МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В.Н.КАРАЗІНА
ФІЗИКО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
Кафедра фізики нетрадиційних енерготехнологій та екології

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

за освітньо-кваліфікаційним рівнем «магістр»

«ОЦІНКА РАДІАЦІЙНОГО СТАНУ ТЕРИТОРІЇ НА ПРИКЛАДІ М. ПРИВІЛЛЯ ЛУГАНСЬКОЇ ОБЛ. В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ»

Виконала студентка 2 курсу,
групи НФ-61
Аксенова В. Ю. _____
Спеціальність 105 Прикладна фізика
та наноматеріали
Освітня програма: Прикладна фізика
енергетичних систем
Керівник:
д-р фіз.-мат. наук, професор
Пеліхатий М. М. _____
Рецензент:
_____
_____

Харків – 2018 року

Зміст

Вступ 3
РОЗДІЛ І Методика проведення експерименту 6
РОЗДІЛ ІІ Первинна обробка отриманих даних 11
РОЗДІЛ ІІІ Побудування карт радіаційного забруднення зони, що контролюється 15
РОЗДІЛ IV Визначення залежностей потужності дози в окремих точках від метеоумов та отримання кореляційної матриці 32
Висновки 38
Список використаних джерел 40
Додатки 42

Вступ

Темою для дослідження було обрано оцінку радіаційного стану території в режимі реального часу. За збігом обставин було відомо, що існують дані досліджень про підвищений радіаційний фон на прилеглих до вуглевидобувних шахт житлових територіях. З'явився інтерес підтвердити чи спростувати цю інформацію, враховуючи сучасну ситуацію. Для детального проведення експерименту вибір пав на Донецький вугільний басейн, що простягнувся на території Донецької, Луганської та Дніпропетровської областей. Володіючи інформацією про загальний стан екології регіону Луганської області за місцем народження, було вирішено зупинитися на шахті ім. Г. Капустіна, що є найпівнічнішою в указаному басейні.

Відвали пустих порід, що безумовно утворюються в процесі видобування вугілля, називаються териконами. Терикони є об'єктами техногенної небезпеки тому що вони порошать, горять (тліють), піддаються розмиву, є джерелами радіоактивності, під їх відсипання відводяться родючі землі. У джерелах, що вивчалися при підготовці, вказується на суттєве перевищення над γ-фоном у досліджуваних зразках породи з териконів біля шахт у м. Лисичанську, що пояснюється наявністю в зразках торія-232, інших важких елементів і продуктів їхнього розпаду [1].

Для ознайомлення з обраним об'єктом наведемо деякі дані. Одже, обрана шахта знаходиться у м. Привілля (населення 7 747 за даними 2013 р.), що є містом районного підпорядкування Лисичанській міській раді (Луганська область). Саме підприємство ДВАТ (Державне відкрите акціонерне товариство) "Шахта ім. Г. Капустіна" належить до ПАТ (Публічне акціонерне товариство) "Лисичанськвугілля", штаб-квартира якого знаходиться за адресою: вул. Малиновського, 1, м. Лисичанськ, Луганська обл., 93100. Контактними даними ПАТ "Лисичанськвугілля" є тел.: +380645173245 та e-mail: lisichanskygol@ukr.net.

Шахта ім. Капустіна почала працювати на видобування кам'яного вугілля марки ДГ - енергетичне (довгополум’яне газове) 28 грудня 1954 р., першою її назва була “Привільнянська-Північна”. За весь період роботи підприємства видобуто 18,4 млн. т вугілля, пройдено гірничих виробок - 309 км. Максимальний видобуток склав 612,8 тис. т (1980); максимальне проведення гірничих виробок - 7,5 км (1983). В існуючих межах шахтного поля промислові запаси вугілля на 01.01.2016 р. становлять 19,6 млн т. Існує програма розвитку гірничих робіт для даної шахти на 2016 – 2020 р. р. мета якої – досягнення беззбиткового рівня роботи з виробничою потужністю понад 300 тис. т на рік [2]. Сьогодні шахта має вже 2 терикони; загалом територія шахти невідокремлена від житлового масиву, що знаходиться поряд: люди можуть вільно пересуватися через територію шахти аби скоротити дорогу чи завітати до їдальні.

Актуальність даного дослідження зумовлена необхідністю прояснити ситуацію щодо того, чи безпечно людям проживати у даній місцевості у безпосередній близькості до вуглевидобувного виробництва, чи мають вплив терикони на радіаційний стан регіону (якщо так, то який).

Метою роботи є оцінити радіаційний стан території на предмет екологічної безпеки у режимі реального часу на прикладі м. Привілля Луганської обл. з постановкою експерименту та аналізом отриманих результатів.

Завданнями цієї роботи є такі положення:

- ✓ обрати мапу території для дослідження та розташувати на ній обрані точки спостережень;
- ✓ провести експеримент з вимірювання амбієнтного еквівалента потужності дози безперервного гама-випромінювання за допомогою високотехнологічного обладнання (дозиметра-радіометра МКС-05 “ТЕРРА”);

- ✓ обробити отримані дані за допомогою комп'ютерних програм MS Exel-2010 та Maple-12 для побудування графіків залежностей, мап радіаційного забруднення обраної території та т. і.;
- ✓ проаналізувати отримані результати на предмет залежностей значень потужності дози від сторонніх факторів, порівняти отримані значення з вимогами діючого законодавства у сфері екології та радіаційного контролю.

Об'єктом дослідження є житлова територія м. Привілля Луганської обл., що прилегла до вуглевидобувної шахти ім. Г. Г. Капустіна та має на своїй території техногенно небезпечні об'єкти у вигляді териконів.

Предметом дослідження є оцінка радіаційного стану обраної території (проведення експерименту, обробка отриманих даних, аналіз результатів обробки, надання висновків та пропозицій).

У даній роботи розкриті та вирішені такі питання:

- ✓ обґрунтування методики проведення експерименту та представлення отриманих даних (РОЗДІЛ І);
- ✓ обробка даних із застосуванням двохфакторного дисперсійного аналізу та побудова ламаної за зростанням потужності дози (РОЗДІЛ ІІ);
- ✓ створення карт радіаційного забруднення зони, що контролювалася, для усіх днів спостережень (РОЗДІЛ ІІІ);
- ✓ побудування графіків залежностей потужності дози в окремих точках від метеоумов та кореляційної матриці (РОЗДІЛ IV).

РОЗДІЛ І

Методика проведення експерименту

Для отримання достовірних даних необхідно було ретельно провести експеримент згідно плану. Одже, для початку було визначено на мапі 20 точок, у яких буде проводитися вимірювання амбієнтного еквіваленту потужності дози безперервного гама-випромінювання; обрані точки покривають територію з орієнтовним діаметром d = 1км. Обрання доволі малої площі на території для дослідження зумовлене прагненням мінімізувати похибку вимірювань та ретельно дослідити саме цю ділянку, адже, як можна бачити на рис. 1, тут наявна вся інфраструктура, якою користуються місцеві мешканці: дві школи, супермаркет, банк, ринок, пошта, церква та, звичайно, житлові будинки.



Рис. 1. Схема розміщення точок спостережень на території м. Привілля, що контролювалась

І все це знаходиться у безпосередньому контакті з вуглевидобувним підприємством – шахтою ім. Г. Капустіна (червона мітка на рис. 1).

Протягом 30 календарних днів щодня, а конкретно з 02 липня 2018 р. по 31 липня 2018 р., у один і той самий час (опівдні) в кожній із 20 обраних точок послідовно проводилися вимірювання амбієнтного еквіваленту потужності дози безперервного гама-випромінювання.

У якості прибору для проведення вимірювань у рамках експерименту було використано професійний дозиметр-радіометр МКС-05 “ТЕРРА” від українського виробника “ЕКОТЕСТ” з абсолютною похибкою відліку 0,01 мкЗв/год. Згідно з інформацією від виробника [3], даний дозиметр-радіометр має номер у Державному реєстрі засобів вимірювальної техніки У1524-07, висновок державної санітарно-гігієнічної експертизи №5.10/6300 від 20. 02. 2002 р. та висновок державної санітарно-епідеміологічної експертизи для використання в закладах освіти № 05.03.02-04/20545 від 09. 04. 2009 р.. Обраний прибор може використовуватися для дозиметричного та радіометричного контролю на промислових підприємствах, під час екологічних досліджень, для визначення радіаційної чистоти житлових приміщень, споруд і будівель, прилеглих до них територій, побутових предметів (одягу, взуття, їжі та т. і.), поверхонь ґрунту та транспортних засобів. Час вимірювання пристроєм гама-фону в одній точці складає 10 секунд. Загальний вигляд приладу показано на рис. 2.

Усі отримані дані було зафіксовано разом із станом погоди на момент проведення вимірювання. Враховувалися такі показники метеоумов як швидкість вітру, напрямок вітру, хмарність, температура повітря, вологість. Для зручності обробки даних інформація щодо метеоумов була умовно закодована: хмарності присвоєно значення від 0 до 3 балів, де 0 – ясно, а 3 – похмуро.

За початок відліку координат для точного використання інформації про метеоумови прийнято точку 0 (0, 0) – геометричний центр контрольованої зони на обраній території.



Рис 2. Дозиметр МКС-05 «ТЕРРА»

Результати вимірювань амбієнтного еквіваленту потужності дози безперервного гама-випромінювання наведені в табл. 1 в одиницях мкЗв/год. У даній таблиці координати кожної точки вимірювань вказані в метрах відносно центру зони (точки 0); наведені метеоумови під час проведення вимірювань (хмарність – в балах, напрямок вітру, середня швидкість вітру – в м/с, температура повітря – в °С, вологість повітря – у %. Напрямок вітру вимірювався у градусах. За нульовий напрямок було прийнято північний, у подальшому відлік напрямку вітру здійснювався проти годинникової стрілки: північно-західний – 45°, західний – 90°, південно-західний – 135°, південний – 180°, південно-східний – 225°, східний – 270°, північно-східний – 315°.

Висновок

Одже, проведення експерименту було ретельне з використанням високоточного професійного обладнання, що має відповідні характеристики та дозволи. При зборі даних також занотовувалася інформація щодо стану метеоумов, що конкретизує результат дослідження. Всі відомості систематизовано та зібрано у таблицю, просту до сприйняття.

Таблиця 1

Результати вимірювань амбієнтного еквіваленту потужності дози безперервного рентгенівського та гама-випромінювань

№ точки	Координати, м		Дата вимірювань														
	X	Y	02.07	03.07	04.07	05.07	06.07	07.07	08.07	09.07	10.07	11.07	12.07	13.07	14.07	15.07	16.07
1	600	-600	0,46	0,45	0,43	0,47	0,48	0,46	0,41	0,46	0,47	0,45	0,46	0,44	0,46	0,45	0,48
2	740	-440	0,23	0,24	0,3	0,28	0,28	0,26	0,23	0,25	0,25	0,25	0,26	0,23	0,28	0,23	0,28
3	1140	-340	0,57	0,56	0,56	0,57	0,58	0,57	0,57	0,56	0,57	0,57	0,57	0,57	0,56	0,57	0,57
4	1110	-145	0,31	0,31	0,3	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,31	0,3	0,3	0,31	0,31	0,31
5	1040	50	0,33	0,32	0,34	0,32	0,33	0,32	0,37	0,32	0,34	0,32	0,34	0,33	0,31	0,34	0,33
6	810	170	0,34	0,33	0,31	0,34	0,35	0,32	0,31	0,37	0,32	0,35	0,36	0,34	0,33	0,32	0,34
7	590	280	0,32	0,31	0,32	0,34	0,35	0,33	0,36	0,31	0,32	0,33	0,34	0,31	0,34	0,35	0,32
8	310	480	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
9	50	600	0,43	0,41	0,42	0,44	0,41	0,46	0,42	0,43	0,44	0,41	0,43	0,42	0,44	0,41	0,43
10	-320	560	0,38	0,37	0,38	0,36	0,37	0,38	0,34	0,38	0,37	0,38	0,36	0,38	0,35	0,38	0,39
11	-240	290	0,33	0,31	0,33	0,32	0,33	0,34	0,31	0,33	0,32	0,33	0,34	0,33	0,31	0,33	0,32
12	-540	310	0,37	0,36	0,38	0,37	0,36	0,37	0,38	0,35	0,38	0,37	0,34	0,38	0,37	0,39	0,37
13	-840	340	0,43	0,42	0,43	0,44	0,43	0,41	0,43	0,42	0,43	0,44	0,43	0,42	0,44	0,45	0,43
14	-1100	250	0,28	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
15	-1130	70	0,27	0,28	0,27	0,28	0,27	0,29	0,26	0,25	0,27	0,28	0,27	0,28	0,27	0,29	0,27
16	-880	-140	0,36	0,35	0,36	0,37	0,36	0,38	0,36	0,34	0,36	0,37	0,36	0,38	0,36	0,37	0,36
17	-580	-60	0,29	0,28	0,29	0,29	0,27	0,29	0,3	0,31	0,31	0,34	0,31	0,33	0,29	0,28	0,29
18	-980	-220	0,48	0,47	0,46	0,48	0,49	0,48	0,46	0,48	0,47	0,48	0,49	0,48	0,48	0,57	0,51
19	50	-410	0,62	0,61	0,62	0,63	0,62	0,63	0,64	0,62	0,61	0,62	0,63	0,62	0,64	0,62	0,65
20	320	-530	0,46	0,47	0,46	0,48	0,46	0,46	0,47	0,47	0,48	0,47	0,46	0,47	0,48	0,46	0,46
Хмарність, бали			1	2	2	3	3	2	1	1	0	2	1	2	3	3	3
Напрямок вітру, град.			0	135	135	90	315	90	90	90	315	270	180	180	180	180	90
Швидкість вітру, м/с			4,0	4,6	4,0	4,3	2,8	4,3	4,0	2,6	2,1	3,1	3,1	1,8	1,4	3,3	3,4
Температура, °С			24	26	26	27	28	30	24	30	31	33	31	32	24	28	26
Вологість, %			25	36	37	38	42	42	40	38	35	35	49	44	68	68	78

(продовження таблиці 1)

№ точки	Координати, м		Дата вимірювань													
	X	Y	17.07	18.07	19.07	20.07	21.07	22.07	23.07	24.07	25.07	26. 07	27. 07	28. 07	29.07	30. 07	31. 07
1	600	-600	0,46	0,45	0,46	0,47	0,46	0,44	0,46	0,45	0,47	0,46	0,44	0,46	0,47	0,46	0,47
2	740	-440	0,25	0,29	0,26	0,23	0,27	0,26	0,23	0,25	0,28	0,24	0,23	0,28	0,29	0,26	0,23
3	1140	-340	0,57	0,56	0,57	0,58	0,57	0,56	0,57	0,56	0,58	0,57	0,56	0,56	0,57	0,56	0,57
4	1110	-145	0,3	0,31	0,32	0,31	0,33	0,31	0,32	0,3	0,3	0,31	0,31	0,32	0,3	0,31	0,33
5	1040	50	0,33	0,34	0,34	0,33	0,32	0,33	0,32	0,32	0,34	0,33	0,35	0,32	0,33	0,35	0,32
6	810	170	0,34	0,33	0,34	0,33	0,34	0,35	0,34	0,34	0,33	0,34	0,36	0,34	0,35	0,33	0,33
7	590	280	0,32	0,33	0,31	0,32	0,33	0,32	0,33	0,32	0,34	0,32	0,35	0,32	0,33	0,36	0,31
8	310	480	0,35	0,36	0,35	0,34	0,35	0,36	0,35	0,34	0,35	0,36	0,35	0,37	0,35	0,36	0,35
9	50	600	0,43	0,42	0,43	0,44	0,43	0,44	0,43	0,44	0,45	0,43	0,44	0,43	0,45	0,43	0,46
10	-320	560	0,37	0,38	0,36	0,38	0,37	0,38	0,39	0,38	0,35	0,38	0,36	0,38	0,37	0,38	0,36
11	-240	290	0,33	0,32	0,33	0,31	0,33	0,32	0,33	0,32	0,31	0,33	0,32	0,33	0,31	0,33	0,32
12	-540	310	0,37	0,38	0,36	0,37	0,38	0,37	0,36	0,37	0,38	0,37	0,38	0,37	0,39	0,37	0,36
13	-840	340	0,43	0,42	0,43	0,44	0,43	0,42	0,43	0,41	0,43	0,44	0,43	0,42	0,43	0,41	0,43
14	-1100	250	0,28	0,29	0,28	0,27	0,28	0,26	0,28	0,29	0,28	0,27	0,28	0,26	0,28	0,29	0,28
15	-1130	70	0,27	0,28	0,27	0,26	0,27	0,29	0,27	0,26	0,27	0,28	0,27	0,29	0,27	0,28	0,27
16	-880	-140	0,36	0,35	0,36	0,37	0,36	0,38	0,36	0,39	0,36	0,36	0,36	0,35	0,36	0,37	0,36
17	-580	-60	0,29	0,28	0,29	0,26	0,29	0,27	0,29	0,28	0,29	0,26	0,29	0,27	0,29	0,26	0,29
18	-980	-220	0,5	0,51	0,52	0,49	0,48	0,49	0,47	0,49	0,46	0,49	0,47	0,49	0,48	0,49	0,48
19	50	-410	0,62	0,61	0,62	0,63	0,62	0,64	0,62	0,61	0,62	0,63	0,62	0,64	0,62	0,61	0,63
20	320	-530	0,46	0,47	0,46	0,48	0,46	0,45	0,46	0,49	0,46	0,47	0,46	0,48	0,46	0,49	0,46
Хмарність, бали			3	3	3	3	3	2	3	3	3	2	0	2	3	3	0
Напрямок вітру, град.			90	135	0	135	90	135	90	270	225	270	270	270	270	270	315
Швидкість вітру, м/с			5,3	5,4	4,8	4	3,4	2,9	3	3,3	4,3	4	4,7	6,2	5,4	6,6	6,2
Температура, °С			22	26	27	24	29	28	30	30	28	24	30	33	32	32	31
Вологість, %			67	65	71	65	62	60	48	56	73	40	47	32	43	41	45

РОЗДІЛ ІІ

Первинна обробка отриманих даних

Первинна обробка результатів вимірювань була проведена з застосуванням двохфакторного дисперсійного аналізу для визначення варіабельності отриманих даних при варіюванні двох визначальних факторів: 1) місця розташування точок вимірювань; 2) дат проведення вимірювань. Усі розрахунки були проведені на основі експериментально отриманих даних, представлених у табл. 1 із застосуванням інструменту «Двохфакторний дисперсійний аналіз без повторень» з пакету аналізу даних прикладних програм MS Excel-2010 (фірма Microsoft, 2010). Результати цього аналізу наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Результати застосування двохфакторного дисперсійного аналізу

Дисперсійний аналіз						
Джерело варіації	SS	Df	MS	F	P-значення	F критичне
Строки (дати)	5,58264	19	0,29382316	5323,79349	0	1,60544384
Стовпці (точки)	0,001283	29	4,4253E-05	0,80181958	0,76127368	1,48816388
Похибка	0,03041	551	5,5191E-05			
Разом	5,614333	599				

Дані, що представлені у цій таблиці, свідчать про те, що головний вплив на варіабельність отриманих даних має місце проведення вимірювань – положення контрольної точки (сила впливу – 99,44%). Варіабельність результатів при зміні дати проведення вимірювань незначна (0,02%) та не є достовірною, бо значущість впливу за Фішером становить $p <$ 0,76 при

необхідному значенні $p < 0,05$, оскільки $F_{факт} = 0,802 < F_{крит} = 1,488$. Загальний вплив випадкових факторів також незначний (0,54 %).

Побудова поля радіаційного фону на даній місцевості є головним завданням радіаційного моніторингу обраного середовища. При вивченні додаткових джерел було виявлено спосіб побудування регресійних моделей для поля радіації у формі поліномів різних ступенів за отриманими значеннями поточних координат довільної точки, що знаходиться у площині зони, що обрана для спостережень [4 – 10]. У даному випадку це є найкращим варіантом для обробки даних цього експерименту, тому що застосування методу найменших квадратів дозволяє достовірно оцінити значення коефіцієнтів регресії; регресивні моделі є якісними, бо мають високі значення коефіцієнтів детермінації, також вони є значущими за критерієм Фішера; статистична помилка регресії всередині зони спостережень знаходиться в межах декількох відсотків; можна визначити мінімальну кількість точок спостереження аби забезпечити необхідну точність вимірювань. Недоробкою цього методу є завищення значень радіаційного фону у місцях, що знаходяться далеко від центру зони, що контролюється. Пояснюється це тим, що регресія будується відповідно за координатами в різних ступенях та їх добутками: чим більше значення координат (відлік яких ведеться від центру зони), тим більше помилка моделі.

Існує інша модель [12], в якій регресія будується всередині контрольованої зони за однією координатою – відстанню від точки $M(x, y)$ до найближчої i-ої точки спостережень, яка лежить на ламаній лінії, що послідовно з'єднує всі точки спостережень (від центральної до найвіддаленішої зовнішньої). У даному випадку завищення рівня радіації біля кордону та за межами зони спостережень відсутнє, оскільки запропонований алгоритм прив'язує значення потужності амбієнтного еквіваленту дози

випромінювання в будь-якій довільній точці зони до значення, що було виміряне у найближчий точці спостережень.

Проте застосування цього алгоритму для обробки даних, які були отримані в результаті проведення експерименту, було ускладнено тим, що залежність потужності амбієнтного еквіваленту дози від відстаней уздовж ламаної лінії, що послідовно з'єднує всі точки вимірювань №1-20, має нерівномірний характер.

В роботі [13] запропонована модифікація алгоритму, яка вимагає попереднє розташування обраних для дослідження точок за зростанням потужності амбієнтного еквіваленту потужності дози (з мінімальної до максимальної). При цьому одержують монотонну криву для неспадної функції потужності амбієнтного еквівалента дози від значення відстані l вздовж деякої ламаної лінії, що з'єднує усі відсортовані контрольні точки вимірювань за потужністю дози. На рис. 3 показана типова ламана за даними спостережень від 02 липня 2018 р.

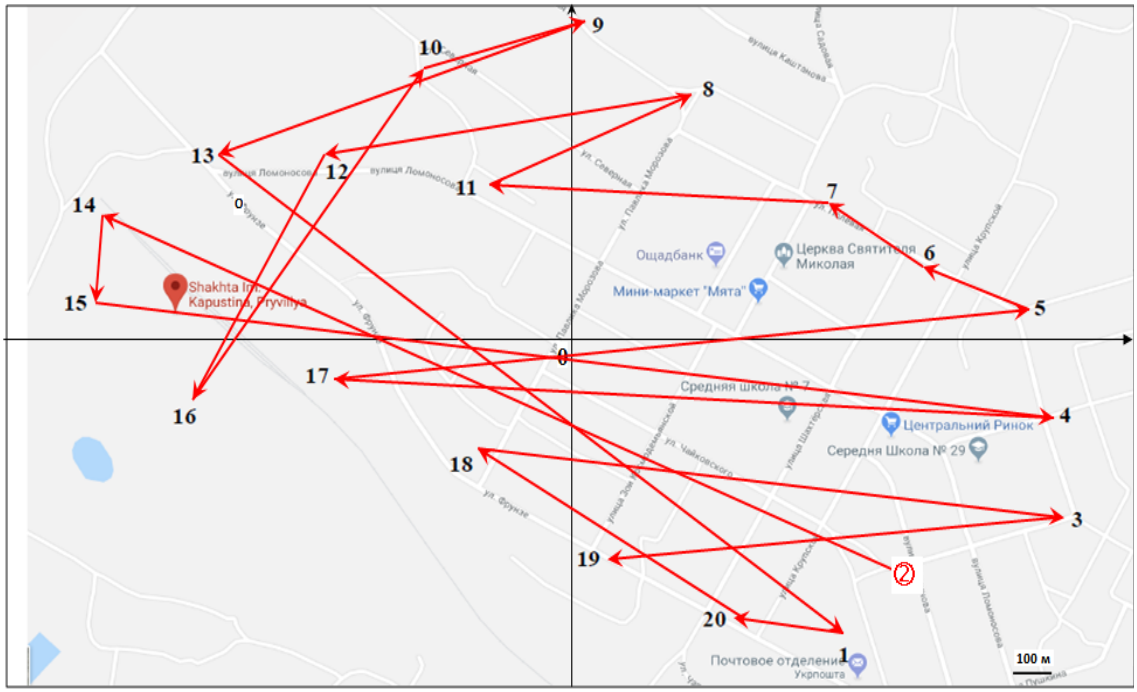


Рис. 3. Схема побудови ламаної за зростанням потужності дози (за даними від 02.07.2018)

Як ми бачимо, отримана ламана лінія покриває всю обрану для проведення експерименту територію. Довжину l уздовж ламаної можна обчислити, використовуючи координати точок спостереження, що вказані у табл. 1. Далі за допомогою програми “Maple-12” (фірма Maplesoft, 2012) були побудовані рівняння регресії у вигляді поліномів 5-го ступеня за l для кожної доби спостережень (приклад наведено в Додатках).

Висновок

В результаті проведення двохфакторного дисперсійного аналізу без повторень було підтверджено достовірність отриманих в ході експерименту даних. Для додаткового аналізу даних був виконаний пошук існуючих методів та алгоритмів роботи з типовими даними; побудовано ламану, що ілюструє механізм зростання потужності дози від точки до точки при відсутності їхнього послідовного розташування за зростанням значень.

РОЗДІЛ ІІІ

Побудування карт радіаційного забруднення зони, що контролюється

Для побудування карт радіаційного забруднення була використана програма Maple-12. Методологія побудови поля радіаційного фону всередині зони, стан якої досліджується, та за її межами описується таким чином: візьмемо довільну точку M з координатами x та y, яка не була задіяна на мапі в експерименті. За допомогою програми Maple-12, фрагмент коду якої наведено в Додатках, визначалися відстані від цієї точки до найближчої по розташуванню контрольної точки. Для введення точки M до ламаної визначалася відстань від неї до найближчої попередньої точки K. Цю відстань позначили як $\Delta l_{К,М}$. Положення обраної точки M (x,y) на цій ламаній характеризується довжиною $l_М = l_К + \Delta l_{К,М}$. Якщо координати точки M співпадають з координатами точки K, то отримуємо достовірне значення: $l_М = l_К + \Delta l_{К,М} = l_К$. Значення потужності дози у точці M описуємо за допомогою рівняння регресії, що було отримано попередньо, з підстановкою значення $l_М = l_К + \Delta l_{К,М}$. Якщо точка M (x,y) – довільна, то маємо бажану карту радіаційного фону обраної для дослідження місцевості.

За аналогією було побудовано карти радіаційного фону для кожного з 30-ти днів спостережень. Для графічного зображення результатів застосовувалась також програма “Maple-12”. Фрагмент типового програмного коду для побудови карти радіаційного фону наведено в Додатках.

Побудовані згідно вивченого алгоритму [13] карти радіаційного забруднення зони, стан якої контролюється, для усіх днів спостережень наведені на рис. 4 – 33. На цих картах для прив’язки до мапи, що зображена на рис. 1 в якості реперних точок показані всі контрольні точки рис. 1.

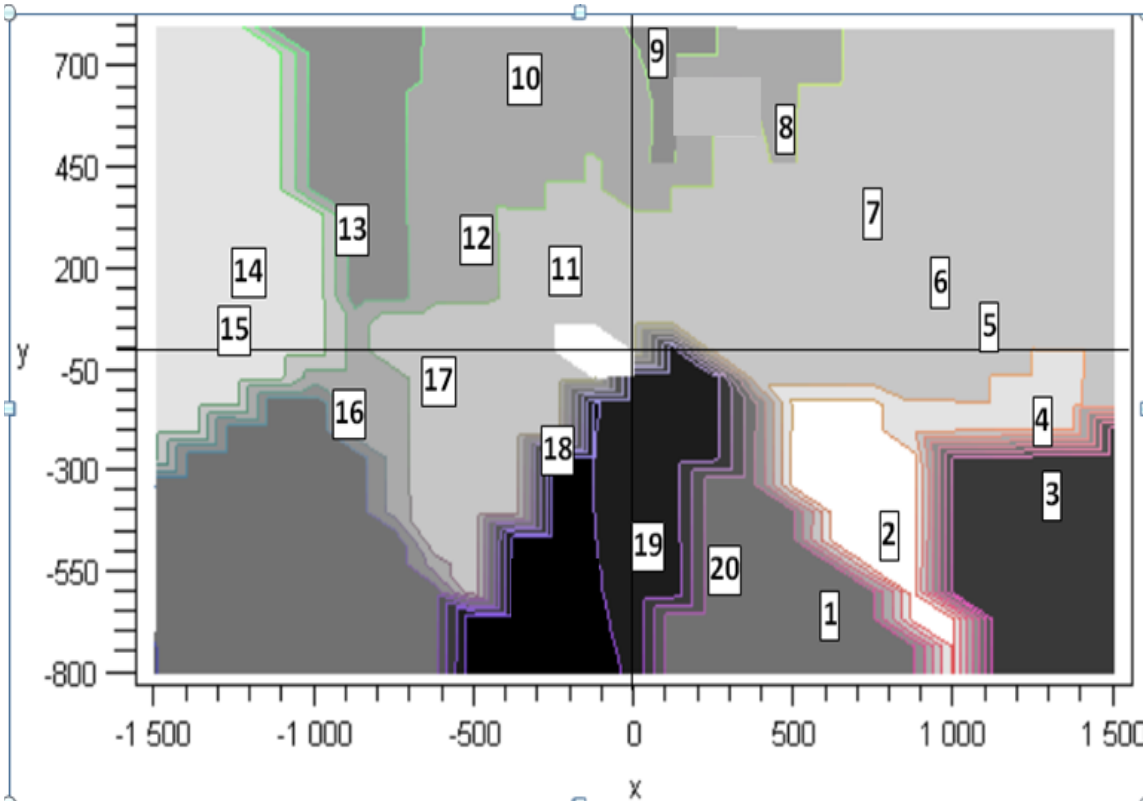


Рис. 4. 02.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,65 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

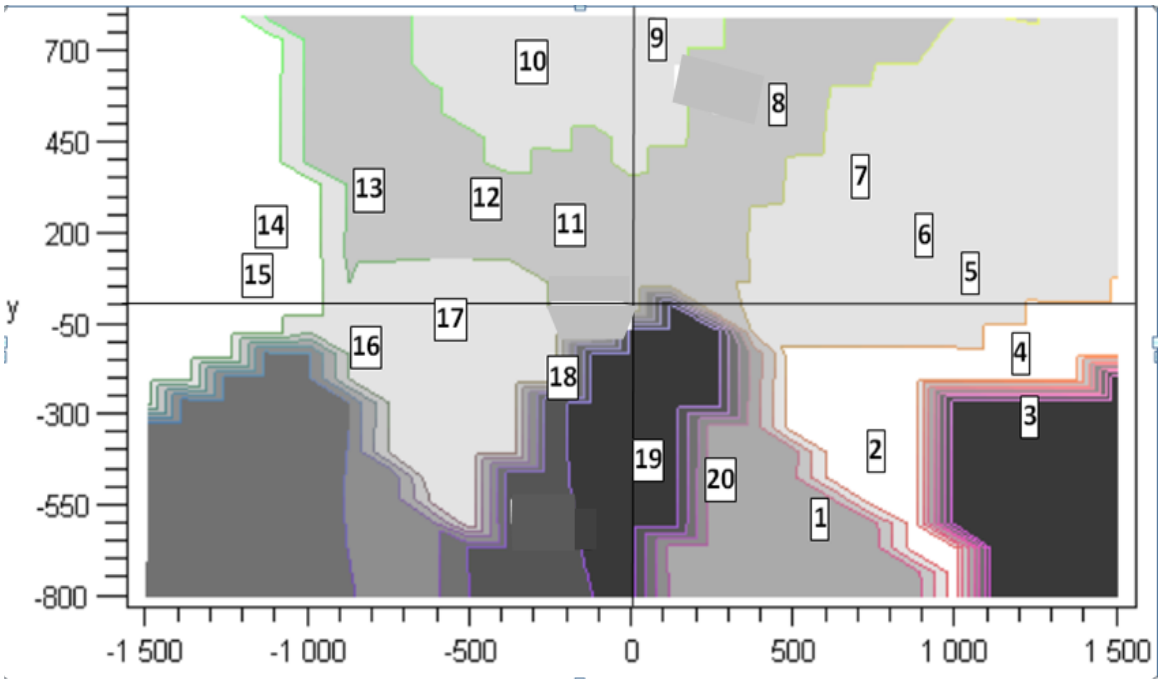


Рис. 5. 03.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,65 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

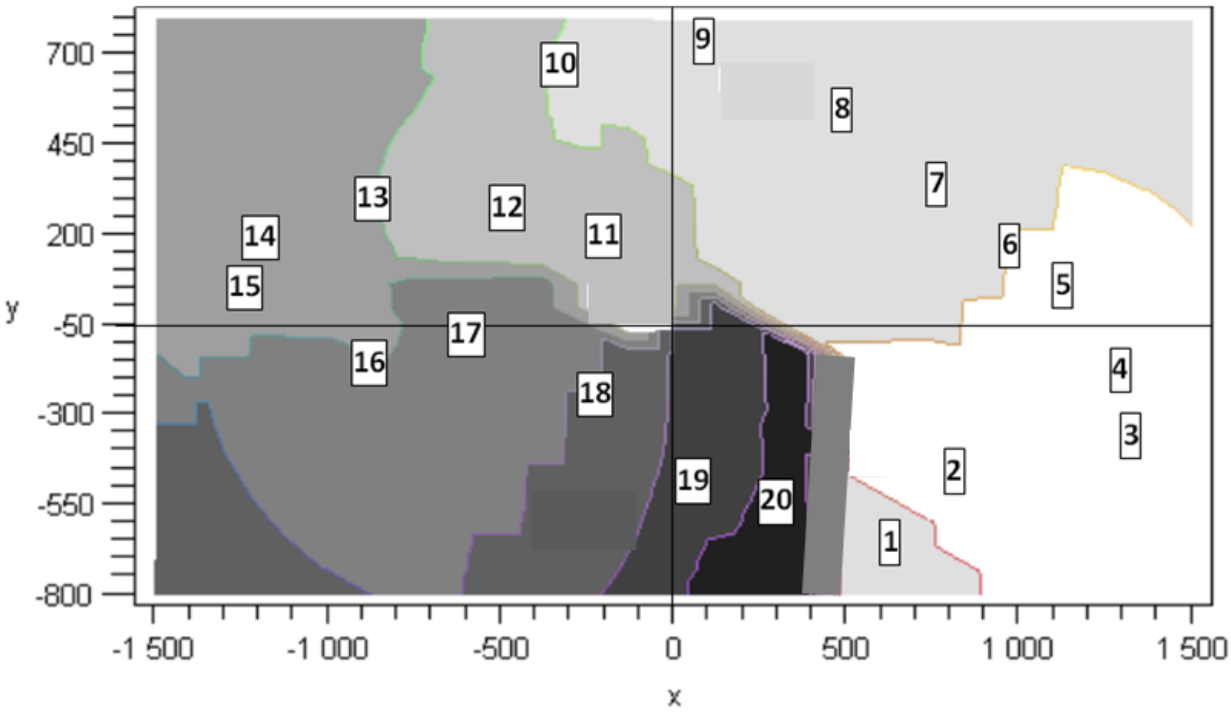


Рис. 6. 04.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

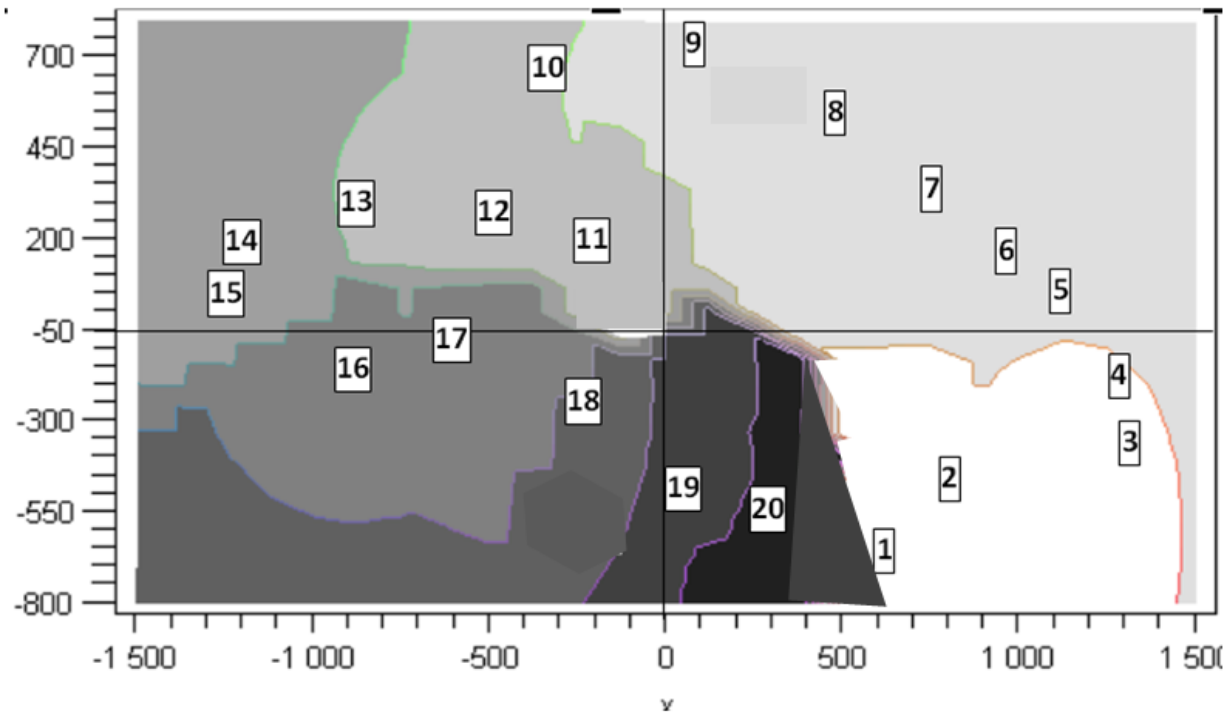


Рис. 7. 05.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

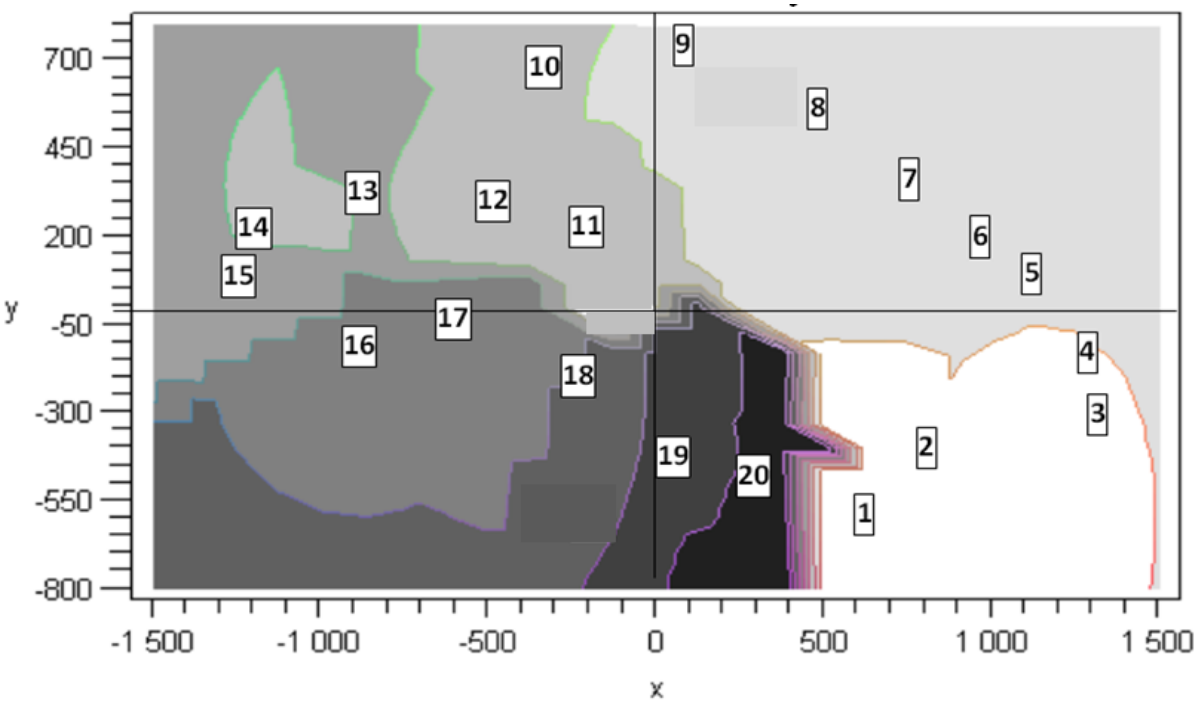


Рис. 8. 06.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

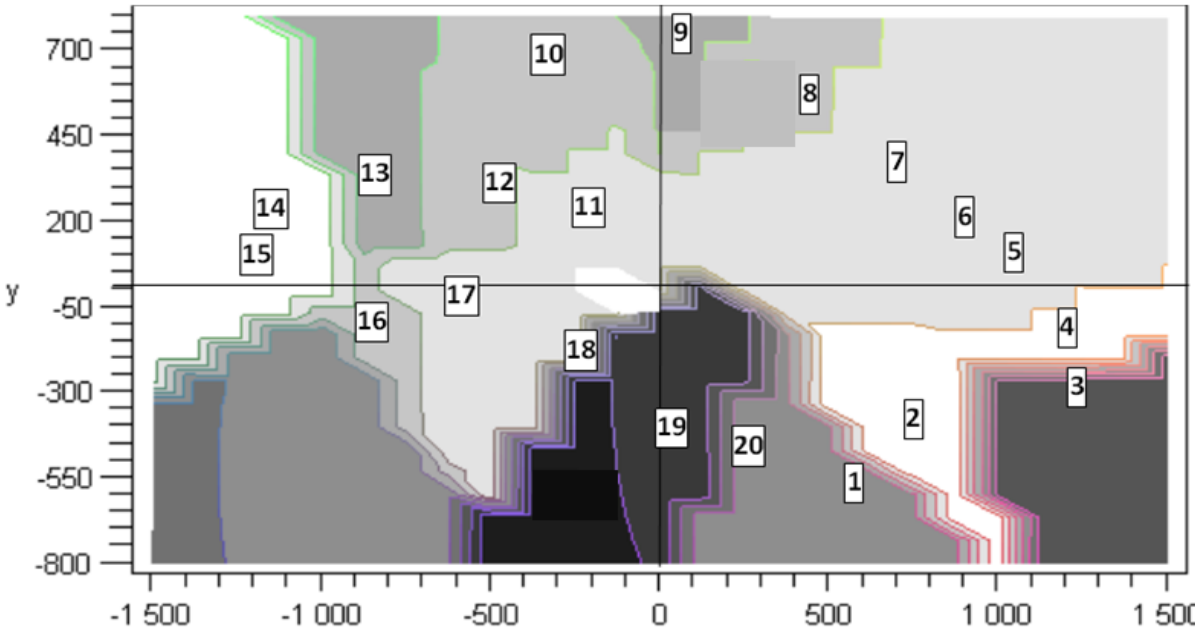


Рис. 9. 07.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

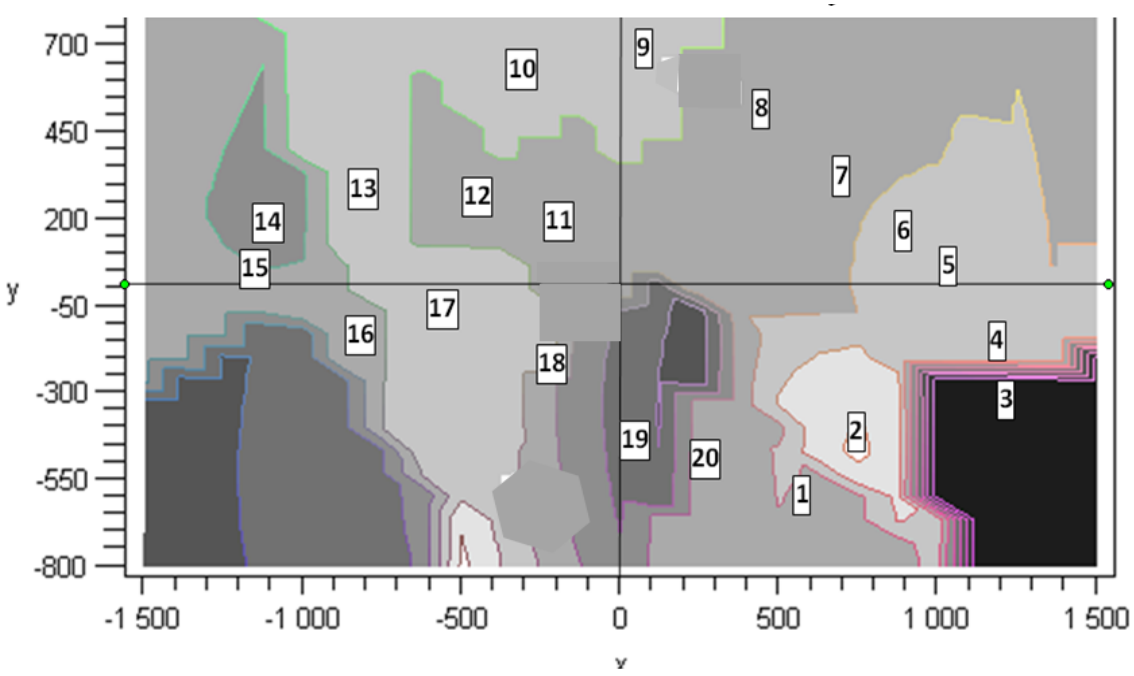


Рис. 10. 08.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

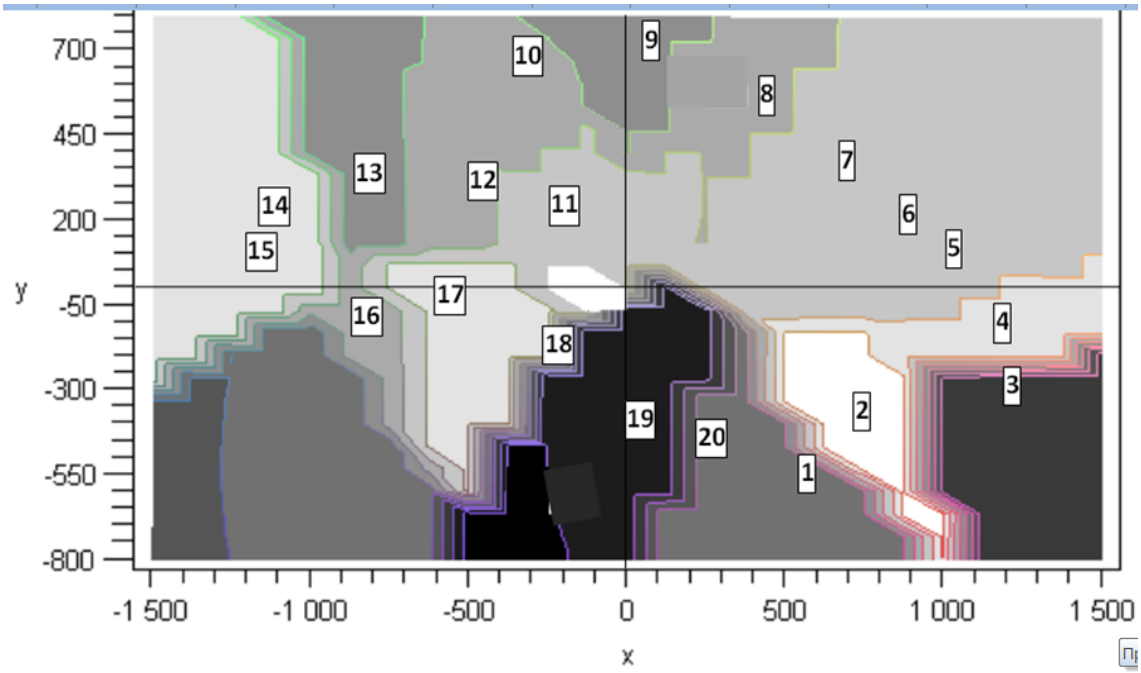


Рис. 11. 09.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

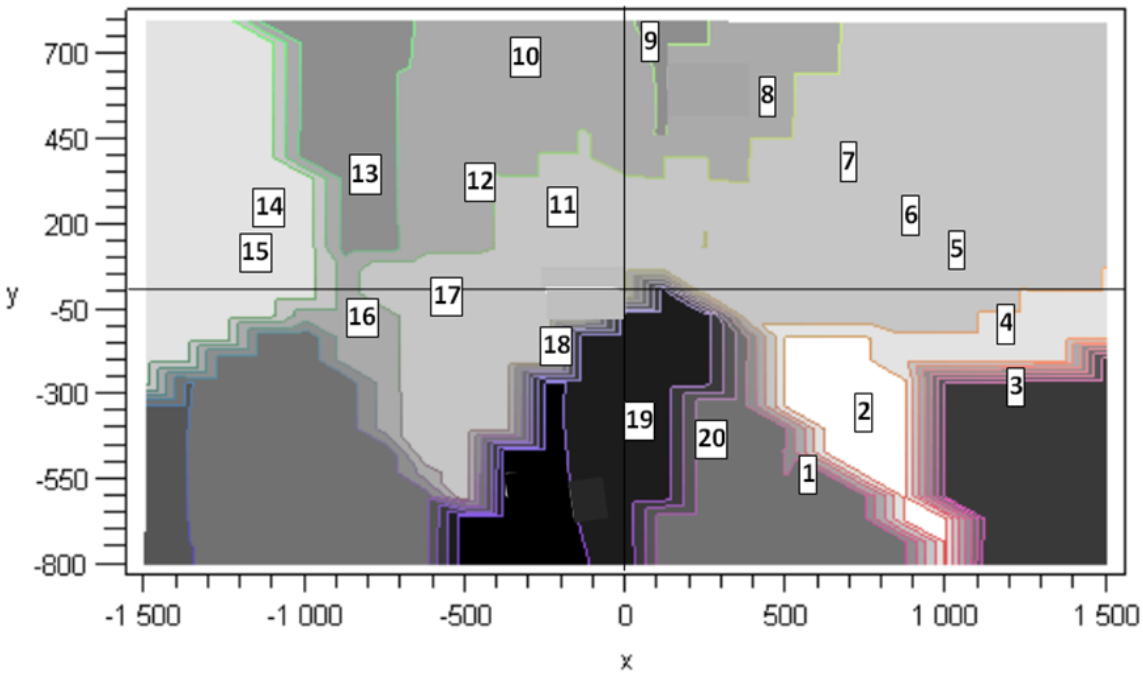


Рис. 12. 10.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

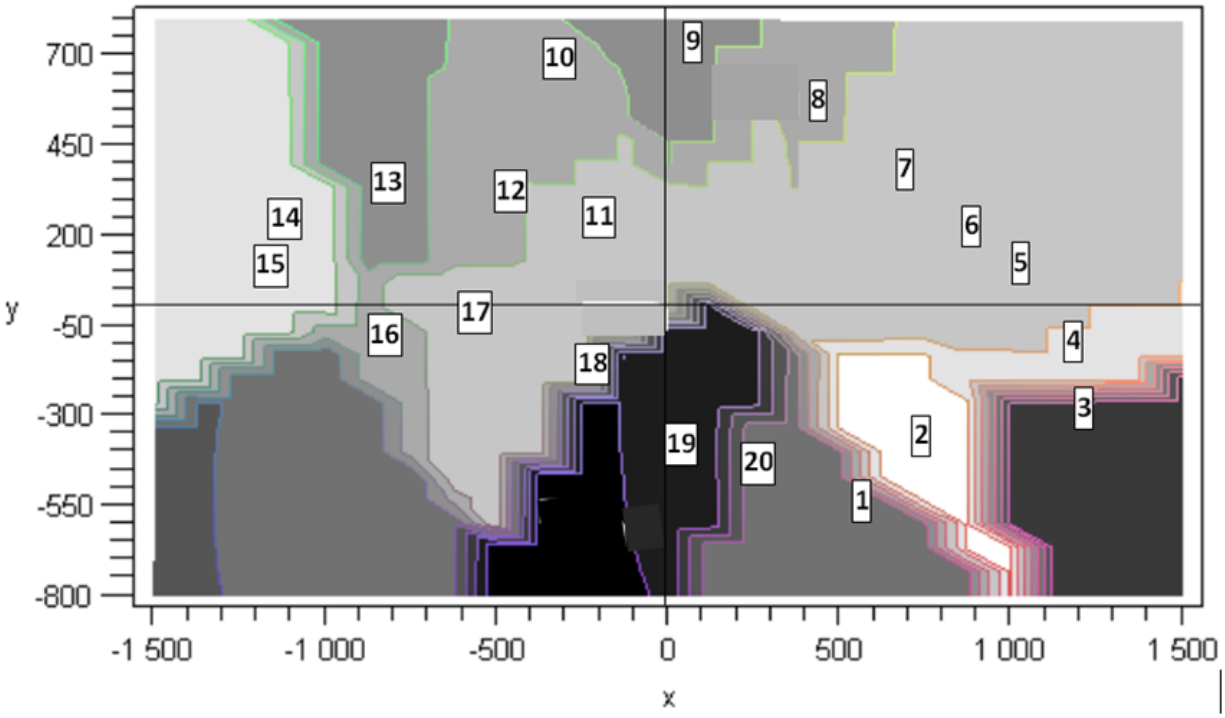


Рис. 13. 11.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

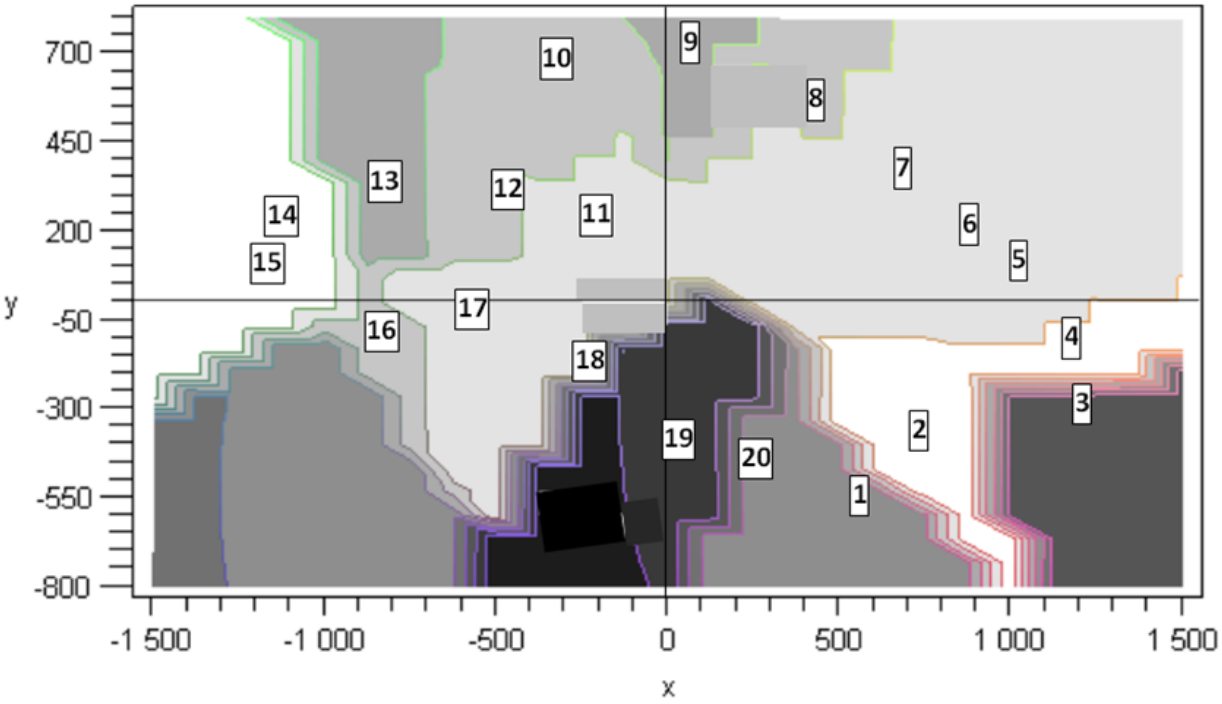


Рис. 14. 12.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

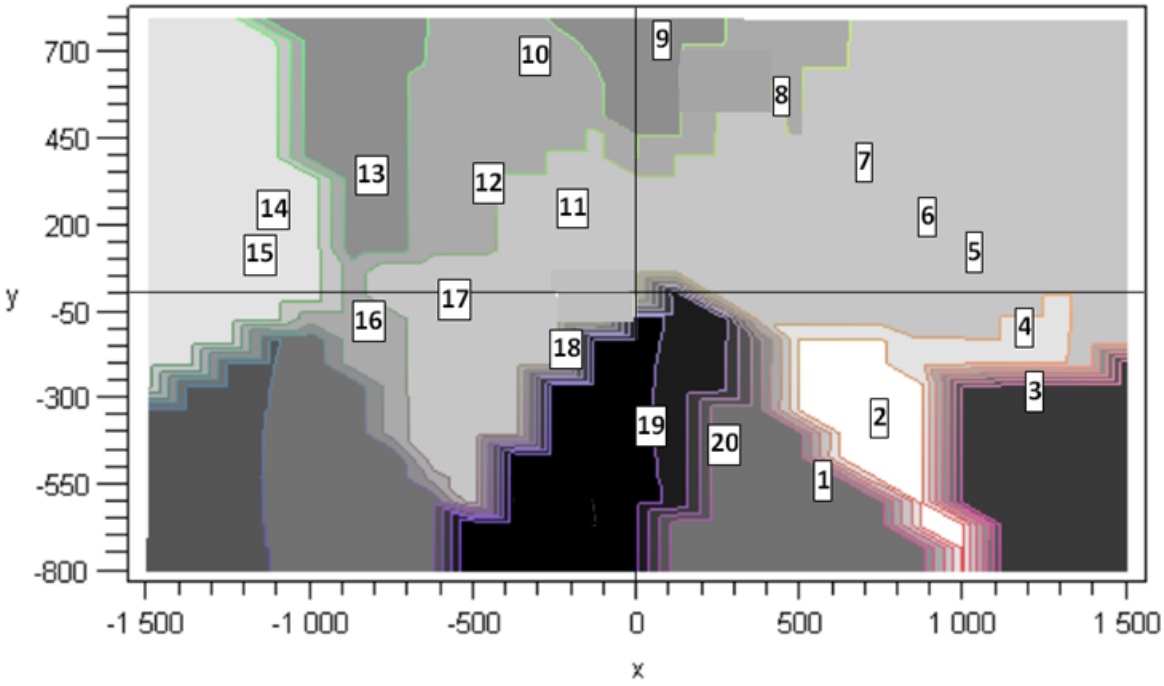


Рис. 15. 13.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

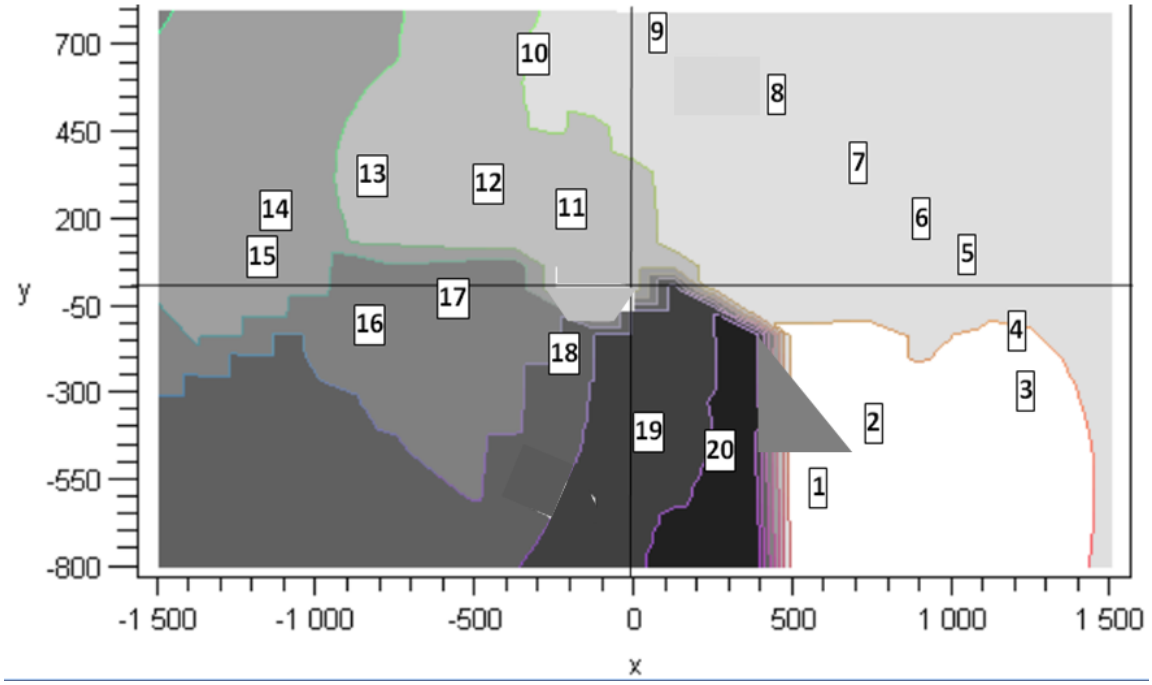


Рис. 16. 14.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

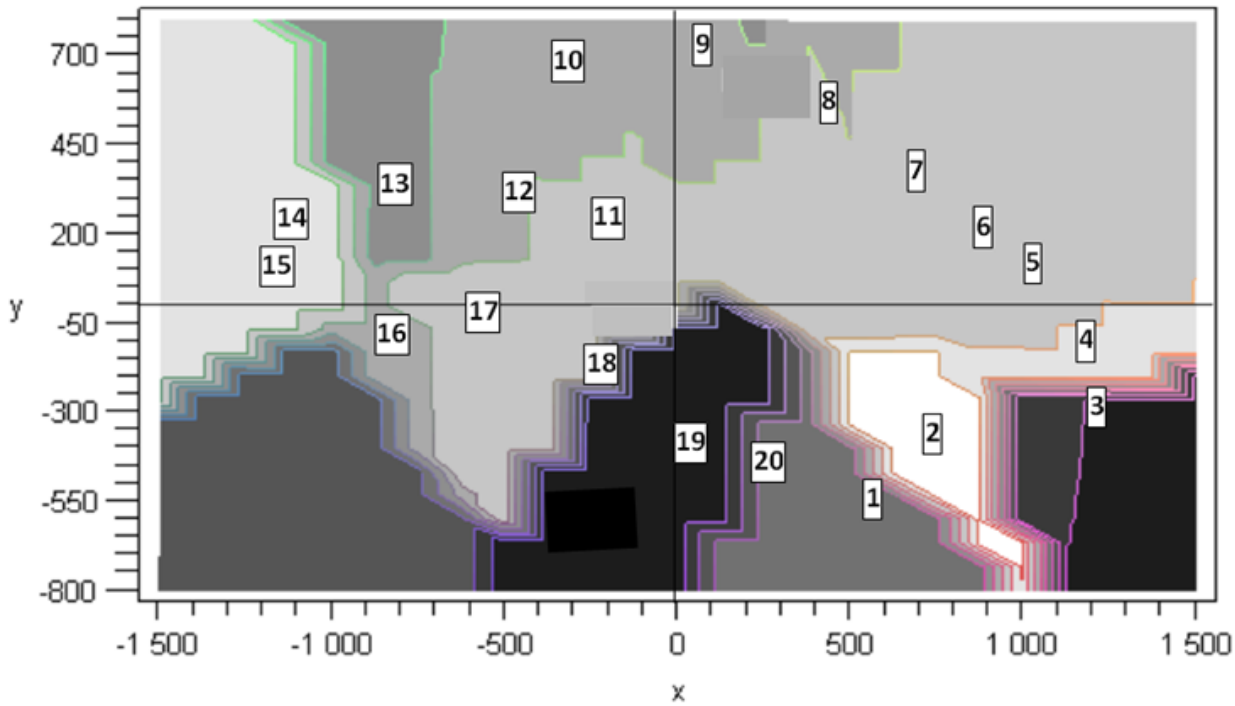


Рис. 17. 15.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

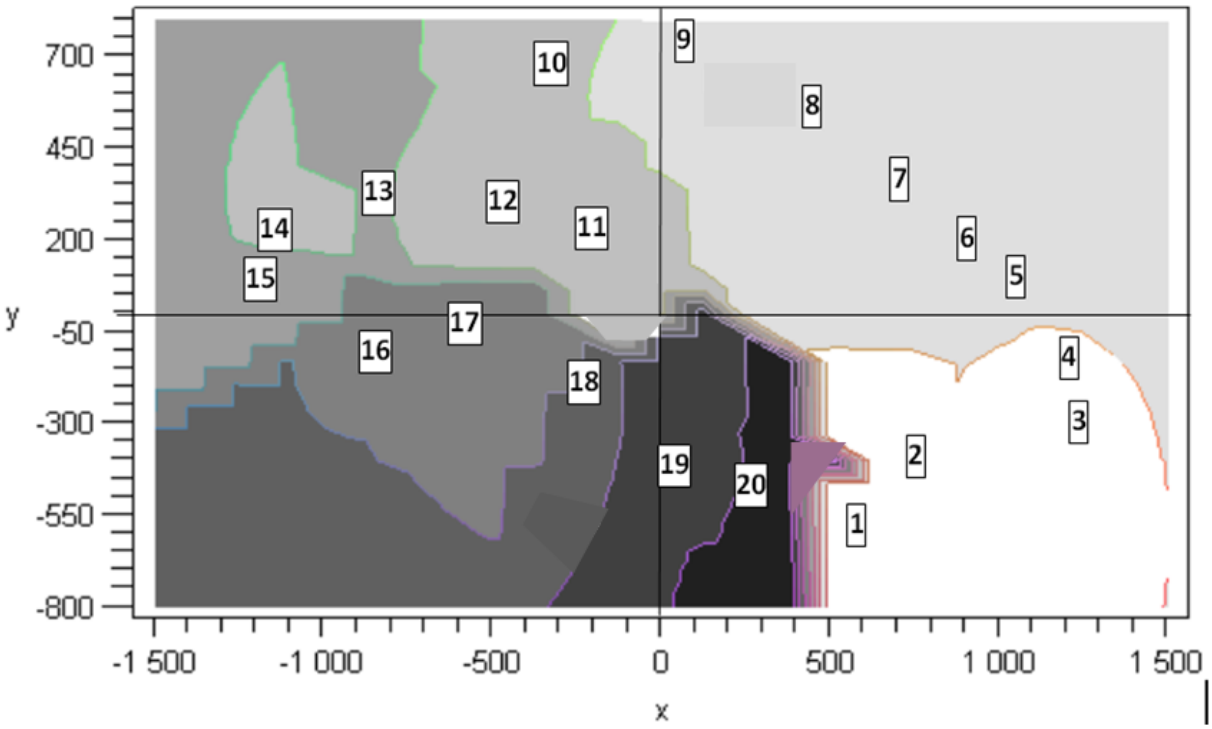


Рис. 18. 16.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

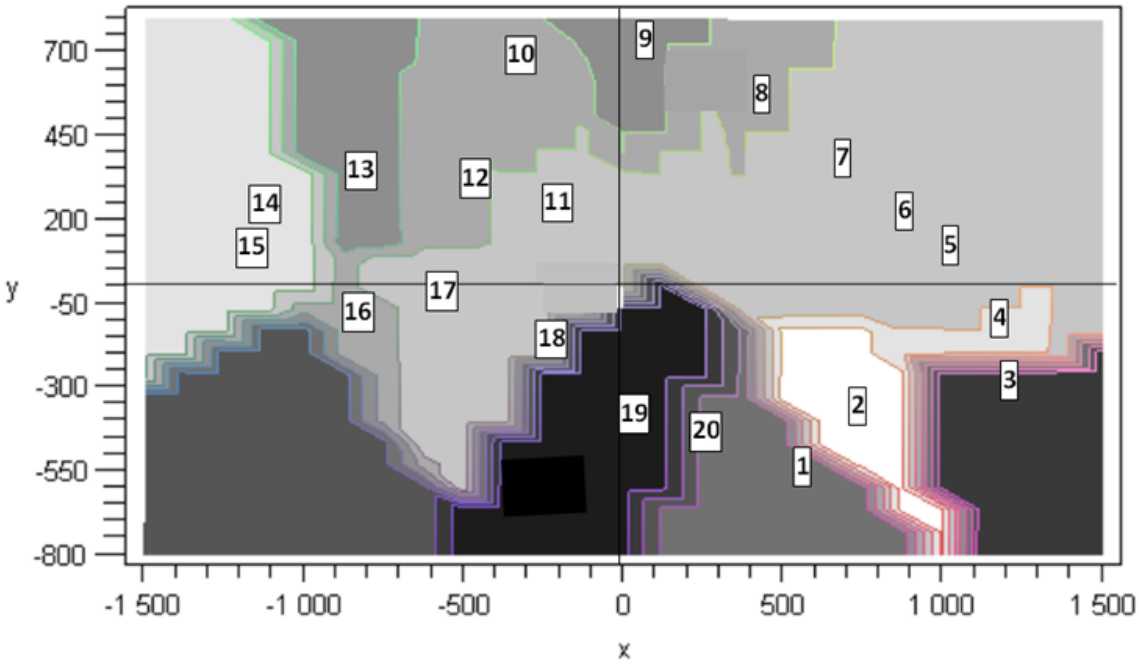


Рис. 19. 17.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

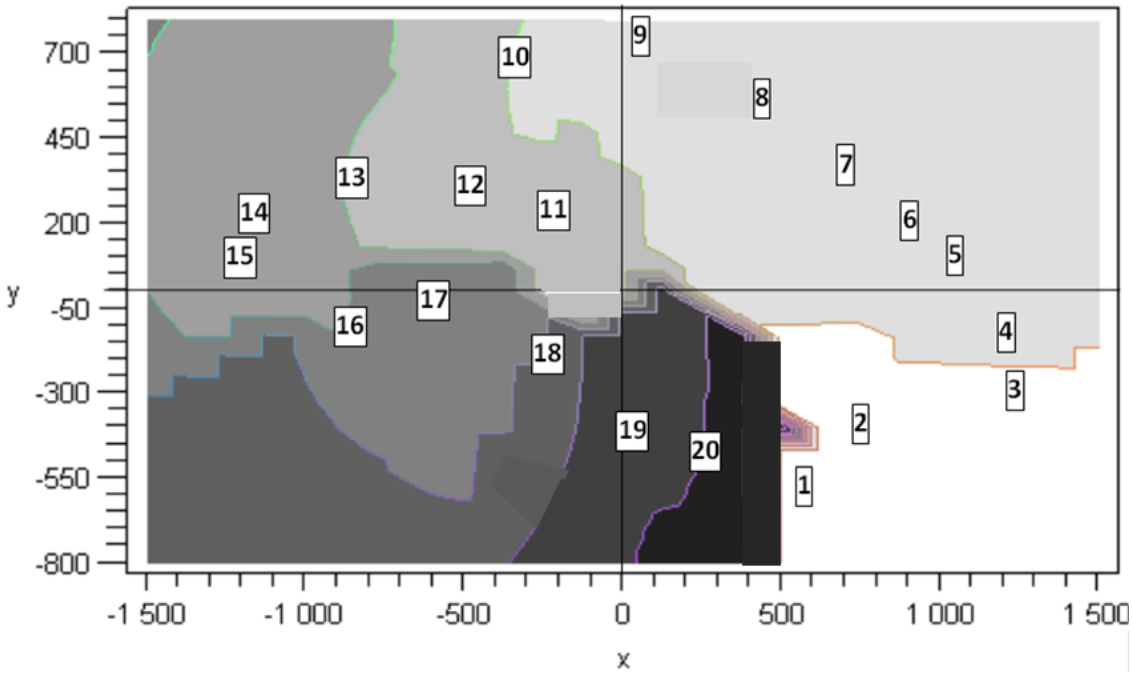


Рис. 20. 18.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

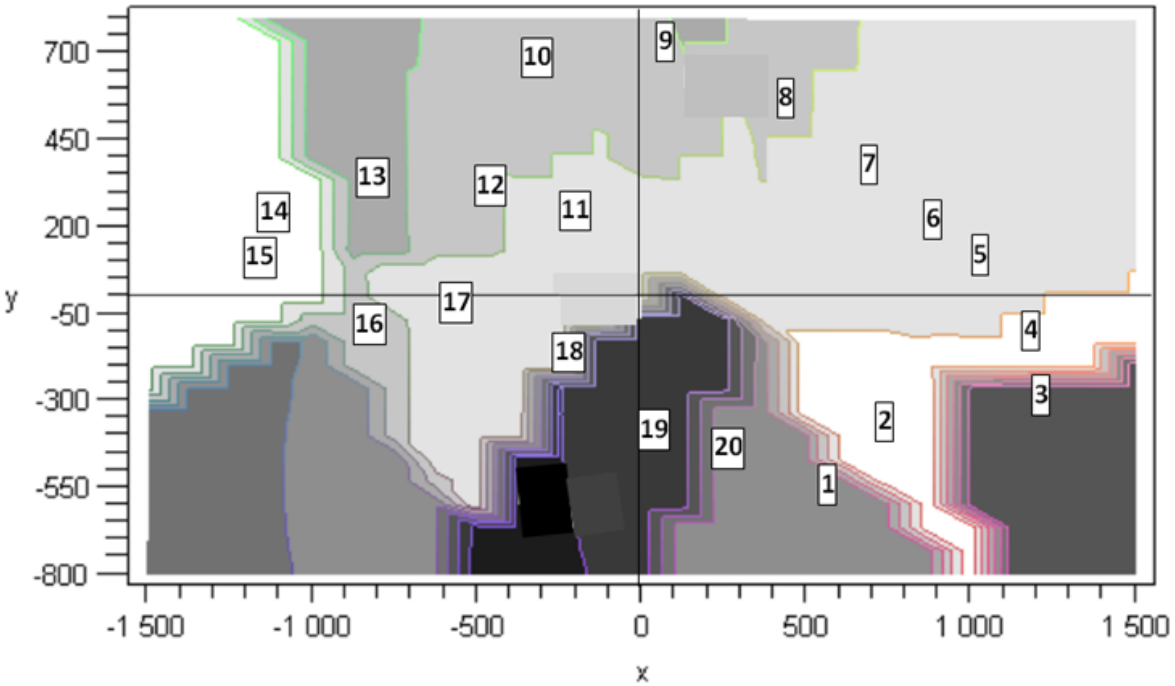


Рис. 21. 19.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

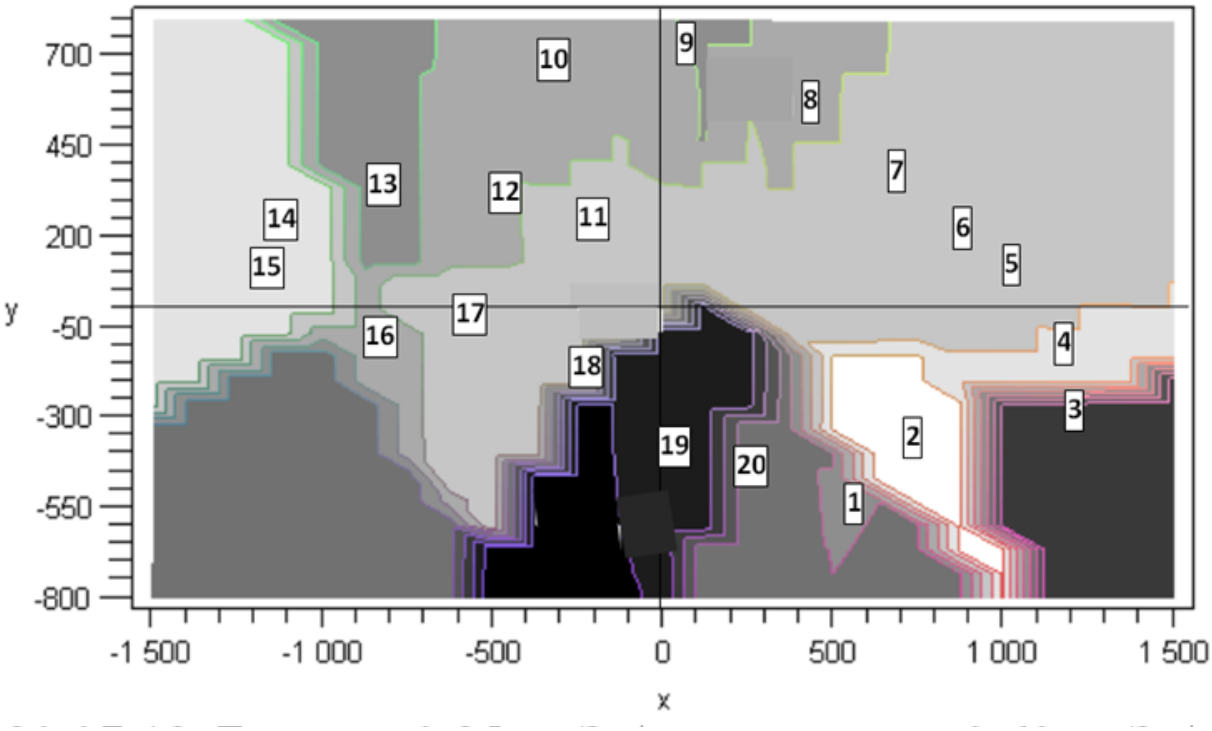


Рис. 22. 20.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

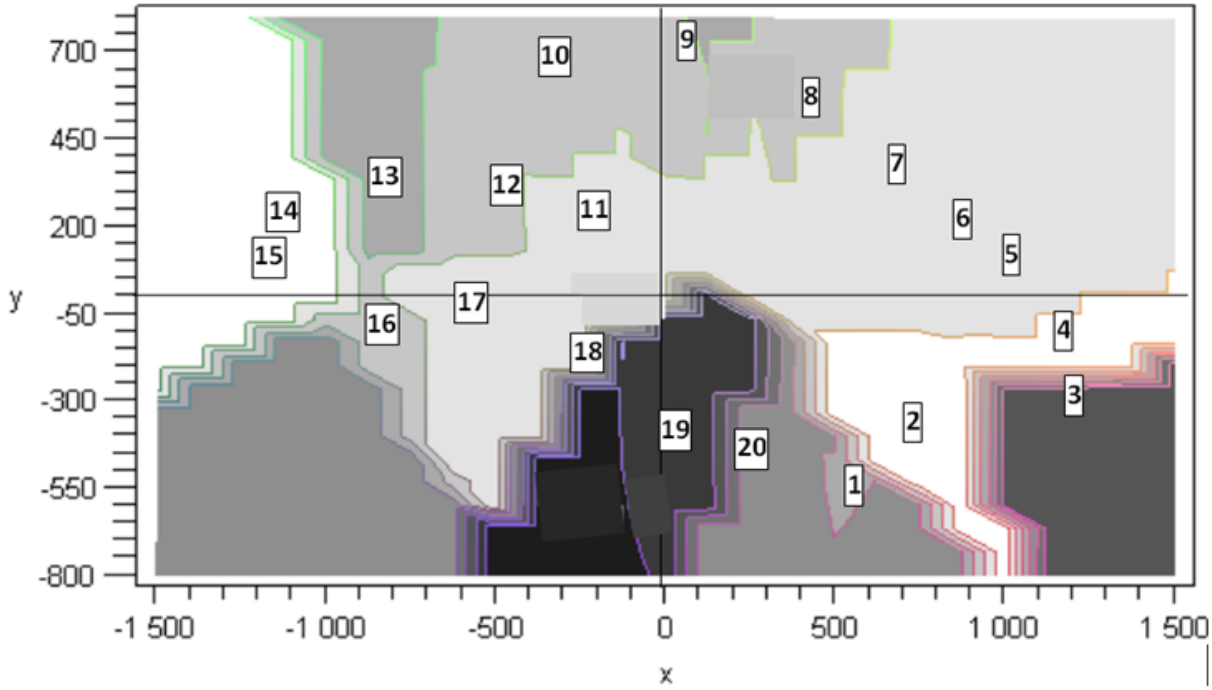


Рис. 23. 21.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

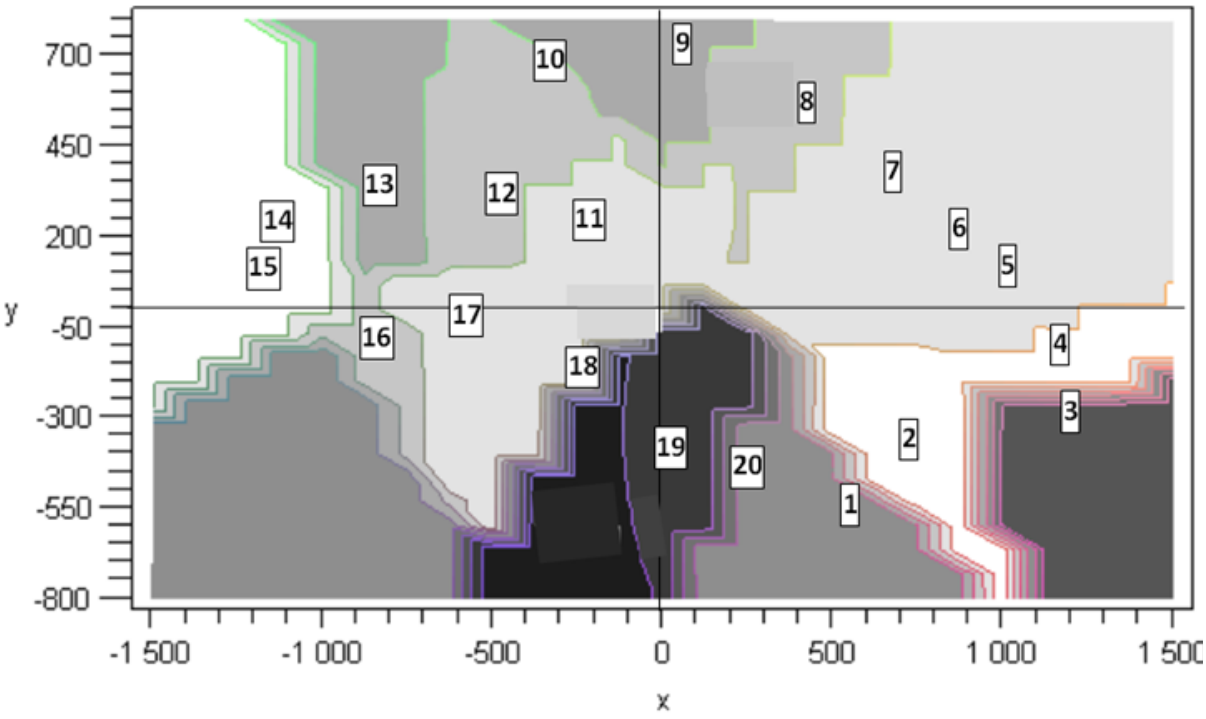


Рис. 24. 22.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

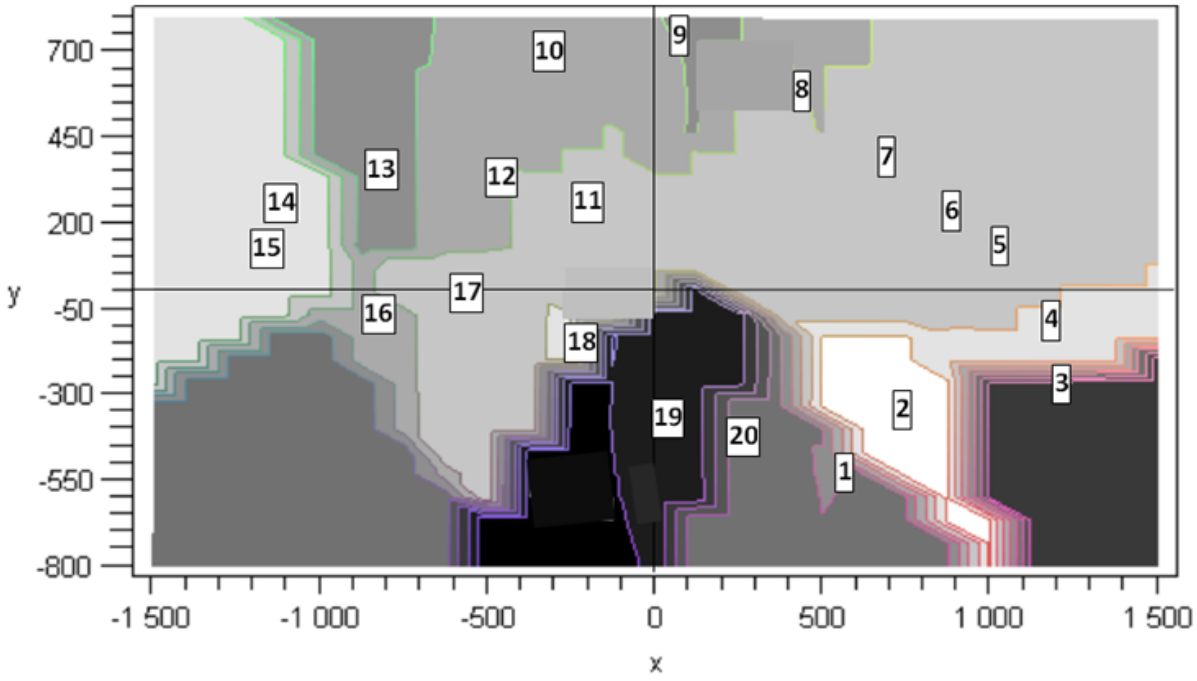


Рис. 25. 23.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

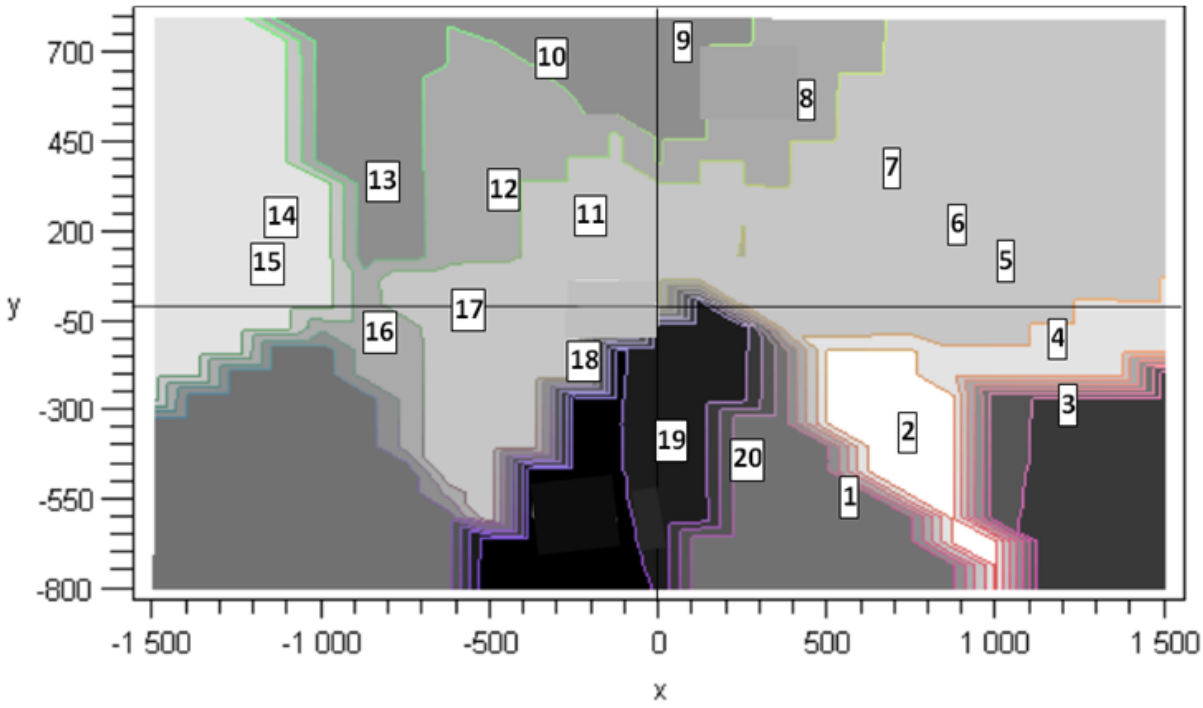


Рис. 26. 24.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

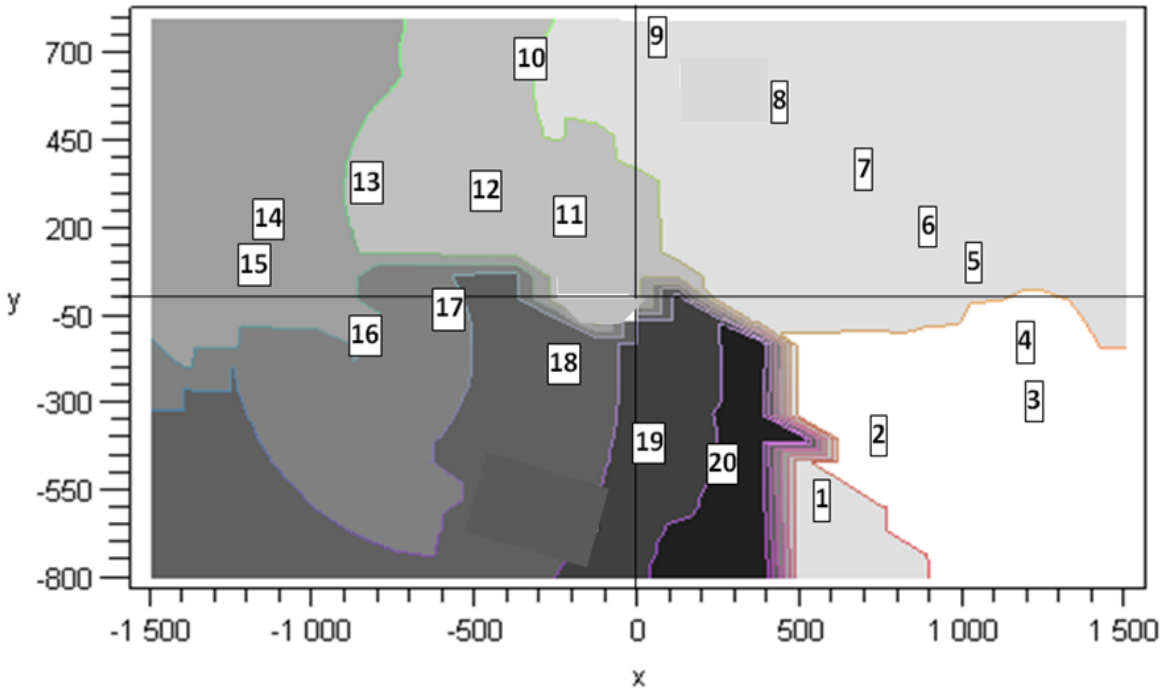


Рис. 27. 25.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

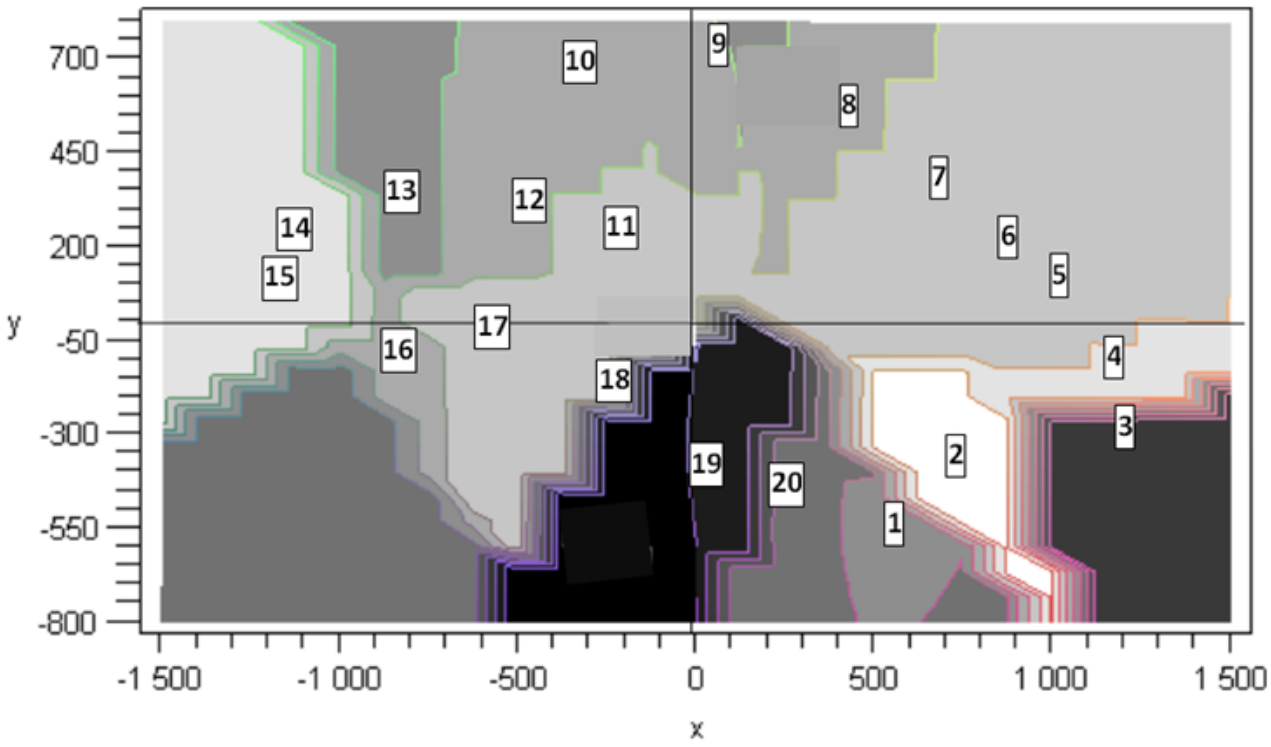


Рис. 28. 26.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

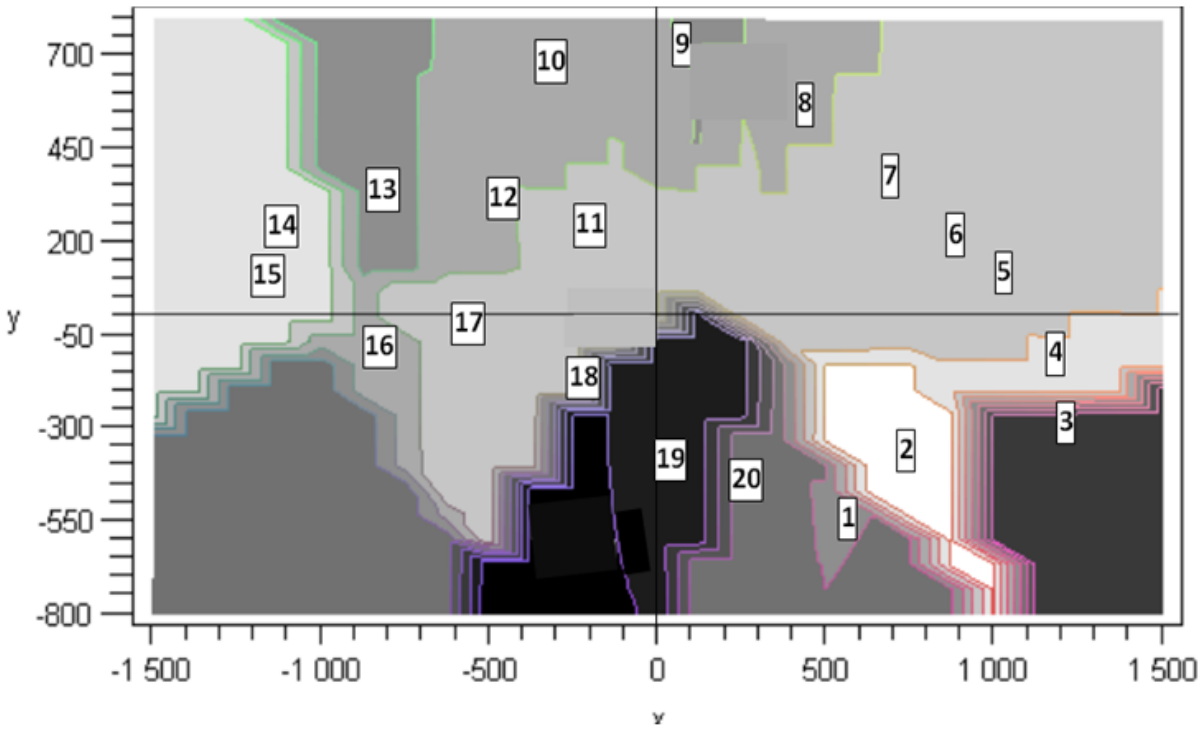


Рис. 29. 27.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

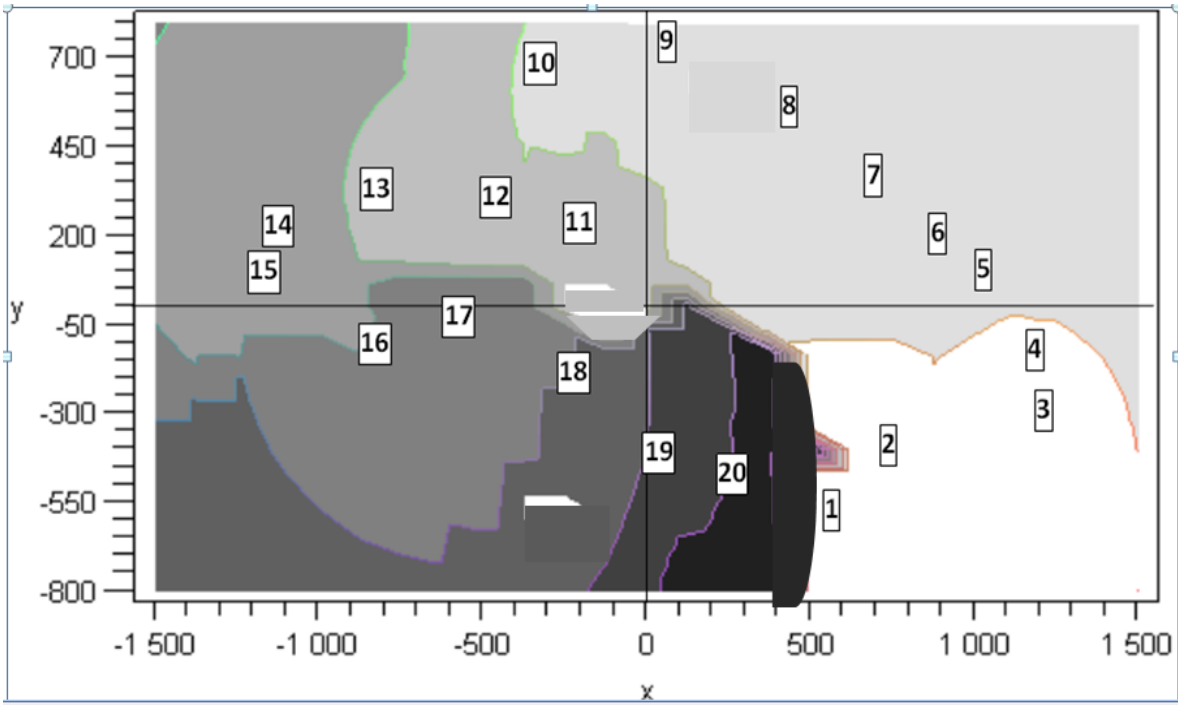


Рис. 30. 28.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

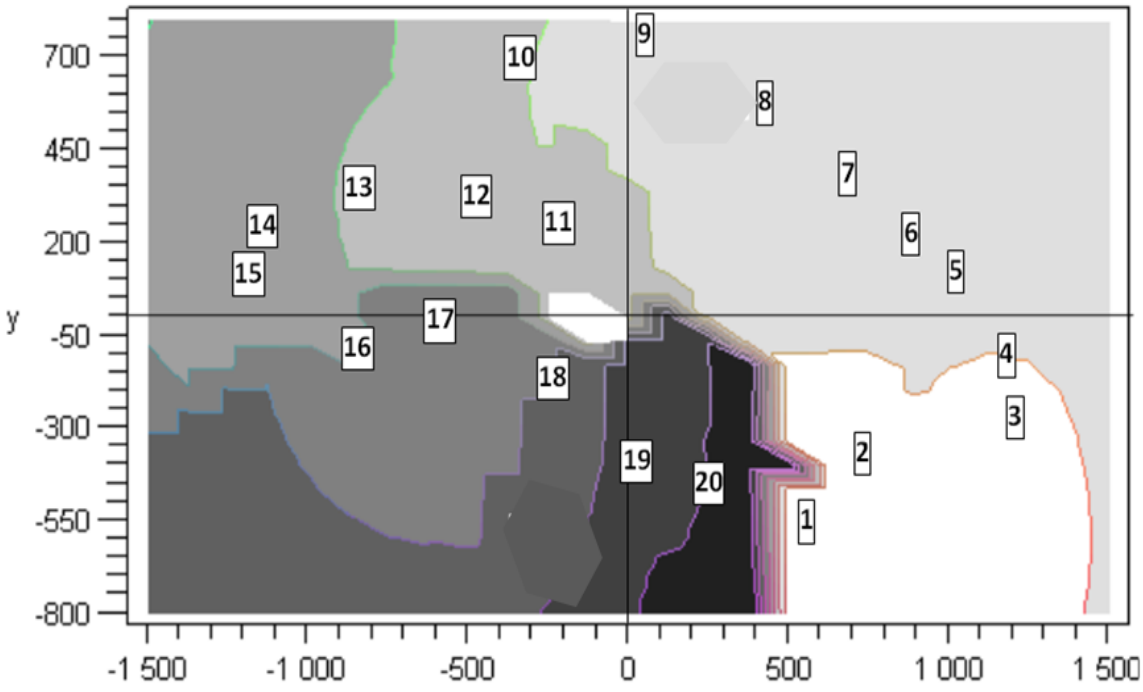


Рис. 31. 29.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

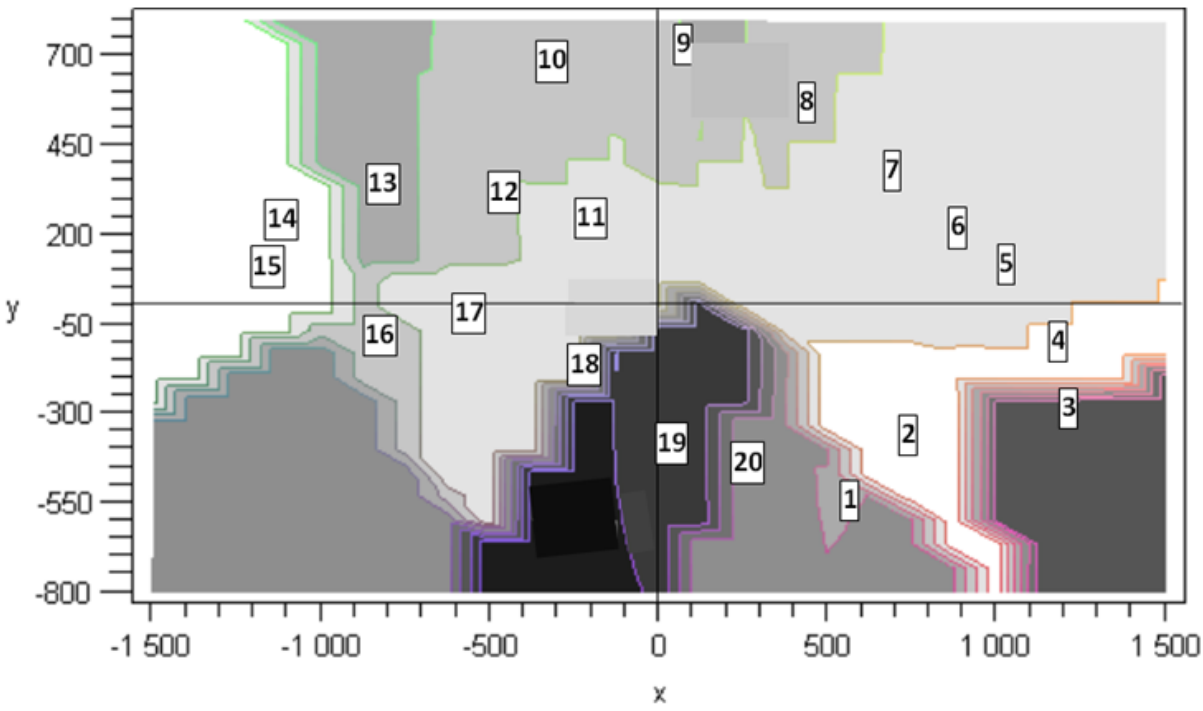


Рис. 32. 30.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

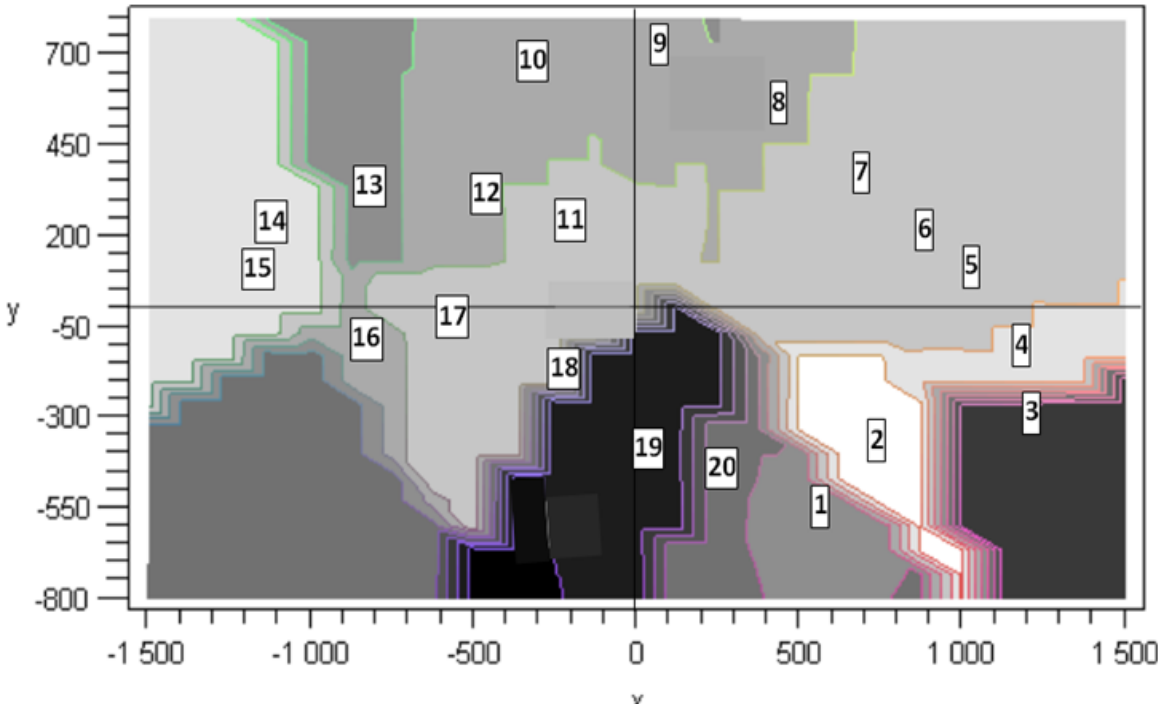


Рис. 33. 31.07.18. Білий колір – 0,25 мкЗв/год, чорний – 0,60 мкЗв/год через 0,05 мкЗв/год за тоном

Висновок

Візуалізація отриманих результатів вимірювань за даними табл. 1 дозволяє зробити такі висновки, що на півдні контрольованої території існує суттєве перевищення санітарних норм для радіаційного фону, які обмежені значенням 0,30 мкЗв/год [13]. Це може бути обумовлено наближенням контрольних точок №№ 18–20 до відвалів пустої породи (териконів) вуглевидобувної шахти ім. Г. Капустіна. Одже, на час проведення експерименту обрана місцевість є екологічно недружньою для постійного проживання на її території людей.

РОЗДІЛ IV

Визначення залежностей потужності дози в окремих точках від метеоумов та отримання кореляційної матриці

Для того, аби мати впевненість у тому, що дані значення потужностей доз є не випадковими, а системними, треба виключити варіант залежності значень від сторонніх факторів, у даному випадку – метеоумов.

Тому за даними табл. 1 було розраховано залежність середньої потужності дози радіаційного фону від метеоумов під час проведення вимірювань. На рис. 34 наведена залежність середньої потужності дози в окремих характерних точках №1, №2, №5, №15, № 20 від хмарності (в балах).

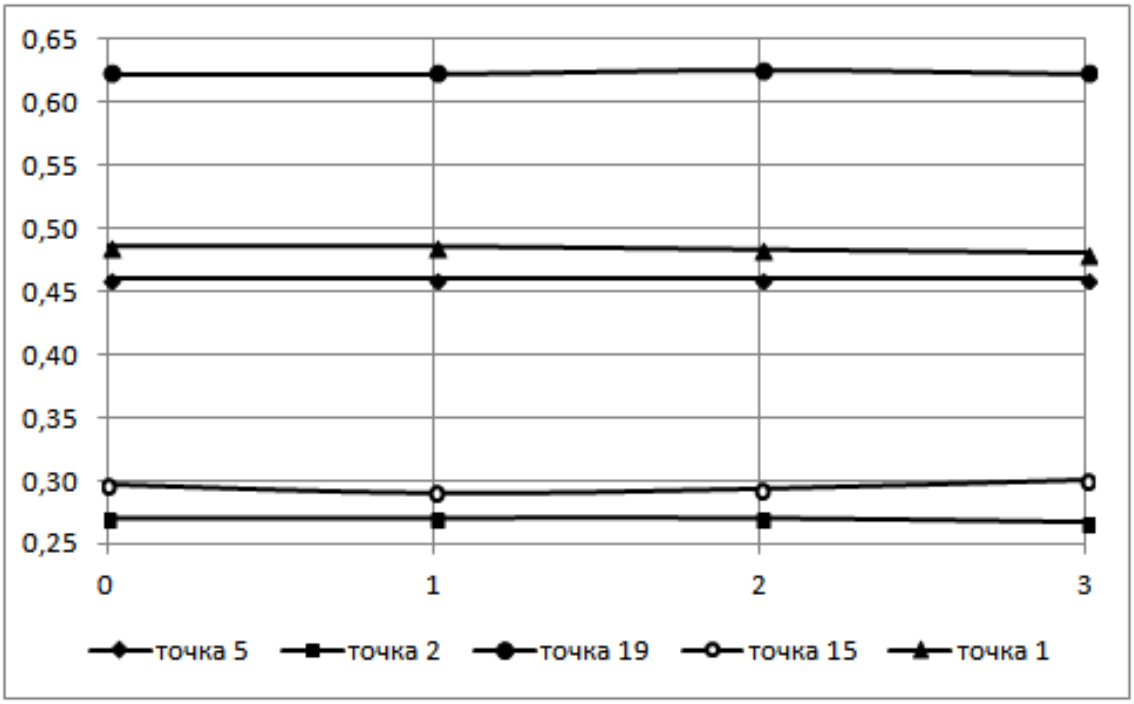


Рис. 34. Залежність потужності дози в окремих точках (у мкЗв/год) від хмарності під час проведення спостережень (у балах)

Рис. 34 зображує прямі та майже прямі лінії, що свідчать про відсутність зв’язку між хмарністю та значенням потужності радіаційного фону.

Також важливо визначити, чи є залежність потужності випромінювання від напрямку вітру (див. рис. 35). З того, що можна бачити тут, буде

справедливо стверджувати, що не існує залежності потужності дози радіаційного фону від напрямку вітру для отриманих даних.

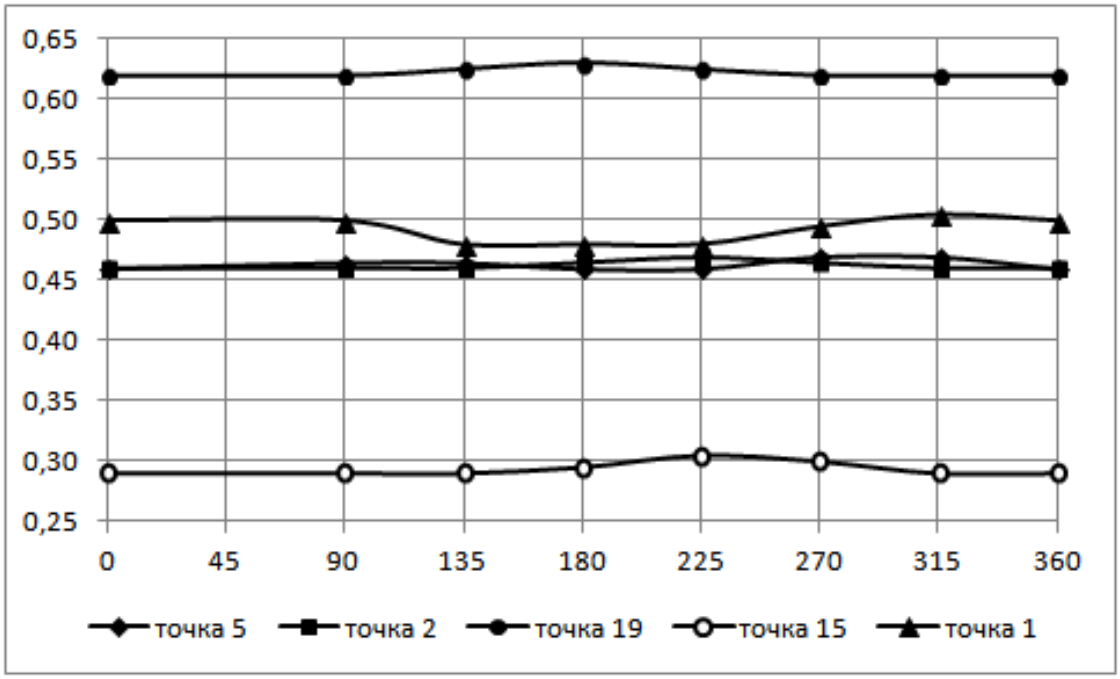


Рис. 35. Залежність потужності дози в окремих точках (у мкЗв/год) від напрямку вітру (в градусах)

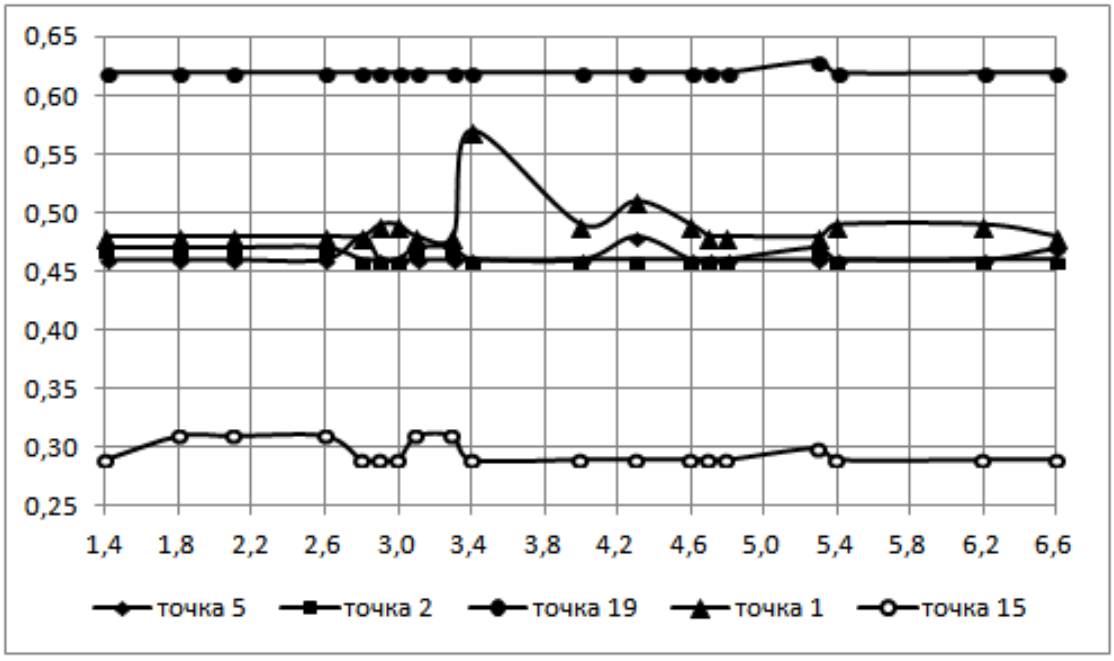


Рис. 36. Залежність потужності дози в окремих точках (у мкЗв/год) від швидкості вітру (в м/с)

Необхідно обов’язково врахувати залежність потужності дози від швидкості (сили) вітру, ілюстрація залежності наведена на рис. 36. В даному

випадку існує одинична залежність: в точці №1 на південному сході території, що контролювалася, є залежність потужності дози від швидкості вітру. Це можливо пояснити тим, що дана точка спостереження знаходиться на відкритому просторі, одже має місце різка зміна швидкості вітру або постійний вітер, що несе частинки пилу з териконів.

На рис. 37 графіком представлена отримана залежність потужності радіаційного фону від температури повітря.

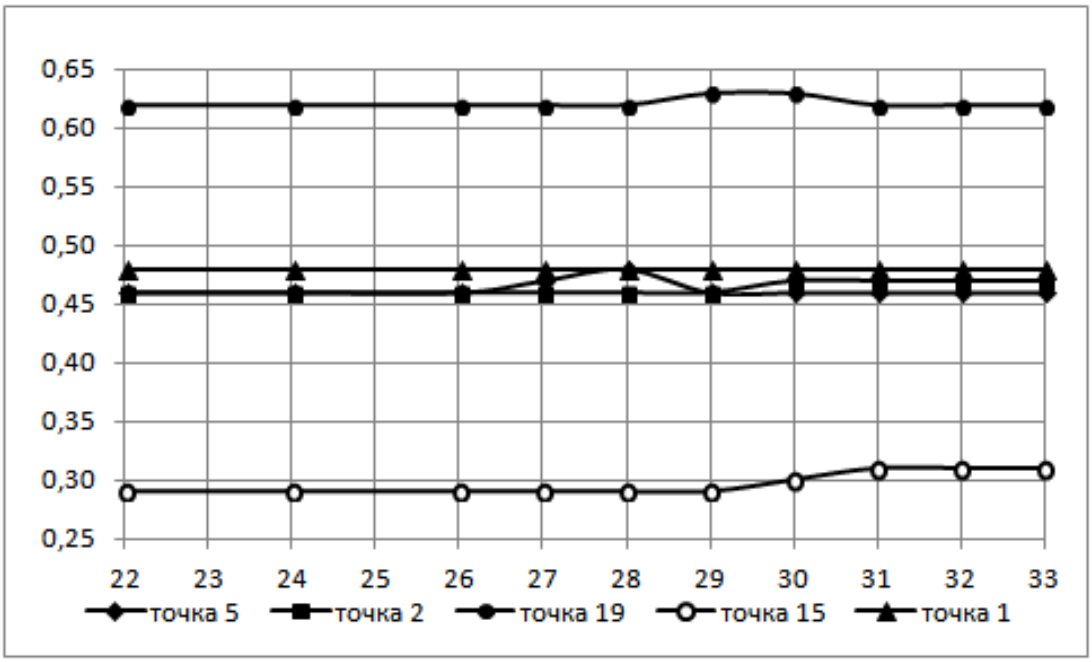


Рис. 37. Залежність потужності дози в окремих точках (у мкЗв/год) від температури (у градусах Цельсію)

На даному графіку можна бачити, що температура повітря під час проведення експериментальних вимірювань слабко впливала на значення потужності радіаційного фону на обраній території.

Для розуміння залежності потужності випромінювання від вологості повітря треба подивитися на рис. 38. Тут чітко видно, що залежність потужності дози від вологості повітря суттєво проявляється в точці №1 на південному сході контрольованої території, яка знаходиться на відкритому просторі. Очевидно, що точка №1 має вже другу залежність від метеоумов,

одже, це остаточно можна пояснити географічними особливостями її розташування на території, що досліджується.

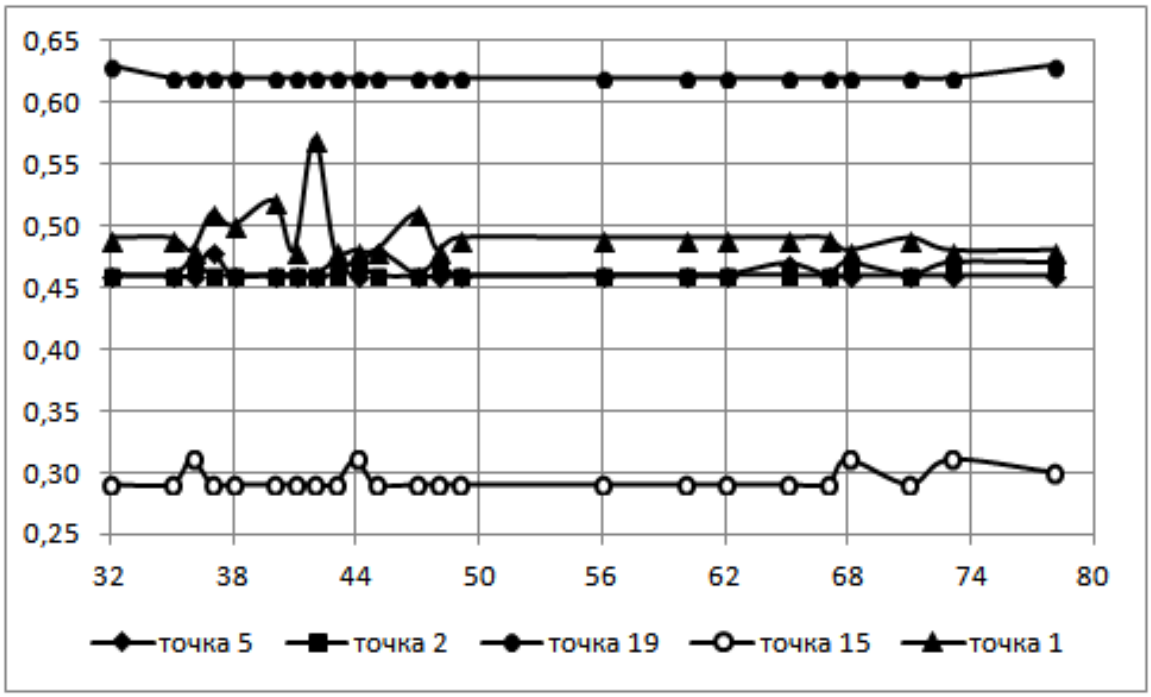


Рис. 38. Залежність потужності дози в окремих точках (у мкЗв/год) від вологості повітря (у відсотках)

Для узагальнення та підтвердження відсутності чи наявності деяких залежностей, що проілюстровані вище, необхідно надати кореляційну матрицю, що цілком достовірно покаже, чи є зв’язок між параметрами, що відстежуються, та результатами вимірювання потужності дози.

В табл. 2 наведено кореляційну матрицю між результатами вимірювань у різних точках контрольованої території (№№ 1 – 20) та метеоумовами під час вимірювань. В таблиці зроблені скорочення: №21 – хмарність (у балах); №22 – напрямок вітру (у градусах); №23 – швидкість вітру (у м/с); №24 – температура повітря (у °С); №25 – вологість повітря (у %).

Дані цієї таблиці беззаперечно свідчать про те, що кореляційний зв’язок між результатами вимірювань у будь-яких різних точках цієї зони (навіть сусідніх) завжди є слабким і дуже слабким (в одиничних випадках –

середнім). Так само слабка та дуже слабка кореляція між результатами вимірювань у різних точках зони експерименту та метеоумовами під час вимірювань, окремі графіки залежностей яких вже наведені вище.

Висновок

Одже, під час аналізу отриманих з експерименту даних було приділено детальну увагу визначенню залежностей потужності доз від факторів, що існували під час вимірювань, які могли б вплинути на точність вимірювань. За результатами побудування графіків залежності потужності дози в окремих точках від вологості повітря, температури повітря, хмарності, швидкості вітру, напрямку вітру та даними кореляційної матриці можна однозначно стверджувати, що на значення потужності дози метеоумови не мали впливу, одже отримані дані є об’єктивними.

Таблиця 2

Кореляційна матриця

x	№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
№	1																									
1	-0,18	1																								
2	-0,03	0,40	1																							
3	-0,10	0,20	-0,41	1																						
4	-0,17	0,08	-0,30	0,20	1																					
5	0,19	0,09	-0,07	0,24	0,17	1																				
6	-0,22	0,20	0,28	0,07	-0,33	-0,18	1																			
7	-0,16	-0,13	0,14	0,22	0,11	0,08	0,22	1																		
8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1																	
9	0,13	0,06	0,19	-0,06	-0,23	-0,09	0,14	0,00	0,00	1																
10	0,21	-0,29	-0,05	-0,18	0,05	-0,08	-0,18	0,24	0,00	0,08	1															
11	-0,08	-0,07	-0,23	0,10	-0,31	0,15	0,10	-0,13	0,00	-0,05	0,06	1														
12	0,06	-0,48	-0,18	0,00	0,00	-0,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1													
13	0,35	0,12	0,15	0,08	-0,20	0,32	-0,18	0,00	0,00	0,08	0,26	0,06	-0,43	1												
14	0,29	0,07	0,14	-0,10	-0,11	0,18	-0,10	-0,26	0,00	0,05	-0,06	0,03	0,00	0,56	1											
15	0,16	0,07	0,06	0,34	-0,11	0,18	-0,10	0,13	0,00	0,05	-0,06	0,03	0,00	0,56	-0,03	1										
16	0,03	0,00	-0,12	0,00	0,29	0,23	-0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1									
17	-0,33	-0,18	-0,23	0,06	-0,11	-0,23	0,16	-0,06	0,00	-0,12	-0,13	0,40	0,34	-0,43	0,09	-0,40	0,00	1								
18	0,24	0,01	-0,09	0,08	0,12	0,45	-0,24	-0,04	0,00	-0,44	0,08	-0,11	0,00	0,21	0,11	0,11	0,00	-0,30	1							
19	-0,04	-0,12	-0,26	0,18	0,20	0,08	-0,34	0,24	0,00	0,20	0,11	-0,06	0,00	0,11	0,06	0,06	0,00	-0,01	-0,14	1						
20	-0,35	-0,20	-0,17	-0,07	-0,02	-0,24	-0,07	-0,06	0,00	-0,14	-0,08	0,34	0,31	-0,34	0,10	-0,34	0,00	0,88	-0,34	0,08	1					
21	0,12	0,31	0,44	-0,14	-0,13	0,26	0,01	0,16	0,00	0,04	0,06	-0,03	-0,39	0,39	0,03	0,22	0,13	-0,48	0,35	-0,39	-0,41	1				
22	0,45	0,06	0,05	-0,12	-0,20	-0,16	-0,08	-0,43	0,00	0,02	-0,25	0,02	0,00	-0,03	0,08	0,17	0,00	0,13	-0,12	-0,03	0,08	-0,22	1			
23	0,46	-0,13	0,11	-0,12	-0,11	0,21	-0,05	0,16	0,00	-0,02	0,14	-0,32	-0,07	0,22	-0,10	0,20	0,04	-0,49	0,15	0,23	-0,59	0,03	0,09	1		
24	0,32	-0,13	0,03	-0,09	-0,21	-0,22	0,17	0,00	0,00	0,09	0,13	0,23	0,13	-0,09	0,13	-0,11	-0,04	0,40	-0,12	0,01	0,20	-0,23	0,52	0,05	1	
25	0,32	0,23	0,18	0,06	-0,02	0,37	-0,22	-0,01	0,00	0,08	0,04	-0,07	-0,06	0,31	0,18	0,15	0,08	-0,33	0,57	-0,17	-0,22	0,54	-0,23	-0,09	-0,34	1

Висновки

Для проведення оцінки радіаційного стану території в режимі реального часу було обрано житловий масив, що розташований біля вуглевидобувної шахти ім. Г. Капустіна у м. Привілля Луганської області.

Для проведення експерименту на мапі було обрано 20 точок, розташованих по колу даної території, в яких протягом 30 календарних днів щодня в один і той самий час робилися вимірювання амбієнтного еквіваленту потужності дози рентгенівського та гама-випромінювання за допомогою професійного дозиметра-радіометра МКС-05 “ТЕРРА”.

Отримані дані ще без подальшої обробки беззаперечно свідчили про те, що на даній території існує значне радіаційне забруднення з перевищенням допустимих норм до 2-х разів, про що постійно повідомляв дозиметр неприємним двотоновим звуковим сигналом.

Для детального аналізу отриманих даних було застосовано сучасні комп’ютерні програми MS Exel-2010 і Maple-12. Потрібно було з’ясувати, чи отримані дані є постійним явищем, чи на їх значення мають вплив метеоумови.

Отримані дані характеризуються значним розкидом значень потужності дози від однієї контрольної точки до іншої, що підтверджує також і проведений дисперсійний аналіз. Але від однієї поточної доби до наступної доби вимірювань значення потужності дози у всіх контрольних точках практично не змінювалися.

Було використано алгоритм побудування карт забруднення території з використанням регресійних моделей для поля радіації у формі поліномів різних ступенів за отриманими значеннями поточних координат довільної точки, що знаходиться у площині зони, що обрана для спостережень. Також досліджувалася варіабельність отриманих даних із застосуванням двохфакторного дисперсійного аналізу без повторень; отримані значення

похибки та значущості за критеріем Фішера дозволяють стверджувати, що інформація є правдивою та респектабельною.

Досліджувалася залежність потужності дози від метеоумов під час проведення вимірювань: хмарності, напрямку і швидкості вітру, температури та вологості повітря. Ці залежності виявилися взагалі практично відсутніми або слабкими, що підтверджує отримана кореляційна матриця.

Результатом цієї роботи є висновок, що стан житлової території м. Привілля є радіаційно забрудненим середовищем та не може бути безпечним для постійного проживання людей. Питання радіаційного стану даного регіону потребує подальшого вивчення для знаходження шляхів вирішення ситуації, що склалася.

Список використаних джерел

1. Терриконы – объекты техногенной опасности / Зубов А.А., асп. Восточноукраинский национальный университет имен В. Даля. – Екологічна безпека 4/2009 (8) с. 89 – 92, УДК 504.06:622.33;
2. Предприятия. Шахты. ОП шахта имени Г. Г. Капустина. / офіційний сайт ПАТ "Лисичанськвугілля" / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://lisugol.com/Default.aspx. – Назва з екрану;
3. ТЕРРА дозиметр-радіометр МКС-05 / офіційний сайт компанії "ЕКОТЕСТ" / [Електронний ресурс]. – Режим доступу до сайту: http://ecotest.ua/products/terra-dozymetr-radiometr-mks-05/. – Назва з екрану;
4. Семиноженко В. П. Энергия. Экология. Будущее / В. П. Семиноженко, П. М. Канило, В. Н. Остапчук , А. И. Ровенский. – Харьков: «Прапор», 2003. – 462 с.;
5. Коваленко Г. Д. Основы радиационной экологии / Г. Д.Коваленко, В. С. Волошин. – Мариуполь: «Рената», 2009. – 297 с.;
6. Raskob W. European approach to nuclear and radiological emergency management and rehabilitation strategies (EURANOS) / W. Raskob // Kemtechnik. – 2007. No 72 (4). – P. 172 – 175;
7. Некос В.Ю., Пеліхатий М.М., Юшманова І.П. Методи і алгоритми визначення радіаційного стану довкілля / Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології, № 1–2, Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2008. – с. 90 – 98;
8. Некос В.Е., Гетманец О.М., Пелихатый Н.М., Чуенко А.В., Дроздов А.А., Кривицкая И.А. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени / Журнал наукових праць: Людина і довкілля.

Проблеми неоекології, № 2 (13) , Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2009. – С. 7 – 13;

9. Спосіб радіаційного моніторингу місцевості у режимі реального часу / Патент України на корисну модель № 50154 / Гетманець О.М., Гордієнко В.Г., Дроздов О.О., Пеліхатий М.М. / Заявл.11.12.2009; опубл. 25.05.2010. Бюл. № 10. – 4 с;
10. Гетманец О.М., Пелихатый Н.М., Дроздов А.А., Некос В.Е., Кучеров К.И. Алгоритмы радиационного мониторинга местности в режиме реального времени. / Журнал наукових праць: Людина і довкілля. Проблеми неоекології. – Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2010. – № 2 (15). – С. 31 – 33;
11. Гетманец О.М., Пелихатый Н.М. Разработка алгоритма построения поля радиационного фона / Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія : Екологія, вип. 14, Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2016. – С. 41 – 45;
12. Гетманець О.М., Іванова К.Ю., Пеліхатий М.М. Модель побудови поля радіаційного фону / Вісник Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна. Серія : Екологія, вип. 17, Харків, ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2017. – С. 99 – 105;
13. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97); Державні гігієнічні нормативи.- Київ: Відділ поліграфії Українського центру держсанепіднагляду МОЗ України, 1997.-121 с.

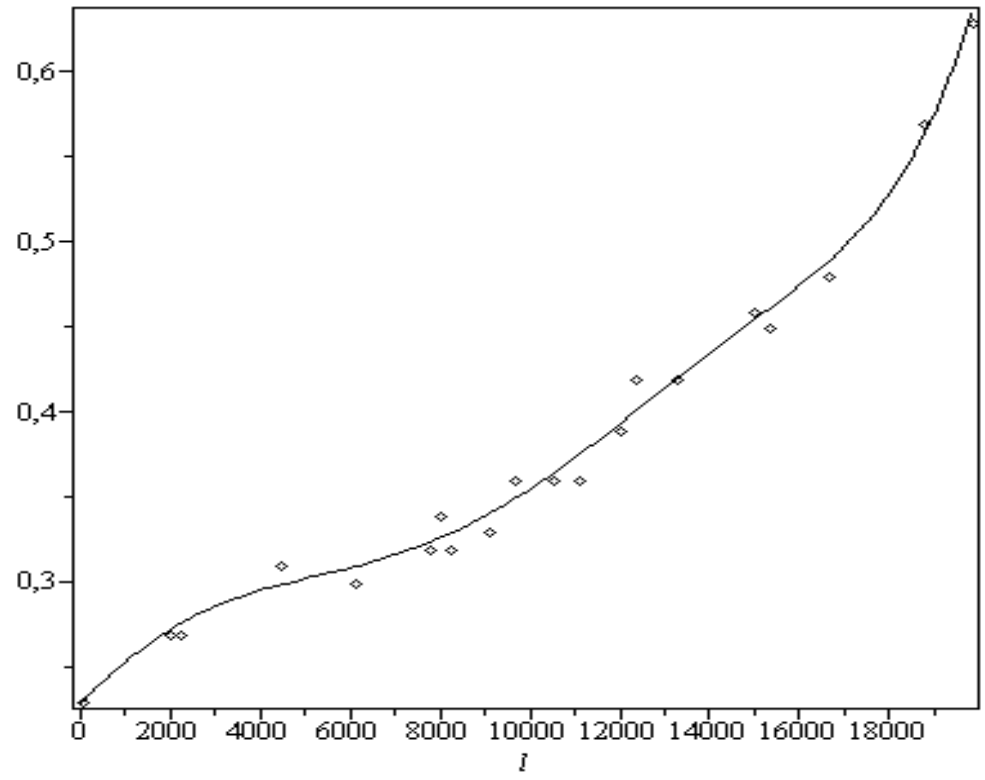
Додатки

Додаток А

Фрагмент комп'ютерної програми «Maple-12» для побудови карти радіаційного фону (за даними від 02.07.2018 р.)

```
restart; with(stats); x1 := 600.0; x2 := 740.0; x3 := 1140.0; x4
    := 1110.0; x5 := 1040.0; x6 := 810.0; x7 := 590.0; x8 := 310.0;
    x9 := 50.0; x10 := -320.0; x11 := -240.0; x12 := -540.0; x13
    := -840.0; x14 := -1100.0; x15 := -1130.0; x16 := -880.0; x17
    := -580.0; x18 := -980.0; x19 := 50.0; x20 := 320.0; y1 :=
    -600.0; y2 := -440.0; y3 := -340.0; y4 := -145.0; y5 := 50.0; y6
    := 170.0; y7 := 280.0; y8 := 480.0; y9 := 600.0; y10 := 560.0;
    y11 := 290.0; y12 := 310.0; y13 := 340.0; y14 := 250.0; y15
    := 70.0; y16 := -140.0; y17 := -60.0; y18 := -220.0; y19 :=
    -410.0; y20 := -530.0; z1 := 0.46; z2 := 0.23; z3 := 0.57; z4
    := 0.31; z5 := 0.32; z6 := 0.34; z7 := 0.32; z8 := 0.36; z9
    := 0.42; z10 := 0.39; z11 := 0.33; z12 := 0.36; z13 := 0.42; z14
    := 0.27; z15 := 0.27; z16 := 0.36; z17 := 0.3; z18 := 0.48; z19
    := 0.63; z20 := 0.45; l1 := 14977; l2 := 0; l3 := 18726; l4
    := 4398; l5 := 7714; l6 := 7973; l7 := 8219; l8 := 9631; l9
    := 12331; l10 := 11958; l11 := 9049; l12 := 10498; l13
    := 13258; l14 := 1965; l15 := 2148; l16 := 11062; l17 := 6090;
    l18 := 16602; l19 := 19818; l20 := 15266; R
    := rhs(fit[leastsquare[[l, z], z = a·l^6 + b·l^5 + c·l^4 + d·l^3 + e
    ·l^2 + f·l + g]]([[l14, l6, l13, l17, l5, l7, l11, l12, l18, l2, l3, l4,
    l1, l9, l16, l15, l10, l19, l8, l20], [z14, z6, z13, z17, z5, z7, z11,
    z12, z18, z2, z3, z4, z1, z9, z16, z15, z10, z19, z8, z20]]));

R := 1.31860797510^-25 l^6 - 6.30150248610^-21 l^5
    + 9.95288811910^-17 l^4 - 4.39831998710^-13 l^3
    - 1.97631342510^-9 l^2 + 0.00002661265085l + 0.2287959199;
    plot([R, [[l1, z1], [l2, z2], [l3, z3], [l4, z4], [l5, z5], [l6, z6], [l7,
    z7], [l8, z8], [l9, z9], [l10, z10], [l11, z11], [l12, z12], [l13,
    z13], [l14, z14], [l15, z15], [l16, z16], [l17, z17], [l18, z18],
    [l19, z19], [l20, z20]]], l = 0..19820, axes = boxed, style = [line,
    point], color = black);
```



$$\Delta lx1 := \mathrm{sqrt}\left((x - x1)^2 + (y - y1)^2\right); \Delta lx2 := \mathrm{sqrt}\left((x - x2)^2 + (y - y2)^2\right); \Delta lx3 := \mathrm{sqrt}\left((x - x3)^2 + (y - y3)^2\right); \Delta lx4 := \mathrm{sqrt}\left((x - x4)^2 + (y - y4)^2\right); \Delta lx5 := \mathrm{sqrt}\left((x - x5)^2 + (y - y5)^2\right); \Delta lx6 := \mathrm{sqrt}\left((x - x6)^2 + (y - y6)^2\right); \Delta lx7 := \mathrm{sqrt}\left((x - x7)^2 + (y - y7)^2\right); \Delta lx8 := \mathrm{sqrt}\left((x - x8)^2 + (y - y8)^2\right); \Delta lx9 := \mathrm{sqrt}\left((x - x9)^2 + (y - y9)^2\right); \Delta lx10 := \mathrm{sqrt}\left((x - x10)^2 + (y - y10)^2\right); \Delta lx11 := \mathrm{sqrt}\left((x - x11)^2 + (y - y11)^2\right); \Delta lx12 := \mathrm{sqrt}\left((x - x12)^2 + (y - y12)^2\right); \Delta lx13 := \mathrm{sqrt}\left((x - x13)^2 + (y - y13)^2\right); \Delta lx14 := \mathrm{sqrt}\left((x - x14)^2 + (y - y14)^2\right); \Delta lx15 := \mathrm{sqrt}\left((x - x15)^2 + (y - y15)^2\right); \Delta lx16 := \mathrm{sqrt}\left((x - x16)^2 + (y - y16)^2\right); \Delta lx17 := \mathrm{sqrt}\left((x - x17)^2 + (y - y17)^2\right); \Delta lx18 := \mathrm{sqrt}\left((x - x18)^2 + (y - y18)^2\right); \Delta lx19 := \mathrm{sqrt}\left((x - x19)^2 + (y - y19)^2\right); \Delta lx20 := \mathrm{sqrt}\left((x - x20)^2 + (y - y20)^2\right); l := \left(\Delta lx13 + l13\right) \cdot \mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx2 - \Delta lx1\right) \cdot \mathrm{Heaviside}\left(\Delta lx3 - \Delta lx1\right)$$

$$\begin{aligned}
&\text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx6 \\
&\quad - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx1) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx1) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx1) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx1) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx1) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx1) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx20 - \Delta lx1) + (\Delta lx2 \\
&\quad + l2)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx2)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx2) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx2)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx2) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx2)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx2) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx2)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx2) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx2)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx2) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx2)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx2) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx1)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx2) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx2)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx2) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx2)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx2) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx20 - \Delta lx2) + (\Delta lx18 + l18)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx2 \\
&\quad - \Delta lx3)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx3)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx3) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx3)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx3) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx3)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx3) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx3)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx3) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx3)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx3) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx3)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx3) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx3)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx3) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx3)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx3) \\
&\quad\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx3)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx20 - \Delta lx3) +
\end{aligned}$$

$$+ (\Delta lx15 + l15)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx4)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx4)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx4)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx4)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx4)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx4)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx4)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx4)\cdot$$

$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx4)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx4)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx4)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx4)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx4)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx4)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx4)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx4)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx4)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx4)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx20 - \Delta lx4) + (\Delta lx17 + l17)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx1$$
$$- \Delta lx5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx5)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx5)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx5)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx5)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx5)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx5)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx5)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx5)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx20 - \Delta lx5) + (\Delta lx5$$
$$+ l5)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx6)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx6)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx6)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx6)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx6)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx6)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx6)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx6)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx6)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx6)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx6)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx6)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx6)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx6)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx6)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx6)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx6)\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx6)$$
$$\cdot\text{Heaviside}(\Delta lx20 - \Delta lx6) +$$

$$+\left(\Delta lx6+l6\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx1-\Delta lx7\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx2-\Delta lx7\right)$$
$$\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx3-\Delta lx7\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx4-\Delta lx7\right)$$
$$\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx5-\Delta lx7\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx6-\Delta lx7\right)$$
$$\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx8-\Delta lx7\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx9-\Delta lx7\right)$$
$$\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx10-\Delta lx7\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx11-\Delta lx7\right)\cdot$$

$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx7) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx7)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx20 - \Delta lx7) + (\Delta lx11 + l11) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1$$
$$- \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx8)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx8) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx20 - \Delta lx8) + (\Delta lx10$$
$$+ l10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx9) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx9)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx9) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx9)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx9) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx9)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx9) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx9)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx9) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx9)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx9) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx9)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx9) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx9)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx9) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx9)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx9) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx9)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx20 - \Delta lx9) + (\Delta lx16 + l16) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2$$
$$- \Delta lx10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx10)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx10)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx10)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx10)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx10)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx10)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx10)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx10)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx10) \cdot \text{Heaviside}(\Delta lx20 - \Delta lx10) +$$

$$
\begin{aligned}
&+ aviside\left(\Delta lx4 - \Delta lx12\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx5 - \Delta lx12\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx6 - \Delta lx12\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx7 - \Delta lx12\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx8 - \Delta lx12\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx9 - \Delta lx12\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx10 - \Delta lx12\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx11 - \Delta lx12\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx1 - \Delta lx12\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx13 - \Delta lx12\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx14 - \Delta lx12\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx15 - \Delta lx12\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx16 - \Delta lx12\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx17 - \Delta lx12\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx18 - \Delta lx12\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx19 - \Delta lx12\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx20 - \Delta lx12\right) + \left(\Delta lx9 + l9\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx2\right.\\
&\quad\left. - \Delta lx13\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx3 - \Delta lx13\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx4 - \Delta lx13\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx5 - \Delta lx13\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx6 - \Delta lx13\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx7 - \Delta lx13\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx8 - \Delta lx13\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx9 - \Delta lx13\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx1 - \Delta lx13\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx10 - \Delta lx13\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx11 - \Delta lx13\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx12 - \Delta lx13\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx14 - \Delta lx13\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx15 - \Delta lx13\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx16 - \Delta lx13\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx17 - \Delta lx13\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx18 - \Delta lx13\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx19 - \Delta lx13\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx20 - \Delta lx13\right) + \left(\Delta lx2\right.\\
&\quad\left. + l2\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx2 - \Delta lx14\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx3 - \Delta lx14\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx4 - \Delta lx14\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx5 - \Delta lx14\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx6 - \Delta lx14\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx7 - \Delta lx14\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx8 - \Delta lx14\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx9 - \Delta lx14\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx1 - \Delta lx14\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx10 - \Delta lx14\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx11 - \Delta lx14\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx12 - \Delta lx14\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx13 - \Delta lx14\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx15 - \Delta lx14\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx16 - \Delta lx14\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx17 - \Delta lx14\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx18 - \Delta lx14\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx19 - \Delta lx14\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx20 - \Delta lx14\right) + \left(\Delta lx14 + l14\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx2\right.\\
&\quad\left. - \Delta lx15\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx3 - \Delta lx15\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx4 - \Delta lx15\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx5 - \Delta lx15\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx6 - \Delta lx15\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx7 - \Delta lx15\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx8 - \Delta lx15\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx9 - \Delta lx15\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx10 - \Delta lx15\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx11 - \Delta lx15\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx12 - \Delta lx15\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx13 - \Delta lx15\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx14 - \Delta lx15\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx1 - \Delta lx15\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx16 - \Delta lx15\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx17 - \Delta lx15\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx18 - \Delta lx15\right)\\
&\quad\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx19 - \Delta lx15\right)\cdot\text{Heaviside}\left(\Delta lx20 - \Delta lx15\right) +
\end{aligned}
$$

$$+ \left(\Delta lx12 + l12\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx2 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx3 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx4 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx5 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx6 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx7 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx8 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx9 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx10 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx11 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx12 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx13 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx14 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx15 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx1 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx17 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx18 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx19 - \Delta lx16\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx20 - \Delta lx16\right) + \left(\Delta lx4 + l4\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx2 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx3 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx4 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx5 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx6 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx7 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx8 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx9 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx10 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx11 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx12 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx13 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx14 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx15 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx16 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx1 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx18 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx19 - \Delta lx17\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx20 - \Delta lx17\right) + \left(\Delta lx20 + l20\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx2 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx3 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx4 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx5 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx6 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx7 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx8 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx9 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx10 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx11 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx12 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx13 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx14 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx15 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx16 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx17 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx1 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx19 - \Delta lx18\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx20 - \Delta lx18\right) + \left(\Delta lx3 + l3\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx2 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx3 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx4 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx5 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx6 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx7 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx8 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx9 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx10 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx11 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx12 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx13 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx14 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx15 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx16 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx17 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx18 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx1 - \Delta lx19\right) \cdot \text{Heaviside}\left(\Delta lx20 - \Delta lx19\right) +$$

$$+ (\Delta lx1 + l1)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx2 - \Delta lx20)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx3 - \Delta lx20)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx4 - \Delta lx20)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx5 - \Delta lx20)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx6 - \Delta lx20)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx7 - \Delta lx20)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx8 - \Delta lx20)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx9 - \Delta lx20)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx10 - \Delta lx20)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx11 - \Delta lx20)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx12 - \Delta lx20)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx13 - \Delta lx20)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx14 - \Delta lx20)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx15 - \Delta lx20)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx16 - \Delta lx20)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx17 - \Delta lx20)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx18 - \Delta lx20)\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx1 - \Delta lx20)$$
$$\cdot \text{Heaviside}(\Delta lx19 - \Delta lx20);$$

$$with(plots) : contourplot3d(\{R\}, x = -1500..1500, y = -800..800, grid = [25, 25], contours = [0.25, 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60], filled = true, axes = boxed, orientation = [-90, 0], coloring = [white, black]);$$

02 липня 2018 р.

