

2. Евграшкина Г. П. Влияние горнодобывающей промышленности на гидрогеологические и почвенно-мелиоративные условия территорий / Г. П. Евграшкина. – Д., 2003. – 200 с.
3. Евграшкина Г. П. Прогноз развития процессов вторичного засоления почвогрунтов в районах горнодобывающей промышленности / Г. П. Евграшкина, Н. П. Шерстюк // Вісник Дніпропетр. ун-ту Геологія. Географія. – 2009. – Т. 17. – С. 32–37.
4. Евграшкина Г. П. Прогноз солевого режима почв и грунтов зоны аэрации Фрунзенского орошаемого массива методами математического моделирования / Г. П. Евграшкина, М. М. Коппель / Мелиорация и водное хозяйство. – К., 1978. – Вып. 43. – С. 56–63.
5. Карплюс У. Моделирующие устройства для решения задач теории поля / У. Карплюс. – М., 1962. – 487 с.

Надійшло до редколегії 17.12.09

УДК 624.131

Т. П. Мокрицкая

Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

К ВОПРОСУ О МОДЕЛЯХ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Наведено результати моделювання просторового розподілу властивостей ґрунтів у зоні впливу безлічі джерел в умовах міських територій. Отримано лінійні регресійні рівняння зв'язку класифікаційних фізичних показників властивостей.

Ключові слова: просторовий розподіл, ґрунт, регресійна модель.

Приведены результаты моделирования пространственного распределения свойств ґрунтов в зоне воздействия множества источников в условиях городских территорий. Получены линейные регрессионные уравнения связей классификационных и физических показателей свойств.

Ключевые слова: пространственное распределение, ґрунт, регрессионная модель.

The results of modeling the spatial distribution of soil properties in the area affected a variety of sources in urban areas. Linear regression equations of classification and physical performance properties.

Key words: spatial distribution, soil, regression model.

Введение. Возможности создания моделей, описывающих распределение физических, физико-химических и механических свойств инженерно-геологических тел в пространстве (частный случай – по глубине) ограничены объективными и субъективными причинами [1–3].

Необходимость математического описания состояния сложной динамической системы, обладающей фундаментальными свойствами (изменчивость, организованность, дискретность), в практических решениях подчинена требованиям об оптимальном соотношении между качеством информации и стоимостью. Как результаты выводы о свойствах тел разного ранга не всегда математически корректны, в том числе из-за разобщенности и малочисленности экспериментальных данных. Требования к количеству и качеству информации инженерно-геологического характера, методам обработки результатов лабораторных определений неоднократно пересматривались [5; 6]. Выполнение требований о достоверности и достаточности данных не счи-

противоречия в интерпретации, отражающиеся на точности модели. В условиях интенсивных техногенных воздействий представления о закономерностях пространственной изменчивости свойств, методах ее описания нуждаются в корректировке.

Объект исследований. Проанализированы результаты инженерно-геологических изысканий, выполненных в центральном районе г. Днепропетровска в 1990 году. Объект расположен в пределах местного водораздельного плато между системными балками Рыбальская (Запорожская) и Красноповстанческая, в зоне сочления двух высоких террас р. Днепр. В геологическом строении участка на изученную глубину 20,0 м принимают участие отложения среднего и верхнего отделов плейстоцена, перекрытые почвенно-растительным слоем и насыпными грунтами мощностью 0,5–1,9 м. Лессовидные суглинки и супеси причерноморского и дофиновского, бугского, припорожского и кайдакского горизонтов были подразделены на инженерно-геологические элементы по генезису и состоянию. Статистическая обработка была выполнена по выборкам малого объема, количество частных значений достаточно [4].

Методика исследований. Выполнен статистический анализ выборочных распределений показателей инженерно-геологических свойств грунтов по глубине в границах участка городской территории с высокой плотностью застройки.

Основные результаты. Первичная статистическая обработка показателей свойств [4] подтвердила правильность выделения инженерно-геологических элементов, коэффициенты вариации

показателей прямых физических свойств изменяются от незначительных до 0,136 (природная влажность). Незначительная вариативность позволила не подразделять инженерно-геологические элементы по принадлежности к террасам.

Распределение нормативных значений показателей по глубине, полученных в ходе стандартной обработки данных, отражает цикличность распределения свойств в инженерно-геологической модели (рис. 1), но условно относительно реального (рис. 2, 3).

Введенный в 1996 г. стандарт [6] рекомендует при создании инженерно-геологической модели учитывать пространственную изменчивость свойств по глубине. Критерии выбора вида модели случайной величины, закономерно изменяющейся по глубине, субъективны. Предполагается, что если свойство изменяется по глубине, то закон «чаще всего» может быть аппроксимирован логарифмической или линейной функцией. Оценка

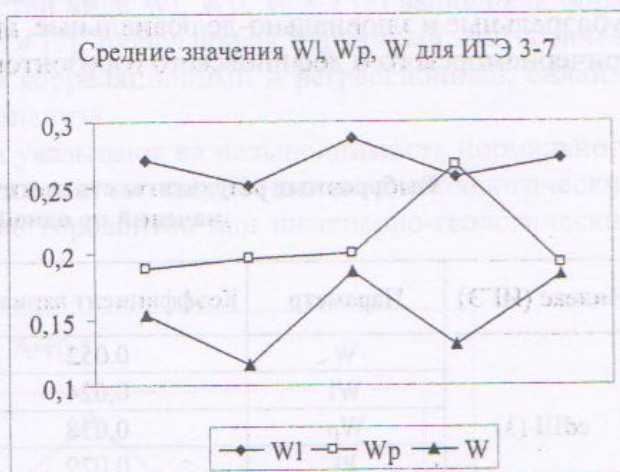


Рис. 1. Распределения средних (нормативных) значений влажностей по глубине

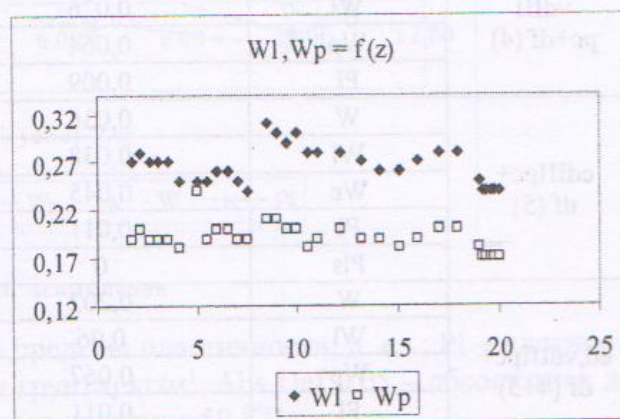


Рис. 2. Распределение частных значений влажностей (г. 1)

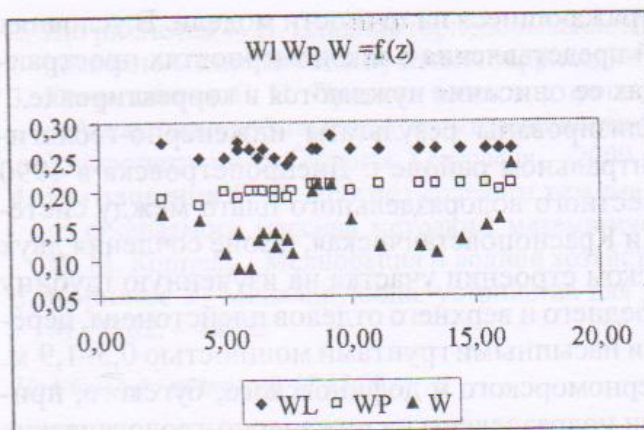


Рис. 3. Распределение частных значений влажностей (т. 2)

критерию ν и значениям коэффициента вариации подтверждены. Объединение данных в выборки большего объема (единых по возрасту или по возрасту и генезису) мало отразилось на вариативности. Исключение – критическое значения коэффициента вариации выборки, сформированной из частных значений природной влажности причерноморско-дофиновского горизонта (табл. 1). В этом варианте объединены субэвральные и элювиально-делювиальные, просадочные и непросадочные разности причерноморского и дофиновского горизонтов.

значимости и адекватности моделей, определение закона распределения случайной величины по глубине не требуется. При создании пространственной модели распределения свойства, в том числе, при переходе от детального к локальному уровню, искажения зависимости от глубины могут приводить к необоснованному снижению мерности модели.

Выполнена статистическая обработка с учетом рекомендаций [6] по тем же выборочным данным. Однородность по статическому

Таблица 1

Выборочные результаты статистической обработки частных значений по одной скважине

Индекс (ИГЭ)	Параметр	Коэффициент вариации	Параметры линейной зависимости	
			A	B
edIII (3)	W	0,052	-0,009	0,288
	Wl	0,024	-0,004	0,325
	Wp	0,038	-0,002	0,225
	Pl	0,029	0,021	1,286
	Pls	0,009	-0,011	2,826
vdIII pc+df (4)	W	0,109	0,011	0,035
	Wl	0,026	-0,003	0,27
	Wp	0,064	-0,014	0,291
	Pl	0,009	0,046	1,378
edIIIpc+ df (5)	W	0,036	-0,013	0,382
	Wl	0,038	-0,006	0,379
	Wp	0,045	-0,006	0,279
	Pl	0,011	0,028	1,397
	Pls	0	0	2,68
ed,vdIIIpc+ df (4+5)	W	0,202	0,017	0,008
	Wl	0,06	0,008	0,207
	Wp	0,067	-0,003	0,225
	Pl	0,011	0,044	1,389
	Pls	0,002	0,007	2,61

Окончание табл. 1

Горизонт (ИГЭ)	Параметр	Коэффициент вариации	Параметры линейной зависимости	
			A	B
II+III pl+kd (7)	W	0,075	0,006	0,088
	Wl	0,031	0,001	0,254
	Wp	0,039	0,001	0,181
	Pl	0,021	0	1,87
	Abs Def 0. 05	0,6	-0,003	0,177
II+III pl+kd (7,7a)	W	0,126	0,007	0,077
	Wl	0,053	-0,004	0,334
	Wp	0,051	-0,003	0,238
	Pl	0,021	0	1,87
	Abs Def 0. 05	0,709	-0,003	0,177

Проверка на соответствие линейному закону распределений частных значений в точках (скважинах, шурфах) по глубине привела к следующим результатам. Коэффициент при переменной (параметр «А» линейной модели) либо на несколько порядков меньше, чем параметр «В», либо равен нулю. Вариативность деформационных свойств выше, чем физических.

Для строгой проверки зависимостей вида $Wl, Wp, W = f(z)$ выполнена обработка с использованием ПО «STATIST» [7], включающая первичный статистический анализ, парный и множественный корреляционный и регрессионный, сплайн-регрессионный виды статистического анализа.

Значения асимметрии и эксцесса указывают на невыполнимость нормального закона (рис. 4, 5) для некоторых горизонтов, их частей (инженерно-геологических элементов) и совокупностей (несколько горизонтов или инженерно-геологических элементов).

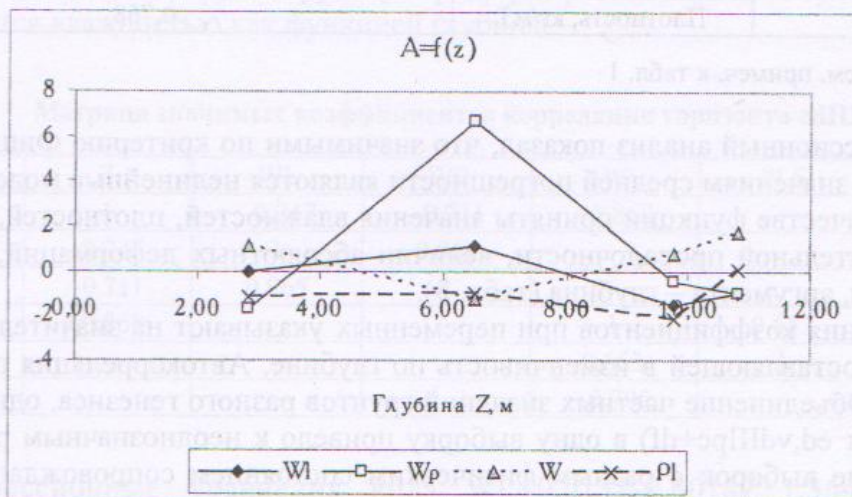


Рис. 4. Асимметрия

Примечание к табл. 1: $Wl; Wp$ – пределы пластичности, д. ед.; Pl – плотность грунта, $кг/м^3$; PLS – плотность частиц грунта, $кг/м^3$; $Abs Def 0.05$ – абсолютная деформация, мм, при величине нормального давления 50 КПа.

Гипотеза о нормальном распределении показателей, аппроксимация зависимостей их от глубины линейными функциями, несмотря на выполнимость требований [5]

не могут быть приняты. Результаты парного корреляционного анализа подтверждают необходимость поиска моделей другого вида (табл. 2).

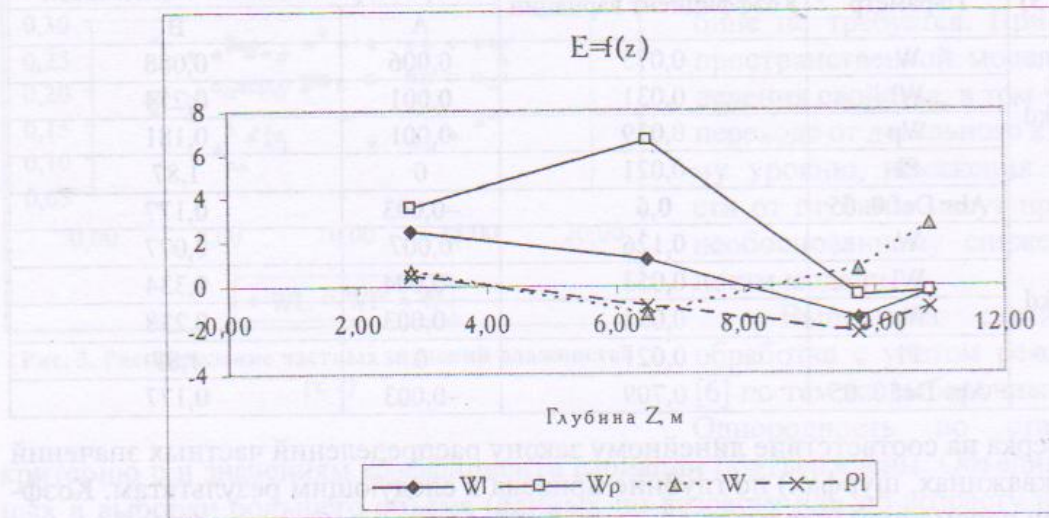


Рис. 5. Эскиз

Выборочные результаты парного корреляционного анализа

Индекс	Параметр	Коэффициент парной корреляции с глубиной
edIII	Влажность w , д. ед	-0,868
vd III pc+df	Плотность, кг/м ³	0,685
edIIIpc+df	Влажность w , д. ед	-0,967
	Плотность, кг/м ³	0,919
edII+III pl+kd	Влажность w , д. ед	0,697
	Плотность, кг/м ³	0,768

Примечание: см. примеч. к табл. 1

Регрессионный анализ показал, что значимыми по критерию Фишера и аддитивными по значениям средней погрешности являются нелинейные модели вида $E=f(z)$, где в качестве функции приняты значения влажностей, плотностей, коэффициента относительной просадочности, величин абсолютных деформаций, сдвиговых напряжений, аргумента – глубина (табл. 3).

Значения коэффициентов при переменных указывают на значительный вклад линейной составляющей в изменчивость по глубине. Автокорреляция остатков отсутствует. Объединение частных значений грунтов разного генезиса, одного возраста (горизонт ed, vdIIIpc+df) в одну выборку привело к неоднозначным результатам. Объединение выборок с разным физическим состоянием сопровождалось усложнением модели. Значимыми оказались модели распределения лессовидных грунтов от глубины по изученному разрезу. Также были получены модели распределения по разрезу плотности частиц, влажности на границе раскатывания, коэффициентов просадочности, абсолютной величины деформации при нормальном давлении 0,2 МПа чаще – определенные при состоянии полного водонасыщения.

Известно, что грунтовые системы являются многофазными гетерогенными системами [8], что приводит к необходимости описания сложных взаимосвязей между показателями состава, состояния.

Таблица 3

Выборочные результаты парного регрессионного анализа

Параметр	ИГЭ	Вид уравнения	Значения коэффициентов		
			A	B	C
W1	edII+III pl+kd	$Y=A/(Z^2+B/Z+C)$	113,568	-1574	0,808
	edII+III pl+kd	$Y=AZ\ln Z+BZ$	-0,02	0,074	
	edIII	$Y=1/(AZ+B)$	-18,34	10,348	
Wp	ed,vdIIIpc+df	$Y=AZ\ln Z+BZ$	-0,0277	0,0925	
	edII+III pl+kd	$Y=A/(Z^2+Z/X+C)$	103,38	-14,307	0,679
W	vdIIIpc+df	$Y=AZ^2+BZ+C$	-0,0002	0,003	0,187
	edIII	$Y=1/(AZ+B)$	0,708	4,260	
	edIIIpc+df	$Y=X/(AZ+B)$	12,446	-68,345	
	edII+III pl+kd	$Y=AZ\ln Z+BZ$	-0,006	0,021	
Pl	vdIIIbg	$Y=AZ^2+BZ+C$	0,004	-0,1	0,742
	vdIIIpc+df	$Y=1/(AZ+B)$	-0,01	0,6695	
	edIIIpc+df	$Y=AZ\ln Z+BZ$	-0,1316	0,4857	
	ed,vdIIIpc+df	$Y=1/(AZ+B)$	-0,01	0,6924	

Примечание: см. примеч. к табл. 1

По результатам множественного корреляционного анализа установлено: несмотря на парную корреляцию, высокие значения коэффициента множественной корреляции, связь между показателями плотностей (грунта, частиц) и влажностей (природной, пределов пластичности), деформационными показателями и глубиной выветки (табл. 4). Анализ матриц значимых коэффициентов корреляции позволил сформулировать гипотезу о наличии связи кластерами (показателями физических свойств, классификационных, физико-механических) и глубиной. Минералогический состав (плотность частиц грунта) – фактор вариативности влажности; фазовый определяется влажностью как функцией глубины.

Таблица 4

Матрица значимых коэффициентов корреляции горизонта edIII

	Z	WL	WP	W	PLS	PL
Z	1	-0.747	-0.711	-0.868		
WL	-0.747	1	0.965			
WP	-0.711	0.965	1			
W	-0.868			1	0.653	-0.705
PLS				0.653	1	
PL				-0.705		1

Регрессионные уравнения вида $WL=0,0131-0,0014Z+1,364WP$ линейны, описывают закономерные изменения классификационных показателей грунта по глубине в условиях интенсивного и длительного техногенного воздействия. Уравнение включает переменные, широко определяемые в ходе инженерно-геологических исследований, может быть использовано для оценки состояния горизонта как элемента геологической среды при анализе геолого-математических полей свойств. Другие примеры регрессионных уравнений приведены ниже (табл. 5).

Регрессионные уравнения изменения показателей влажности и плотности по глубине

ИГЭ	Уравнение регрессии	Средняя погрешность E, %	Вклады переменных	
			X1, %	X2, %
edIII	$WI=0.0131-0.0014Z+1.364WP$	0.74	1.94	98.06
edIII;	$PL=1.3482+0.0308Z+0.548WL$	1.85	98.64	1.36
ed,vdIIIpc+df	$PI=1.389+0.263Z+0.016R0.1+0.0014R0.01$	1.01		
ed,vdIIIpc+df	$PL=6.875+0.0559Z+1.887WL-0.401W-2.195PLS$	0.73		
edIII;	$WR=1.213+0.001Z+0.617WL-0.444PLS$	1.73	22.54	38.16
ed,vdIIIpc+df;				
edII+III pl+kd	$PI=1.3482+0.0308Z+0.548W$	1.03	78.29	21.71

Примечание: WI, Wp – пределы пластичности, д. ед.; Z – глубина, м; PI – плотность грунта в ненарушенном состоянии, кг/м³; PLS – плотность частиц грунта, кг/м³; R0.1 – содержание частиц крупнее 0,1 мм; R 0.01 – содержание частиц, крупнее 0,01 мм

В условиях высокой плотности техногенных воздействий изменения свойств лессовидных грунтов происходят с учетом природных неоднородностей минералогического, гранулометрического и фазового состава. Методика расчета нормативных значений показателей не отражает изменчивости в пространственных координатах.

Выводы. 1. Множественный корреляционно-регрессионный анализ применим для создания линейных регрессионных моделей распределения классификационных показателей грунтов по глубине в условиях значительных техногенных воздействий.

2. Физические, физико-химические и механические свойства лессовидных грунтов в условиях техногенеза описываются нелинейными уравнениями зависимости показателей от глубины.

3. Применение обобщенных (нормативных, расчетных) показателей свойств для создания пространственных моделей распределения свойств по глубине может приводить к необоснованному снижению мерности модели.

Библиографические ссылки

1. Мирошниченко Н. А. Об одном подходе к информационному моделированию геодинамических процессов в массиве горных пород / Н. А. Мирошниченко, Е. В. Рубцова // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 7. – С. 114–118.
2. Строкова Л. А. Использование алгоритма «дерева решений» в систематизации определяющих уравнений для грунтов / Л. А. Строкова // Известия Томского политехнического университета. – 2009. – Т. 314, № 5. – С. 101–105.
3. Залопин И. В. О некоторых свойствах оценки коэффициента вариации для последовательных интервалов точечного процесса / И. В. Залопин, В. Ф. Писаренко // Известия Челябинского научного центра. – 1999. – Вып. 1 (3). – С. 6–10.
4. Отчет об инженерно-геологических изысканиях в г. Днепропетровск. – 1990. – Фонд ДнепроГИИТИЗ.
5. ГОСТ 20522-75. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.
6. ГОСТ 20522-96. Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний.

- Приставка А. Ф. Вычислительные методы и программная среда корреляционного и регрессионного анализа / А. Ф. Приставка, А. И. Передерий, О. В. Райко, В. М. Остропицкий – Д., 1996. – 191 с.
- Каролев В. А. Термодинамика грунтов / В. А. Каролев. – М., 1995. – 272 с.

Надійшло до редколегії 20.11.09

УДК 556.332.4.55

М. А. Єрченко, В. В. Войцеховська

Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара

ПРОГНОЗ ВТОРИННОГО ЗАСОЛЕННЯ ПОРІД ЗОНИ АЕРАЦІЇ НА ТЕРИТОРІЇ, ПРИЛЕГЛІЙ ДО СКИДНОГО КАНАЛУ

Виконано прогноз вторинного засолення порід зони аерації на території, прилеглій до скидного каналу біля хвостосховища Північного гірничозбагачувального комбінату за математичними моделями, які побудовані за допомогою теорії фізико-хімічної гідродинаміки пористих середовищ.

Ключові слова: прогноз, скидний канал, хвостосховище, математична модель.

Выполнен прогноз вторичного засоления пород зоны аэрации на территории, прилегающей к сбросному каналу возле хвостохранилища Северного горнообогатительного комбината на основе математических моделей, которые построены при помощи теории физико-химической гидродинамики пористых сред.

Ключевые слова: прогноз, сбросный канал, хвостохранилище, математическая модель.

Done weather secondary salinization aeration zone rocks in the area adjacent to the escape channel near the collector of Northern Mining Plant by mathematical models are built based on the theory of physicochemical hydrodynamics of porous media.

Key words: weather, escape channel, collector, mathematical model.

Стан проблеми. Для гірничовидобувної промисловості характерний негативний вплив на довкілля, який неминуче викликає його зміну. У процесі виробництва порушуються повністю або частково природні умови і формуються нові. Зокрема, такі зміни відбиваються на гідрогеологічних умовах у зоні розміщення промислових об'єктів. Так відбувається виснаження і забруднення підземних і поверхневих вод, підтоплення та заболочування прилеглих територій, засолення ґрунтів, а також небачані гідрогеохімічні зміни.

Найголовнішим фактором перетворення навколишнього середовища є техногенні процеси, які формуються при експлуатації гірничовидобувних підприємств. Зміни довкілля охоплюють значні території і у сукупності великого комплексу техногенних процесів у районі гірничовидобувних підприємств формується техногенез гірничого профілю, в результаті його інтенсивного впливу відбувається перетворення верхньої частини літосфери і довкілля в цілому [2].

Одним з найбільш техногенно навантажених регіонів України є Криворізький залізорудний басейн. На території Кривбасу розміщені шахти, рудники, кар'єри та збагачувальні фабрики. Дана робота розглядає скидний канал розташований на території Криворізького північного збагачувального комбінату (ПівнГЗК), південніше с. Червоне. Він характеризується періодичністю дії і використовується тільки у