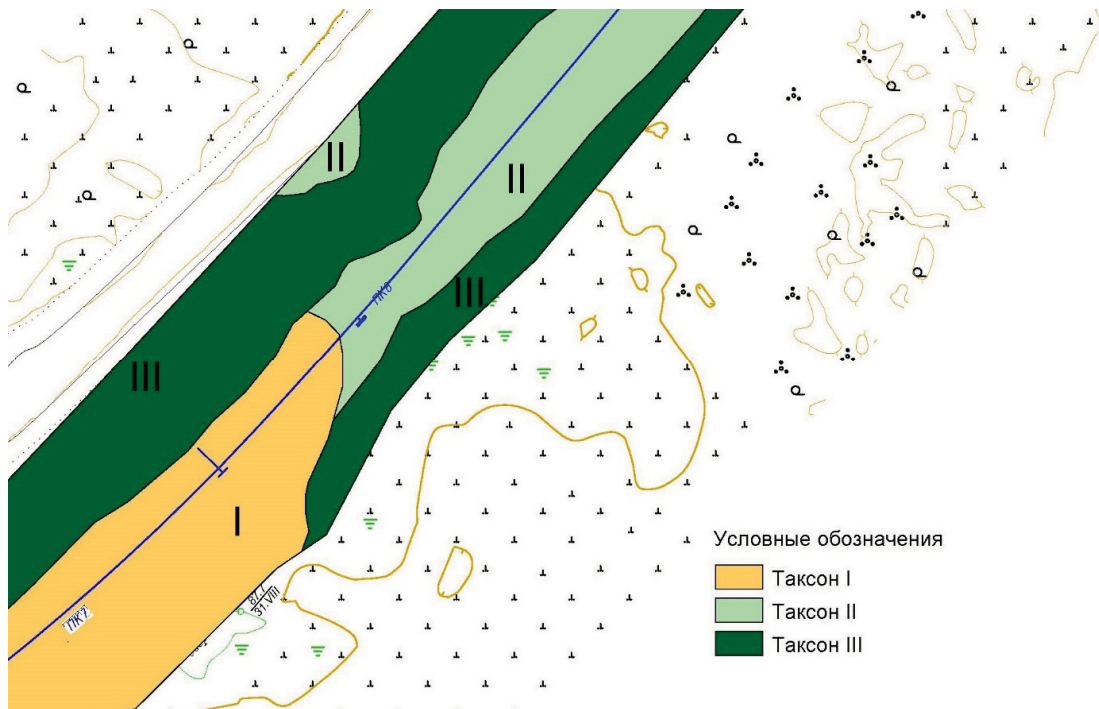


Рис. 2. Фрагмент схемы инженерно-геокриологического районирования

Таксон I характеризуется граничными значениями $R < 0,5$. Для данного таксона характерна глубина залегания УГВ более 7,7 м, глубина залегания кровли многолетнемерзлых пород от 0,9 м, участками многолетнемерзлые грунты не встречены. Мощность торфа составила от 0,7 до 1,9 м. Торф встречен локально. Таксон включает в себя, в основном, озерные отложения четвертичного возраста. В геоморфологическом отношении участки распространения *таксона I* представляют собой плоскую, покрытую редкими кустарниками местность.

Таксон II характеризуется граничными значениями с R от 0,5 до 1. Для данного таксона характерна глубина залегания УГВ от 3,1 до 7,5 м, глубина залегания кровли многолетнемерзлых пород от 4,1 до 24,1 м, участками грунты талые на всю глубину ис-

следований. Торф встречен локально, с мощностью от 0,5 до 1,3 м. Таксон включает в себя, в основном, озерные отложения четвертичного возраста. В геоморфологическом отношении участки распространения *таксона II* представляют собой плоскую, местами заболоченную, покрытую редкими кустарниками местность.

Таксон III характеризуется граничными значениями с $R = 1$. Для данного таксона характерна глубина залегания УГВ до 3,0 м, глубина залегания кровли многолетнемерзлых пород от 1,1 до 16,1 м, а также талые грунты на всю глубину исследований. Торф встречен локально с мощностью от 0,3 до 1,9 м. Таксон включает в себя, в основном, озерные отложения четвертичного возраста. В геоморфологическом отношении участки распространения *таксона III* представляют

собой плоскую, местами заболоченную, заозеренную, покрытую редкими кустарниками местность.

Заключение

Проведена предварительная оценка инженерно-геологических условий строительства участка перегона 731–752 км железной дороги «Пангоды – Новый Уренгой» с помощью методики, основанной на вероятностной оценке. С использованием современных геоинформационных систем составлена карта специального инженерно-геологического районирования по типизации участков, затронутых процессами подтопления.

По результатам специального районирования выделено три таксона: I – не подтопляемые территории, II – потенциально подтопляемые, III – подтопленные.

По результатам предварительной оценки рекомендовано:

– на участках таксона I (не подтопленные) следует провести частичную выторфовку и организовать локальные наблюдения за состоянием многолетнемерзлых пород и уровнем грунтовых вод;

– на участках таксона II (потенциально подтопляемые) также следует провести частичную выторфовку, организовать локальные наблюдения за состоянием многолетнемерзлых пород и системные за уровнем грунтовых вод. При необходимости организовать сток поверхностных вод.

– на участках таксона III (подтопленные) предлагается провести частичную выторфовку, локальные наблюдения за состоянием многолетнемерзлых пород и системные наблюдения за уровнем грунтовых вод. Необходимо обеспечить эффективное водоотведение.

Библиографический список

Бондарик Г.К., Пендин В.В. Методика количественной оценки инженерно-геологических условий и специального инженерно-геологического районирования // Инженерная геология. 1982. № 4. С. 82–89.

Галкин В.И., Середин В.В., Красильников П.А., Растегаев А.В. Разработка многомерных статистических моделей для инженерно-геологического районирования территорий //

Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2017. № 3. С. 58–66.

Голодковская Г.А., Лебедева Н.И. Инженерно-геологическое районирование г. Москвы // Инженерная геология. 1984. № 3. С. 87–102.

Красильников П.А., Коноплев А.В., Хронов В.В., Барский М.Г. Геоинформационное обеспечение экономической оценки природно-ресурсного потенциала территорий Пермского края // Экономика региона. 2009. № 1. С. 143–151.

Красильников П.А. Использование геоинформационных систем для решения прогнозных инженерно-геологических задач при разработке месторождений полезных ископаемых // Вестник Пермского университета. Геология. 2020. Т. 19. № 1. С. 65–72.

Миц А.А. Вопросы комплексной экономической оценки природных условий и естественных ресурсов в свете задач современной географии // Изв. АН СССР. Сер. География. 1965. №2.

Некрасов М.А., Середин В.В. Районирование территорий для рационального размещения объектов строительства // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 2. С. 437–440.

Новокрещенных А.А., Новопоселенских Л.А., Спасский Б.А., Наумов В.А., Иларионов С.А. Геоэкологическое районирование территории Качканарского горно-обогатительного комбината // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5.

Оздоева Л.И. Использование интегрального показателя инженерно-геологических условий при крупномасштабном инженерно-геологическом районировании городских территорий // Изв. вузов. Геология и разведка. 1981. №8. С. 70–74.

Середин В.В., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Бахарева Н.С. Методика инженерно-геологического районирования на основе бальной оценки классификационного признака // Инженерная геология. 2011. № 3. С. 20–25.

Середин В.В., Галкин В.И., Пушкарева М.В., Лейбович Л.О., Сметанин С.Н. Вероятностно-статистическая оценка инженерно-геологических условий для специального районирования // Инженерная геология. 2011. № 4. С. 42–47.

Середин В.В., Ядзинская М.Р. Районирование территории коридора коммуникаций на Северо-Харьгагинском нефтяном месторождении // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 5. С. 673.

Толмачев В.В. Вероятностный подход при оценке устойчивости закарстованных территорий и проектировании противокарстовых мероприятий // Там же. 1980. № 3. С. 98–107.

Ядзинская М.Р., Середин В.В. Районирование территорий строительства промышленных объектов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2016. Т. 2. С. 479.

Engineering-Geological Zoning of the Railway Section by the Method of Probabilistic Assessment

Yu.N. Selezneva^a, M.R. Yadzinskaya^b

^aPerm National Research Polytechnic University

29 Komsomolskiy Ave., Perm 614000, Russia. E-mail: yulish94@mail.ru

^bPerm State University

15, Bukireva Str., Perm 614000, Russia E-mail: marinayadzinskaya@mail.ru

The article describes the special engineering-geological zoning method of the railway territory. Permafrost geocryological conditions of the railway geological section were analyzed. The area is characterized by sporadic discontinuous permafrost. The analysis showed that the process of flooding is widely developed at the study area. It will have a great impact on the design and operation of the structure. The method of probabilistic assessment was used for a reasonable zonation of the territory. In result of the study, three taxa were identified that allows defining the flooded, potentially flooded, and non-flooded areas according to their geological structure. Measures for reducing the negative impact of flooding processes are recommended.

Key words: *engineering-geological zoning; classification indicator; probabilistic assessment; flooding; boundary values.*

References

- Bondarik G.K., Pendin V.V.* 1982. Metodika kolichestvennoj ocenki inzhenerno-geologicheskikh uslovij i special'nogo inzhenerno-geologicheskogo rajonirovaniya [Quantitative assessment methods of engineering-geological conditions and special engineering-geological zoning]. *Inzhenernaya geologiya*. № 4. S. 82–89.
- Galkin V.I., Seredin V.V., Krasil'nikov P.A., Rastegaev A.V.* 2017. Razrabotka mnogomernyh statisticheskikh modelej dlya inzhenerno-geologicheskogo rajonirovaniya territorij [Development of multidimensional statistical models for engineering-geological zoning of territories] *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. № 3. S. 58–66.
- Golodkovskaya G.A., Lebedeva N.I.* 1984. Inzhenerno-geologicheskoe rajonirovanie g. Moskvy [Engineering-geological zoning of Moscow]. *Inzhenernaya geologiya*. № 3. S. 87–102.
- Krasil'nikov P.A., Konoplev A.V., Hronusov V.V., Barskij M.G.* 2009. Geoinformacionnoe obespechenie ekonomicheskoy ocenki prirodno-resursnogo potentsiala territorij Permskogo kraja [Geoinformation support of economic assessment of the natural resource potential of the territories of the Perm region]. *Ekonomika regiona*. № 1. S. 143–151.
- Krasil'nikov P.A.* 2020. Ispol'zovanie geoinformacionnyh sistem dlya resheniya prognoznyh inzhenerno-geologicheskikh zadach pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh [The use of geographic information systems for solving predictive engineering and geological problems in the development of mineral deposits]. *Vestnik Permskogo universiteta. Geologiya*. T. 19. № 1. S. 65–72.
- Minc A.A.* 1965. Voprosy kompleksnoj ekonomicheskoy ocenki prirodnyh uslovij i estestvennyh resursov v svete zadach sovremennoj geografii [Issues of comprehensive economic evaluation of natural conditions and natural resources as regards to the tasks of modern geography]. *Izv. AN SSSR. Ser. Geografiya*. № 2.
- Nekrasov M.A., Seredin V.V.* 2016. Rajonirovanie territorij dlya racional'nogo razmeshcheniya ob"ektov stroitel'stva [The division into districts of territory for the rational distribution of construction objects. Modern technologies in construction] *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika*. T. 2. S. 437–440.
- Novokreshchennyh A.A., Novoposelenskih L.A., Spasskij B.A., Naumov V.A., Ilarionov S.A.* 2014. Geo-ekologicheskoe rajonirovanie territorii Kachkanarskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata [Geological regionalization of the Kachkanar mining and processing plant territory]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. № 5.
- Ozdoeva L.I.* 1981. Ispol'zovanie integral'nogo pokazatelya inzhenerno-geologicheskikh uslovij pri krupnomasshtabnom inzhenerno-geologicheskom rajonirovanii gorodskih territorij [The use of integral index of engineering geological conditions in large-scale engineering geological zoning of urban areas]. *Izv. vuzov. Geologiya i razvedka*. №8. S. 70–74.

Seredin V.V., Pushkareva M.V., Lejbovich L.O., Bahareva N.S. 2011. Metodika inzhenerno-geologicheskogo rajonirovaniya na osnove bal'noj ocenki klassifikacionnogo priznaka [Methodology of engineering geological zoning based on score estimation of classification feature]. *Inzhenernaya geologiya*. № 3. S. 20–25.

Seredin V.V., Galkin V.I., Pushkareva M.V., Lejbovich L.O., Smetanin S.N. 2011. Veroyatnostno-statisticheskaya ocenka inzhenerno-geologicheskikh uslovij dlya special'nogo rajonirovaniya // *Inzhenernaya geologiya*. № 4. S. 42–47.

Seredin V.V., YAdzinskaya M.R. . 2014. Rajonirovanie territorii koridora kommunikacij na Severo-Har'yaginskom neftyanom mestorozhdenii .

[Zoning of the communication corridor in the North Kharyaga oil field]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*. № 5. S. 673.

Tolmachev V.V. 1980. Veroyatnostnyj podhod pri ocenke ustojchivosti zakarstovannyh territorij i proektirovanii protivokarstovyh mero-priyatij [Probabilistic approach to assessing the stability of karst territories and designing anti-karst measures]. *Tam zhe*. № 3. S. 98–107.

YAdzinskaya M.R., Seredin V.V. 2016. Rajonirovanie territorij stroitel'stva promyshlennyh ob'ektov [Zoning of territories for the construction of industrial facilities]. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'st-ve. Teoriya i praktika*. T. 2. S. 479.