

МЕТОДИКА ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ БАЛЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КЛАССИФИКАЦИОННОГО ПРИЗНАКА

A METHOD OF ENGINEERING-GEOLOGICAL ZONING BASED ON NUMERICAL SCORE OF A CLASSIFICATION CRITERION

СЕРЕДИН В.В.

Зав. кафедрой инженерной геологии Пермского государственного университета, д.г.-м.н., профессор, nedra@nedra.perm.ru

ПУШКАРЕВА М.В.

Профессор кафедры охраны окружающей среды Пермского государственного технического университета, д.м.н., pushkareva@nedra.perm.ru

ЛЕЙБОВИЧ Л.О.

Директор департамента экологии научно-исследовательского, проектного и производственного предприятия по природоохранной деятельности «Недра», к.т.н., leibovich@nedra.perm.ru

БАХАРЕВА Н.С.

Инженер-геолог научно-исследовательского, проектного и производственного предприятия по природоохранной деятельности «Недра», nedra@nedra.perm.ru

Ключевые слова:

инженерно-геологическое районирование; геологический признак; таксон; ранжирование; интегральный показатель; модель районирования; система «геологическая среда — сооружение».

Аннотация

В статье представлена простая и достаточно надежная методика инженерно-геологического районирования, разработанная авторами. В основу методики положено представление о том, что выбор геологических критериев определяется работой системы «геологическая среда — сооружение». Представлены результаты апробирования предложенной методики на конкретном объекте и практические результаты, реализованные в виде проектных решений.

Abstract

The article presents a simple and enough reliable method of engineering-geological zoning developed by the authors. This method is based on the conception of determining the choice of geological criteria by the work of the system «geological environment — construction». Some results of testing the proposed method at the concrete object and some practical results that are realized in the form of design decisions are presented.

SEREDIN V.V.

The head of the department of geological engineering of Perm State University, doctor of geological-mineralogical sciences, professor, nedra@nedra.perm.ru

PUSHKAREVA M.V.

A professor of the department of environmental protection of Perm State Technical University, doctor of medical sciences, pushkareva@nedra.perm.ru

LEIBOVICH L.O.

The director of the ecology department of the Research, Design and Production Enterprise for Nature Conservation Activity «Nedra», candidate of technical sciences, leibovich@nedra.perm.ru

BACHAREVA N.S.

A geological engineer of the ecology department of the Research, Design and Production Enterprise for Nature Conservation Activity «Nedra», nedra@nedra.perm.ru

Key words:

engineering-geological zoning; geological feature; taxon; ranking; integrated index; zoning model; the system «geological environment — construction».

Введение

При решении ряда задач хозяйственной деятельности требуется проведение инженерно-геологического районирования территории, под которым понимается разделение ее на таксономические элементы. Совокупность инженерно-геологических условий таксономического элемента определяет устойчивость, тип, конструктивные особенности, методы строительства и режим эксплуатации того или иного инженерного сооружения на соответствующем участке.

Выполненный авторами анализ результатов районирования, полученных разными методами, показал, что они не всегда сопоставимы между собой. Это обусловлено рядом причин, из которых к наиболее важным следует отнести:

- способы перевода геологических признаков (компонент инженерно-геологических условий) из размерных в безразмерные величины;
- способы определения весовых коэффициентов исследуемых геологических признаков;
- способы формирования интегрального (обобщенного) показателя, который выступает при районировании в качестве классификационного признака.

В практике районирования существуют, по крайней мере, три группы способов оценки геологических признаков безразмерной величиной: балльный [3, 5], нормирования [1, 2, 6] и вероятностно-статистический [8].



Таблица 1

Балльная оценка компонентов геологических признаков						
Признак			Компоненты признака			
Наименование	Индекс (обозначение)	Ранг	Баллы			
			1	2	...	<i>n</i>
Признак «А»	А	1	A_1	A_2	...	A_n
Признак «Б»	Б	2	B_1	B_2	...	B_n
Признак «В»	В	3	V_1	V_2	...	V_n
...
Признак «I»	<i>I</i>	<i>j</i>	I_1	I_2	...	I_n

Наиболее уязвимым местом всех методов является то, что на различных этапах районирования включается субъективная оценка инженерно-геологических признаков, поэтому предлагаемые методы не являются универсальными. Выбор методики районирования определяется прежде всего поставленной задачей и инженерно-геологическими условиями территории исследования.

Исходя из этого, авторы попытались разработать простую и достаточно надежную методику инженерно-геологического районирования территории в условиях горно-складчатых областей. В его основу было положено представление о том, что выбор геологических критериев определяется условиями работы системы «геологическая среда — сооружение».

Методика инженерно-геологического районирования

Методика инженерно-геологического районирования сводится прежде всего к выбору, количественной оценке и ранжированию ведущих геологических признаков. Затем рассчитывается интегральный классификационный показатель K_p и для него определяются граничные значения, по которым выделяются таксоны.

Районирование необходимо начинать с постановки задачи, т.к. от этого зависит выбор K_p и его граничных значений, а также выбор модели районирования. Далее строится концептуальная модель «геологическая среда — сооружение», включающая набор геологических признаков, оказывающих существенное влияние прежде всего на устойчивость рассматриваемого сооружения. Построенная модель должна наиболее полно отражать поставленную задачу районирования.

После этого с помощью экспертных оценок производится выбор геологических признаков, оказывающих наиболее существенное влияние на сооружение в рамках полученной концептуальной модели. Набор геологических признаков определяется инженерно-геологическими условиями территории исследования. Каждому при-

знаку присваивается индекс. Например, признак «грунты» имеет индекс «А», признак «оползневые процессы» — индекс «Б», «эрозионные процессы» — «В» и т.д.

Известно, что исследуемые признаки неодинаково влияют на работу сооружения в рамках полученной модели. Поэтому им присваиваются весовые коэффициенты, или ранги (от 1 до *j*). Чем меньше численное значение этого коэффициента, тем меньшее влияние оказывает признак на систему «геологическая среда — сооружение», т.е. тем более устойчиво сооружение.

Каждый признак содержит в себе элементы (компоненты) более низкого порядка. Например, признак «грунты» содержит в себе следующие компоненты более низкого уровня: «скальные», «песчаные», «глинистые», «слабые» и др. Поэтому каждый компонент каждого признака оценивается в баллах по степени его влияния на сооружение. При этом чем меньше балл, тем меньшее влияние оказывает соответствующий компонент на сооружение. Например, компоненты признака «грунты» оцениваются следующим образом: «скальные грунты» — 1 балл, «песчаные грунты» — 2 балла, «глинистые грунты» — 3 балла и т.д. (они соответственно обозначаются $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$). После выбора и балльной оценки геологических признаков и их компонентов вся информация сводится в таблицу (табл. 1).

Затем рассчитывается интегральный (обобщающий) показатель, который выступает в качестве классификационного показателя K_p . Он рассчитывается по следующей формуле:

$$K_p = 1A_n + 2B_n + 3V_n + \dots + j \cdot I_n,$$

где 1, 2, 3, ..., *j* — весовые коэффициенты (ранги) признаков; $A_n, B_n, V_n, \dots, I_n$ — балльные значения для компонентов признаков.

Граничные значения классификационного показателя ($K_{p \min}$ и $K_{p \max}$) — это значения, при которых происходит качественное изменение состояния объекта исследований, т.е. когда сооружение переходит из устойчивого состояния в малоустойчивое и неустойчивое. Отсюда понятно,

Таблица 2

Модель инженерно-геологического районирования		
Таксон	Состояние объекта	Значение K_p
I	Очень устойчивое	$< K_{p \min} + 0,25R$
II	Устойчивое	$(K_{p \min} + 0,50R) - (K_{p \min} + 0,25R)$
III	Малоустойчивое	$(K_{p \min} + 0,75R) - (K_{p \min} + 0,50R)$
IV	Неустойчивое	$> K_{p \min} + 0,75R$

что граничные значения K_p определяются и уточняются исходя из задачи исследований. Однако в целом можно предложить следующий методический подход: если принять, что при $K_{p \min}$ влияние геологических признаков будет наиболее благоприятным для решения поставленной задачи, т.е. вероятность реализации задачи будет стремиться к единице ($P \rightarrow 1$), а при $K_{p \max}$ — наоборот, наименее благоприятным (т.е. $P \rightarrow 0$), то можно предложить следующие граничные значения таксонов:

$$P < 0,75 \quad \text{при } K_p < K_{p \min} + 0,25R;$$

$$P = 0,75 - 0,50,$$

$$\text{при } K_p = (K_{p \min} + 0,50R) - (K_{p \min} + 0,25R);$$

$$P = 0,50 - 0,25,$$

$$\text{при } K_p = (K_{p \min} + 0,75R) - (K_{p \min} + 0,50R);$$

$$P > 0,25, \text{ при } K_p > K_{p \min} + 0,75R,$$

где $R = K_{p \max} - K_{p \min}$.

На основании граничных значений классификационного показателя K_p была разработана модель районирования (табл. 2).

В методическом плане составление карты районирования осуществляется следующим образом:

1) территорию исследований разбивают на подобласти с целью получения равномерной сети опробования;

2) в каждой точке каждой подобласти определяют численные значения классификационного показателя K_p ;

3) используя модель районирования, выделяют таксоны (границы между таксонами определяют с использованием метода интерполяции).

Следует подчеркнуть, что очень важные моменты при районировании — это определение схемы расположения точек опробования и получение необходимой информации по каждой из них. Эти точки должны располагаться равномерно, с одинаковой плотностью — и эта задача решается достаточно просто. Но проблема, связанная с получением информации в каждой точке опробования (подобласти), на практике не всегда разрешима. В связи с этим предлагается: (1) сформировать две выборки, в первую из которых должны войти имеющиеся значения искомого

признака (будем называть его результативным признаком), а во вторую — факторные признаки в этих же подобластях (квадратах); (2) рассчитать уравнение регрессии, где в качестве результативного признака (Y) выступит искомым признаком, а в качестве факторных признаков (X) — инженерно-геологические признаки. Например:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + \dots + b_iX_i,$$

где Y — искомым признаком; a — свободный член; $b_1, b_2, b_3, \dots, b_i$ — угловые коэффициенты уравнения; $X_1, X_2, X_3, \dots, X_i$ — факторные признаки

Используя полученные уравнения связи, необходимо рассчитать теоретические значения искомого признака в точке опробования, а затем — значения K_p . Таким образом, оцифровываются те подобласти, где отсутствовала экспериментальная информация, а затем производится построение карт районирования по алгоритму, изложенному выше (по численным значениям K_p по всей территории исследований, граничным условиям K_p и модели районирования).

Апробация предложенной методики

Апробация предложенной методики районирования проводилась по данным, полученным при выполнении инженерно-геологических изысканий на участке «ПК145 — ПК263» (длиной 118 км) трассы нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий океан». Целью этих исследований была оценка инженерно-геологических условий территории строительства данного трубопровода по степени надежности его работы.

Анализ природно-техногенной системы (концептуальной модели) «трубопровод — массив грунтов» показал, что надежная работа нефтепровода во многом определяется состоянием его тела, что, в свою очередь, связано с величинами деформаций грунтового основания (которые, как известно, обусловлены литологией и геологическими процессами — карстовыми, суффозионными, эрозийными, оползевыми и др.).

В ходе изысканий было установлено, что исследуемая часть трассы нефтепровода сложена различными типами грунтов, которые подвержены в основном карстовым и оползевым процессам. Эрозийные процессы имеют здесь подчиненное значение. Поэтому для решения поставленной задачи из всего комплекса инже-



Таблица 3

Балльная оценка компонентов признака «грунты»		
Тип грунта (компонент признака)	Модуль общей деформации E , МПа	Балл
Скальный и полускальный	50,0–100,0	1
Песчаный	10,0–50,0	2
Глинистый	5,0–30,0	3
Слабый	0,1–0,3	4

нерно-геологических условий рассматриваемой трассы были выделены следующие ведущие геологические признаки: (1) «грунты»; (2) «карстовые и суффозионные процессы»; (3) «оползневые процессы».

«Грунты» — наиболее важный природный признак. Это обусловлено прежде всего тем, что они служат основанием нефтепровода. Грунты различного типа (компоненты признака) деформируются по-разному, а это, в свою очередь, сказывается на величине деформации тела трубопровода. Поэтому по величине деформируемости грунты можно подразделить на четыре группы (при этом чем надежнее грунтовое основание, тем меньшим баллом оцениваются слагающие его грунты) (табл. 3).

«Карстовые и суффозионные процессы» также приняты в качестве важного геологического признака, определяющего устойчивую работу исследуемых участков нефтепровода (поскольку карстово-суффозионные провалы в его основании могут вызвать его критические деформации, способствующие формированию нефтепроводящих трещин). Будем оценивать эти опасные процессы через растворимость грунтов: чем она

меньше, тем надежнее соответствующее грунтовое основание и тем более низким баллом оно оценивается (табл. 4).

Следующим важным признаком являются «оползневые процессы». Оползни при своем движении захватывают тело трубопровода и могут привести к нарушению его сплошности. Их возникновение хорошо коррелирует с показателем крутизны склона: чем более пологим является склон, тем менее вероятны на нем оползневые процессы (табл. 5).

Известно, что вышеперечисленные признаки вносят неодинаковый вклад в формирование устойчивости нефтепровода. Поэтому была проведена экспертная оценка их влияния на его надежную работу. На основании данной оценки всем признакам были присвоены весовые коэффициенты в баллах. Чем меньше численное значение такого коэффициента, тем меньшее влияние оказывает признак на устойчивость рассматриваемого сооружения. Кроме того, каждый выделенный геологический признак обозначался своим индексом (табл. 6).

Классификационный показатель K_p в этой ситуации рассчитывается по следующей формуле:

Таблица 4

Балльная оценка компонентов признака «карстово-суффозионные процессы»			
Тип грунта (компонент признака)	Степень растворимости	Количество водорастворимых солей, г/л	Балл
Некарстующийся	Нерастворимый	< 0,01	1
Карбонатный	Труднорастворимый	0,01–1,00	2
Сульфатный	Среднерастворимый	1,00–10,00	3
Соленый	Легкорастворимый	> 10,00	4

Таблица 5

Балльная оценка компонентов признака «оползневые процессы»		
Тип оползневого склона по крутизне (компонент признака)	Численное значение, ° (град.)	Балл
Пологий	< 20	1
Средней крутизны	20–30	2
Крутой	30–40	3
Очень крутой	> 40	4

Таблица 6

Балльная оценка геологических признаков трассы нефтепровода						
Признак			Балльная оценка компонентов признака			
Наименование	Индекс	Ранг	1	2	3	4
Грунты	А	1	Тип грунта			
			скальный и полускальный	песчаный	глинистый	слабый
Карстовые и суффозионные процессы	Б	2	Тип грунта по растворимости			
			некарстующийся	карбонатный	сульфатный	соленый
Оползневые процессы	В	3	Тип склона по крутизне			
			пологий	средней крутизны	крутой очень	крутой

$$K_p = 1A_i + 2B_i + 3V_i,$$

где 1, 2, 3 — весовые коэффициенты (ранги) признаков; A_i , B_i , V_i — балльные значения компонентов признака (индекс «А» характеризует тип грунта, «Б» — карстовые и суффозионные процессы через растворимость грунта, «В» — оползневые процессы через крутизну склона).

Напомним, что при граничном значении K_p происходит качественное изменение объекта исследований. В нашем случае — когда сооружение переходит из устойчивого состояния в неустойчивое. Считаем, что если каждый из вышеприведенных геологических признаков соответствует одному баллу, то трубопровод находится в устойчивом состоянии. Тогда минимальные значения классификационного показателя будут равны:

$$K_{p \min} = 1 \times 1 + 1 \times 2 + 1 \times 3 = 6 \text{ баллов.}$$

В случае, когда все факторные признаки имеют по четыре балла, сооружение будет находиться в неустойчивом состоянии. Значение K_p будет максимальным и будет равно:

$$K_{p \max} = 4 \times 1 + 4 \times 2 + 4 \times 3 = 24 \text{ балла.}$$

На основании предельных значений классификационного показателя K_p и табл. 2 была разработана модель районирования (табл. 7).

По экспериментальным данным в каждой точке опробования оценивается каждый исследуемый геологический признак, а затем рассчитываются значения классификационного показателя K_p .

На исследуемой территории было выделено три таксонометрические единицы.

Таксон 1 представлен участками трассы трубопровода: «ПК155 — ПК168», «ПК175 — ПК190», «ПК196 — ПК199», «ПК204 — ПК220». На этих участках карстующиеся грунты залегают на средней глубине $h_k = 14,8$ м; склоны здесь пологие (их крутизна составляет $\alpha = 12^\circ$); в основании трубопровода залегают в основном некарстующиеся грунты. Значения классификационного показателя $K_p < 10$.

Таксон 2 представлен участками: «ПК145 — ПК155», «ПК168 — ПК175», «ПК190 — ПК196», «ПК199 — ПК204», «ПК220 — ПК235». На этих участках карстующиеся грунты залегают ближе к земной поверхности ($h_k = 8,55$ м); склоны здесь имеют среднюю крутизну ($\alpha = 26^\circ$); в основании залегают некарстующиеся грунты. Значения классификационного показателя K_p составляют от 10 до 16.

Таксон 3 представлен участком «ПК235 — ПК263», на котором карстующиеся грунты залегают в основании трубопровода, $h_k = 2,16$ м, склоны очень крутые ($\alpha = 56^\circ$); $K_p = 16 \div 20$.

Характеристика представленных таксонов приведена в табл. 8.

Таблица 7

Модель инженерно-геологического районирования трассы нефтепровода		
Таксон	Состояние объекта	Значение K_p
I	Очень устойчивое	< 10
II	Устойчивое	10–16
III	Малоустойчивое	16–20
IV	Неустойчивое	> 20



Таблица 8

Средние значения показателей для характеристики таксонов 1, 2, 3			
Показатель	Номер таксона		
	1	2	3
Мощность глинистых грунтов, м	1,51	1,95	0,51
Мощность крупнообломочных и песчаных грунтов, м	0,66	0,48	0,57
Глубина залегания кровли некарстующихся грунтов, м	2,20	2,41	1,04
Глубина залегания кровли карстующихся грунтов, м	14,80	8,55	2,16
Крутизна склонов, ° (град.)	12,08	26,43	56,00
Абсолютная отметка земной поверхности, м	591,92	564,14	489,02
Абсолютная отметка кровли карстующихся грунтов, м	577,11	555,59	486,85
Плотность скальных грунтов, залегающих в основании трубопровода, г/см ³	1,98	2,16	2,45
Прочность на сжатие скальных грунтов, залегающих в основании трубопровода, МПа	9,27	26,70	55,50
Пористость скальных грунтов, залегающих в основании трубопровода, %	30,87	20,75	16,86

Выводы и рекомендации


Авторами была разработана и апробирована методика инженерно-геологического районирования, которую рекомендуется использовать на стадии предварительной оценки инженерно-геологических условий территории исследований.

На основе результатов апробации предложенной методики на участках от ПК145 до ПК263 трассы нефтепровода «Восточная Сибирь — Тихий океан» можно сделать следующие выводы.

На участках таксона 1 («ПК155 — ПК168», «ПК175 — ПК190», «ПК196 — ПК199», «ПК204 — ПК220»), где трубопровод находится в весьма устойчивом состоянии, мероприятия по улучше-

нию грунтового основания и укреплению трубопровода проводить не следует.

На участках таксона 2 («ПК145 — ПК155», «ПК168 — ПК175», «ПК190 — ПК196», «ПК199 — ПК204», «ПК220 — ПК235») трубопровод находится в устойчивом состоянии. Однако, несмотря на то что карстующиеся грунты здесь находятся ниже зоны влияния нефтепровода, следует провести мероприятия по организованному сбросу поверхностных вод и частичному укреплению трубопровода.

На участке таксона 3 («ПК235 — ПК263») трубопровод находится в малоустойчивом состоянии. Здесь необходимо провести комплекс противокарстовых мероприятий, включая укрепление тела трубопровода. 

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондарик Г.К. О количественной оценке инженерно-геологических условий // Советская геология. 1982. № 4. С. 113–118.
2. Бондарик Г.К., Пендин В.В. Методика количественной оценки инженерно-геологических условий и специального инженерно-геологического районирования // Инженерная геология. 1982. № 4. С. 82–89.
3. Дубровин Н.И., Безруков В.Ф., Янушевич Ю.Д. Опыт количественной оценки сложности инженерно-геологических условий при районировании горно-складчатых областей (на примере участка южного склона Северо-Западного Кавказа от р. Туапсе до р. Мзымта) // Труды конф. по инж. геол. Тбилиси, 1978. Т. 2, ч. 2.
4. Круподеров В.С., Трофимов В.Т., Чекрыгина С.Н. Научно-методические подходы и принципы составления современной инженерно-геологической карты России масштаба 1:2 500 000 // Разведка и охрана недр. 2008. № 6. С. 24–26.
5. Минц А.А. Вопросы комплексной экономической оценки природных условий и естественных ресурсов в свете задач современной географии // Изв. АН СССР. Сер. Географ. 1965. № 2.
6. 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.
7. Пендин В.В., Ганова С.Д. Геоэкологический мониторинг территорий расположения объектов транспорта газа в криолитозоне. М.: ПНИИИС, 2009. 236 с.
8. Толмачев В.В. Вероятностный подход при оценке устойчивости закарстованных территорий и проектирования противокарстовых мероприятий // Инженерная геология. 1980. № 3. С. 93–107.