

УДК 622.7:504.61(470.54)

## ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ КАЧКАНАРСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА

Новокрещенных А.А., Новопоселенских Л.А., Спасский Б.А., Наумов В.А., Иларионов С.А.

*Пермский Государственный Национальный Исследовательский университет, Пермь,  
e-mail: nedra@nedra.perm.ru*

---

Для рационального освоения территории промышленного предприятия следует проводить оценку инженерно-геологических условий и на этой базе выполнять районирование. В качестве исходного материала для исследовательских работ по районированию территории Качканарского ГОКа были использованы результаты инженерных изысканий на объектах ЕВРАЗ КГОК. В статье представлены результаты по районированию территории промышленного предприятия Качканарского ГОКа, находящегося в сложных природно-техногенных условиях. В основу районирования положена балльная модель ранжирования инженерно-геологических условий и техногенных факторов. Выделено четыре таксона по сложности инженерно-геологических условий и подготовке территории. Построена обобщенная схема районирования изученной территории промышленного предприятия на основе балльной оценки наиболее важных критериев. Выделены участки с разной степенью сложности инженерно-геологических условий и соответственно условиями проектирования и строительства сооружений.

---

Ключевые слова: инженерно-геологическое районирование, природно-техногенные условия, классификационный показатель, модель районирования, факторный признак, таксон, балльная оценка.

## GEOECOLOGICAL ZONING OF KACHKANAR MINING AND PROCESSING INDUSTRIAL COMPLEX

Novokreschennykh A.A., Novoposelenskikh, L.A., Spasskiy B.A, Naumov V.A., Ilarionov S.A.

*Perm State National Research University, Perm, e-mail: [nedra@nedra.perm.ru](mailto:nedra@nedra.perm.ru)*

---

In order to effectively use the area of an industrial complex it's necessary to estimate geotechnical conditions and to carry out zoning according to the results of this estimation. The starting material for research on the zoning of Kachkanar we used the results of engineering studies at the facilities of EVRAZ KGOK. The paper presents results on zoning of industrial enterprise Kachkanar present in complex natural and man-made environment. The basis of the zoning laid scoring ranking model engineering-geological conditions and anthropogenic factors. Allocated four taxon complexity of geotechnical conditions and preparation of the territory. A generalized scheme of zoning study area of industrial enterprise on the basis of point scoring the most important criteria. Isolated areas with varying degrees of complexity of engineering-geological conditions and, accordingly, the terms of the design and construction of buildings.

---

Key words: geotechnical conditions, natural man-made conditions, classification index, zoning model, factorial characteristic, taxon, scoring.

Для рационального освоения территории промышленного предприятия следует проводить оценку инженерно-геологических условий и на этой базе выполнять районирование, под которым понимается разделение исследуемой территории на таксономические элементы, объединенные общностью показателей [1, 3, 10, 11]. Инженерно-геологическое районирование территории при использовании определённых методических приёмов выявляет в сложной и многосторонней геологической среде участки, обладающие какими-либо общими инженерно-геологическими признаками [10].

Целью исследовательской работы являлось районирование территории действующего предприятия – Качканарского ГОКа.

Результаты инженерно-геологического районирования территории действующего промышленного предприятия целесообразно использовать для решения социальных, функциональных, экологических, экономических и архитектурно-планировочных задач в рамках реконструкции или расширения производственной зоны.

Для достижения поставленной цели выполнялись следующие задачи:

1. Оценка состояния природно-техногенных условий на участке исследований;
2. Создание модели районирования;
3. Выбор и обоснование показателей для районирования;
4. Определение граничных значений выбранных таксонов;
5. Районирование территории.

В качестве исходного материала для исследовательской работы по районированию территории были использованы: результаты инженерных изысканий на объектах Качканарского ГОКа, топографическая съёмка с определением местоположения имеющихся сооружений и коммуникаций, инженерно-геологические и гидрогеологические условия территории.

**Оценка состояния природно-техногенных условий** на участке исследований:

1. Рельеф описываемого района относится к горно-холмистой зоне Приуральской горной гряды, сильно расчленен и носит характер эрозионного. Частые скальные обнажения на вершинах и склонах гор перемежаются понижениями, заполненными рыхлыми континентальными породами и техногенными грунтами. Абсолютные отметки высот промышленной зоны варьируют в диапазоне 250,0–360,0 м.

2. Геологическое строение площади горно-обогатительного комбината представлено вулканогенными породами ордовика и силура палеозойского периода (Качканарский габбро-пироксенитовый массив, к которому приурочено месторождение руды), залегающих с поверхности или под маломощной толщей рыхлых континентальных отложений и техногенных грунтов на глубину до 2 км. Непосредственно на участке исследований в верхней части инженерно-геологического разреза, практически повсеместно развиты современные техногенные (намывные, насыпные) грунты tQIV. Они имеют неоднородное строение и представлены неупорядоченным переслаиванием песков различной крупности; супесей, суглинков и глин от твердой до текучепластичной консистенции, а также крупнообломочными грунтами и отходами производства. Общая мощность техногенных грунтов составляет 2,0–29,5 м. В результате камеральной и статистической обработки материалов бурения в толще техногенных грунтов было выделено 19 инженерно-геологических элементов. Ниже них по разрезу залегают четвертичные делювиальные и элювиальные отложения: пески, супеси, суглинки и глины от твердых до пластичных, с включениями дресвы и щебня до 5–15 %, участками дресвяными и щебенистыми. Палеозойские магматические породы (пор-

фириты, габбро, пироксениты среднезернистые, малопрочные до прочных, в кровле сильно трещиноватые, по трещинам обводненные) залегают на глубине 35,0–36,0 м.

3. По гидрогеологическому районированию Качканарское месторождение относится к Большеуральскому бассейну грунтовых вод зон трещиноватости в породах палеозоя. В ходе изыскательских работ гидрогеологические условия на территории ГОКа характеризовались развитием 3 горизонтов подземных вод: «верховодки», грунтовых вод техногенного происхождения и слабоводоносного горизонта корово-трещинных вод в скальных породах. «Верховодка» имеет техногенное происхождение, развита обширно, но неравномерно, с кратким сроком существования и непостоянным режимом. Она скапливается в виде линз в приповерхностной (0,7–4,0 м) части геологического разреза, где приурочена к мощной толще насыпных грунтов. Питание «верховодки» обусловлено техногенными водами, атмосферными осадками и паводковыми водами. Горизонт грунтовых вод техногенного происхождения постоянного характера формируется за счет сброса вод после технологического этапа обогащения руд. Приурочен он преимущественно к насыпным грунтам, а также к четвертичным элювиально-делювиальным отложениям. Подземные воды коренных палеозойских пород относятся к типу трещинных вод и приурочены к трещиноватой зоне их выветривания. Уровень их зависит от рельефа местности и находится на различной глубине от дневной поверхности, колеблясь в пределах 0,45 м–35,0 м. Верхняя гидродинамическая зона этих подземных вод не обладает напором и имеет сплошное распространение на выровненных участках и в понижениях рельефа, прерываясь на вершинах и склонах гор. По химическому составу подземные воды гидрокарбонатные магниево-кальциевые с минерализацией 0,16–0,22 г/дм<sup>3</sup>.

4. Производственные корпуса и инженерное обеспечение горно-обогатительного комплекса включают в себя объекты транспортной железнодорожной и автомобильной связи, электро-, водо-, теплоснабжения, ремонтные и другие необходимые вспомогательные здания. Кроме объектов производства в составе предприятия находится комплекс подразделений, обеспечивающих социально-культурные потребности трудящихся (около 10 тыс. человек).

**Создание модели районирования.** Исходя из наличия исходной информации, районирование производили на основе бальной оценки классификационного показателя ( $K_p$ ). Особенностью районирования по бальной шкале признака  $K_p$  является то, что сам он неизвестен и неизвестны его граничные значения, но известны численные значения факторных признаков. Методика районирования основывается на том, что выбираются и оцениваются в баллах показатели состояния природно-техногенной среды, численные значения которых известны в каждой подобласти исследуемой территории [10, 11].

Бальная схема инженерно-геологического районирования заключалась в выборе, количественной оценке и ранжировании ведущих геологических признаков. Затем рассчитывался интегральный классификационный показатель  $K_p$  и для него определялись граничные значения, по которым далее выделялись таксоны состояния объекта.

В качестве классификационного признака использовалась общая вероятность  $P_{\text{общ.}} = K_p$ . При  $P_{\text{общ.}} > 0,75$  среда (сооружение) находится в весьма устойчивом состоянии, при  $P_{\text{общ.}} = 0,5 \div 0,75$  в устойчивом, при  $P_{\text{общ.}} = 0,25 - 0,5$  в малоустойчивом и при  $P_{\text{общ.}} < 0,25$  в неустойчивом. Модель инженерно-геологического районирования представлена в табл. 1.

**Таблица 1**

Модель инженерно-геологического районирования

Таксон	Состояние объекта / $P_{\text{общ.}}$ (условия территории)	Граничные значения $K_p$
I	Весьма устойчивое/ $P_{\text{общ.}} > 0,75$	$< K_p \text{ min} + 0,25R$
II	Устойчивое/ $P_{\text{общ.}} = 0,75 - 0,5$	$(K_p \text{ min} + 0,50R) - (K_p \text{ min} + 0,25R)$
III	Малоустойчивое/ $P_{\text{общ.}} = 0,5 - 0,25$	$(K_p \text{ min} + 0,75R) - (K_p \text{ min} + 0,50R)$
IV	Неустойчивое/ $P_{\text{общ.}} < 0,25$	$> K_p \text{ min} + 0,75R$

$$R = K_p \text{ max} - K_p \text{ min},$$

где  $P_{\text{общ.}}$  – общая вероятность (экономичность подготовки объекта).

**Выбор и обоснование показателей для районирования** осуществлялся после детального изучения и анализа природно-техногенных условий. Из всего многообразия признаков инженерно-геологических условий на изученной территории выбраны те, которые в наибольшей степени важны для оценки состояния оснований и фундаментов сооружений. К ним относятся: показатели, характеризующие состояние горных пород, горизонты подземных вод, пересечённость рельефа (энергия рельефа). Наряду с инженерно-геологическими критериями использовались показатели, характеризующие техногенную нагрузку на грунты: площадь сооружений, протяженность коммуникаций.

После выбора семи критериев для районирования по результатам инженерных изысканий на объекте были определены их конкретные значения в каждом сегменте изучаемой площади (100 м×100 м) и их граничные значения. Так как исследуемые признаки в рамках выбранной модели районирования неодинаково влияют на работу сооружений, каждому из них был присвоен свой индекс, а на основе количественной оценки каждого установлены весовые коэффициенты в баллах. Чем меньше численное значение такого коэффициента, тем меньшее влияние оказывает признак на устойчивость проектируемых сооружений.

Так мощность техногенных отложений и уровень залегания подземных вод являются важными критериями при районировании, т. к. при выборе участка строительства именно эти данные имеют определяющее значение. Поэтому, показателю мощности техногенных отложений присвоен высший ранг 7, а уровню залегания грунтовых вод – ранг 6. Таким

критериям как глубина залегания и мощность слабого грунта, влияющим на процесс деформации основания в значительной степени, присвоены соответственно 5 и 4 ранги. Энергия рельефа (пересечённость), протяженность коммуникаций и площадь существующих зданий являются достаточно существенными составляющими для определения устойчивости строительных площадок, но влияют не так критично, как критерии более высокого ранга, поэтому им присвоены 3, 2, 1 ранги соответственно.

Распределение зданий и сооружений на каждом участке исследуемой территории различно: в границах некоторых квадратов сооружений не имеется, в других же площадь сооружений достигает 4 914,41 м<sup>2</sup>/га.

Нагрузка от коммуникаций более специфична, чем от сооружений. Дороги создают статическую и динамическую нагрузки, трубопроводы (водоводы, канализация, пульпопроводы) влияют на поверхностный сток, приводят к разуплотнению грунта и дополнительному увлажнению за счет дренажа и утечек из коммуникаций.

Изучаемая территория на большей своей части характеризуется техногенно-преобразованным рельефом, сформированным в основном отвалами насыпных грунтов. В пределах выделенных участков площадью 1 га (100 м×100 м) перепады высот достаточно значительны и достигают 10 м и более. Перепады рельефа влияют на активизацию и формирование экзогенных процессов, а также усложняют подготовительные работы для строительства.

Глубина залегания и мощность слоёв слабых грунтов (текучепластичные и текучие суглинки и супеси), имеющих противоположное воздействие на основания и фундаменты, отслеживались в каждой инженерно-геологической скважине. Их значения изменяются соответственно в пределах 5,3–12,9 м и 0,0–6,67 м.

Подземные воды на изученной площадке (верховодка и грунтовые воды) залегают на глубине 0,5–2,0 м от поверхности земли.

Техногенные грунты на рассматриваемом участке имеют разный состав и давность отсыпки (включают различные примеси производства, золы, шлаки) и не выдержаны по мощности, что может повлечь за собой неравномерные осадки зданий и сооружений. Мощность техногенных отложений достигает 23 м и более.

Бальная оценка инженерно-геологических и техногенных признаков приведена в табл. 2.

**Таблица 2**

Бальная оценка инженерно-геологических и техногенных признаков

Признак			Бальная оценка компонентов признака			
Наименование	Индекс	Ранг	1	2	3	4
Площадь	A	1	Единицы площади, м <sup>2</sup>			

сооружений, м <sup>2</sup>			0–1228,6	1128,6–2457,2	2457,2–3685,8	>3685,8
Протяженность коммуникаций, м	Б	2	Длина, м			
			0–620,6	620,6–1210,1	1210,1–1799,5	>1799,5
Энергия рельефа, м	В	3	Мощность, м.			
			0–4,4	4,4–7,64	7,64–10,87	>10,87
Мощность слабого грунта, м	Г	4	Мощность, м			
			0–2,2	2,2–4,45	4,45–6,67	>6,67
Глубина залегания слабого грунта, м	Д	5	Глубина, м			
			>12,9	12,9–9,1	9,1–5,3	5,3–0
Уровень грунтовых вод, м	Е	6	Глубина, м			
			>12,65	12,65–8,6	8,6–4,56	4,56–0
Мощность техногенных грунтов, м	Ж	7	Мощность, м			
			0–8,87	8,87–15,75	15,75–22,62	>22,62

Далее был рассчитан классификационный показатель  $K_p$  по следующей формуле:

$$K_p = 1A_i + 2B_i + 3V_i + 4Г_i + 5Д_i + 6E_i + 7Ж_i,$$

где 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 – ранги (весовые коэффициенты) признаков;

$A_i, B_i, V_i, Г_i, Д_i, E_i, Ж_i$  – бальные значения компонентов-признаков.

**Граничные значения классификационного показателя ( $K_p \min$  и  $K_p \max$ )** – это значения, при которых происходит качественное изменение состояния объекта исследований.

Если каждый из вышеприведенных признаков (критериев) соответствует одному баллу, то комплексных дорогостоящих мероприятий подготовки территории не потребуется и вероятность будет стремиться к единице ( $P_{\text{общ}} \rightarrow 1$ ). Тогда минимальные значения классификационного показателя равны:

$$K_p \min = 1*1 + 2*1 + 3*1 + 4*1 + 5*1 + 6*1 + 7*1 = 28 \text{ баллов}$$

В случае, когда все факторные признаки имеют по 4 балла, мероприятия по подготовке территории будут продолжительными, комплексными и весьма дорогостоящими ( $P_{\text{общ}} \rightarrow 0$ ). Следовательно, значение  $K_p$  будет максимальным, а его значение равно:

$$K_p \max = 1*4 + 2*4 + 3*4 + 4*4 + 5*4 + 6*4 + 7*4 = 112 \text{ баллов}$$

На основе бальной модели районирования (табл. 1) с учетом предельных значений классификационного показателя  $K_p$  и табл. 2 для исследуемой территории на площади Качканарского ГОКа было получено 4 таксономические единицы состояния инженерно-геологической среды для строительства – табл. 3.

**Районирование территории.** Построена обобщенная схема районирования изученной территории промышленного предприятия на основе бальной оценки наиболее важных критериев. Выделены участки с разной степенью сложности инженерно-геологических условий и соответственно условиями проектирования и строительства сооружений при дальнейшем освоении территории.

**Таблица 3**

Выделение таксонов и районирование территории

Таксон	Условия территории	Граничные значения $K_p$
I	Весьма хорошие	< 41,75
II	Хорошие	41,75–55,5
III	Удовлетворительные	55,5–69,25
IV	Плохие	> 69,25

Характеристика выделенных таксонов.

1 таксон (весьма хорошие условия): мощность техногенных отложений наименьшая (до 8,5 м); уровень грунтовых вод залегает низко ( $> 16,7$  м.), слабые грунты отсутствуют, маломощные или залегают достаточно глубоко ( $M = 1,0$  м на глубине 16,7 м); сооружения и коммуникации отсутствуют или находятся в небольшом количестве; перепады рельефа незначительны (до 2,41 м).

2 таксон (хорошие условия): небольшое и среднее количество техногенных отложений ( $M = 2,0–15,0$  м и более); глубокое залегание грунтовых вод (5,5–7,7 м), незначительное присутствие слабых грунтов в разрезе ( $M = 1,0$  м на глубине 7,7 м). Нагрузка от сооружений и коммуникаций от нулевой до средней; энергия рельефа колеблется в пределах 1,85–5,93 м.

3 таксон (удовлетворительные условия): большая мощность техногенных отложений (4,5–29,5 м); грунтовые воды находятся на глубине 0,5–7,5 м; прослой слабых грунтов  $M = 1,0–3,5$  м на глубине 1,9–16,7 м; степень застройки достаточно существенная; рельеф имеет перепады от 2,47 до 10,83 м.

4 таксон (плохие условия) имеет большой разброс по критериям, но в основном здесь отмечаются: большие перепады рельефа (1,27–14,1 м), наличие слабых грунтов ( $M = 1,0–8,9$  м на глубинах 1,5–13,0 м); площадь сооружений и протяженность коммуникаций значительных величин (максимальная  $S = 4\,914,41$  м<sup>2</sup>, максимальная  $L = 2\,389,05$  м); грунтовые воды залегают близко к поверхности (0,5–8,0 м); техногенные грунты достигают большой мощности (от 2,5 до 28,5 м).

### Список литературы

1. Бондарик Г.К., Пендин В.В. Методика количественной оценки инженерно-геологических условий и специального инженерно-геологического районирования // Инженерная геология. – 1982. - № 4. – С. 82-89.
2. Галкин В.И., Середин В.В., Лейбович Л.О., Пушкарёва М.В., Копылов И.С., Чиркова А.А. Оценка эффективности технологий очистки нефтезагрязненных грунтов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2012. - № 6. – С. 4-7.
3. Голодковская Г.А., Лебедева Н.И. Инженерно-геологическое районирование г. Москвы // Инженерная геология. – 1984. - № 3. – С. 87-102.

4. Пушкарева М.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Бахарев А.О. Корректировка границ зон санитарной охраны (ЗСО) питьевого водозабора // Здоровье населения и среда обитания. – 2011. - № 10. – С. 46.
5. Пушкарева М.В., Середин В.В., Лейбович Л.О., Чиркова А.А., Бахарев А.О. Инженерно-экологическая оценка территории запасов подземных вод в связи с разработкой нефтяных месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. - № 2. – С. 9-13.
6. Сергеев Е.М. Инженерная геология. – 2-е изд. – М.: Изд. Московского ун-та, 1982. – 248 с.
7. Сергеев Е.М. Теоретические основы инженерной геологии. Геологические основы. – М.: Недра, 1985. – 332 с.
8. Середин В.В. К вопросу о прочности засоленных глинистых грунтов // Инженерная геология. 2014. № 1. С. 66-69.
9. Середин В.В., Андрианов А.В. К вопросу о методике определения прочностных характеристик грунтов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. - № 6. – С. 946.
10. 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.
11. 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.
12. Середин В.В., Ядзинская М.Р. Закономерности изменений прочностных свойств глинистых грунтов, загрязненных нефтепродуктами // Инженерная геология. – 2014. - № 2. – С. 26-32.

#### **Рецензенты:**

Ибламинов Р.Г., д.г.-м.н., зав. кафедрой минералогии и петрографии Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.

Середин В.В., д.г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь.