

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

на правах рукопису



ОСТРОУХ ОКСАНА АНАТОЛІЇВНА

УДК 556.3 (504. 528.9)

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ЗМІН ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ҐРУНТОВИХ
ВОД ЧОП-МУКАЧІВСЬКОГО БАСЕЙНУ**

Спеціальність – 04.00.06 – Гідрогеологія

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Науковий керівник:

кандидат геологічних наук, доцент

Чомко Дмитро Федорович

Харків-2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. Геологічні і гідрогеологічні умови формування хімічного складу ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну	9
1.1. Аналіз стану вивчення гідрогеодинамічних і гідрогеохімічних умов ґрунтових вод	9
1.2. Характеристика природних умов території дослідження.....	12
1.3. Геологічна будова.....	20
1.3.1. Стратиграфія і літологія.....	20
1.3.2. Вулканічні утворення.....	29
1.3.3. Тектоніка.....	35
1.4. Гідрогеологічна характеристика ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну.....	40
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1.....	46
РОЗДІЛ 2. Регіональні закономірності змін хімічного складу ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну	48
2.1. Методи обробки гідрогеологічної інформації на базі традиційних та ГІС-технологій.....	48
2.1.1. Загальна технологічна схема обробки гідрогеологічної інформації на базі геоінформаційних систем.....	57
2.1.2. Алгоритм обробки гідрогеохімічних даних.....	62
2.2. Математико-картографічне дослідження змін гідрогеохімічних умов ґрунтового водоносного горизонту за багаторічний період експлуатації.....	81
2.2.1. Статистична обробка і аналіз даних.....	81
2.2.2. Моделювання просторово-часових змін хімічного складу...	91
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2.....	100

РОЗДІЛ 3. Фактори формування хімічного складу ґрунтових вод території дослідження	104
3.1. Особливості природних і антропогенних факторів формування хімічного складу ґрунтових вод	104
3.2. Дослідження умов формування хімічного складу ґрунтових вод.....	111
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3.....	112
РОЗДІЛ 4. Вивчення природних умов захищеності ґрунтового водоносного горизонту від забруднення	115
4.1. Методика якісної оцінки умов захищеності та її удосконалення на основі ГІС.....	115
4.2. Просторова оцінка природних умов захищеності ґрунтового водоносного горизонту.....	117
4.3. Комплексний аналіз динаміки гідрогеохімічної обстановки ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну.....	121
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4.....	125
ВИСНОВКИ.....	127
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	129
ДОДАТКИ.....	142

ВСТУП

Актуальність теми. Основні резерви прісних підземних вод Закарпатської області зосереджені у ґрунтовому водоносному горизонті, приуроченому до алювіальних відкладів минайського віку, які займають близько 80% території Чоп-Мукачівської западини. Ґрунтові води експлуатуються численними водозаборами та свердловинами і широко використовуються для питного водопостачання населення, промислових та сільськогосподарських підприємств. Видобуток значних об'ємів води нами розглядається як техногенний фактор, що сприяє не лише зміні гідрогеологічних характеристик ґрунтового водоносного горизонту, а й призводить до зміни хімічного складу води.

Актуальність теми дисертаційної роботи обумовлена тим, що в умовах інтенсивного антропогенного навантаження та дефіциту чистих питних вод набуває великого значення проблема оцінки еколого-гідрогеохімічного стану ґрунтових вод і виявлення його просторово-часових змін. Основою такої оцінки є: вивчення з використанням ГІС-технологій загальних гідрогеохімічних особливостей ґрунтових вод, встановлення закономірностей формування їх хімічного складу і дослідження захищеності від забруднення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дослідження є частиною науково-дослідної роботи кафедри гідрогеології та інженерної геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка за № 11БФ049-02 «Розробка теорії та методології побудови динамічних геолого-геофізичних моделей геологічних об'єктів і процесів» (№ державної реєстрації 0111U006457).

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є кількісна оцінка просторово-часових закономірностей змін хімічного складу ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну за багаторічний період експлуатації на основі геоінформаційного аналізу і моделювання в ГІС.

Для досягнення поставленої мети у дисертації для Чоп-Мукачівського басейну вирішувались такі завдання:

- дослідити сучасний стан вивченості та встановити регіональні закономірності розповсюдження різного хімічного складу ґрунтових вод;
- встановити фактори формування хімічного складу ґрунтових вод;
- виконати якісну оцінку природної захищеності ґрунтового водоносного горизонту;
- удосконалити методику обробки вихідних гідрогеологічних даних на базі геоінформаційних технологій.

Об’єктом дослідження є ґрунтовий водоносний горизонт Чоп-Мукачівського басейну.

Предметом дослідження є закономірності формування хімічного складу ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну.

Фактичний матеріал. В основу дисертаційної роботи покладені матеріали, зібрані і проаналізовані здобувачем за період навчання в аспірантурі з 2010 по 2013 рр. Автором використано понад 1,5 тис. хімічних аналізів проб води із 205 свердловин, які експлуатують ґрунтовий водоносний горизонт в Чоп-Мукачівському басейні. Фактичний матеріал включає результати лабораторних досліджень хімічного складу ґрунтових вод, виконаних в період 1965-2015 рр., в хімлабораторії Берегівської геологорозвідувальної експедиції ДП «Західукргеологія».

Методи дослідження – аналіз і узагальнення фондових і опублікованих матеріалів з використанням математико-статистичних, геоінформаційних методів вивчення ґрунтових вод. При виконанні дисертаційної роботи автор спиралася на теоретичні положення та прикладні розробки вітчизняних та зарубіжних вчених у сфері геохімії підземних вод, оцінки захищеності підземних вод від забруднення, організації та ведення моніторингу, математичної статистики, моделювання і використання ГІС-технологій.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

Для Чоп-Мукачівського басейну:

1. Вперше з використанням ГІС-технологій встановлено регіональні закономірності змін хімічного складу підземних вод ґрунтового водоносного горизонту.

2. Встановлено фактори формування хімічного складу ґрунтових вод, на якість яких крім природних чинників (умови живлення і їх транзиту, перетікання мінералізованих вод через тектонічні розломи), впливають і антропогенні фактори.

3. Вперше з використанням засобів ГІС виконано якісну оцінку природної захищеності ґрунтового водоносного горизонту від забруднення. Виділені умовно захищені та незахищені ділянки цього горизонту. Встановлено, що до перших ділянок приурочені ґрунтові води без помітних змін, а до других – із значними змінами хімічного складу.

4. Дістала подальшого удосконалення методика якісної оцінки умов природної захищеності ґрунтових вод В. М. Гольдберга шляхом застосування засобів ГІС-технологій. Розроблено алгоритм обробки гідрогеологічних даних, що дозволило провести аналіз просторово-часових закономірностей змін хімічного складу ґрунтових вод в цьому басейні.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати оцінки змін хімічного складу ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну можуть використовуватись для удосконалення моніторингових досліджень якості питних вод, вирішення задач режимного моніторингу, оптимізації використання водних ресурсів. Проведені заходи дадуть можливість мінімізувати негативний вплив джерел забруднення на якість ґрунтових вод.

Впровадження одержаних результатів. Практичні результати та науково-методичні розробки, що містяться в дисертації, використовуються у виробничій діяльності ДП НАК «Надра України» «Західукргеологія», зокрема при виконанні досліджень «Моніторинг підземних вод на території Закарпатської області» (довідка про впровадження № 05/1-1773/05/1 від 29.09.2015 р.).

Матеріали дисертаційної роботи увійшли до науково-технічного звіту КНУ імені Тараса Шевченка за 2011 р. «Розробка теорії та методології побудови динамічних геолого-геофізичних моделей геологічних об'єктів і процесів» за держбюджетною темою № 11БФ049-02 (№ державної реєстрації 0111U006457).

Окремі положення дисертаційної роботи використовуються на кафедрі гідрогеології та інженерної геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка при викладанні лекційного курсу «ГІС в геології».

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно визначено мету і завдання дослідження, зібрано, систематизовано і оброблено фактичний матеріал для геоінформаційної бази даних хімічного складу проб ґрунтових вод по 205 свердловинах, на основі якої побудовано серію електронних карт. Автором, удосконалено і апробовано методику просторово-часових змін хімічного складу ґрунтових вод, проведено аналіз і узагальнення результатів дослідження. Основні результати і висновки, що викладені в дисертації, отримані і обґрунтовані автором особисто.

Апробація результатів дисертації. Головні положення та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та були опубліковані в матеріалах наукових конференцій: VII Міжнародній науковій конференції «Географія, геоекологія, геологія: досвід наукових досліджень» (м. Дніпропетровськ, 2010 р.); X Міжнародній конференції «Моніторинг геологічних процесів та екологічного стану середовища» (м. Київ, 2012 р.); X Міжнародній науково-практичній конференції «Шевченківська весна» (м. Київ, 2012 р.); IV Всеукраїнській молодіжній конференції-школі «Сучасні проблеми геологічних наук» (м. Київ, 2012 р.); V Міжнародній науковій конференції «Экологические проблемы недропользования. Наука и образование» (г. Санкт-Петербург, Россия, 2012 г.); I науковій конференції «Проблеми гідрогеології на сучасному етапі» (м. Харків, 2014 р.); Науково-практичній конференції «Актуальные вопросы наук о земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств» (г. Гомель,

Беларусь, 2016 г.); на засіданні кафедри гідрогеології та інженерної геології і Вченої ради геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка (2010–2015 рр.); на розширеному засіданні кафедри гідрогеології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна (2016 р.).

Публікації. Результати дисертаційних досліджень опубліковано у 14 наукових працях загальним обсягом 4,4 д.а. (з них 3,9 д.а. належать особисто автору) – 7 статей у фахових виданнях, в тому числі 1 стаття за кордоном та 7 матеріалів і тез доповідей на наукових конференціях (у тому числі міжнародних).

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Зміст дисертації викладений на 152 сторінках тексту (основна частина на 128 сторінках), включає 37 рисунків, 8 таблиць, 10 додатків. Перелік використаних джерел налічує 123 найменувань, з них іноземних авторів – 56.

Автор висловлює щиру подяку науковому керівнику кандидату геологічних наук, доктору філософії, доценту Чомку Д. Ф. за постійну допомогу і підтримку при виконанні роботи. Автор дякує завідувачу кафедри гідрогеології та інженерної геології проф. Кошлякову О. Є., проф. Терещенку В. О. та доц. Чомку Ф.В. за корисні поради.

РОЗДІЛ 1

Геологічні і гідрогеологічні умови формування хімічного складу грунтових вод Чоп-Мукачівського басейну

1.1. Аналіз стану вивчення гідрогеодинамічних і гідрогеохімічних умов грунтових вод

Основні резерви прісних підземних вод Закарпатської області зосереджені у ґрунтовому водоносному горизонті, приуроченому до алювіальних відкладів минайського віку, які займають близько 80% території Чоп-Мукачівської западини.

Геологічну будову вивчали українські та зарубіжні геологи і гідрогеологи. Результати цих досліджень знайшли своє відображення в публікаціях: С. Л. Рудницького (1925), Ф. А. Руденка (1972), Г. Н. Доленка (1976), К. І. Геренчука (1981), О. М. Адаменка (1987).

Великий внесок у вивчення гідрогеологічних умов, хімічного складу вод ґрунтового водоносного горизонту цього басейну внесли Н. Й. Радько (1975), С. Р. Фролова (1977). Регіональні закономірності формування хімічного складу ґрунтових вод в різний час вивчали такі дослідники: А. А. Бабинець (1948), О. Штогрін та К. Гавриленко (1969) та ін. На сучасному етапі підземні води для потреб водопостачання вивчаються Р. Жарніковою (2002, 2008), В. Петриком і І. Сашенко (2007) та ін.

Методика якісної оцінки природної захищеності ґрунтових вод в межах Чоп-Мукачівського басейну висвітлювалася в роботах: В. М. Гольдберга (1987), В. Н. Петрика і В. А. Ратушного (1990).

Методику обробки вихідних гідрогеологічних даних на базі геоінформаційних технологій висвітлено в роботах таких авторів: С. А. Рубана і М. А. Шинкаревського (2005), О. Є. Кошлякова (2011).

Оцінці просторово-часових закономірностей змін хімічного складу ґрунтових вод із застосуванням статистичного аналізу, картографічного

моделювання та просторового аналізу в ГІС присвячені праці М. С. Огняника (1985), В. М. Шестопалова (2007), І. В. Саніної (2013).

Моніторингові спостереження за станом ґрунтових вод в межах території дослідження проводяться починаючи з 1965 року Закарпатською геологорозвідувальною експедицією [29]. За своїм призначенням мережа спостережних пунктів підрозділяється на регіональну (опорну) і спеціальну. Регіональна мережа призначена для проведення довгострокової програми дослідження природного чи слабо порушеного режиму підземних вод основних водоносних горизонтів. Сформовану інформаційну базу моніторингу підземних вод складає спеціальна мережа спостережних пунктів, що призначена вирішувати конкретні завдання в умовах порушеного та слабо порушеного режиму, який виникає під впливом антропогенних процесів, меліорації земель та їх сільськогосподарського освоєння. Роботи фахівців ЗГРЕ узагальнені (в основному за п'ятирічку) в численних звітах [29-36] по вивченню режиму, держобліку, використанню і контролю за охороною підземних вод від виснаження і забруднення. Державний облік підземних вод проводиться в межах ділянки дослідження з 1995 року. Ведення Державного водного кадастру полягає в підготовці матеріалів для створення інформаційної бази Автоматична Інформаційна Система Державного Водного Кадастру.

Найбільш ранні звіти по режимним спостереженням ґрунтових вод в межах Чоп-Мукачівського басейну датуються 1965 роком, адже це період введення в експлуатацію більшості водозаборів, затвердження запасів підземних вод та схеми їх експлуатації. На той час існувало всього два спостережних пости Львівської гідрогеологічної станції, що були організовані з метою вивчення впливу експлуатації на режим алювіального водоносного горизонту. Дослідження, а тим більше, прогнозування режиму підземних вод проводилися на слабкому, недосконалому рівні. Період інтенсивного розвитку режимної спостережної мережі території дослідження припадає на 70-80-ті роки минулого століття. В цей період пункти спостережень за режимом підземних вод періодично удосконалюються, відбувається їх реорганізація

(одні водопункти включаються, інші вилучаються). Значну роботу по узагальненню і систематизації матеріалів режимних спостережень підземних вод провів В.Н. Петрик (1978, 1979, 1981, 1986) [30]. З метою оцінки екологічного стану середовища на початку 90-х років Черепаня Й.Й. [31] проводить гідрогеохімічні зйомки різних ділянок території (м. Мукачеве, м. Берегове, м. Виноградів, смт. Батьово). У 1989 році на основі матеріалів геологічних, геоморфологічних зйомок, пошуково-розвідувальних робіт на прісні води видана карта природної захищеності підземних вод масштабу 1: 200 000 [32], яка відображає стан ґрунтових вод в адміністративних границях Закарпатської області.

За останні два десятиріччя, у зв'язку з неритмічним та недостатнім фінансуванням робіт даного напрямку (в першу чергу на ремонт свердловин) режимна спостережна мережа як загалом України, так і, зокрема, даної території зазнала відчутних негативних змін. Частина пунктів режимної мережі була скорочена і за тривалий період частково знищена. Більша частина свердловин вийшла з ладу. Основним фактором виходу з ладу свердловин є їх замулення при катастрофічних паводках у 1998 та 2001 роках. Істотним фактором руйнування джерел є активізація екзогенних процесів, які поширені на території. Так, спостереження за режимом підземних вод в 2002 році і на початку 2003 року практично не проводилися із-за відсутності фінансування, тому через недостатню кількість даних аналіз режиму підземних вод в ці роки неможливо відобразити [35].

Станом на початок 2006 р. водоносний горизонт алювіальних відкладів минайського віку, охоплюється 41 точкою спостережних водопунктів: по природному режиму – 12; по порушеному режиму – 29. Свердловини по порушеному режиму розташовані на ділянках впливу діючих водозаборів – „Минай” (Ужгородське родовище), „Ключарський” (Мукачівське родовище), „Геча” (Берегівське родовище), „Виноградівський” (Виноградівське родовище) та меліоративних систем (Сальвинська, Батарська, Бактинська). Глибинність вивчення вод по свердловинах для алювіального водоносного горизонту

становить 50-60 м. Польові режимні спостереження включають: вимірювання глибини залягання ґрунтових вод, їх температури, відбір проб на лабораторний аналіз. Хімічний склад ґрунтових вод вищевказаного водоносного горизонту досліджується акредитованою лабораторією Закарпатської геологорозвідувальної експедиції. У відібраних пробах визначається вміст основних макро- та мікрокомпонентів, загальної мінералізації та жорсткості, азотистих сполук (нітрати, нітрити, амоній), заліза, марганцю. Дослідження по спостережній мережі проводяться згідно з нормативним документом „Система моніторингу підземних вод України. Державний рівень.” (Дніпропетровськ, 2002) [90].

Слід зазначити, що дослідження змін хімічного складу ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну проводилися на локальних ділянках або на окремих водозабірних спорудах за відносно короткий проміжок часу. Такі дослідження не давали змоги отримати цілісну картину змін хімічного складу ґрунтових вод як за площею, так і у часі. В сучасних умовах, існує нагальна потреба у комплексному підході до оцінки стану ресурсів і хімічного складу ґрунтових вод басейну, використовуючи ГІС-технології. Вирішенню поставленої задачі присвячена дана робота.

1.2. Характеристика природних умов території дослідження

Дослідження природних умов формування хімічного складу ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну, яке в адміністративному плані відноситься до території південно-західної частини Закарпатської області, проводились у контексті вивчення природи Закарпатської області [86]. Оглядова карта району дослідження подана в додатку А.

Регіон що вивчається, є найбільш густонаселеним, охоплює територію п'яти адміністративних районів (Ужгородський, Мукачівський, Берегівський, Виноградівський, Іршавський), включаючи обласний центр м. Ужгород та

міста обласного підпорядкування – Мукачеве, Берегове, Чоп. Площа території дослідження становить близько 2140 км², і в західній частині обмежується державним кордоном, а на сході – межею розповсюдження ґрунтового водоносного горизонту минайського віку.

На формування хімічного складу ґрунтових вод алювіальних відкладів в межах Чоп-Мукачівського басейну впливають як природні так і антропогенні фактори. Із природних факторів головними визначаючими є: фізико-географічні (клімат, гідрографія, геоморфологія), геологічні (літологія і стратиграфія, вулканічні утворення, тектонічна будова), гідрогеологічні умови.

Клімат

Говорячи про кліматичні фактори досліджуваної території, треба вказати на роль Карпат, які вносять місцеві зміни в кліматичні процеси: затримують рух повітряних мас, призводять до значного прогріву повітря літом і охолодження його зимою. Гірська і рівнинна частина Закарпатської області (до якої входить територія досліджень) мають неоднакові кліматичні умови. Температури в горах і на низовині різні. На клімат впливають і вітри. Загальна та місцева циркуляції взаємодіють, накладаючись одна на одну, створюють досить строкатий режим напрямків вітру (протягом доби спостерігаються зміни вітру на протилежні напрямки). Швидкість вітру в Закарпатті порівняно невелика, що пояснюється характером рельєфу [39]. Важливе значення у формуванні клімату має характер поверхні: рельєф, гідрографія, ґрунтовий і рослинний покриви тощо. Особливу роль у формуванні клімату відіграють Карпати. Гірські хребти захищають південно-західну частину Закарпаття з північного сходу від проникнення арктичних повітряних мас. Ось чому температура повітря у цьому регіоні протягом холодної половини року вища, ніж у Передкарпатті. Карпати зумовлюють виникнення орографічних циклонів. Гірські хребти сприяють посиленню конвекції, особливо влітку. В результаті над горами створюються умови, при яких переміщення фронтів, паралельних осі хребта, супроводжується інтенсивними зливовими дощами,

бурями, що викликають паводки, селі. Середньорічна температура повітря за багаторічний період дорівнює $9,45^{\circ}\text{C}$. Територія, що вивчається, знаходиться в області надмірного і достатнього зволоження. Середньорічна кількість опадів за спостереженнями останніх 5 років склала 802 мм [35].

Гідрографія

Гідрографічну сітку території, що вивчається утворюють близько 20 рік і велика кількість потоків. Всі вони несуть свої води в Тису і характеризуються порівняно значними спадами русел. Ріки, прорізуючи гірські хребти, швидко котять свої води у глибоких мальовничих долинах. При виході на низовину течія рік сповільнюється, вони набувають рівнинного характеру з блукаючими руслами, стрімкими берегами, дуже мало розвиненими заплавами.

Гідрографія визначається головними водотоками району дослідження – річками *Латориця, Уж, Боржава, Тиса*.

Річка *Уж*, що знаходиться в північній частині території дослідження, є правою притокою Тиси, починається біля підніжжя Вододільного хребта, має два витoki (Уж і Ужок), які беруть початок відповідно на висотах 1250 і 1000 м нижче рівня моря. Протікаючи поблизу державного кордону, Уж нижче Ужгорода перетинає державний кордон зі Словаччиною, на території якої впадає в р. Лаборець – праву притоку Латориці. Біля Ужгорода річка повертає на захід. Тут гори розходяться, долина розширюється до 2-3 км, Уж виходить на Закарпатську низовину і покидає територію області [86].

Латориця, яка перетинає центральну частину ділянки дослідження, бере початок на схилі Вододільного хребта поблизу Верецького перевалу на висоті 800 м над рівнем моря і витікає за межі області на територію Словаччини, де впадає з лівого берега в р. Бодрог – правобережну притоку Тиси. Нижче м. Мукачеве Латориця виходить на Закарпатську низовину, в межах області тече в західному напрямі. Русло її звивисте, замулене, непостійне, з широкою заплавою і старицями, ширина його в межень досягає 80 м. Швидкість сповільнюється і становить 0,4...0,6 м/с.

На території, що описується, ріка знаходиться у своїй середній течії і змінює свій характер з типово гірської на рівнинний. Максимум витрат води в річці припадає на весняний та осінньо-зимовий періоди, які можуть бути катастрофічними, особливо за межами русла, що обваловане дамбами. Свідченням цього є паводки 1998 та 2001 рр [34].

Боржава бере початок на південно-західному схилі полонини Боржава, розміщеної на Полонинському хребті. Довжина річки – 106 км, площа водозбору 1360 км². Вона має гірський характер тільки у верхній частині до с. Довге, де тече по гірській V-подібній долині у південному напрямі. Швидкість течії у межень 0,6...1,2 м/с, середні витрати 10,1 м³ /с (с. Довге). Нижче с. Довге Боржава повертає на південний захід, перетинає невисокий хребет Вулканічних гір і виходить на Закарпатську низовину, де приймає найбільшу правобережну притоку Іршаву. Далі річка зберігає південно-західний напрям і біля с. Вари на кордоні з Угорщиною впадає в Тису.

Найбільшою головною водною артерією південної частини території дослідження є річка *Тиса*, яка утворюється від злиття Чорної та Білої Тиси 4 км вище м. Рахів. За водністю серед карпатських річок вона поступається тільки Дністру. Від місця утворення і до державного кордону Тиса тече у південно-західному напрямі по вузькій долині, стиснутій високими стрімкими схилами. На державному кордоні річка повертає на захід. До смт. Великий Бичків вона зберігає гірський характер [86]. На цій ділянці з румунської території в неї впадає притока Вішеу. Тиса зберігає західний напрям до м. Тячів, після нього змінює його на північно-західний і так прямує аж до м. Хуст. На цій ділянці вона приймає ряд приток: з лівого берега – річку Іза, з правого – річки Косівська, Шопурка, Апшиця, Тересва, Теребля та Ріка. Нижче м. Виноградове Тиса тече по Закарпатській низовині, де набуває рис рівнинної річки з незначним падінням (0,4...0,8 м/км). Ширина заплави 200...400 м, найбільша 2 км. Для того, щоб захистити населені пункти і родючі землі від затоплення вздовж ріки від с. Велика Копаня споруджені водозахисні дамби висотою 2-4 м. Живлення Тиси відбувається за рахунок, талих, дощових і ґрунтових вод. На

території Закарпатської низовини створена мережа каналів в основному меліоративного призначення, яка істотно змінила гідрографію місцевості.

Геоморфологія

У геоморфологічному відношенні територія досліджень відноситься до Чоп-Мукачівської ділянки Закарпатської низовини, що простягається на південь від смуги передгір'їв у напрямі до ріки Тиси. Північна її межа починається від міста Ужгорода і хвилястою лінією проходить на схід через населені пункти: Середнє, Мукачеве, Станове, Сільце, Рокосів. Вздовж цієї лінії низовина по долинах рік заходить окремими довгими пасмами у передгір'я [82].

Закарпатська низовина розміщена у південно-західній частині Закарпатської області і займає площу біля 2 тис. км². У західній частині вона має найбільшу ширину, яка в напрямі на південний схід поступово звужується. Більша частина низовини розміщена вздовж правого берега ріки Тиси, і лише невелика її частина лежить на лівому березі. Поверхня низовини в основному рівнинна, хоч і порушується неглибокими плоскими, часто ледве помітними зниженнями. Низовина поступово підноситься з півдня на північ. В напрямі до передгір'їв висоти досягають 133 м. Одноманітність рівнинного рельєфу порушується в окремих місцях острівними горами і пагорбами (Берегівська пагорбкуватість, гори Запсон, Саланк, Чорна), що підносяться над пласкою рівниною від 60-80 до 250 м. Закарпатська низовина являє собою другу надзаплавну терасу ріки Тиси та її багаточисленних приток, з яких найбільшими є Уж, Латориця, Боржава з Іршавою. Місцями рівнина заболочена (найбільш велике болото Чорний Мочар розташоване між м. Мукачеве і м. Берегове).

Закарпатська низовина характеризується поширенням неогенових пісковиків, які лежать в основі четвертинних відкладів [88]. На розмитій поверхні пісковиків знаходиться товща давнього алювію, який в нижніх

горизонтах складається з гальки або піску, а у верхніх – з важкого піскуватого суглинку.

Територія Чоп-Мукачівської ділянки Закарпатської низовини поділяється на два райони:

а) *район низькогірного рельєфу;*

б) *район алювіальної рівнини;*

Район низькогірного рельєфу поділяється на два підрайони, що різняться генезисом, історією формування, морфологією форм. Це власне сам підрайон низькогірного акумулятивного рельєфу та підрайон передгірських терас. Як перший, так і другий підрайони поширені на півночі і сході території і займають по площі біля 20%.

Підрайон низькогірного акумулятивного рельєфу Вигорлат-Гутинського пасма (ВГП) охоплює площі виходу на поверхню неогенових вулканітів. Морфологія пасма зумовлена багатофазністю акумулятивної вулканічної діяльності та довгим періодом ерозії і денудації первісних форм вулканоструктур. Найхарактернішою рисою пасма є його асиметрична будова: північні схили круті і короткі, південні – пологі та довгі. Тому найвищі вершини хребта розміщені в його північно-східній частині: Попрічний (1024 м), Анталівська Поляна (988 м), Маковиця (976 м), Дунавка (1018 м), Дехманів (1016 м). Це вулкани центрального типу, що зберегли характерну конусоподібну форму та чималі (400-450 м) відносні перевищення над навколишньою територією з класично вираженим радіальним малюнком гідросітки. Привершинні частини схилів центральних вулканів тут пологі, згладжені і є структурно-денудаційними поверхнями лавових потоків; площі акумуляції туфів також утворюють широкі вододільні поверхні на абсолютних висотах 400-650 м з перевищеннями до 200-450 м. На цьому фоні чітко вирізняються в рельєфі екструзивні куполи та шлакові конуси близької до ізометричної форми (до 0,3-2 км у поперечнику) [86].

Морфологія долин річок, що розчленовують ВГП, визначається літологією розмитих порід. Долини, закладені в масивних лавах, глибокі,

крутосхилі з V-подібним профілем, а в тугах – широкі, коритоподібні. В долинах річок Ужа, Латориці та їх притоків зустрічаються переважно тераси низького рангу. Найбільш розповсюджена перша надзаплавна тераса, ширина якої на виході з хребта досягає 2 – 4,5 км.

Загальними характерними рисами для даного типу рельєфу є:

- залежність форм рельєфу від літології рельєфоутворюючих порід;
- значна врізка долинно-балочної мережі і великі нахили русел;
- значна крутизна схилів (15° і більше) і їх випуклий характер;
- наявність тонкого чохла алювіально-делювіальних суглинків з частими виходами корінних порід серед них і повна відсутність четвертинного алювію.

Підрайон структурно-ерозійних та ерозійно-аккумулятивних передгірських терас широкою смугою (2-15 км) простягається уздовж південно-західного схилу ВГП. Ерозійні рівні тут зрізають ефузиви хребта, "прапасма", а також осадові породи, що зумовлює складні геоморфологічні і структурно-тектонічні умови. Рельєф низькогірний з сильно розвиненою яружно-балковою системою. Переважають ерозійні форми (останці широких площадок високих терас), в меншій мірі аккумулятивні (алювіальні тераси), ерозійно-денудаційні та вулканогенно-аккумулятивні [82].

Виділяють три ерозійні рівні, що відповідають IX, VIII та VII терасам. Уступи рівнів терас повернуті на південь. Рівні IX (360—420 м) і VIII терас (230—280 м) майже повністю ерозійні, дуже рідко на них виявлено окрему гальку або останці алювіальних терас з малопотужним шаром гравійно-галечникових відкладів (с. Бабичі, верхів'я р. Стара). Відносні перевищення 130—150 м. Найнижчим ерозійним рівнем тут є поверхня VII тераси, найбільш поширена між річками Боржава та Латориця, де вона на 20-80 м піднімається над Закарпатською низовиною. На захід від р. Латориці ця поверхня виключно алювіальна і складена гравійно-галечниковими відкладами. Площадки терас добре виражені на поверхні, горизонтальні, з чіткими уступами в бортах долин. Окрім високих, тут розвинені і низькі тераси в бортах усіх річок. Фрагменти III тераси з відносною висотою 20-30 м є ерозійно-аккумулятивні, а

II тераси (15-20 м) – акумулятивні і спостерігаються в формі вузьких смужок. Найширше розвинені алювіальні відклади I акумулятивної тераси заввишки 8-10 м. У районі м. Мукачева вона займає велику площу, але не має чіткого уступу і поступово зливається з низовиною.

Район Закарпатської алювіальної рівнини з островними структурно-ерозійними пагорбами займає південно-західну частину району від ВГП до державного кордону (17-33 км). Морфологічно це алювіальна рівнина на висотах 104-120 м, нахилена на захід. Річки рівнини (Тиса, Латориця, Уж та їх притоки) неглибоко (3-8 м) врізані в поверхню її. Заплава слабо або зовсім не виражена, русла дрібних річок часто заболочені.

На фоні рівнини чітко вирізняються островні височини, що сформувалися під час ерозійної обробки горст-антиклінальних структур (Берегівське узгір'я з максимальною висотою 369,8 м, Косинсько-Біганське узгір'я з висотами 206-280 м), екструзивних куполів і моновулканів (г. Шаланківський Гельмець - 367 м, Холмок - 301 м та ін.) [86].

Закладення рівнини пройшло в пізньонеогеновий-ранньочетвертинний час на гетерогенному фундаменті, формування продовжується і понині. Вона має просту будову. На слабкоскладчастому неогеновому фундаменті залягає потужна 30-100 м товща гравійно-гальково-валунних відкладів, що перекрита шаром глин, суглинків, пісків чопської світи потужністю 1-8 м. Характер відкладів світи говорить про порівняно спокійний тектонічний режим того часу, що сприяв накопиченню в основному озерно-болотних фракцій.

Генетично рівнина є першою надзапальною терасою р. Латориця. Це повністю пласка, одноманітна місцевість без видимого нахилу, монотонність поверхні якої порушується руслом р. Латориця, що врізане на глибину від 2-3 м на північному сході до 7-8 м на заході, низкою русел дрібних струмків, мережею меліоративних каналів, дорожніми насипами та дамбами.

1.3. Геологічна будова

1.3.1. Стратиграфія та літологія

Як зазначалося вище, район дослідження розташований в межах Чоп-Мукачівської ділянки Закарпатського неогенового прогину, в передгір'ї Вигорлат-Гутинського пасма.

У геологічній будові території дослідження приймають участь утворення двох структурних поверхів. Нижній поверх формує фундамент Закарпатського прогину і Складчасті Карпати, у якому розвинені інтенсивно дислоковані осадові, вулканогенні та метаморфічні породи палеозойського та мезозойського віку, що залягають на глибині більше 400 м, верхній – породами кайнозою [2]. Нижче подається коротка характеристика літологічних особливостей відкладів неогенового і четвертинного віку, які безпосередньо впливають на умови формування ґрунтових вод.

Неогенова система

Утворення неогену представлені осадовими і вулканогенними товщами, останні з яких зустрічаються в різних частинах розрізу.

Терешульська товща конгломератів (N_{1tr}) розвинена в підшві неогенових молас як їх базальний горизонт, що з регіональним кутовим неузгодженням перекриває породи фундаменту і з незначною стратиграфічною перервою перекривається відкладами новоселицької світи. Її складають строкаті поліміктові конгломерати, осадові брекчії з прошарками аргілітів, пісковиків та алевролітів, які місцями загіпсовані.

Породи товщі розкриті свердловинами на Берегівському піднятті на глибинах 590-3500м. Склад груботеригенного матеріалу товщі залежить від будови найближчого піднятого блоку фундаменту. На Берегівщині серед гальки переважає кварц, вапняки, доломіти, діабазы, яшми, спіліти, порфірити, кварцити. Цемент кремнисто-вапнистий, базальний, кількість гальки середнього ступеня обкатаності 40-70%, розмір її 1-15см. Під четвертинними

відкладами світа поширена тільки в долині р. Боржави. Потужність товщі від декількох до 260-500м.

Баденський регіоарус

Новоселицька світа (N_{1pv}) з незначною стратиграфічною перервою залягає на терешульській товщі і всюди згідно перекривається тереблінською світою. Порооди світи розкриті у всіх свердловинах Берегівського підняття, де часто картується як "нижні туфи", в районі Доброні, Залуза, Нижніх Реміт, Мукачева. Відсутні вони в західній частині западини в районі Чопського та Ужгородського підняття і під Вигорлат-Гутою [21].

Світа складена туфами ріодацитів, дацитів, ріолітів з прошарками туфітів, вапнистих аргілітів, кількість яких зростає в верхній частині розрізу. Туфи світлі, зелено-сірі, кристаловітрокластичні, пеліто-псефітові, на Берегівському піднятті нерідко агломератові. Загальна потужність світи 100-450м.

Тереблінська світа (N_{1tb}), як правило, нормально перекривається породами солотвинської світи. В складі світи в прогині переважають піщано-глинисті відклади з кам'яною сіллю, гіпсами, ангідритами, засолоненими аргілітами, алевролітами, рідше лінзами туфітів. На поверхні її складають темно-сірі, зелено-сірі аргіліти, алевроліти з рідкими прошарками дрібнозернистих пісковиків, рідше туфів кислого складу, туфітів та мергелів. Загальна потужність світи коливається від 0 до 150-450м, а в районі Поташні складає 55м.

Солотвинська світа (N_{1st}) наріщує безперервний стратиграфічний розріз бадену, згідно залягає на тереблінській і перекривається тересвинською світою. Ареал її розповсюдження аналогічний ареалу тереблінської світи, причому на значній площі в південно-західній частині западини вона картується разом з іншими відкладами бадену в складі "нижньої осадової товщі", або нерозчленованого тортону. Самостійно вона виділяється в границях Залузької антикліналі, де розкрита на глибинах 824-1855м. Відклади світи відсутні в центральній частині Чопського та Ужгородського підняття.

В складі світи переважають сірі та темно-сірі вапнисті аргіліти, алевроліти, дрібнозернисті пісковики, зустрічаються лінзи туфів кислого складу, туфіти.

Тересвинська світа (N_{1ts}) як самостійний стратиграфічний підрозділ виділяється лиш на ділянці Залуж, а на більшості території картується в складі товщі всього бадену або його верхньої частини. В центральній частині Ужгородського та Чопського піднять відклади світи відсутні [81].

На ділянці Залуж вони розкриті свердловинами на глибинах 494-1420м, де згідно перекривають солотвинську і перекриваються басхевською світою.

В складі світи переважають сірі, темно-сірі вапнисті глини з прошарками різнозернистих сірих слюдистих пісковиків, туфів кислого складу, рідко конгломератів. Потужність прошарків порід сантиметри - перші метри, туфів - до першого десятка метрів. Загальна потужність світи складає 330-660м.

Басхевська світа згідно залягає на тересвинській та перекривається доробратівською світою. Світу складають сірі вапнисті глини з прошарками різнозернистих пісковиків, алевролітів та лінзами конгломератів. Її закартовано на поверхні в районі Куклянського горсту на Берегівському піднятті і розкрито свердловинами на ділянці Залуж, в районі с. с. Гараздівка, Р. Комарівці, Вел. і Мал. Добронь – на глибинах від 431 до 1630м. На решті території вона об'єднується з розрізом всього бадену ("нижня осадова товща") або тільки з тересвинською світою. В центральній частині Чопського та Ужгородського піднять відклади світи відсутні. Потужність відкладів світи складає від 29-74м на ділянці Залуж до 260м в районі Мал. Доброні.

Тереблінська, солотвинська, тересвинська і басхевська світи нерозчленовані, або так звана "нижня осадова товща" виділяється в межах Берегівського підняття і складається з чорних вапнистих або кремнистих аргілітів з прошарками слюдистих поліміктових пісковиків, трьох-чотирьох прошарків ріолітових туфів та ксенотуфів потужністю 1-2 до 10м. Загальна потужність відкладів від 8 до 500м.

Сарматський регіоярус

Відклади ярусу широко розповсюджені в прогині, де нерідко картуються і на поверхні. Серед них виділяються утворення нижнього і середнього сармату [99].

Нижній сармат

Породи нижнього сармату об'єднані в доробратівську та луківську світи. Крім них, до нижнього сармату віднесені і синхронні вулканогенні породи, що складають відповідно два комплекси: великодобронський та баркасівський.

Доробратівська світа (N_{1db}) згідно перекриває відклади басхевської і згідно перекривається породами луківської світи. На поверхні вона закартована в центральній частині Залузької антикліналі, на Берегівському піднятті, а в свердловинах виділяється на всій території Закарпатського прогину.

Світа складена сірими слюдистими глинами (1-5м) з рідкими прошарками алевролітів, пісковиків, рідко туфами ріолітів, ріодацитів (5-15м) та туфітів. В деяких розрізах, крім того, в низах її появляються лінзи конгломератів. Загальна товщина світи тут складає 320-570м. Подібний характер відкладів світи зберігає переважно в опущених блоках прогину, причому відзначаються значні коливання загальної потужності (570-1000м) та глибин її залягання (700-2400м).

Луківська світа розповсюджена майже на всій території вивченої частини Закарпатського прогину. Відклади світи згідно залягають на доробратівській та перекриваються породами алмашської світи.

Її складають карбонатні глини з прошарками пісковиків, алевролітів, ріолітових туфів та туфітів, місцями зустрічаються лінзи бурого вугілля. Встановлена двочленна будова світи, причому нижня частина її переважно теригенна, а верхня - вулканогенно-теригенна. В районі с. М.Бігань та Іванівка в складі світи відзначаються лінзи германієносних лігнітів потужністю 0,1-3,5м. Загальна потужність світи 250-400м.

Середній сармат

В середньому сарматі виділяється алмашська світа та чомонинський вулканогенний комплекс. *Алмашська світа* (N_{1al}) закартована на крилах Залузької антикліналі, Берегівського та Великодоброньського піднять.

Відклади світи згідно залягають на породах луківської світи і на півдні місцями згідно перекриваються панонськими. Проте на більшій частині території в центральній та північній частинах Мукачівської западини вони з стратиграфічним або й з незначним кутовим неузгодженням перекриваються відкладами панону, дакію-румунію або й зовсім випадають з розрізу. Світа складена вапнистими сірими, темно-сірими глинами з прошарками пісковиків, алевролітів, вапняків, мергелів, туфів кислого складу, туфітів, зустрічаються лінзи лігнітів [81]. Описують чотири типи розрізів світи: піщано-глинистий та глинистий для прогнутих частин Мукачівської западини і вулканогенно-глинистий, вуглисто-вулканогенно-глинистий, що розвинені по периферії Берегівського, Великодоброньського та Чопського піднять. Ці фаціальні зміни супроводжуються і значною варіацією потужностей світи, яка для розрізів з мергелями, туфами та лігнітами на схилах піднять складає 60-80м і зростає для піщано-глинистих розрізів прогнутих частин депресії до 120-325м.

Панонський регіоярус

Ізівська світа (N_{1iz}). На більшій частині території дослідження відклади панону картуються нерозчленованими разом з понтськими, де з стратиграфічною перервою залягають на сарматських відкладах. Самостійно ізівська світа виділяється тільки в Виноградівському блоці, де згідно залягає на відкладах алмашської світи і згідно перекривається кошелівською світою понту. Світу складають сірі карбонатні глини з прошарками алевролітів, пісковиків, вапняків, мергелів, туфів кислого складу, туфітів та лігнітів загальною потужністю 90-300м.

Понтичний регіоярус

До ярусу відносяться осадові відклади кошелівської світи та їх вулканогенного аналогу – кучавського комплексу.

Кошелівська світа (N_{1ks}) виділена в самостійну стратиграфічну одиницю тільки в границях Виноградівського блоку, а на решті території картується об'єднаною з ізівською. Вона згідно залягає на ізівській світі і незгідно перекривається відкладами дакійського і румунського ярусів. Світу складають вапнисті глини сірі, темно-сірі, зеленуваті, бурі, фіалкові з прошарками пісковиків, лінзами конгломератів, бурого вугілля та туфів кислого, рідше середнього складу. Загальна товщина світи до 350м.

Панонський та понтичний регіояруси нерозчленовані

Ізівська та кошелівська світи нерозчленовані картуються на більшій частині вивченої території. Вони розвинені в опущених ділянках між підняттями (Берегівським, Великодоброньським) та Залузькою антикліналлю і на південь, південний схід від Берегівського підняття, але відсутні на захід від Великодоброньського розлому.

Для відкладів підрозділу характерна значна фаціальна мінливість. Виділяють звичайно два типи розрізу з поступовими переходами між ними: вугленосний осадово-вулканогенний та безвугільний теригенний. Перший тип розвинений вздовж південно-західного передгір'я Вигорлат-Гутинського пасма та на північно-східних схилах Берегівського підняття. Він складений строкатими глинами (0,7-36м), туфами ріолітів та андезитів (2-37м) з прошарками алевролітів (до 4,5м), пісковиків (0,1-3м), конгломератів (0,5-1,5м), туфітів, туфоаргілітів, туфопісковиків (0,2-8,8м), лінзами бурого вугілля (0,1-5,3м), кременів (до 0,1м), ракушняків (до 1м). В районі Малої Бігані відзначаються органогенні вапняки (до 3,5м). Потужність цього типу розрізів 210-290м.

Безвугільний теригенний тип розрізу розвинений в районі Великодоброньського підняття та у Виноградівському опущеному блоці. Тут переважають різноманітні вапнисті глини, рідше зустрічаються прошарки пісковиків та туфітів. Потужність їх у Виноградівському блоці 144-600м, на Великодоброньському піднятті не більше 60м [35].

Пліоценовий відділ

Дакійський і румунський регіояруси нерозчленовані

До відділу віднесені осадові відклади ільницької світи та вулканогенні утворення анталівського, маковицького, матеківського, синяцького, обавського, мартинського та бужорського комплексів, що співставляються з нею за віком.

Ільницька світа (N₂il) картувалась у складі левантинського ярусу. Стратотип її виділено в районі Ільницького буровугільного родовища, де він об'єднував усі вугленосні утворення. Зі стратиграфічним, місцями з кутовим неузгодженням вони залягають на породах понту, панону, середнього або верхів нижнього сармату та зі стратиграфічною перервою перекриваються чопськими та минайськими відкладами.

Ільницьку світу складають глини, піски, алеврити, туфіти, конгломерати з лінзами лігнітів і горизонтом ріолітових туфів із гранатом, по підшві якого проводиться границя нижньо- та верхньоільницької підсвіт. Поділ на підсвіти здійснено лише на схилах Чопського та Великодобронського піднять та на західних околицях м. Мукачева; на решті території відклади світи закартовано як нерозчленовані. Для світи характерна чимала фаціальна мінливість, залежна від положення розрізу в системі піднятих чи опущених блоків вулканоструктур. Виділяють два крайні типи розрізів світи: вугленосний туфогенно-осадовий і безвугільний осадовий з поступовими переходами між ними [99].

Вугленосний тип розрізу розвинений на схилах вулканоструктур, особливо уздовж південно-західної частини Вигорлатського пасма що простягається від м. Ужгорода до с. Березинки. Його складають глини, алевроліти, пісковики, туфіти, туфи кислого, рідше середнього складу, вулканоміктові конгломерати і гравеліти, буре вугілля, зустрічаються гейзерити. Потужність прошарків порід становить від 0,1-0,3 до 4-7 м. Пласти вугілля невидержані, часто розлінзовуються, виклинюються, внаслідок чого з

великої (до 15-20 прошарків) кількості їх у розрізах робочу потужність мають один-два серед них (с. Березинка, м. Ужгород, с. Лохове).

Безвугільний тип розрізу має більш сталий одноманітний характер: це товща сірих вапнистих слюдистих глин та алевролітів з прошарками різнозернистих пісковиків. Рідко зустрічаються лінзи (5-10 см) бурого вугілля. Там, де відклади вдалося розчленувати на дві підсвіти, в низах верхньої залягає горизонт із прошарками кислих туфів, туфітів (місцями з гранатом), що паралелізується з ворочівським горизонтом і є аналогом гажинських туфів Словаччини. Потужність горизонту становить 15-50 м, вона максимальна для вугленосного типу розрізів. Загальна потужність детально вивчених розрізів вугільного типу ільницької світи становить 170-200 м, а безвугільного - 100-119 м.

Четвертинна система

Четвертинні відклади перекривають всі більш древні. Вони представлені різними генетичними типами і підрозділяються на: нерозчленовані неоплейстоценові відклади чопської ($laE+P_{1cp}$) та минайської світи ($laP_{II-III}mn$), алювіальні верхньонеоплейстоценові-сучасні утворення заплави (aP_{III-H}), елювіально-делювіальні відклади схилів (edH) [36].

Еоплейстоцен-нижній неоплейстоцен нерозчленовані

До цього вікового підрозділу віднесені нерозчленовані озерно-алювіальні відклади чопської світи ($laE+P_{1cp}$), яка широко розповсюджена в Закарпатському прогині західніше лінії Мукачево-Берегово. Відклади світи з стратиграфічним та кутовим неузгодженням залягають на осадово-вулканогенних утвореннях неогену і незгідно перекриті породами минайської світи. Світа складена строкатими глинами з прошарками та лінзами пісків, галечників, рідко лігнітів.

Світа вивчена великою кількістю свердловин, в яких встановлено значні коливання її потужності та фаціального складу. В східній частині її ареалу від Мукачево-Берегова до ст. Батьово переважають прибережні піщано-глинисті розрізи зі значними прошарками гравійно-галечників (до 40-50 м), що

залягають в підосві світи. В західній частині прогину розвинені строкаті глини з рідкими лінзами лігніту, різнозернистого піску, галечнику, рідко туфітів. Нерідко зустрічаються озерно-болотні чорні та темно-сірі глини з органічною речовиною. Потужність світи зі сходу на захід збільшується від декількох метрів до 240-500 м в районі Чопа, с. Солонка та с. Свобода.

Неоплейстоценові озерно-алювіальні відклади минайської світи

Минайська світа ($laP_{II-III}mn$) займає всю рівнинну частину Закарпатського прогину, де незгідно залягає на вулканогенно-осадових відкладах пліоцену та чопської світи та перекривається покривними суглинками.

У складі світи виділено алювіальні та болотно-озерні фації, вивчені багатьма свердловинами. В районі дослідження, поблизу Вигорлат-Гутинського пасма, відклади представлені галькою (від дрібної до крупної) з валунами з домішками гравію, піску і глини. Чимдалі від виходів вулканогенних відкладів Вигорлат-Гутинського пасма, крупність матеріалу зменшується і вже на відстані 5-7 км від пасма відклади представлені переважно пісками з домішкою гальки та гравію, одночасно з'являються прошарки глин. Зверху алювій перекритий покривними суглинками, потужність яких коливається від 2 до 7 м. Валуні та галька добре обкатані, складені пісковиками, кварцом, кварцитами, кристалічними сланцями, ліпаритами, андезитами. Болотно-озерні утворення розвинені в котловині Чорний Мочар, у районі с. Жнятині та Нижній Коропець. Це добре відсортовані тонкошаруваті темно-сірі глини з прошарками пісків і торфу. В підосві їх звичайно залягає горизонт алювіальних галечників або пісків (7-25 м) [30].

Потужність світи непостійна. В північно-східній частині прогину вона становить 10 – 15 м, у західній частині Берегівського узгір'я і поблизу с. Косино – 30-60 м, а на заході в районі с. Розівка та Баранинці зростає до 175-300 м.

Алювіальні верхньонеоплейстоценові-сучасні відклади заплави (aP_{III-H}) розвинені в долинах усіх рік. В більшості з них виділяють низьку (0,5-3м) та високу (3-5м) заплави. Високі заплави складені погано сортованими галечниками, гравієм з лінзами пісків та суглинків, валунами осадових та ефузивних порід. Сучасні руслові відклади низьких заплав складені галькою, валунами, косошаруватими пісками.

Потужність сучасних алювіальних відкладів від 0,5-1,1 м, а в заплаві р. Тиси досягає 20-25м.

Елювіально-делювіальні (edH) відклади схилів долин струмків мають малу потужність (1-5 м) і представлені жовтувато-бурими суглинками з домішками несортованого і необкатаного уламкового матеріалу.

1.3.2. Вулканічні утворення

Вулканічні породи широко розповсюджені в складі неогенового покривного комплексу.

Вони визначають характер будови та структуру Закарпатського прогину, складаючи вулканічний Вигорлат-Гутинський хребет, а в низинній частині формують ряд ізольованих вулканоструктур, окремих моновулканів, в різній мірі еродованих і перекритих осадовою моласою неогену або четвертинними відкладами [40]. Вулканічні породи широко розповсюджені вже в бадені (туфи новоселицької світи, горизонти туфів в тереблінській, солотвинській та тересвинській світах), але локалізовані в цілком конкретні вулканоструктури, які поширені в сарматі, понті та пліоцені. Саме ці утворення розчленовані на самотійні вулканічні комплекси: великодобронський, баркасівський та чомонинський (сармат), кучавський (понт), анталівський, маковицький, матеківський, синяцький, обавський, мартинський та бужорський (дакій-румуній). Під комплексом в даному випадку розуміється сукупність лавово-пірокластичних утворень, які просторово зв'язані з певним вулканічним

центром або їх групою і відповідають всьому періоду формування вулкану або його стадії.

Вулканічні комплекси сарматських вулканоструктур

Великодоброньський комплекс (N_{1vd}) виділений на одноіменному піднятті. Утворення його розвинені також в Берегівському та Чопському підняттях, де формують нижні частини складних вулканоструктур. З стратиграфічною перервою залягають вони на осадових породах верхнього бадену або самих низів сармату, перекриваються осадовими породами доробратівської, луківської світ або вулканітами баркасівського комплексу. Вони складені андезитами, андезито-базальтами та їх туфами з варіаціями складу від дуже лейкократових андезитів до майже базальтів.

Породи комплексу максимально розвинені в межах Горондинської кальдери Великодоброньського підняття. Потужність комплексу тут до 850м. В Чопському вулкані низи розрізу складені переважно андезибазальтами, рідше їх туфами, в верхах переважають андезити та їх туфи.

На Берегівському піднятті породи комплексу зафіксовані лише в низах розрізу Квасівської кальдери, де перешаровуються різнопорфірові, нерідко дуже лейкократові андезити (4-135м) та їх туфи (2-65м). Потужність комплексу тут 400-450м. Загальна потужність порід комплексу до 850м.

Баркасівський комплекс (N_{1bk}) виділений на Великодоброньському піднятті, де складає споруду однойменного вулкану. За літолого-петрографічними особливостями та часом формування йому ідентичні т.з. "середні туфи" та "верхні андезити" Берегівського підняття, що традиційно відносяться до доробратівської світи. Відклади комплексу формують також схили Чопського вулкану. Породи комплексу залягають з стратиграфічною перервою на великодоброньському комплексі, осадових відкладах бадену або й на новоселицьких туфах, а перекриваються чомонинським комплексом [85]. Потужність комплексу 50-250 до 650м.

Чомонинський комплекс (N_{1cm}), виділений в районі с.Чомонин, відомий в Шаланській кальдері, Чікошському та Дрисинському підняттях. Він складений

андезибазальтами та їх туфами і з стратиграфічною перервою залягає на утвореннях луківської, алмашької світ або баркасівського комплексу і перекривається породами ізівської світи панону або чопської світи четвертинного періоду.

В районі Чомонина залягає покрив крупнопорфірових гіперстен-авгітових андезибазальтів з лінзами їх туфів потужністю 280м. В Шаланській кальдері (6х11 км) перешаровуються двопіроксенові андезити (10-170м) та їх туфи (30-90м) сумарною потужністю 580м. Подібні утворення в районі Чікоша та Дрисина мають потужність 150-390м. Загальна потужність комплексу до 580м.

Вулканічні комплекси понтичних вулканоструктур

Кучавський вулканогенний комплекс (N_1kc) виділений в передгір'ях Вигорлат-Гути, де складає споруди Кучавського та Жуківського вулканів. Тут розвинені андезибазальти, андезити та їх туфи, рідко відзначаються ліпарити та їх туфи. Породи комплексу незгідно залягають на теригенних відкладах доробратівської світи або низів панону і так само перекриті породами ільницької світи.

В Кучавському вулкані біля Мукачева в низах розрізу комплексу залягає до 410 м різноуламкових туфів андезитів з потоками їх лав (10-15 до 77м). Вище залягають середньо- та крупнопорфірові гіперстен-авгітові або двопіроксенові андезибазальти та туфи андезибазальтів з потоками їх лав (до 10-15м). Потужність комплексу тут перевищує 600м.

Жуківський вулкан повністю перекритий відкладами ільницької світи, і розріз комплексу на повну потужність не вивчений. Крім того, утворення комплексу відомі в межах екструзивно-купольних структур г.Чернеча (андезити, рідше ріоліти та їх туфи), Латорицької структури (андезито-дацити). Вузькою смугою на схід від Кучавського вулкану до району с.Негрово розвинені туфи андезитів, туфіти загальною потужністю 56м, що залягають на фауністично охарактеризованих відкладах луківської та алмашької світ. Вони теж віднесені до кучавського комплексу [40].

Комплекс складений туфами андезита, андезито-базальта і потоками лав того ж складу, а також туфитами характерного зеленого, зеленувато-сірого кольору. Потужність порід від 0-40 до 220-350м.

Вулканічні комплекси дакій-румунських вулканоструктур

Від кордону зі Словаччиною вздовж північно-східного краю Закарпатського прогину простягається Вигорлат-Гутинський вулканічний хребет шириною 20-25км. Хребет складають вулканічні породи, що звичайно картувались в складі гутинської та бужорської світ, а потім були розчленовані на ряд вулканогенних комплексів. В вивчених границях хребта це анталівський, маковицький, матеківський, синяцький, обавський, мартинський та бужорський комплекси.

Анталівський вулканічний комплекс (N_{2ap}) виділений на г.Анталівська Поляна, яка є крупним стратовулканом. Він складений андезитами та їх туфами, андезито-дацитами, ріолітами та їх туфами. Крім Анталівської, він складає повністю вулканоструктуру Попрічний, низи розрізу вулканоструктур Маковиця, Хотар, Синяк. Породи комплексу зі стратиграфічною перервою перекриваються відкладами верхньої частини ільницької світи. Загальна потужність розрізу анталівського комплексу досягає 700м.

Маковицький вулканічний комплекс (N_{2mk}) виділений в одноіменному вулкані, споруда якого накладена на північно-східний сегмент Анталівського стратовулкану. В складі його різко переважають (80-85%), дрібно- та середньопорфірові двопіроксенові або гіперстеневі андезити, рідкі андезибазальти, туфи андезитів, ріоліти та їх туфи, що з кутовим неузгодженням залягають на палеогенових породах магурського флішу, а з стратиграфічною перервою - на породах анталівського комплексу. Потужність потоків андезитів складає 5-100м, їх туфів до 5-15м, залягання периклінальне. Загальна потужність комплексу не перевищує 500м.

Матеківський вулканічний комплекс (N_{2mt}) виділений в басейні р. Матекова в вулканоструктурі Синяк [89]. Крім того, відклади його відомі в структурах Дехманів, Хотар та Мартинський Камінь, а також Іршавської,

Вертепської і Фрасинської структур. Комплекс складають андезити, андезибазальти, їх туфи, лавобрекчії, туфіти потужністю від перших до десятків, рідко перших сотень метрів. Горизонти цих порід невитримані по простяганню. В звичайному випадку кількість та потужність потоків лав та грубої пірокластики максимальна в центральних частинах вулканоструктур і зменшується до периферії. Для туфітів встановлена протилежна закономірність. У верхній частині розрізу комплексу потужність від 60-80 до 260-300м, різко переважають туфи, які складають біля 75-80% розрізу. Рідкі потоки лав представлені зазвичай олівіновими андезибазальтами. Загальна потужність комплексу 120-800м.

Синяцький вулканічний комплекс (N₂sn) виділений в границях однойменної структури. Крім цього, породи комплексу встановлені в структурах Дехманів, Фрасин, Іршавській, Вертепській і Мартинський Камінь. Незгідно залягають на відкладах матеківського, рідше кучавського комплексів.

Нижня частина розрізу складена туфами ріолітів, ріодацитів, андезитодацитів, туфітами, туфоконгломератами. Потужність цієї частини розрізу складає 20-25м в Іршавській кальдері збільшуючись до 220-240м в межах структур Синяк і Вел. Шоллес. Верхня частина комплексу (до 300м) складена дрібно- та середньопорфіровими двопіроксеновими та олівін-гіперстеновими андезитами, їх лавобрекчіями (8-50м) з рідкими малопотужними прошарками туфів андезиту. Загальна потужність комплексу до 700м.

Обавський вулканічний комплекс (N₂ob) виділений як фінальний в вулканоструктурі Синяк. Породи його широко розповсюджені в кальдері Вел. Шоллес і складають також привершинну частину щитового вулкану Дехманів, де з стратиграфічною перервою залягають на синяцькому та матеківському комплексах. Комплекс складають потоки середньо-крупнопорфірових андезитів та андезибазальтів, потужність комплексу сягає 350-550 м.

Мартинський вулканічний комплекс (N₂mg) виділений в вулканоструктурі Мартинський Камінь, де має широке розповсюдження. Складає також незначну частину Бужорської структури.

За особливостями складу комплекс розчленований на 3 пачки: нижня та середня пачки представлені олівіновими андезибазальтами та їх туфами, причому в нижній пачці переважають пірокластичні, а в середній - ефузивні утворення. Верхня пачка складена характерними крупнопорфіровими андезитами з вкрапленнями плагіоклазу розміром до 1-1,5см, рідше їх туфами. Загальна потужність порід комплексу 250-400м [89].

Бужорський вулканічний комплекс (N₂bg) складає більшу частину одноіменної структури і локально розповсюджений в вулканополі Явор. Складений олівіновими, рідше двопіроксеновими базальтами, андезибазальтами, гіалоандезибазальтами і їх туфами. Загальна потужність відкладів комплексу досягає 400-500м.

Загальний вид, хімічні, геохімічні, петрографічні, петрофізичні та петрологічні особливості літологічних типів порід всіх виділених неогенових вулканічних комплексів вивченої території досить близькі і одноманітні. Нижче приведена їх характеристика.

Андезибазальти, андезити присутні у складі всіх виділених комплексів. Це чорні, темно-сірі, дрібно-, середньо- та крупнопорфірові породи масивної текстури з афанітовою основною масою гіалопілітової, пілотакситової, андезитової, гломеропорфірової або інтерсертальної структури. Вкраплення (10-45% породи) розміром 0,5-2 до 10-12мм складені лабрадором-бітовнітом, моноклінним, рідше ромбічним піроксенами, серед меланократових відмін відзначається олівін. В основній масі переважає скло, мікроліти плагіоклазу, піроксени, рудні мінерали (магнетит, титаномagnetит, ільменіт, титаноільменіт, пірит), акцесорії (циркон, апатит). Вторинні мінерали: гідроксиди та монтморилоніт, карбонати, каолініт, нонтроніт, серицит, опал, рідші іддінгсит, біотит.

Дацити, андезито-дацити відомі в складі баркасівського, анталівського та синяцького комплексів. Це сірі, зелено-сірі або кремово-сірі дрібно-, середньо- та крупнопорфірові породи з гіалопілітовою, пілотакситовою або мікрофельзитовою основною масою. Вкраплення (0,214 мм) складають 20-50%

породи і представлені зональним андезином, гіперстеном, моноклінним піроксеном, дуже рідко амфіболом або біотитом. Основну масу складають мікроліти плагіоклазу, скло, піроксени, рідко кварц, рудний мінерал, акцесорні (апатит, циркон, ортит). Вторинні мінерали представлені каолінітом, гідрослюдами, монтморилонітом, цеолітами, рідше хлоритом.

Ріоліти, ріодацити розвинені переважно в баркасівському комплексі, рідше зустрічаються в синяцькому та в нижній частині кучавського, анталівського та маковицького комплексів. Це світло-сірі, кремові, рожеві або фіалкові флюїдальні, масивні, афірові або дрібнопорфірові породи з сферолітовою, фельзитовою, мікрофельзитовою основною масою, місцями з перлітовою будовою. Вкрапленики розміром 0,5-2,5мм (3-10%) представлені зональним кислим андезином, рідше кварцем, навіть гіперстеном, а в анталівському комплексі також гранатом. В основній масі переважає кисле скло, плагіоклаз, кварц (тридіміт, кристобаліт), місцями мікроклін, рудний пил, серед вторинних - каолініт, хлорит, гідрослюди.

Крім ефузивних, у всіх комплексах і для всіх різновидностей порід широко розповсюджені пірокластичні фації: туфи ріолітів, ріодацитів, дацитів, андезитів та андезибазальтів. За розміром уламків серед них виділяється вся гама порід від попелових до псефіто-псамітових і агломератових.

Специфічними серед них для кислих порід є ігнімбрити, широко розвинуті в межах Березівського підняття.

1.3.3. Тектоніка

Територія досліджень входить до складу внутрішніх Карпат альпійської складчастої системи, які відділяються від зовнішніх Карпат Закарпатським глибинним розломом, що включає Мармарошський масив та Пенінську зону. Зону розлому часто розглядають як елемент внутрішніх Карпат, на території району вона перекрита молодими дакій - румунськими вулканітами.

Закарпатський внутрішній прогин – молода пізньоальпійська депресія, закладена на гетерогенному фундаменті і сформована внаслідок підняття гірської споруди Карпат. Він виповнений потужною (до 2,5-4 км) теригенною моласою та вулканітами неогену, пліоцену та четвертинного періоду, які утворюють покривний комплекс [21].

Геоморфологічно це Закарпатська западина та Вигорлат-Гутинський хребет, а геологічно – простір, обмежений глибинними розломами: Закарпатським на північному сході та Припанонським на південному заході.

Звичайно прогин розчленовують на повздожні Крайову, або моноклінальну зону, що прилягає до Закарпатського розлому, і Центральну зону солянодіапірових або брахіантиклінальних складок. Припанонський розлом теж включають в склад прогину під різними назвами: "Чоп-Берегово-Бая Марська горст-антиклінальна зона", Берегівське „брилово-склепінчасте підняття", „Берегівське підняття".

Похований рельєф фундаменту Закарпатського прогину інтенсивно розчленований з амплітудою абсолютних позначок до 3км. За даними бурових робіт та сейсморозвідки тут зафіксовано три блоки порід [40]. Північно-східний з них грубо співпадає з Крайовою зоною і є продовженням Ужгород-Інячовського горсту Словаччини. Тут фундамент складений метаморфічними сланцями, відкладами тріасу, юри, крейди та еоценовим флішем підгальського типу, залягає на відмітках від 53 м - 515 м в районі Ужгорода і на південний схід до району Мукачева не опускається нижче 1000-1100м. Другий піднятий блок відповідає Припанонському розломові, фундамент тут залягає на глибинах від 1360м в районі Чопа до 500-404 м на Берегівському піднятті і його складають метаморфізовані палеозойські, нерозчленовані тріасово-юрські, (нерідко вулканогенні) та крейдові теригенні утворення. В Центральній зоні прогину фундамент подібного складу опущений по розломах на глибини від 2166-2326м (ділянка Залуж) до 3287-3385м (ділянка Рус. Комарівці), а в прикордонній зі Словаччиною частині (с.Павлово) за даними сейсморозвідки він залягає глибше 4км.

В покривному комплексі прогину тісно зв'язані вулканоструктури різного віку і рангу та плікативні структури осадових порід, в яких виділяють два структурні яруси: нижній (отнанг-сарматський) та верхній панон-пліоцен-антропогеновий.

В Крайовій зоні прогину осадові товщі полого моноклінально падають на південний захід. В центральній частині западини розвинені широкі пологі ізометричні, овальні структури, а серед них складки облягання або структури "притикання". Тут виникають брахіантиклінальні складки, що вміщують родовища газу.

Вулканоструктури займають більше половини вивченої частини прогину. Серед них виділяють сарматські, панон-понтські та дак-румунські споруди [80].

Сарматські вулканоструктури розвинені в центральній частині блоку Припанонського розлому (Чопське та Берегівське підняття) і на його північному схилі (Великодоброньське підняття) та інші "поховані" вулкани. Найбільшою з цих структур є т.з. Геленешська мегакальдера, центр якої знаходиться в Угорщині, в районі с.Тарпа. Границя бортового розлому її на вивченій території трактується неоднозначно, але по різкому градієнту сили тяжіння проведена через с. Вари, південну околицю Берегова, Дідова. На північно-східному схилі мегакальдери закладені Косинська, Лужанська, Золотиста, Квасівська та Каліменська кальдери розмірами 5х4км та Бучанська інтрузивно-тектонічна структура діаметром 2км.

Пояс "похованих" вулканів може розглядатись як зовнішня дуга навколо центру мегакальдери. Тут розвинені досить великі стратовулкани діаметром до 10км (Чопський, Баркасівський, Горондинський, Шаланський, Макіївський) та менші інтрузивно- та вулcano-тектонічні структури діаметром до 4км (Дрисинське, Чікошське). Сумарна потужність великодоброньського, баркасівського та чомонинського комплексів або різної комбінації з них досягає тут 600-1100м.

Панон-понтичні вулканоструктури розвинені вздовж південного підніжжя Вигорлат-Гутинського пасма. В долині Латориці виділяють Кучавський вулкан, далі на захід повністю похований вулкан Жуківський, а в районі Рус.Комарівців - Геївську криптокальдеру.

Кучавський вулкан овальної форми (9x17км) складений лінзою (до 350м) середніх вулканітів з привершинною кальдерою просідання діаметром 2км, обмеженою кільцевою дайкою порфіритів. Схили вулкану зберегли первісне периклінальне залягання. Вздовж південної, західної та північної периферії вулкану розвинені екструзивно-купольні структури Паланок, Ловачка та Чернеча, що чітко виділяються в рельєфі за наявністю в них екструзій андезито-дацитів та андезитів [99].

Жуківський вулкан похований під відкладами ільницької світи. За даними магніторозвідки встановлені термінальний та латеральні кратери його. Вважають, що це споруда центрального типу, зв'язана з розломом північно-західного простягання, на якому розміщений і Кучавський вулкан.

Геївська криптокальдера діаметром 9,5-10км - унікальна споруда, кільцева природа якої зв'язана з наявністю ізометричного лаколіту гранодіорит-порфірів, над яким в породах бадену-сармату утворилася брахіантиклінальна складка, з кутовим неузгодженням перекрита потужним плащем ільницької світи.

Дакій-румунські вулканоструктури складають Вигорлат-Гутинський хребет вздовж північно-східної периферії прогину, причому головні центри їх розміщені вздовж перекритого Південнопенінського розлому, що розділяє прогин від Пенінської зони.

Загальною особливістю стратовулканів є наявність чітко вираженого центрального інтрузивно-тектонічного підняття (3-5км в діаметрі), кальдерної просадки (до 300-400м) та менш структурованих схилів вулкану з окремими центрами ерупції. В центральних частинах стратовулканів, інтрузивно- та екструзивнокупольних структур розвинені гіпабісальні інтрузії габро-порфіритів, діоритових та кварцових діоритових порфіритів, субінтрузивні,

субвулканічні тіла помірно-кислого складу, гідротермально-змінені породи, вторинні кварцити і т.п., що часто знаходять відображення в контрастних аномаліях магнітного поля. Вздовж концентричних та радіальних розломів тут розвиваються дайки такого ж складу.

Розломи покривного комплексу Закарпатського прогину за віком становлення розділяють на: ранньоальпійські, що успадковують переважно структурний план попередніх етапів розвитку (особливо в фундаменті), та пізньоальпійські (синвулканічні та поствулканічні), пов'язані з формуванням Мукачівської вулканотектонічної депресії та її окремих структур.

До ранньоальпійських віднесені всі розломи карпатського простягання: Іванівсько-Вишківський та Геченський, які обмежують Берегівське підняття з півночі та півдня, Гажинсько-Мукачівський та Стретова-Геївський, що ступінчасто опускають Інячовсько-Ужгородський горст, Південно - та північно Пенінський, які майже всюди перекриті більш молодими відкладами, а також Семітський. Площини розломів круті ($70-85^\circ$), падають переважно в сторону опущених блоків. Амплітуди опускання фундаменту по них від 400-750м для Берегівського підняття до 650-1300м для Гажинсько-Мукачівського розлому. Більшість з них в геофізичних полях характеризуються лінійними зонами градієнтів сили тяжіння.

До пізньоальпійських віднесені всі регіональні антикарпатські та діагональні розломи Берегівського, Великодоброньського, Чопського підняття (Мукачівський, Рафайлово-Великолучківський, Гашпарський, Іршавський, Петровський), розломи, що обмежують та розчленовують вулканоструктури (концентричні та радіальні) [36].

Всі поперечні розломи крутозалагаючі, в різній мірі конседиментаційні, вертикальні переміщення по них від 100-150м досягають на рівні фундаменту 1000м (Гашпарський). Вони часто контролюють розміщення вулканічних центрів та вмішують інтрузивні тіла різного складу (Мукачівський та Каліменський магмоконтролюючі), тому трасуються ланцюгом дрібних аномалій сили тяжіння, що співпадають з магнітними.

Синвулканічні розломи широко розповсюджені. Це переважно дугові, кільцеві, концентричні розриви, що обмежують виділені вулканоструктури або їх частини та радіальні розриви. Їх, як і вулканоструктури, можна розділити на сарматські, панон-понтичні та дакій-румунські. Загальною особливістю їх є круте ($70-85^\circ$) падіння в сторону опущених блоків. Амплітуда вертикальних переміщень становить від десятків до першої сотні метрів, а горизонтальних вздовж радіальних розривів – до 1 км. Часто їх використовують дрібні штокоподібні, трубчаті тіла, дайки різного складу, а в рудних районах до деяких з них "прив'язуються" системи рудних жил.

1.4. Гідрогеологічна характеристика ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну

Гідрогеологічні умови території дослідження визначаються геологічною будовою, кліматом та рельєфом, що впливають на формування комплексу водоносних горизонтів, мінеральних і термальних вод.

На описуваній території виділяють Чоп-Мукачівський артезіанський басейн, що є складовою частиною Закарпатського артезіанського басейну [52].

За умовами формування, ступенем обводненості порід та їх літологічним складом виділяються наступні водоносні горизонти, комплекси та води спорадичного поширення:

- водоносний горизонт верхньоплейстоценових і голоценових алювіальних відкладів заплав і перших надзаплавних терас ($aP_{III} + H$);
- водоносний горизонт середньо - верхньоплейстоценових озерно-алювіальних відкладів минайського віку ($1aP_{II-III}mn$);
- водоносний горизонт еоплейстоцен-нижньопліоценових озерно-алювіальних відкладів чопського віку ($1aE + P_I$ ср);
- водоносний комплекс вулканітів Вигорлат-Гутинського пасма (N_1vg);
- води спорадичного поширення у відкладах паннонського, сарматського та баденського ярусів міоцену ($N_1pn-s-b$).

Карта поширення цих водоносних горизонтів і комплексів показана на графічному додатку Б.

Водоносний горизонт в алювіальних верхньоплейстоценових та сучасних відкладах (aPIII-H) приурочений до алювіальних відкладів заплав і перших надзаплавних терас рік. Складає генетично єдиний тип. Водовмісними є валунно-галечники з піщано-глинистим заповнювачем. Склад заповнювача і крупність матеріалу різко змінюються в плані, що визначає нерівномірну водозбагаченість горизонту. Його потужність змінюється в межах від 4 до 12 м, переважають значення 4-5 м. Глибина залягання дзеркала ґрунтових вод від 1 до 10 м [36].

Окремими свердловинами виявлені напірні води, що обумовлено наявністю в розрізі лінз водотривких глин. Таким чином, води набувають місцевий напір, величина якого визначається положенням рівня ґрунтових вод відносно нижньої поверхні лінз. За хімічним складом переважають гідрокарбонатні кальцієві і магнієвокальцієві води з мінералізацією 0,2 -0,5 г/дм³.

Підземні води водоносного горизонту використовуються для централізованого водопостачання ряду крупних населених пунктів східної частини Закарпатського басейну та гірських районів (смт. Великий Березний, Великий Бичків, міста Перечин, Рахів та ін.). Експлуатаційні запаси окремих родовищ оцінюються в кількості від 3 до 5 тис. м³/добу.

Водоносний горизонт середньо-верхньоплейстоценових озерно-алювіальних відкладів минайського віку (1a P_{II-III}tn) має найбільше розповсюдження на досліджуваній території, в межах якої знаходяться також алювіальні утворення заплав і надзаплавних терас таких рік, як Тиса, Боржава, Латориця та їх притоки. Водоносні товщі характеризуються досить строкатим літологічним складом, що змінюється по площі та в розрізі [82].

В західній частині площі алювіальні відклади представлені відсортованими піщано-галечними породами і крупнозернистим піском; їх

потужність в напрямку південного заходу змінюється від 30-40 до 100м. На ділянках найбільшої потужності в розрізі переважають валунно-галечники, що характеризуються значною водозбагаченістю. Дебіти свердловин складають 6,5-32,6 л/с при пониженнях 3-10 м; коефіцієнти фільтрації – 12-63 м/добу, коефіцієнти водопровідності – від 467 до 4800 м²/добу.

В північному напрямку характер алювію змінюється в сторону зменшення крупних фракцій і збільшення кількості глинистого матеріалу в розрізі. Алювіальні відклади представлені тут гравійно-піщаними, піщано-гальковими з домішкою глини утвореннями, що чергуються з глинами та тонкозернистим піском. Загальна потужність осадків складає 50-60м. В районі урочища Чорний Мочар (Берегівський район) річний алювій прослідковується у вигляді захоронених руслових піщано-галькових відкладів. Древні русла простягаються в північно-східному напрямку. Потужність алювію складає 5-25м. Глибина його залягання залежить від потужності озерно-болотних відкладів, що перекривають алювій, і мають потужність в центральній частині Чорного Мочора 50-60м. Дебіти свердловин складають 0,8-13л/с при пониженнях до 15м; коефіцієнт водопровідності - від 82 до 608 м²/добу [36].

На південь від Берегівського горбогір'я потужність алювію рівномірно збільшується в сторону р. Тиси при переважному їх гравійно-гальковому складі. Потужність відкладів збільшується від 10м біля підніжжя горбів до 100-140м в долині р. Тиси. Дебіти свердловин складають 1-45л/с при пониженнях до 4м, коефіцієнти водопровідності 650-3000м²/добу.

В долині ріки Боржави алювіальні відклади представлені в основному, гравійно-гальковими і вулканогальковими утвореннями, потужність яких збільшується в південно-західному напрямку. В долині р. Тиси (на схід від Берегівського горбогір'я) алювій переважно валунно-гальковий, потужність 100-130м. Помітне зменшення потужності алювію (до 40м) спостерігається на північний схід, в сторону Велико-Копаньського масиву та Чорної гори (Виноградівський район).

Біля 60% свердловин, пробурених на воду в долинах рік Тиси та Боржави, мають дебіти від 1 до 28 л/с при понижених біля 1м. Ще в 40% свердловин дебіти сягають 68 л/с при пониженнях від 2 до 20м. Коефіцієнти водопровідності складають від 1000 до 3000 м²/добу при максимальних значеннях 5230-9320 м²/добу. Підосва водоносного горизонту має нерівну поверхню. Глибина залягання дзеркала ґрунтових вод в більшості випадків не перевищує 5м; подекуди водоносний горизонт набуває місцевий напір за рахунок покривних суглинків потужністю до 5м.

За хімічним складом ґрунтові води гідрокарбонатні кальцієві, кальцієво-магнієві, кальцієво-натрієві з мінералізацією 0,2-0,5 г/дм³. Дуже часто в цих водах підвищений вміст заліза та марганцю [35].

Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і талих вод, річкових вод в період повені і розвантаження з Вигорлат-Гутинського пасма. Розвантаження підземного потоку здійснюється в ріку Тису та її притоки.

Ґрунтові води алювіального водоносного горизонту мають в області найбільше практичне значення в сенсі організації централізованого водопостачання всіх крупних населених пунктів (м. Ужгород, Берегово, Мукачево, Виноградово, Королево та ін.).

Водовмісні породи *водоносного горизонту еоплейстоцен-нижньопліоценових озерно-алювіальних відкладів чопського віку (1а E+P1 ср)* залягають під водоносним горизонтом алювіальних відкладів минайського віку і водотривкою товщею потужністю до перших десятків метрів, представленою строкатими глинами цієї ж чопської світи. Горизонт поширений в південно-західній частині Закарпатського артезіанського басейну. Водовмісні породи представлені лінзами та прошарками пісків, інколи – гравійно-гальковими шарами. На південь від Березівського горбогір'я в розрізі світи на глибинах 170-220 м, поряд з пісками, спостерігається збільшення водозбагачених галечників та валунно-галечників.

Загальна потужність водовмісних порід збільшується в напрямку заходу та південного сходу. Води напірні. Величина напору залежить від глибини залягання водоносних порід. Рівні встановлюються на глибині залягання ґрунтових вод, інколи на 1-1,5м вище. Водопроникність порід чопської світи невелика. Коефіцієнти фільтрації в межах 1-5м/добу, коефіцієнти водопровідності - 3-35м²/добу. Дебіти свердловин 1-12 л/с при пониженнях 6,2-39,6м. Хімічний склад вод гідрокарбонатний кальцієвий з мінералізацією 0,2-0,8г/дм³. Біля тектонічних зон у воді переважають хлориди. Там же відмічено високий вміст закисного заліза - 10-40 мг/дм³.

Води горизонту використовуються в невеликому об'ємі для водопостачання окремих підприємств та сільськогосподарських об'єктів [82].

Водоносний комплекс вулканітів Вигорлат-Гутинського пасма (N_{1vg}) поширений в західній і центральній частинах прогину в межах Вигорлат-Гутинського вулканічного пасма. Вулканогенні утворення вирізняються значною літологічною різноманітністю. У зв'язку з цим їх водозбагаченість теж дуже нерівномірна. Водовмісними є тріщинуваті, кавернозні та пористі туфи, андезити, андезито-базальти, дацити, вулканоміктові конгломерати та брекчії. До верхньої вивітрилої зони потужністю 20-70м приурочені порово-пластові та тріщинно-пластові ґрунтові води. Тут функціонує багато джерел, за рахунок яких формується поверхневий стік цього району. Дебіти джерел складають від 0,05 до 4 л/с. Дебіти свердловин зазвичай високі - до 4-5 л/с - при пониженнях до 16м. За складом підземні води „верхнього поверху” гідрокарбонатні натрієво-кальцієві з мінералізацією від 0,04 до 0,4г/дм³.

Підземні води „нижнього поверху” приурочені до зони тектонічної тріщинуватості. Вони виявлені свердловинами на глибинах 150-170м і більше. Потужність обводнених зон від 3-м до 20м. П'єзометричні рівні встановлюються на глибинах від 9м до 40-50м і вище поверхні землі. Дебіти свердловин в умовах самовиливу сягають 28 дм³/с, переважають значення 1,7-6,5 дм³/с. Води зон тектонічної тріщинуватості мають часто підвищену

температуру та мінералізацію, специфічний хімічний склад. Як правило, вони збагачені окислами кремнію [34].

Води верхньої зони тріщинуватості досить часто використовуються для господарсько-питного водопостачання окремими свердловинами, для централізованого водопостачання м. Іршава, а також Чинадіївським водозабором (разом з водоносним горизонтом заплав-перших надзаплавних терас).

Води спорадичного поширення у відкладах паннонського, сарматського ярусів міоцену ($N_{1pn-s-b}$) найбільш поширені в центральній частині прогину (Берегівський, Мукачівський район), а також на південному сході – межах Виноградівського рудного поля. Серед підземних вод сарматських відкладів виділяються пластово-тріщинні осадових порід та тріщинні вулканогенних утворень [36].

Перші приурочені до пісковиків, конгломератів. Глибина залягання водоносних порід коливається від 10 до 380м. Потужність водоносних шарів змінюється від декількох сантиметрів до декількох метрів. П'єзометричні рівні встановлюються на висоті до 11 м і вище поверхні землі. В верхній частині розрізу мінералізація вод не перевищує 4г/дм^3 . З глибиною мінералізація вод різко збільшується. Водозабезпеченість відкладів зазвичай невисока, середній дебіт свердловин біля $1\text{ дм}^3/\text{с}$ і тільки в окремих випадках сягає $2-4\text{ дм}^3/\text{с}$.

Тріщинні води вулканічних утворень сарматського ярусу поширені в межах Берегово-Біганського горбогір'я. Водовмісними є ліпарити та їх туфи, андезити, вулканобрекчії, ксенотуфи. П'єзометричні рівні встановлюються на глибинах 1-25м. Дебіти свердловин змінюються від $0,05$ до $4,3\text{ дм}^3/\text{с}$.

В межах зон тріщинуватості крупних регіональних розломів (Мукачівський, Іванівський та ін.) дебіти свердловин інколи перевищують $10-15\text{ дм}^3/\text{с}$. Вода зазвичай мінералізована і має підвищену температуру. За межами розломів зустрічаються практично безводні свердловини.

Водоносний комплекс представляє інтерес як об'єкт пошуків та розвідки мінеральних і субтермальних вод. Для водопостачання прісними водами

майже не використовується. Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і розвантаження вод алювію.

Висновки до РОЗДІЛУ 1

Під час проведення дисертаційного дослідження проаналізований стан вивчення гідрогеодинамічних та гідрогеохімічних умов ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну. Визначено роль природних умов у формуванні хімічного складу ґрунтових вод в межах Чоп-Мукачівського артезіанського басейну. Із природних факторів головними визначаючими є: фізико-географічні – клімат, гідрографія, геоморфологія, геологічні (літологія і стратиграфія, вулканічні утворення, тектонічна будова), гідрогеологічні умови.

Досліджувана територія розміщена в найбільш зволоженому регіоні України, вкрита густою мережею річкових систем. Гідрографія визначається головними водотоками району дослідження – річками Латориця, Уж, Боржава, Тиса.

У геоморфологічному відношенні територія досліджень відноситься до Чоп-Мукачівської ділянки Закарпатської низовини, що простягається на південь від смуги передгір'їв у напрямі до ріки Тиси. Закарпатська низовина характеризується поширенням неогенових пісковиків, які лежать в основі четвертинних відкладів.

У геологічній будові території району приймають участь утворення двох структурних поверхів. У складі неогенового покривного комплексу широко представлені вулканічні породи, що визначають характер будови та структуру Закарпатського прогину. Вулканічні породи, складені андезитами, базальтами, туфами локалізовані в самостійні вулканічні комплекси.

Зону Закарпатського глибинного розлому часто розглядають як елемент внутрішніх Карпат. На території району дослідження вона перекрита молодими дакій-румунськими вулканітами.

Згідно зі схемою гідрогеологічного районування, територія досліджень належить до Закарпатського артезіанського басейну.

В роботі охарактеризовано літологічний склад, фізичний стан водоносних і водотривких порід, водоносні горизонти палеозойських, мезозойських і кайнозойських відкладів, із них найбільш детально – ґрунтовий водоносний горизонт, на якому базується водопостачання. Проаналізовано також режим і формування хімічного складу у природних умовах і при його експлуатації.

Прісні підземні води знаходяться на доступній глибині, мають добру якість та зосереджені, в основному, у алювіальному водоносному горизонті минайського віку (*la P_{II-III} mn*). Алювіальні відклади представлені відсортованими піщано-галечними породами і крупнозернистим піском, в деяких місцях вони чергуються з суглинками та глинами. Товщина водоносного горизонту змінюється від 1–2 до 300 м. Води горизонту безнапірні і слабо напірні. За хімічним складом вони гідрокарбонатні кальцієві, кальцієво-магнієві, кальцієво-натрієві з мінералізацією 0,2–0,5 г/дм³ і майже завжди з домішками хлоридів та сульфатів. Живлення водоносного горизонту здійснюється за рахунок інфільтрації атмосферних опадів і талих вод, річкових вод у період повені, а також їх інфільтрації з Вигорлат-Гутинського гірського пасма. Розвантаження підземного потоку здійснюється в р. Тиса та її притоки. У межах відгалуження Вигорлат-Гутинського гідрогеологічного вулканогенного масиву ґрунтовий водоносний горизонт розповсюджений спорадично.

РОЗДІЛ 2

Регіональні закономірності змін хімічного складу ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну

2.1. Методи обробки гідрогеологічної інформації на базі традиційних та ГІС-технологій

Традиційні методи обробки гідрогеологічної інформації

Результатом проведення моніторингу підземних вод є інформація про їх стан. Для отримання цієї „кінцевої” інформації використовуються великі об’єми розрізнених гідрогеологічних даних, які одержані в результаті багатоетапних та різнопланових досліджень території. Тому проблема збирання, обробки, збереження цих даних для послідуєчого комплексного аналізу разом з новою інформацією є надзвичайно важливим і актуальним завданням.

Розробка традиційних методів вивчення та прогнозування режиму підземних вод (як гідрогеодинамічного, так і гідрогеохімічного) здійснена ще у 80-х роках минулого століття фахівцями Дніпропетровського відділення УкрДГРІ [109]. Методологія обробки даних моніторингових досліджень включає чотири основні етапи:

I етап – проведення безпосередніх спостережень за зміною показників гідрохімічного режиму підземних вод;

II етап – первинна обробка даних режимних спостережень;

III етап – вторинна (спеціальна) обробка результатів режимних спостережень;

IV етап – прогнозування змін показників режиму підземних вод (розглядається як вища кількісна форма обробки даних режимних спостережень);

З метою якісного виявлення основних закономірностей у гідрогеохімічному режимі підземних вод виконується первинна і вторинна обробка

даних спостережень. Безпосередніми даними спостережень називають первинні виміри, отримані по спостережних пунктах режимної мережі. Розрахунковими називають показники, отримані шляхом спеціальних обчислень, часто із застосуванням ймовірнісно-статистичних або детермінованих (аналітичних, балансових і інших) методів. Обробка даних моніторингу включає систематизацію, узагальнення і аналіз даних спостережень, що дозволяє згорнути вихідну інформацію, тобто зменшити обсяг і підвищити її змістовність, а отримані дані використовувати для наступної обробки [109].

На етапі *первинної обробки* даних моніторингових спостережень, метою якої є впорядкування даних одиночних спостережень і обчислення основних параметрів режиму підземних вод виконується: складання таблиць даних фактичних спостережень; побудова для кожної спостережної точки хронологічних графіків рівня, витрат, температури, мінералізації підземних вод; обчислення за хронологічними графіками основних параметрів режиму підземних вод; складання підсумкових таблиць, до яких записуються характерні значення параметрів режиму підземних вод за вивчений період спостережень. У таблиці даних фактичних спостережень вказуються номери і місце розташування пунктів спостережень, всі числові значення показників режиму для рівня, витрат, температури і хімічного складу підземних вод, а також дати, на які виконано ці виміри. В обраному масштабі за даним цих таблиць будують хронологічні графіки (номограми), які ілюструють сезонний хід мінливості параметру. На осі ординат показують діапазон зміни показника що досліджується, а на осі абсцис – довжину періоду спостережень. Значення показника на певну дату наноситься на графік, а потім точки з'єднуються плавними лініями. В інтервалах, де за якимись причинами дані вимірів показника відсутні, графік переривається і на цій ділянці вказується причина відсутності спостережень. За хронологічними графіками обчислюються середньомісячні, середньорічні та встановлюються максимальні і мінімальні

значення в межах річного циклу, які потім записують в спеціальні підсумкові таблиці, а останні включають у спеціальні щорічники спостережень [91].

З метою подальшого згортання і узагальнення інформації виконується *спеціальна обробка* даних спостережень, яка дозволяє вирішувати спеціальні гідрогеологічні завдання. Обробка включає: побудову порівняльних хронологічних графіків (номограм); обчислення розрахункових показників; побудову спеціальних графіків, розрізів і карт, що характеризують зміну параметрів за різними напрямками і площею. В процесі такої обробки встановлюються основні закономірності в режимі підземних вод, які надалі дозволяють цілеспрямовано його регулювати. Порівняльні хронологічні графіки являють собою сполучені в певній послідовності на одному аркуші хронологічні графіки показників режиму підземних вод і фактори (атмосферні опади, температура, водовідбір), під дією яких формується режим. Побудова графіків починається з попереднього встановлення головних факторів і основних напрямків можливої їхньої дії. Для цього вибираються пункти спостережень для конкретного водоносного горизонту, визначають їх приуроченість до різних форм рельєфу. За гідрогеологічним розрізом визначають місце розташування фільтрів спостережних свердловин, їхню відстань від річки, водоймища тощо. За положенням пунктів спостережень, аналізом їхніх хронологічних графіків, а також по загальній гідрогеологічній обстановці роблять припущення, які фактори могли викликати виявлені на графіках зміни параметрів [92].

Для встановлення зв'язку і виділення головних факторів аналізується форма графіків, відзначається наявність або ж відсутність синхронності в зміні показників режиму, збіг або розбіжність у термінах настання максимальних чи мінімальних значень показників. Обчислюють параметри режиму і будують графіки їхньої зміни. При закономірності зміни цих параметрів вздовж обраних напрямків (по відстані або часу дії) роблять висновок про існування зв'язку.

При наявності достатньої кількості точок спостереження на площі досліджуваного водоносного горизонту і даних спостережень за його режимом будують серію карт зміни основних показників і параметрів режиму підземних вод на різні моменти часу (карти глибин залягання підземних вод, карти мінералізації та окремих компонентів їх хімічного складу) і на підставі їх зіставлення між собою роблять висновок про наявність чи відсутність зв'язків між ними.

Зараз в Україні використовується методика обробки даних спостережень за хімічним складом підземних вод, що ґрунтується на застосуванні ймовірнісно-статистичних методів [90-92]. Статистичні методи базуються на встановленні кореляційних зв'язків між елементами хімічного складу підземних вод, тобто дають можливість підтвердити їх кількісно. В їх основі лежить уявлення про те, що при відомому початковому положенні якоїсь системи і діючих на цю систему факторах є принципова можливість передбачити положення цієї системи наперед, на будь-який термін часу. Кореляційний характер зв'язку, на відміну від прямого функціонального, визначає наявність при одному і тому ж значенні однієї змінної ряду значень іншої змінної, які відрізняються одна від одної в силу різної ступені участі решти факторів. Кореляційний аналіз визначається встановленням наявності таких зв'язків, визначенням їх форми і оцінкою тісноти цих зв'язків. Наявність зв'язку встановлюється аналітично, шляхом побудови кореляційних таблиць і розрахунків коефіцієнта кореляції. Для цього обираються показники, між якими передбачається встановити зв'язок (при чому необхідно мати досить довгі часові ряди спостережень) і будують рівняння зв'язку (рівняння регресії). Потім обчислюють статистичні оцінки – дисперсію, середнє квадратичне відхилення, визначають коефіцієнт кореляції. Чим вище значення коефіцієнту кореляції, тим більша ймовірність шуканого зв'язку, тим вона надійніша. При коефіцієнті кореляції більше 0,8 зв'язок буде наближатися до функціонального, при його значеннях менше 0,6 зв'язок вважається не дуже надійним.

На завершальному етапі обробки даних спостережень виконується прогнозування показників хімічного складу підземних вод [86]. Прогноз – це передбачення змін у показниках хімічного складу підземних вод. Він може бути якісним і кількісним, складається з упередженням на різний час. Для складання прогнозу природного режиму підземних вод використовуються ймовірнісно-статистичні методи, на основі яких виконується інтерполяція-екстраполяція. В складних умовах при порушеному режимі застосовуються різні аналітичні залежності та прогнозування проводиться шляхом математичного моделювання.

Взагалі, за масштабом явищ, що прогнозуються прогнози можуть бути поділені на дві групи: *точкові* і *площинні (просторові)*.

Точкові прогнози забезпечують завбачення мінливості показників хімічного складу підземних вод по одному водопункту – свердловині. Вони можуть подаватися як у абсолютних величинах елементів хімічного складу підземних вод, що прогнозуються, так і у відносних коефіцієнтах, у відсотках відхилень від середньо багаторічних норм.

Площинні прогнози в свою чергу поділяються на локальні і регіональні. Площинна характеристика прогнозів отримується шляхом екстраполювання точкових прогнозів по території, або шляхом розрахунків узагальнених площинних прогнозних характеристик хімічного складу. На сьогоднішній день в основному виконуються точкові прогнози хімічного складу підземних вод, методи площинного (просторового) прогнозування ще слабо розроблені і потребують спеціальних досліджень.

Наразі, обробка матеріалів гідрогеохімічних спостережень, ведення бази даних, прогнозування змін якісних показників ґрунтових вод території, що досліджується, виконується на базі табличного редактора Excel [33]. Прогноз проводиться автоматизовано на основі методу множинної кореляції. Тому, на сьогодні, великий об'єм різнопланової інформації, що накопичився за багаторічний період спостережень за показниками режиму підземних вод до яких відноситься і хімічний склад, потребує створення нової методики

обробки первинних даних на базі сучасного геоінформаційного програмного забезпечення, яка б надала можливість здійснити просторовий аналіз змін якісного складу ґрунтових вод за багаторічний період їх експлуатації.

Методи картографічного моделювання на основі ГІС

Для вирішення практичних і наукових завдань в гідрогеології, крім математичних методів, відповідних програмних засобів, ймовірнісних, детермінованих та картографічних моделей набули широкого використання сучасні геоінформаційні системи.

Необхідно відмітити, що загалом геологія, як науково-виробнича галузь, є далеко не новачком у використанні інформаційних технологій. Засоби обчислювальної техніки і спеціалізовані програмні продукти почали тут використовуватись у виробничому режимі (для математичного моделювання геофільтраційних процесів, опрацювання геофізичних даних тощо) понад 40 років тому [51]. Огляд та аналіз вітчизняної та закордонної літератури є тому підтвердженням.

Науково-методичний підхід до побудови цифрових гідрогеологічних карт і визначення принципів управління даними з використанням ГІС-технологій відображений в статті мексиканця Dirk Masuch [111]. Підхід, представлений у цій статті, заснований багато в чому на досвіді побудови гідрогеологічних карт в Німеччині, де конкретні концепції гідрогеологічної карти з урахуванням регіональної геології були розроблені ще в кінці 50-х років у відділі інженерної геології і гідрогеології Аахенського технологічного університету. Загальна процедура побудови цифрових гідрогеологічних карт включає декілька етапів. На основі точкових даних спочатку будуються ізолінії, потім векторні чи растрові поверхні.

Хоча така методика і підходить для картографічного моделювання більшості гідрогеологічних процесів, однак, як зазначає автор статті, для моделювання процесів динаміки підземних вод ГІС-технології мають деякі обмеження. Програмне забезпечення ГІС не охоплює всі функції, необхідні

для аналізу гідрогеологічних даних, в стандартну комплектацію не включені інструменти для двовимірного потоку підземних вод.

На початку 80-х років минулого століття Геологічна служба США почала впроваджувати ГІС для питань гідрогеології. Зокрема, Kernodle and Philip (1988) застосували ГІС для побудови математичної моделі фільтраційного потоку ґрунтових вод методом кінцевих різниць в басейні річки Сан-Хуан в штатах Нью-Мексико, Колорадо, Арізона і Юта. Вони використали дані більш ніж 24 тисяч нафтових і газових свердловин для визначення потужності водоносного горизонту. В результаті проведених досліджень була показана висока ефективність та гнучкість застосування ГІС-технологій для більшості моделей підземних вод [113].

Останніми роками широкого застосування ГІС набули в прогнозуванні та оцінці забруднення підземних вод. Так, наприклад, німецькими науковцями в 1999 році на основі ГІС виконана оцінка забруднення ґрунтових вод нітратами та їх прогноз в басейні річок на півдні Німеччини. Для оцінки просторового розподілу забруднюючих речовин на міській території Бірмінгема (Великобританія) були застосовані ГІС-технології (Arc View3.2). В статті фахівців-гідрогеологів із Бельгії R.C.Godu, G.Carabin, V.Hallct GIS-based hydrogeological databases and groundwater modeling розглядається тісна інтеграція ГІС і системи моделювання підземних вод (GMS). В процесі об'єднання цих двох систем виконана чисельна модель підземних вод в басейні п'яти річок у Вавілонії [115].

Цікавим і корисним є досвід впровадження ГІС-технологій у гідрогеологічній сфері Російської Федерації, адже саме геологи у колишньому СРСР одними з перших почали використовувати ГІС. Геологічна галузь в особі Міністерства природних ресурсів Російської Федерації і його регіональних представництв перетворилася в найбільшого колективного користувача програмних продуктів лідерів світового ринку ГІС – ESRI, ERDAS. Вибір програмного забезпечення цих компаній засновувався як на власних дослідженнях, так і на досвіді геологічних служб Канади, США,

Австралії. Як базові технології і формати представлення цифрових карт у вищезазначених країнах взято технологію сімейства програмних продуктів фірми ESRI (США) [118].

В даний час одним з провідних російських науково-виробничих підприємств, що працює в сфері вивчення, використання і охорони підземних вод є компанія "Геолінк Консалтинг". З моменту заснування компанії у 1989 році розробка програмного забезпечення є одним з ключових напрямків її діяльності [120]. Основними програмними продуктами, що використовуються в компанії з метою моніторингу підземної гідросфери є: ModTech – в основі якої лежить система кінцево-різницевих математичних моделей, що дозволяють вирішувати широке коло задач гідрогеодинаміки; ГИС GeoLink – використовується для моніторингу та моделювання процесів в підземних водах і суміжних середовищах; інформаційно-аналітична система геоекологічного моніторингу AquaBase – служить для управління фактографічними і картографічними (разом з ГИС Geolink) банками даних.

Перші фундаментальні узагальнення в Україні про залучення геоінформаційних систем в геологічній сфері з'явилися більше 30 років тому, і хоча, в ті роки ще не використовувався термін „геоінформаційні технології”, по суті це були саме вони – технології роботи з просторово-координованими даними [106].

Останнім часом потреби на цифрову картографічну продукцію значно зросли. Все більша кількість користувачів графічної інформації переконується в перевагах використання у своїй роботі цифрових карт. Цифрові карти з гідрогеологічної тематики складаються широким потоком і замінюють традиційні паперові карти. Накопичується досвід створення карт, удосконалюються методичні прийоми їхнього складання. Інтенсивно розвиваються нові версії програмних пакетів, які використовуються для створення та функціонування цифрових карт.

Провідною науково-виробничою установою Міністерства охорони навколишнього природного середовища України, яка збирає, зберігає, аналізує

та надає у користування інформацію, що утворилася в процесі геологічного вивчення та використання надр є "Державний інформаційний геологічний фонд України" (ДНВП "Геоінформ України") [119]. Геоінформ виконує функції головної організації по комп'ютеризації у галузі, майже у всіх тематичних роботах, що виконуються у Геоінформ, використовуються геоінформаційні технології.

В Державній геологічній службі України ГІС застосовуються переважно при реалізації проекту «Держгеолкарта 200» для створення комплексу тематичних карт масштабу 1:200000. При цьому використовується програмний засіб MapInfo Professional.

Починаючи з 2000 року спеціалістами Дніпропетровського відділення УкрДГРІ (Український Державний геолого-розвідувальний інститут) ведуться роботи по розробці та впровадженню методів прогнозування у системі державного моніторингу підземних вод [92]. На базі ГІС, а саме MapInfo Professional виконуються локальні і регіональні прогнози режиму підземних вод території України. Різноманітні гідрогеологічні дослідження забезпечує програмний комплекс GIS Software, який являє собою сукупність інтегрованих програмних модулів.

Однак, величезний графічний матеріал у вигляді карт, геологічних розрізів тощо, все ще залишається на традиційних (паперових) носіях, і тому необхідно і надалі реалізовувати роботи по переведенню найважливіших графічних даних в електронний вигляд, створювати бази даних та ефективно проводити гідрогеологічні дослідження на базі сучасного геоінформаційного програмного забезпечення. Саме залучення баз даних з просторовою прив'язкою – основна риса, що відрізняє карти в ГІС від просто електронних карт, створених на комп'ютері (в графічних пакетах).

2.1.1. Загальна технологічна схема обробки гідрогеологічної інформації на базі геоінформаційних систем

Сьогодні, в часи стрімкого росту розвитку геоінформаційних технологій все частіше виникають питання їх застосування для проведення аналітичної обробки результатів гідрогеологічних та інших досліджень надр. Використання сучасних інформаційних технологій дозволяє значно прискорити процеси введення, систематизації, пошуку необхідної інформації; проводити математико-статистичну обробку даних; виконувати оцінку гідрогеохімічної складової геологічного середовища. Застосовуючи ГІС-технології в процесі обробки гідрогеологічної інформації маємо змогу підвищити ефективність робіт, скоротити час та матеріальні затрати на їх виконання. Загальна технологічна схема опрацювання вихідної гідрогеологічної інформації, схематично представлена на рис. 2.1. відображає послідовність виконання основних етапів комп'ютерної технології.



Рис.2.1. Загальна технологічна схема опрацювання вихідної гідрогеологічної інформації

Як показано на рисунку 2.1., початковим етапом обробки гідрогеологічної інформації є добір вихідної інформації. До **блоку вихідної інформації** входять:

- матеріали опробування підземних вод в точках режимних спостережень (гідродинамічні, гідрохімічні, гідротермічні);
- наявні тематичні карти геологічного та гідрогеологічного змісту;
- текстові і табличні матеріали;
- електронні топографічні карти з базою даних

Останнє джерело вихідної інформації геологи почали використовувати завдяки інтенсивному впровадженню у виробництво комп'ютерної техніки та різноманітних програмних продуктів.

Блок технічного опрацювання є наступним підготовчим етапом обробки гідрогеологічної інформації. Він дозволяє проводити сканування (Adobe Photoshop), цифрування (Map Edit, Easy Trace) джерел інформації, які містяться в паперовому вигляді, а також створювати та наповнювати електронні таблиці (Microsoft Excel, ArcMap) та формувати спеціалізовану базу геопросторових даних (ArcMap).

Подальший етап обробки гідрогеологічної інформації можливий завдяки введенню до **блоку опрацювання інформації ГІС-пакетами** (ArcView, ArcMap, MapInfo) вихідних картографічних даних, що містяться в цифрових картах. Використання цифрових карт забезпечує одержання точнішої та єдиної основи для створення цілого ряду електронних тематичних карт на одну і ту саму територію. Крім того, цифрові карти дають змогу здійснювати статистичний аналіз даних (оцінювати кореляцію, регресію тощо), виконувати імітаційне моделювання (дослідження різних сценаріїв поведінки об'єктів), просторовий аналіз (операції накладання, побудова і аналіз поверхонь) досліджуваних процесів чи явищ. Модель побудована з використанням готових програмних продуктів дозволяє одержувати необхідні результати з максимального числа досліджуваних параметрів. Під моделлю процесу тут розуміється інформаційна структура і принципи реалізації зовнішніх і внутрішніх зв'язків між об'єктами з усім комплексом характеристик, що

досліджуються. Отже, блок опрацювання гідрогеологічної інформації ГІС включає:

- мережевий аналіз (геокодування даних);
- створення баз даних спеціального змісту;
- перетворення проекцій;
- статистичну обробку даних та їх аналіз;
- просторовий аналіз і моделювання в ГІС.

Таким чином, використання сучасних ГІС-технологій з метою обробки гідрогеологічної інформації дає можливість моделювати швидкозмінні явища, здійснюючи автоматизований аналіз процесу чи явища. Це дозволяє значно заощадити час та зусилля, отримати кінцевий результат у зручній для сприйняття картографічній формі. Технологічна схема обробки гідрогеологічної інформації передбачає застосування досить значного переліку програмних продуктів. До основних, розвинутих настільних ГІС, слід віднести такі: ArcGIS Desktop (до складу якого входять пакети ArcInfo, ArcView, ArcEditor), MapInfo, AutoCAD Map, та інші.

Оскільки експериментально-практичні дослідження ґрунтувалися на програмному забезпеченні ArcGIS Desktop [6], коротко зупинимось на базових можливостях його основних компонентів.

Базовий модуль пакетів **ArcGIS Desktop** має уніфікований інтерфейс та архітектуру і в попередніх версіях (до версії 8.3) мав інтегрований набір компонентів (applications) **ArcCatalog**, **ArcMap** і **ArcToolbox**. У версії 9.0 до складу компонентів були введені також ModelBuilder і ArcGlobe. Кожний із компонентів базового модуля пакетів ArcGIS Desktop «відповідальний» за виконання певного набору функцій маніпулювання, обробки, аналізу і відображення даних.

Модуль **ArcCatalog** дає можливість знаходити, переглядати, документувати і організовувати географічні дані, а також створювати власні бази даних для їх збереження, використовуючи при цьому набір інструментів для створення або імпорту класів об'єктів і таблиць. Тому такі операції як

геокодування даних, перетворення проекцій, створення баз даних спеціального (тематичного) змісту виконуються за допомогою цього модуля. При геокодуванні зчитуються атрибутивні дані, які зберігаються в таблицях, що мають адреси, і знаходиться їх розташування на карті. Це дозволяє визначити адресу за умови вказівки координат і навпаки, за адресою визначити координати необхідного об'єкту.

ArcToolbox містить набір інструментів для конвертації, аналізу і керування даними. Нескладні завдання реалізуються на основі робочих форм (таблиць), у яких необхідно заповнити порожні поля. Більш складні операції виконуються за допомогою відповідних «майстрів». Статистичну обробку даних та їх аналіз можна легко провести за допомогою *ArcGIS Geostatistical Analyst*, адже завдяки цьому модулю ми можемо глибше зрозуміти явище, що вивчається з метою прийняття більш обґрунтованих рішень при роботі з даними. Вивчення розподілу даних, визначення екстремальних значень, пошук глобальних трендів, вивчення просторової кореляції і розуміння коваріації між декількома наборами даних – це ті задачі, виконання яких корисне для розуміння структури даних.

Окремої уваги заслуговують зовнішні розширення *ArcGIS Spatial Analyst* та *3D Analyst*. Один з додаткових модулів системи ArcGIS – модуль *Spatial Analyst* являє собою потужний засіб для просторового аналізу, що додає специфічну функціональність до ArcGIS. Цей модуль дає можливість виконувати:

- картування відстаней (обчислення евклідових відстаней, визначення функціональної відстані тощо);
- картування щільності (обчислення щільності корисно, коли необхідно показати концентрацію точкових або лінійних об'єктів);
- інтерполяцію растра, яка дозволяє обчислити значення для всіх осередків растра за значеннями обмеженого числа точок випробування (при цьому використовуються відомі методи інтерполяції – зворотно зважених відстаней, крігінг, сплайн);

- аналіз поверхні (визначати кут нахилу, сторони освітлення, затемнення та контур на карті поверхні);

- обрахунок статистичних характеристик між багатьма растровими шарами (мінімальне, максимальне, середнє значення, медіана, діапазон, середньоквадратичне відхилення, сума);

- математичні операції з растровими шарами (алгебра карт, калькулятор растрів тощо);

- конвертацію векторних даних в растр і навпаки (причому це може бути покриття, шейп-файл або дані САПР).

Модуль розширення *3D Analyst* призначений для роботи з даними в трьох вимірах. *3D Analyst* додає до базових функцій новий додаток *ArcScene* для відображення різних типів даних в тривимірній перспективі, а також розширює функціональність додатків *ArcCatalog* і *ArcMap*. Растрові поверхні в *3D Analyst* можна побудувати за допомогою різних типів інтерполяції: сплайна, методу зворотно зважених відстаней (ЗЗВ), методу крігінга (ординарного, загального). Моделі TIN створюються зазвичай по комбінації декількох джерел векторних даних і використовуються, в основному, для точного моделювання невеликих за площею областей.

Поверхні можна просто переглядати, щоб скласти загальне уявлення про дані, а можна проводити по ним самий різний аналіз, наприклад, розрахунок ухилів та експозицій, швидкості зміни будь-яких характеристик, визначення видимості і т.д. Додаток *ArcScene* дозволяє створювати багатошарові сцени і управляти властивостями відображення кожного з шарів і його положенням в тривимірному просторі. Можна контролювати загальні властивості сцени, такі як освітленість, фон, вертикальне збільшення, а також переміщати і обертати сцену, задавати координати спостерігача. Є можливість анімації тривимірного зображення, а також віртуального прольоту над сценою.

Графічний модуль ***ArcMap*** дає можливість створювати електронні карти і маніпулювати ними – їх можна переглядати і аналізувати [118].

З використанням даного додатка можна: створювати карти на основі інтегрування даних, які зберігаються в різних форматах, включаючи шейп-файли (shapefiles), покриття (coverages), таблиці, наземні і космічні знімки (images); подавати просторові дані у вигляді карт із використанням широкого спектру картографічних можливостей; аналізувати просторові дані з метою знаходження об'єктів або встановлення зв'язків між ними.

2.1.2. Алгоритм обробки гідрогеохімічних даних

На сьогодні, завдяки сучасним геоінформаційним системам, ми маємо змогу моделювати гідрогеологічні процеси і явища, які швидко змінюються в просторі і часі, при цьому здійснюючи автоматизований аналіз просторової мінливості досліджуваного параметру.

Обробка даних хімічного складу ґрунтових вод водоносного горизонту Чоп-Мукачівського басейну ґрунтувалась на ліцензованому програмному забезпеченні ArcGIS Desktop (версія 9). На рис. 2.2. схематично зображена блок-схема алгоритму обробки даних хімічного складу ґрунтових вод алювіальних відкладів минайського віку.

Першочерговим завданням, як видно з рис 2.2., є вибір картографічної проекції, створення тематичної геоінформаційної бази даних та геокодування даних (географічна прив'язка). За умови наявності картографічної основи (цифрової карти) всі ці послідовні операції виконуються безпосередньо в ArcGIS Desktop, що не потребує конвертування даних з інших стандартних програм. Це в свою чергу, дозволяє запобігти неприємностям, які виникають при конвертуванні даних (втрата властивостей картографічних шарів, інформації про систему координат і проекцію відображення тощо).

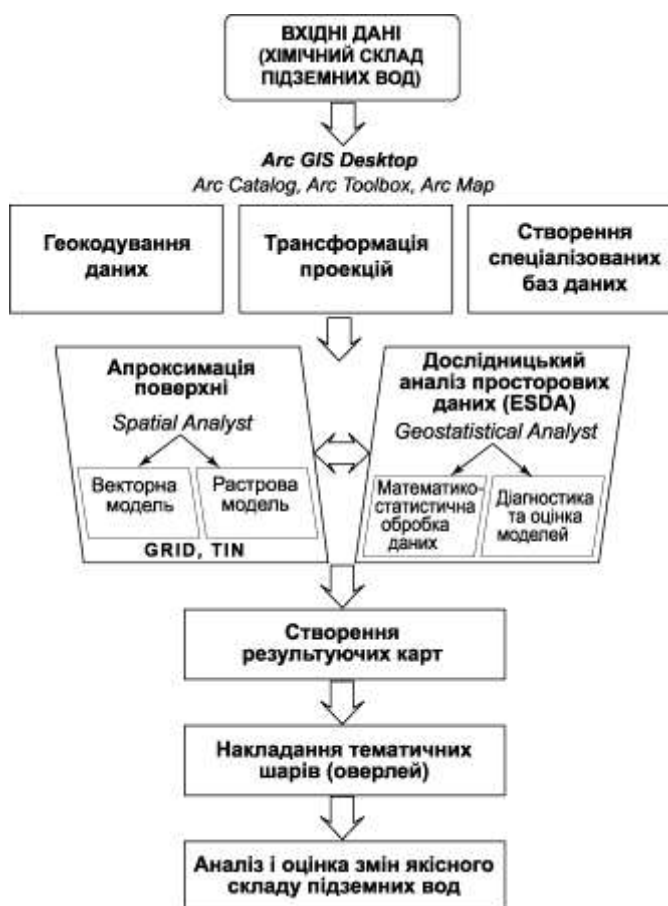


Рис. 2.2. Блок-схема алгоритму обробки даних хімічного складу

Наступним етапом обробки вихідних даних є моделювання поверхні. Створити поверхню – означає заповнити простір між дискретними точками, що містять дані виміру безперервного явища. Стандартним засобом, що забезпечує виконання цього розрахунку, є апроксимація [51]. В сучасних аналітичних ГІС (ArcGIS Desktop) реалізовані декілька методів апроксимації (інтерполяції) поверхонь: метод зворотних зважених відстаней, метод поверхні тренда, крігінг, сплайн. Вибір оптимального методу інтерполяції наявних даних залежить від кількості вихідних точок даних і рівномірності їх розподілу в області інтерполяції.

Виконавши процедуру вибору методу інтерполяції, необхідно зрозуміти, як поверхня може бути зображена засобами ГІС у векторних або растрових системах. У векторних системах зображення поверхні провадиться за допомогою моделі нерегулярної триангуляційної мережі (TIN), що є одним із способів подання Z-величини. У растрових системах поверхня, яка має назву

грід, відображається у вигляді сукупності регулярно організованих площинних об'єктів – пікселя (pixel). Кожен піксель може характеризуватися відповідним значенням, і крім того, ще й займати деяку площу, зі збільшенням якої у растровій моделі даних знижується якість зображення поверхні.

Для розуміння природи досліджуваного явища чи процесу, не дивлячись на те, буде створена результуюча поверхня чи ні, в ArcGIS Desktop на базі модуля Geostatistical Analyst використовується розширення Дослідницький аналіз просторових даних (ESDA). Завдяки цьому розширенню ми можемо виконати математико-статистичну обробку вихідних даних, продіагностувати модель та надати оцінку відповідності її побудови.

Слідуючим досить важливим етапом аналізу є відображення результатів моделювання – створення результуючих карт та їх аналіз. Передусім, на результуючих картах необхідно усунути всі непотрібні деталі і показати основну ідею, при цьому використовуючи фон і другорядні деталі для її доповнення.

Найбільш потужною можливістю сучасних ГІС-систем є їх здатність порівнювати картографічне зображення тематичної інформації обраних шарів карти [61]. Цей процес має назву картографічне накладання (оверлей). Сучасні ГІС вдало поєднують потужний обчислювальний інструментарій, що дозволяє реалізовувати складні алгоритми накладання атрибутивної інформації з безмежними можливостями комп'ютерної графіки. Завдяки цьому процесу, до якого на сьогодні оперативно залучаються дані різних типів – від табличних відомостей точок спостережень до статистичних поверхонь або ж даних космічного зондування, ми маємо змогу використовувати математичні функції картографічної алгебри, а також наочно контролювати кожний крок аналітичного процесу. Маючи серію результуючих карт на різні моменти часу шляхом оверлейного аналізу можна встановити просторово-часові зміни хімічного складу підземних вод та надати кількісну оцінку їх змін по площі ділянки дослідження.

Створення нового шару та вибір картографічної проекції. Для роботи з фактографічною та картографічною інформацією в пакеті ArcGIS Desktop (модуль Arc Catalog) створюємо новий шейп-файл (рис. 2.3.). В даному випадку просторова інформація буде подана у вигляді точкових об'єктів (свердловин).

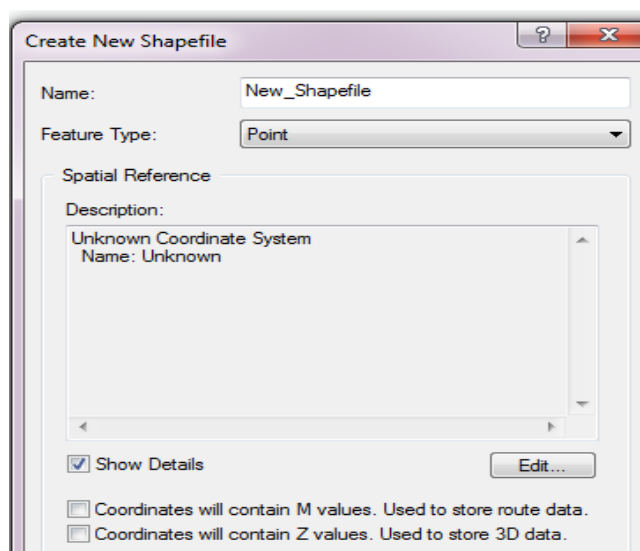


Рис. 2.3. Створення нового шейп-файлу

Усі шари даних, відібрані для аналізу, повинні бути в єдиній картографічній проекції, адже прив'язка до єдиної картографічної проекції забезпечує точність і відповідність реальним умовам отриманих результатів. Тому обираємо картографічну проекцію – WGS 1984 UTM зона 34, яка відповідає географічному положенню Закарпатської області (рис. 2.4.).

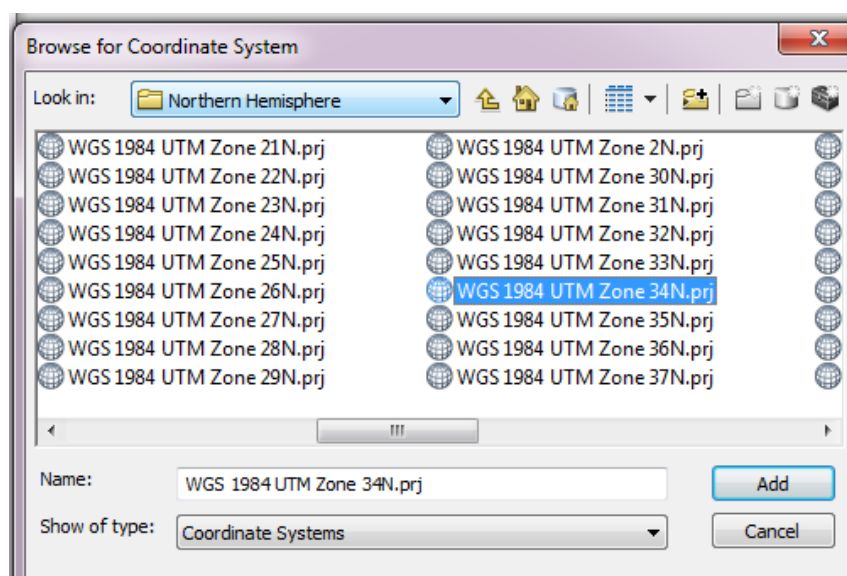


Рис. 2.4. Вибір картографічної проекції

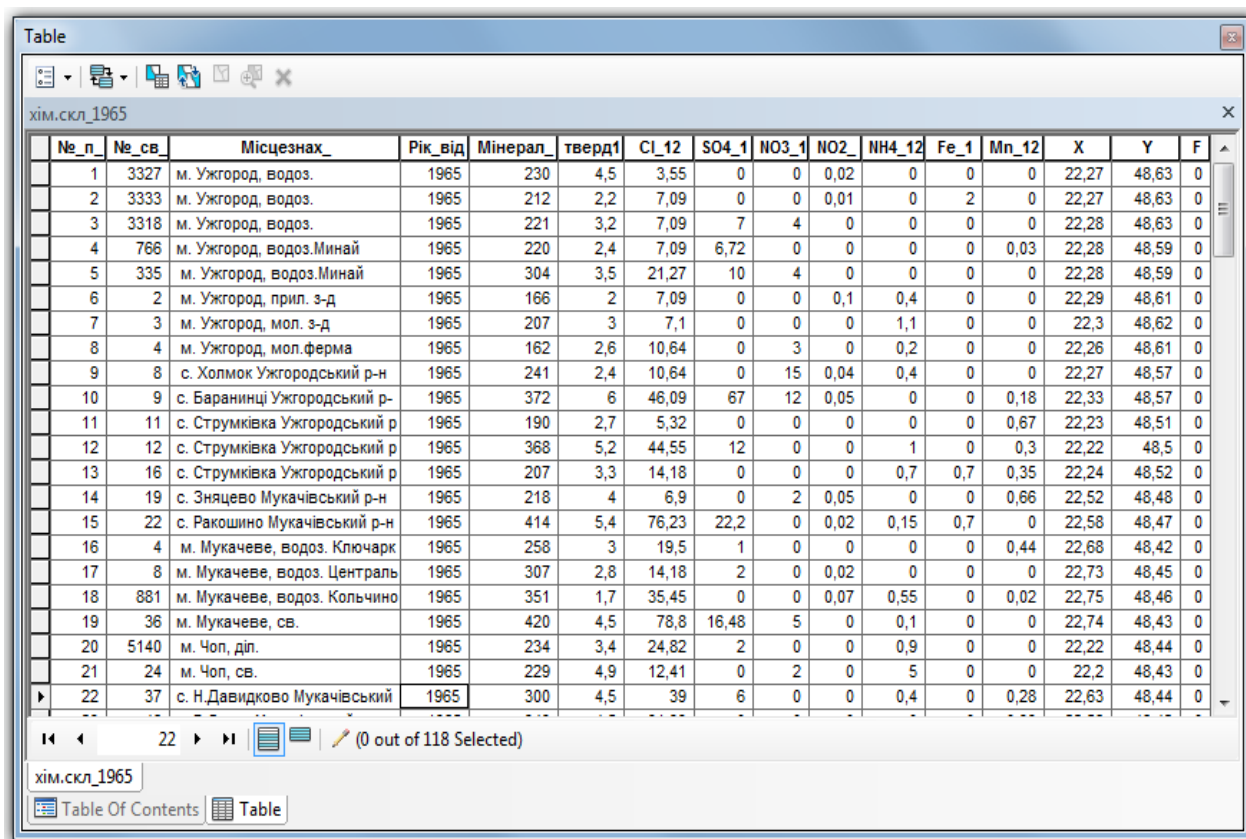
Створення бази даних. Невід’ємною складовою частиною ГІС є база даних (БД), яка виступає сховищем структурованих даних.

База даних створена за допомогою модуля Arc Catalog ГІС-пакету ArcGIS Desktop, в якому реалізовані можливості створення нових баз даних спеціального змісту, їх ведення, зберігання. В Arc Catalog використовується реляційна модель організації даних, яка має табличну структуру – рядки і стовпчики. Кожен рядок таблиці відповідає одному запису про об’єкт, а стовпчики містять характеристики об’єктів.

Вихідною інформацією для цих досліджень стали результати хімічного аналізу проб води (починаючи з 1960 р. до теперішнього часу) централізованих, окремих водозаборів та одиночних свердловин, які експлуатують ґрунтовий водоносний горизонт. Всього проаналізовано більше ніж 1500 результатів хімічних аналізів ґрунтових вод. Найбільш чисельні ряди спостережень за хімічним складом ґрунтових вод є за 1965 р. (118 аналізів) та за 2005 р. (87 аналізів). Зважаючи на це, а також те, що вони є максимально віддаленими один від одного, в подальшому у дослідженні будуть використовуватись дані опробування хімічного складу саме цього часу. В останні роки в Чоп-Мукачівському басейні планових моніторингових досліджень хімічного складу ґрунтових вод не проводилося. В 2012–2015 рр. нам вдалося отримати дані хімічного складу ґрунтових вод 14-ти свердловин на приватних ділянках. При їх аналізі встановлено, що тенденція зміни хімічного складу зберігається, і ці зміни не впливають на кінцевий результат.

Кожна структурна одиниця новоствореної тематичної бази даних містить порядковий номер, номер самої свердловини, рік відбору проб та їх місцезнаходження – найближчий населений пункт, а також включає основні показники хімічного складу ґрунтових вод такі, як загальна мінералізація, жорсткість, хлориди, сульфати, азотисті сполуки (нітрати, нітрити, амоній), загальне залізо, марганець на два періоди часу: 1965 р. та 2005 р.

Нижче представлений фрагмент структури бази даних хімічного складу ґрунтових вод алювіальних відкладів минайського віку, наповнення якої на період 1965 р. здійснене по 118 свердловинам (рис. 2.5).



№_п_	№_св_	Місцезнах_	Рік_від	Мінерал_	тверд1	Cl_12	SO4_1	NO3_1	NO2_	NH4_12	Fe_1	Mn_12	X	Y	F
1	3327	м. Ужгород, водоз.	1965	230	4,5	3,55	0	0	0,02	0	0	0	22,27	48,63	0
2	3333	м. Ужгород, водоз.	1965	212	2,2	7,09	0	0	0,01	0	2	0	22,27	48,63	0
3	3318	м. Ужгород, водоз.	1965	221	3,2	7,09	7	4	0	0	0	0	22,28	48,63	0
4	766	м. Ужгород, водоз.Минай	1965	220	2,4	7,09	6,72	0	0	0	0	0,03	22,28	48,59	0
5	335	м. Ужгород, водоз.Минай	1965	304	3,5	21,27	10	4	0	0	0	0	22,28	48,59	0
6	2	м. Ужгород, прип. з-д	1965	166	2	7,09	0	0	0,1	0,4	0	0	22,29	48,61	0
7	3	м. Ужгород, мол. з-д	1965	207	3	7,1	0	0	0	1,1	0	0	22,3	48,62	0
8	4	м. Ужгород, мол.ферма	1965	162	2,6	10,64	0	3	0	0,2	0	0	22,26	48,61	0
9	8	с. Холмок Ужгородський р-н	1965	241	2,4	10,64	0	15	0,04	0,4	0	0	22,27	48,57	0
10	9	с. Баранинці Ужгородський р-	1965	372	6	46,09	67	12	0,05	0	0	0,18	22,33	48,57	0
11	11	с. Струмківка Ужгородський р	1965	190	2,7	5,32	0	0	0	0	0	0,67	22,23	48,51	0
12	12	с. Струмківка Ужгородський р	1965	368	5,2	44,55	12	0	0	1	0	0,3	22,22	48,5	0
13	16	с. Струмківка Ужгородський р	1965	207	3,3	14,18	0	0	0	0,7	0,7	0,35	22,24	48,52	0
14	19	с. Зняцево Мукачівський р-н	1965	218	4	6,9	0	2	0,05	0	0	0,66	22,52	48,48	0
15	22	с. Ракошино Мукачівський р-н	1965	414	5,4	76,23	22,2	0	0,02	0,15	0,7	0	22,58	48,47	0
16	4	м. Мукачеве, водоз. Ключарк	1965	258	3	19,5	1	0	0	0	0	0,44	22,68	48,42	0
17	8	м. Мукачеве, водоз. Централь	1965	307	2,8	14,18	2	0	0,02	0	0	0	22,73	48,45	0
18	881	м. Мукачеве, водоз. Кольчино	1965	351	1,7	35,45	0	0	0,07	0,55	0	0,02	22,75	48,46	0
19	36	м. Мукачеве, св.	1965	420	4,5	78,8	16,48	5	0	0,1	0	0	22,74	48,43	0
20	5140	м. Чоп, діп.	1965	234	3,4	24,82	2	0	0	0,9	0	0	22,22	48,44	0
21	24	м. Чоп, св.	1965	229	4,9	12,41	0	2	0	5	0	0	22,2	48,43	0
22	37	с. Н.Давидково Мукачівський	1965	300	4,5	39	6	0	0	0,4	0	0,28	22,63	48,44	0

Рис. 2.5. Фрагмент структури бази даних хімічного складу ґрунтових вод минайського віку за 1965 р.

Станом на 2005 р. наповнення бази даних виконане по 87 свердловинам. За необхідності базу даних можна розширювати і доповнювати, додаючи нові свердловини з компонентами хімічного складу.

Необхідно зазначити, що картографічною основою дослідження є цифрова карта Закарпатської області масштабу 1: 200 000, складовими елементами якої є: адміністративні межі; об'єкти гідрографії; населені пункти; мережа автошляхів та залізниць; рельєф (горизонталі та абсолютні відмітки). На рис. 2.6. представлена структурно-графічна модель бази даних, головними блоками якої є топографічне навантаження та спеціальний зміст.



Рис. 2.6. Структурно-графічна модель спеціалізованої бази даних хімічного складу ґрунтових вод

Геокодування даних. Географічна прив'язка водозабірних свердловин, що занесені до бази даних є наступним важливим етапом дослідження. Цей процес має назву геокодування, що являє собою процес додавання точкових об'єктів на карту, розташування яких визначається за адресною інформацією іншого характеру [11]. При геокодуванні зчитуються атрибутивні дані, які зберігаються в таблицях, що мають адреси, і знаходиться їх розташування на карті. Це дозволяє визначити адресу за умови вказівки координат і навпаки, за адресою визначити координати необхідного об'єкту.

Таким чином, у нашому випадку географічна прив'язка точкових об'єктів (свердловин) виконувалась в процесі створення тематичної бази даних, оскільки координати зчитувались з атрибутивних даних в таблиці, які мають адресну інформацію. Слід зазначити про неоднорідність розподілу свердловин по території дослідження на два періоди часу: станом на 2005 р. розташування свердловин по території дослідження є нерівномірним, більш зосередженим в основному поблизу великих промислових центрів, на відміну від більш раннього часу (1965 р.), коли свердловини розташовувалися більш-менш

рівномірно. Схема розташування водозабірних свердловин зображена на рис. 2.7.

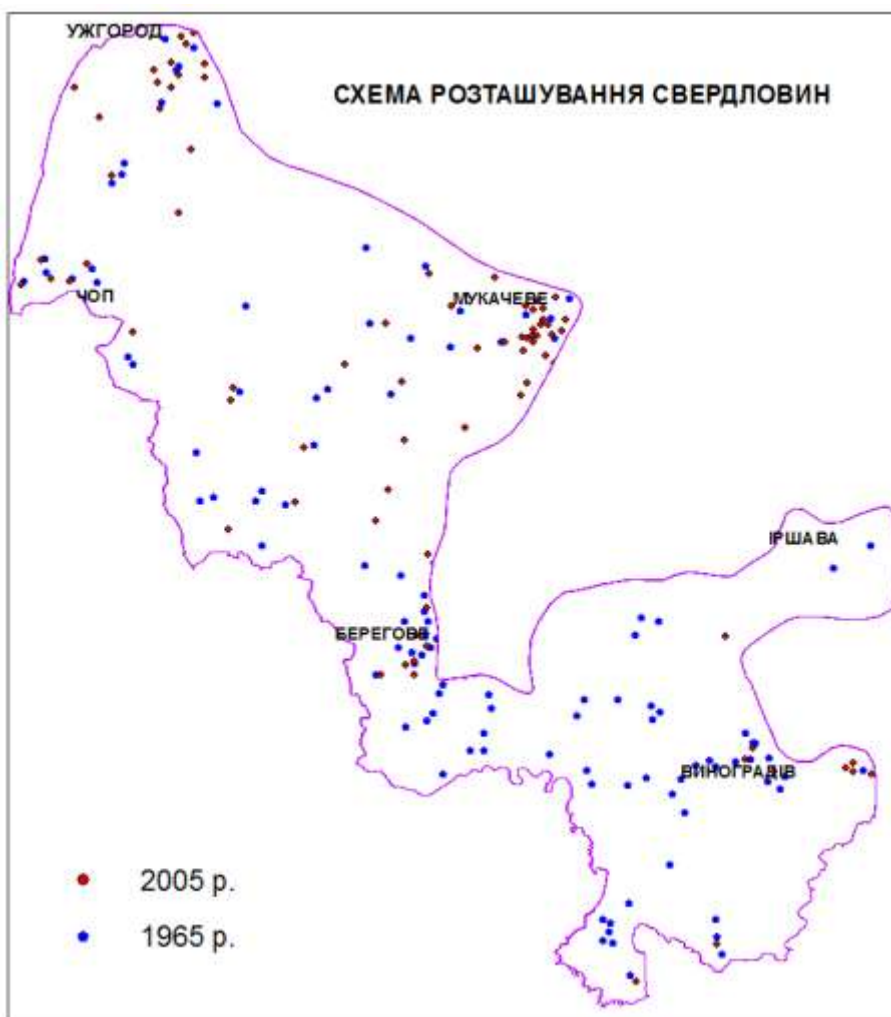


Рис.2.7. Схема розташування водозабірних свердловин на території дослідження

Побудова моделей поверхні

Апробація методики обробки вихідних даних на базі ГІС-технологій виконана для мінералізації, значення якої постійно змінюється в просторі та часі та має, безсумнівно, важливе значення для здоров'я населення.

Вибір методу апроксимації. Для картографічного представлення даних хімічного складу ґрунтових вод алювіальних відкладів минайського віку передусім необхідно обрати метод апроксимації. В пакеті ArcGIS Desktop (модуль Arc Toolbox) використовуються декілька методів:

- зворотних зважених відстаней (IDW);
- сплайн (Spline);
- крігінг (Kriging).

Вибір методу апроксимації обумовлений особливостями вихідних даних (кількістю точок спостереження, характером їх розподілу по площі, різницею між мінімальними і максимальними показниками) [51]. Тому, виходячи з наявної інформації, для апроксимації був обраний метод зворотних зважених відстаней (ЗЗВ чи IDW), який є більш ефективним і результативним, на відміну від інших методів. Даний метод використовує опорні точки, що знаходяться поблизу шуканої. Частка „участі” значення опорної точки в розрахунку шуканого значення виражається у вигляді вагового коефіцієнта $\lambda_{i,j}$.

$$Z(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_{i,j} Z(x_i, y_i), \quad (2.1)$$

де $Z(x_0, y_0)$ – значення властивості в шуканій точці,

$\lambda_{i,j}$ – ваговий коефіцієнт для значення властивості в опорній точці $Z(x_i, y_i)$.

Побудова растрової моделі поверхні мінералізації. Поверхня – це засіб відображення безперервних даних. В ГІС поверхня може бути представлена у вигляді растрової або векторної моделі.

Для побудови растрової моделі поверхні мінералізації (grid) використовуємо модуль *Spatial Analyst Tools* → *Interpolation*, де у діалоговому вікні обраного методу інтерполяції (IDW чи ЗЗВ), встановлюємо необхідні параметри для побудови результуючої поверхні. Для цього використовуємо точковий шар, що буде проінтерпольований та вихідні значення (в даному випадку значення мінералізації). В автоматичному режимі задаються розміри ґрид-сітки, яка відповідає розмірам межі ділянки дослідження (рис. 2.8.).

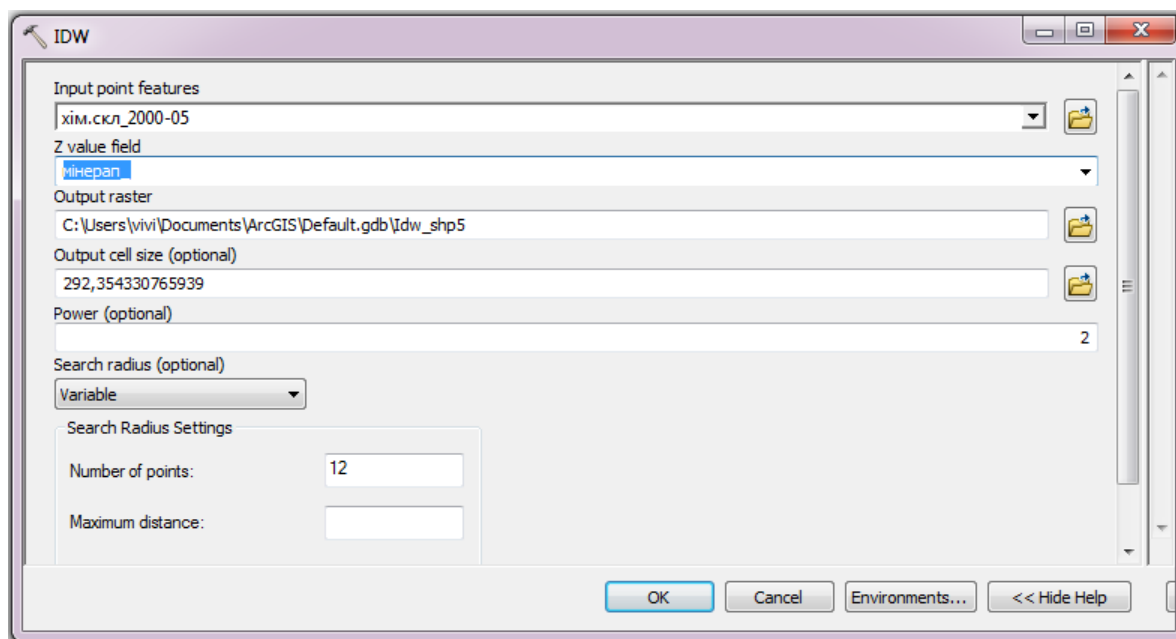


Рис. 2.8. Діалогове вікно параметрів інтерполяції методом ЗЗВ

Побудована методом зворотних зважених відстаней растрова модель поверхні мінералізації водоносного горизонту алювіальних відкладів станом на 2005 р. буде мати наступний вигляд (рис. 2.9.).

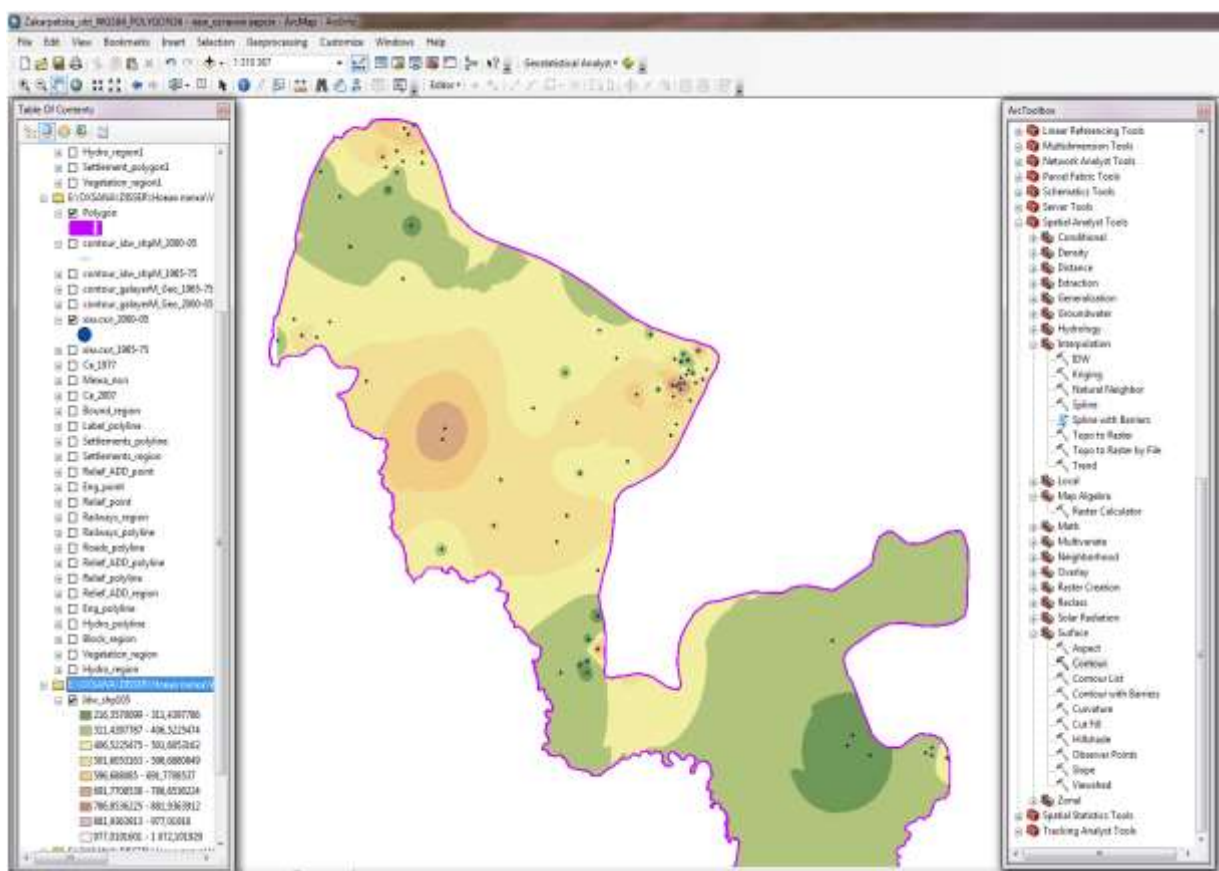


Рис. 2.9. Растрова модель поверхні мінералізації

Отримана таким чином растрова модель поверхні представлена дискретною матрицею величин мінералізації, де кожна клітинка растру (піксель) має лише одне значення мінералізації. Крім того, зі збільшенням площі, яку займає піксель у растровій моделі даних знижується точність зображення поверхні.

Наступним етапом обробки даних є їх класифікація, яка являє собою процес об'єднання об'єктів у класи. При класифікації даних групуються подібні просторові об'єкти в класи шляхом присвоєння одного і того ж символу кожному об'єкту, який попадає в один і той же клас. Об'єднання просторових об'єктів в класи дозволяє легко розпізнавати ділянки даних. Діапазони значень визначають, які просторові об'єкти потраплять в клас, що в свою чергу впливає на відображення даних на карті. Змінюючи межі класу, можна створювати різноманітні карти, на яких одні і ті ж просторові явища будуть виглядати по-різному. Можна встановлювати межі класів вручну, або скористатися стандартною схемою класифікації [11].

В ArcGIS Desktop найбільш використовуваними стандартними схемами класифікації є: рівні інтервали (Equal Interval); квантиль (Quantile); природна розбивка (Natural Breaks); стандартне відхилення (Standard Deviation).

При побудові грід-поверхні класи призначаються автоматично, по умовчужанню, при цьому використовується одна із стандартних схем класифікації – рівні інтервали. Але класифікована за такою схемою карта є незручною для сприйняття. Тому для вирішення поставлених завдань дослідження можна призначити класи вручну. Ручна класифікація дозволяє згрупувати об'єкти за специфічними критеріями або порівняти значення їх атрибутів з конкретною характерною величиною. Перекласифікована карта (рис. 2.10.) дещо відрізняється від попередньої рисунком зображення та його кольоровістю, однак вона відображає реальні значення величини мінералізації даної території.

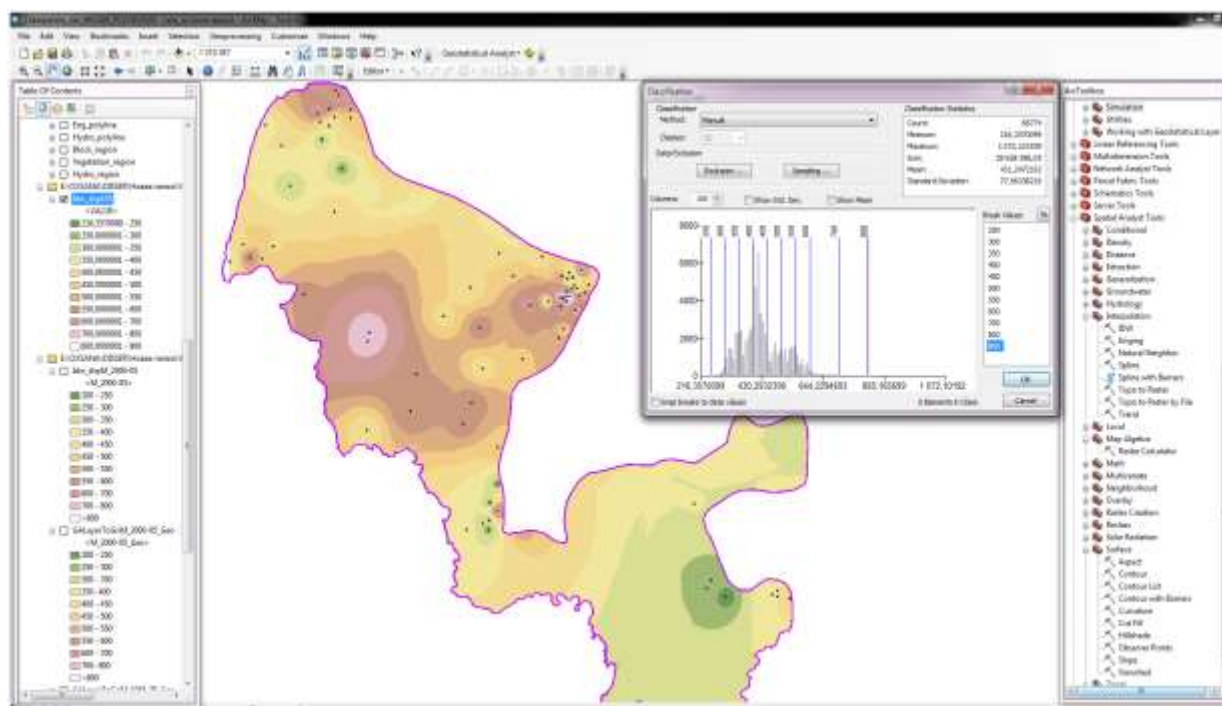


Рис. 2.10. Перекласифікована карта

Використовуючи модуль *Spatial Analyst Tools*→*Surface*→*Contour* будуюмо ізолінії мінералізації. Задаємо параметри для побудови ізоліній, встановлюємо необхідний інтервал. Таким чином, отримуємо ізолінії мінералізації водоносного горизонту алювіальних відкладів на період 2005 р. (рис. 2.11.)

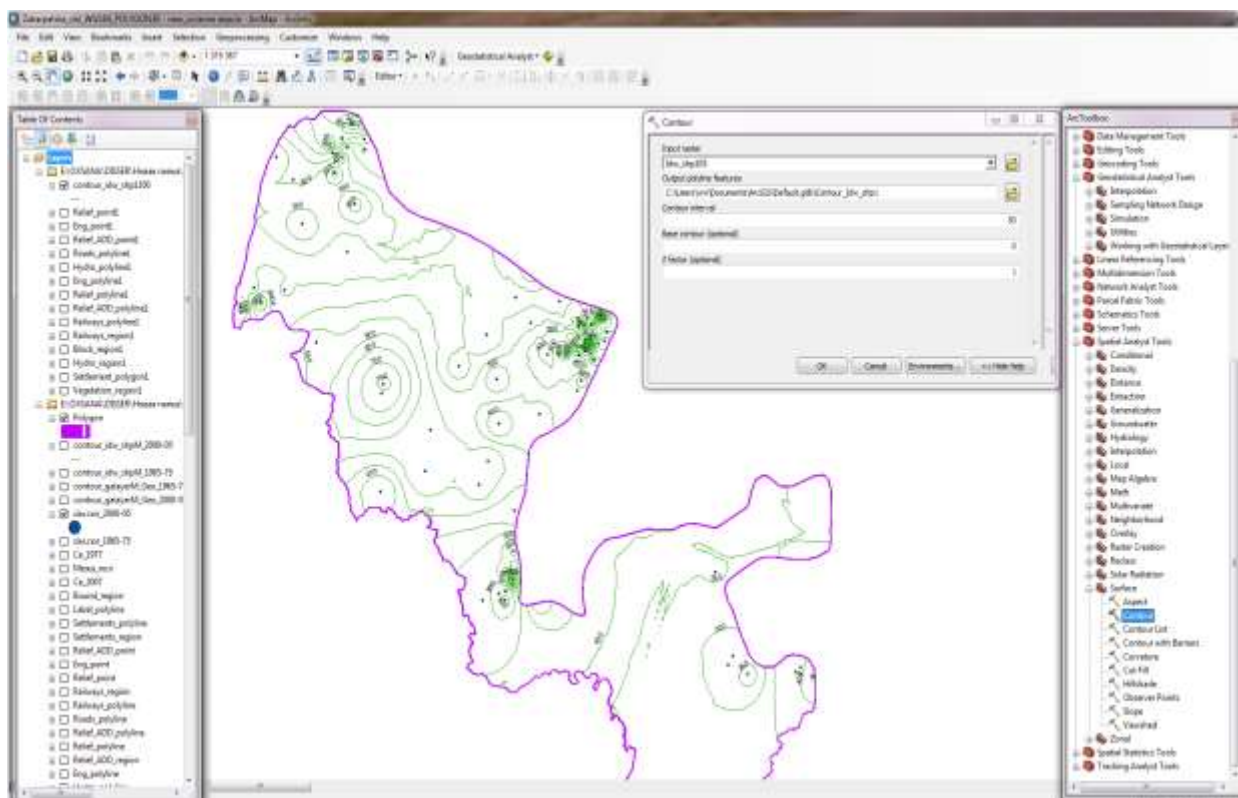


Рис. 2.11. Ізолінії мінералізації

Із представленого зображення видно, що в деяких місцях ізолінії мінералізації мають не плавні обриси, гострі кути. Це може бути пояснено невеликою щільністю точкових об'єктів (свердловин), особливо в південній частині ділянки дослідження. Поблизу м. Мукачеве строката картина ізоліній мінералізації може бути пов'язана з різкою зміною статистичних даних на невеликій відстані.

Побудова векторної моделі поверхні мінералізації. Як вже зазначалося вище, основою зображення поверхні у векторних системах є модель нерегулярної тріангуляційної мережі (*TIN*), що являється одним із способів подання величини по координаті *Z*. Моделі *TIN* зазвичай створюються по комбінації декількох джерел векторних даних і використовуються, в основному, для точного моделювання невеликих за площею областей. Моделі зображення поверхонь у векторних системах бувають двох типів: основані на точках або на лініях. Як правило, в гідрогеології щільність точкових об'єктів є невеликою, тому для збільшення точності та детальності кінцевого результату побудову векторної моделі поверхні виконують використовуючи ізолінії, які отримані шляхом інтерполяції даних у заданих точках.

Отож, растрову модель поверхні мінералізації, шляхом конвертації, перетворюємо у векторну. Для побудови векторної моделі використовуємо модуль розширення *3D Analyst*. Далі обираємо *Conversion→From Raster→Raster to TIN* і отримуємо векторну *TIN*-модель поверхні мінералізації підземних вод водоносного горизонту алювіальних відкладів (рис. 2.12.)

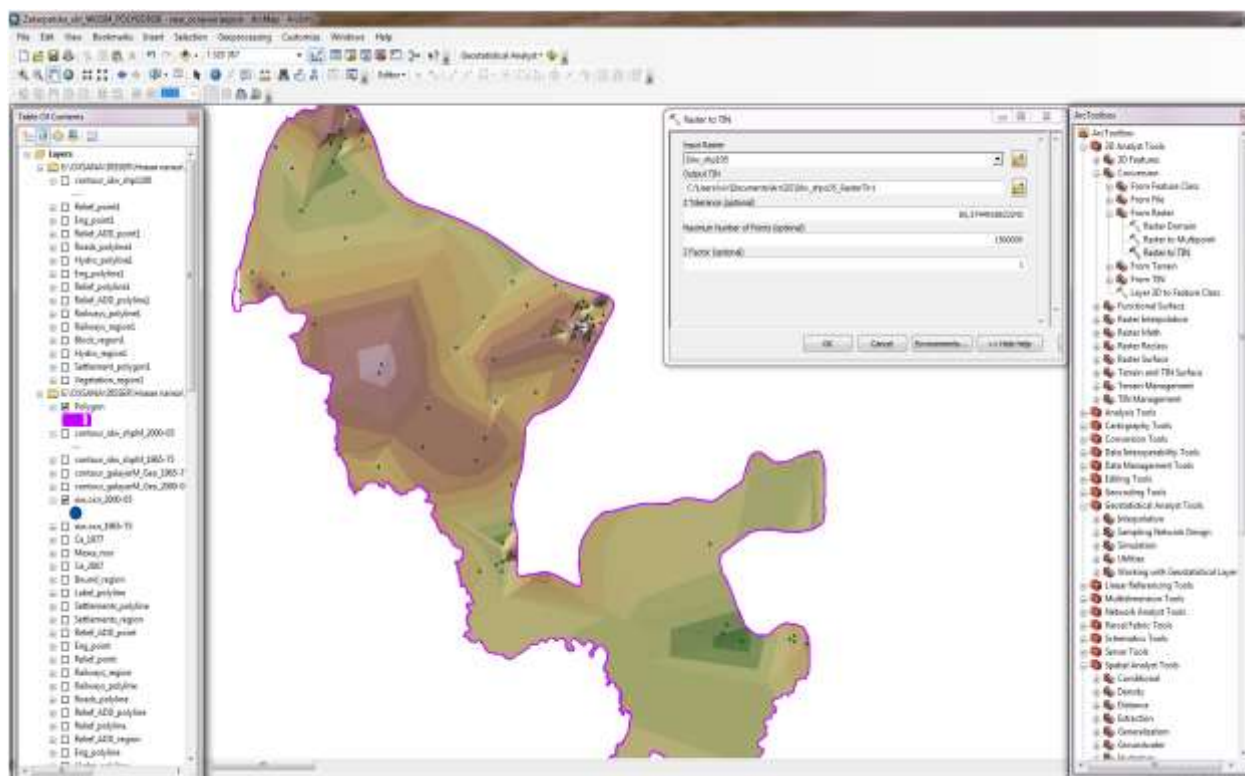


Рис. 2.12. Векторна модель поверхні мінералізації

Обґрунтування достовірності отриманих результатів моделювання

Зважаючи на складність гідрогеологічних процесів і явищ, побудова математико-картографічних моделей потребує перевірки їх адекватності, істинності отриманих результатів.

Перевірку достовірності отриманих результатів можна виконати декількома способами:

- перевірити відповідність побудованої моделі фактичним даним;
- застосувати інструментарій перевірки достовірності моделі в Arc GIS;
- порівняти модель з картою, побудованою ручним способом;

Оскільки порівняти отриману модель з картою побудованою вручну не є можливим, через її відсутності, перевірку адекватності моделі виконаємо вищеперерахованими першими двома способами.

Перевірка відповідності побудованої моделі фактичним даним. Для встановлення відповідності побудованої моделі фактичним даним створено незалежну вибірку із одинадцяти свердловин регіонального рівня моніторингу, в яких зафіксовані значення мінералізації станом на 2005 рік. Відібрані дані занесені до бази даних та представлені на карті (рис. 2.13.).

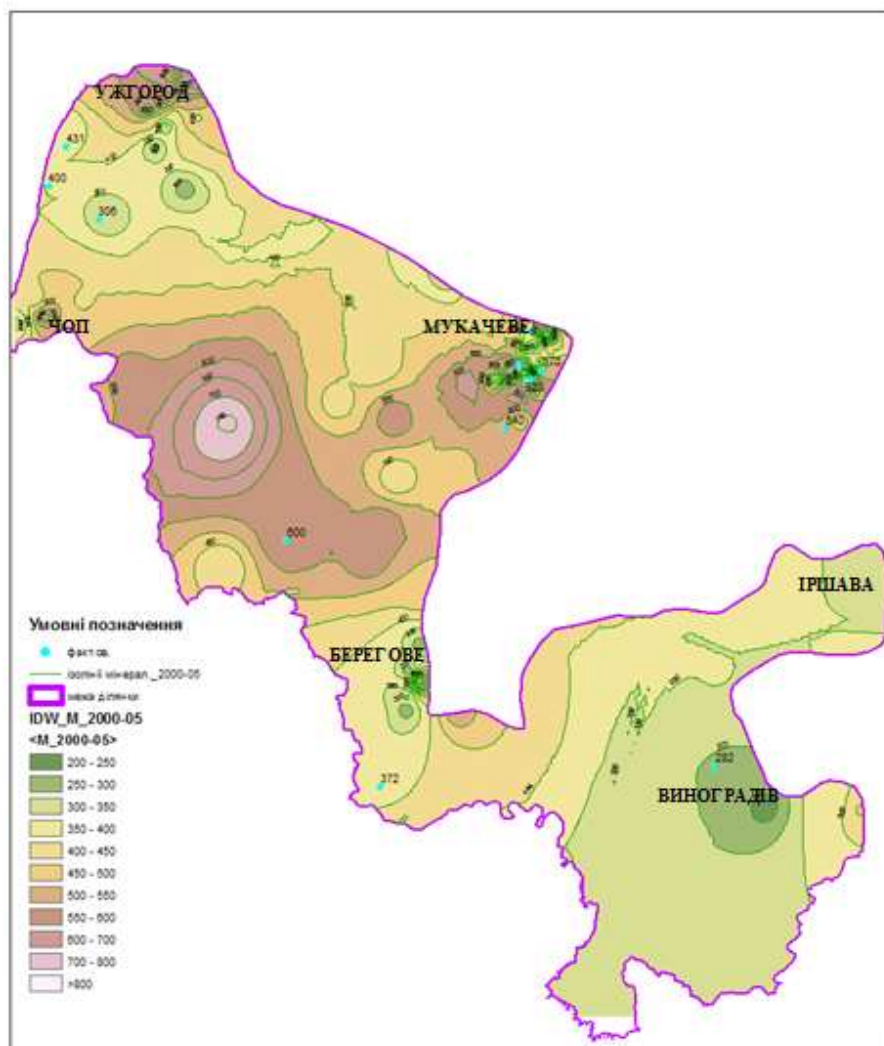


Рис. 2.13. Карта з нанесеними точковими об'єктами (свердловинами) незалежної вибірки

Із поданого на рис. 2.13. зображення видно, що біля символу кожної свердловини знаходиться позначка з величиною мінералізації, яка виміряна в ній. Також, свердловини розміщені на карті таким чином, щоб охопити всі діапазони мінералізації.

Візуальне порівняння відповідності підписів та кольорової градації полігонів мінералізації, в яких розташована свердловина, свідчить про

достовірність побудованої моделі. Зіставлення фактичних (вимірних) показників мінералізації з модельними подані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1.

Порівняння фактичних значень мінералізації з модельними

№ з/п	№ свердл.	Місцезнаходження свердловини	Фактичне значення мінералізації, мг/дм ³	Діапазон мінералізації на моделі, мг/дм ³
1	250155	с. Олешник, Виноградівський р-н, св.	282	250-300
2	260177	с. Струмківка, Ужгородський р-н, св.	306	300-350
3	370296	с. Бадалово, Берегівський р-н, св.	372	350-400
4	260179	с. М.Селменці Ужгородський р-н, св.	400	350-400
5	260175	с. Павлово Ужгородський р-н, св.	431	350-400
6	15/100035	м. Мукачеве, в/з Кольчино, св.	460	450-500
7	1012	с. Н.Село, Мукачівський р-н, св.	540	500-550
8	29/11150	м. Мукачеве, в/з 50-р. Жовтня, св.	570	550-600
9	53/78	с. Запсонь, Берегівський р-н, св.	600	550-600
10	24/10939	м. Мукачеве, в/з Будіндустрія, св.	670	600-700
11	18/10386	м. Мукачеве, вул. Севастопольська, св.	820	>800

Із одинадцяти свердловин десять знаходяться у полігонах з відповідним діапазоном мінералізації. Тільки одна свердловина (с. Павлово Ужгородський р-н) з мінералізацією 431 мг/дм³ розташована в межах полігону з діапазоном мінералізації 350-400 мг/дм³.

Отож, як бачимо, отримані результати моделювання досить точно відображають фактичні значення досліджуваного показника, хоча з деякою невідповідністю в північно-західній частині показана градація мінералізації 350-400 мг/дм³.

Діагностика та оцінка достовірності отриманих результатів моделювання в середовищі Arc GIS Desktop. Засобом удосконалення моделювання поверхні з використанням детермінованих і геостатистичних

методів є розширення Arc GIS Desktop – модуль *Geostatistical Analyst*. За рахунок появи додаткових інструментів, призначених для дослідницького аналізу просторових даних модуль *Geostatistical Analyst* значно розширює можливості Arc Map. Разом з тим, програмне забезпечення включає серію легких у використанні інструментів і майстрів операції, які виконують діагностику і перевірку достовірності побудови моделі.

Отже, для встановлення адекватності створеної моделі на базі *Geostatistical Analyst* використовується інструмент Майстер операцій геостатистики (Перехресна перевірка).

Перехресна перевірка надає уяву про те, „наскільки добре” модель інтерполює невідомі значення. Суть Перехресної перевірки полягає в тому, що для всіх точок виконується наступна операція: відібрані точки послідовно виключаються із вибірки, потім розраховуються значення в цій точці з використанням решти даних, далі виміряне і обчислене значення порівнюються [6].

Для моделі, яка точно інтерполює значення, середня помилка інтерполяції повинна бути близько нуля, якщо інтерпольовані значення є незміщеними; середньоквадратична нормована помилка інтерполяції повинна бути близька до одиниці, якщо стандартні помилки невеликі; і середньоквадратична помилка розрахунків повинна мати невеликі значення, якщо проінтерпольовані значення є близькими до виміряних. В даному випадку термін „помилка інтерполяції” використовується для позначення різниці між інтерпольованим і фактичним значенням.

Результати виконання перевірки даних відображені на рис. 2.14.

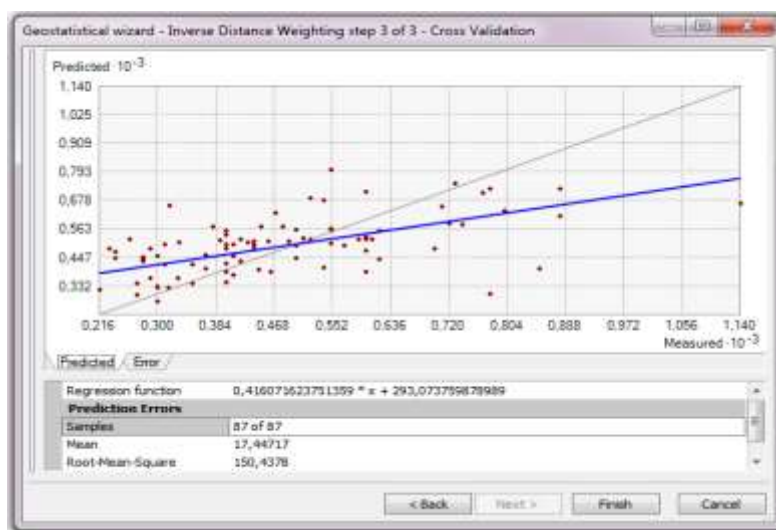


Рис. 2.14. Результати виконання перехресної перевірки даних

На рис. 2.14. представлений точковий графік перехресної перевірки та лінії (синім кольором – лінія, що найкраще описує модель; сірим кольором – лінія 1:1).

Діалог Перехресна перевірка дозволяє також переглянути графіки розсіювання для кожної точки вибірки. Наприклад, обравши закладку Графік КК (QQ) або ж Квантиль-квантиль маємо змогу відобразити та проаналізувати даний графік (рис. 2.15.)

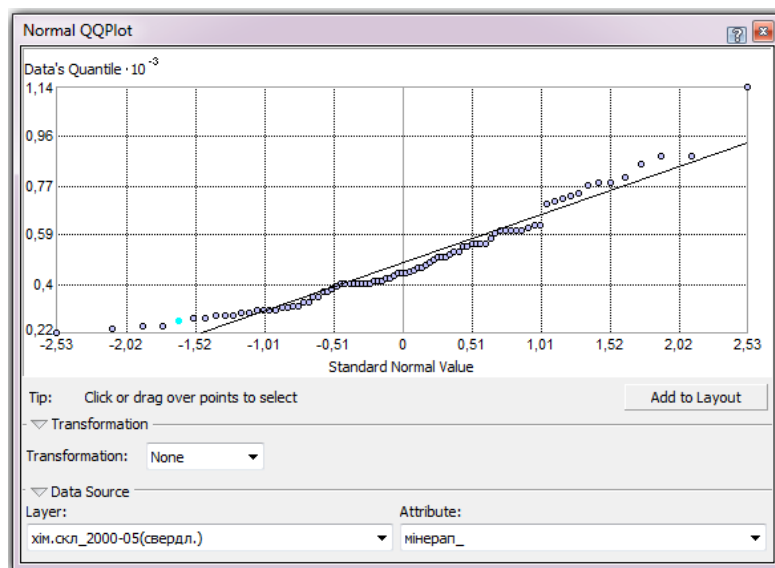


Рис. 2.15. Графік розсіювання Квантиль-квантиль (QQ)

Із графіка КК (QQ) видно, що певна кількість точок розташована трохи вище лінії, а деякі точки – трохи нижче лінії, але більшість точок розміщені

дуже близько до прямої лінії, що вказує на те, що помилки інтерполяції є незначними.

Створення результуючої карти

Проміжним етапом обробки вихідних даних є створення результуючої карти мінералізації ґрунтових вод. Головним при компоновці карти є показ основної ідеї дослідження, використовуючи при цьому фон і другорядні деталі для її доповнення.

Використовуючи широкий спектр можливостей графічного модуля *Arc Map* виконуємо побудову даної карти. На карту винесені ізолінії мінералізації з їх числовими позначками, точкові об'єкти (свердловини), кольорова градація мінералізації, межа ділянки дослідження. Окремо представлена карта-врізка ділянки м. Мукачеве (рис. 2.16.).

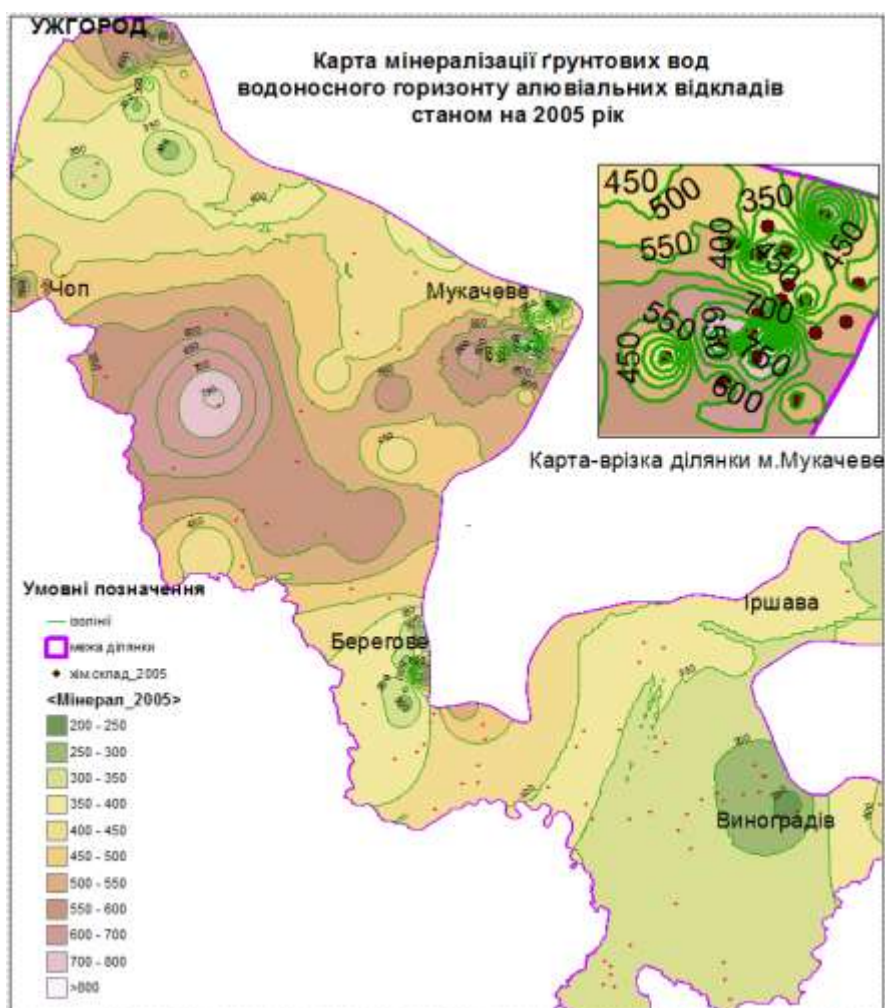


Рис. 2.16. Карта мінералізації ґрунтових вод минайського віку на 2005 р.

2.2. Математико-картографічне дослідження змін гідрогеохімічних умов ґрунтового водоносного горизонту за багаторічний період експлуатації

2.2.1. Статистична обробка і аналіз даних

Передусім, для виявлення основних тенденцій змін у просторі й часі хімічного складу ґрунтових вод алювіального водоносного горизонту минайського віку виконаємо математико-статистичну обробку даних.

Попередній аналіз якісного складу ґрунтового водоносного горизонту минайського віку (la P_{II-III}mn) за роки багаторічної експлуатації включав оцінку їх змін згідно нового стандарту ДСанПін 2.2.4-171-10 [41]. Для цього були використані основні компоненти хімічного складу: загальна мінералізація, жорсткість, хлориди, сульфати, вміст азотистих сполук (нітрати, нітрити, амоній), загальне залізо, марганець на два періоди часу – 1965 р. та 2005 р. Результати дослідження розміщені в додатку В.

Як свідчать результати попереднього аналізу, існує помітна тенденція збільшення у часі вмісту більшості показників хімічного складу, загальної мінералізації води.

Подальші дослідження включали обробку даних на основі методу математичної статистики з використанням ГІС-технологій. Математико-статистичний аналіз виконаний для важливих показників хімічного складу ґрунтових вод – загальної мінералізації, жорсткості та вмісту хлоридів. Вибір пріоритетних показників хімічного складу (мінералізації, жорсткості, вмісту хлорид-іонів) обумовлений не тільки регіональними особливостями формування хімічного складу підземних вод, а і тим, що води ґрунтового водоносного горизонту використовуються для забезпечення господарсько-питного водопостачання населення.

Для оцінки статистичних властивостей даних в середовищі ArcGIS Desktop використовуються інструменти Дослідницького аналізу просторових даних (ESDA), що підключені до модуля *ArcGIS Geostatistical Analyst*. Розширення ESDA дозволяє графічно виконати дослідження вибірок даних та включає наступні діалоги: Гістограма, Нормальний графік КК, карта Вороного

Аналіз тренду, Загальний графік КК, Варіограма/коваріація. Всі види пов'язані між собою і з картою ArcMap.

Отже, для статистичного аналізу використаємо дві вибірки вхідних даних: мінералізацію ґрунтових вод на 1965 р. та 2005 р. і оберемо інструмент Гістограма. Інструмент Гістограма виконує одномірний опис даних, а саме – показує щільність розподілу даних та підраховує сумарну статистику. Щільність розподілу являє собою стовпчасту діаграму, яка показує, наскільки часто спостережувані значення потрапляють в той або інший інтервал чи клас, при цьому кількість значень буде пропорційна висоті стовпця. До важливих числових характеристик, які описують форму, положення, розмах розподілу відносять: середнє значення, дисперсію, медіану, стандартне відхилення, коефіцієнти асиметрії та ексцесу.

За нормального закону розподілу крива буде симетричною, середнє арифметичне і медіана будуть співпадати, асиметрія буде близько нуля.

Таким чином, гістограма щільності розподілу даних мінералізації (9 класів) на 1965 р. буде мати вигляд (рис. 2.17.).

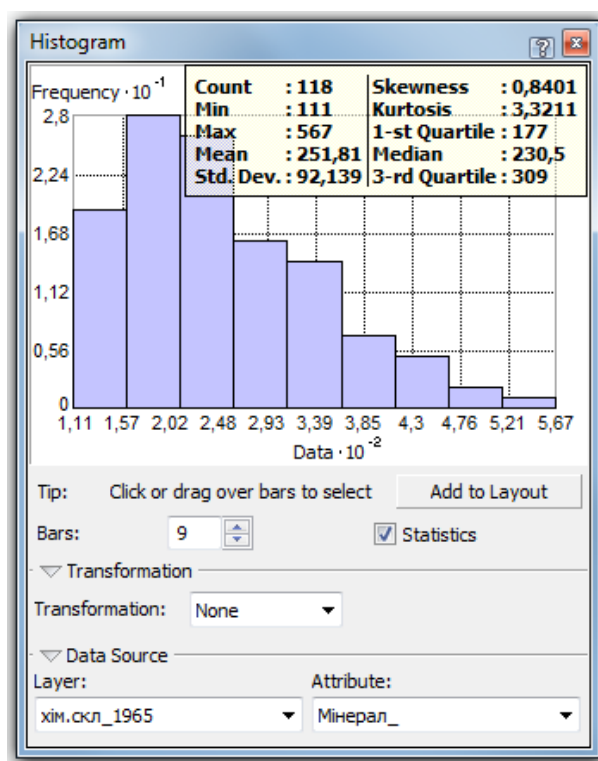


Рис. 2.17. Гістограма щільності розподілу даних мінералізації станом на 1965 р.

На рис. 2.17. видно, що форма гістограми має асиметричний малюнок, значення середнього і медіани значно відрізняються, отже дані не підкоряються нормальному закону розподілу.

Для приведення даних до розподілу близького до нормального, застосуємо логарифмічне перетворення. Логарифмічне перетворення корисне, якщо потрібно стабілізувати дисперсію і тим самим привести змінну з асиметричним розподілом до більш симетричного виду (рис. 2.18.).

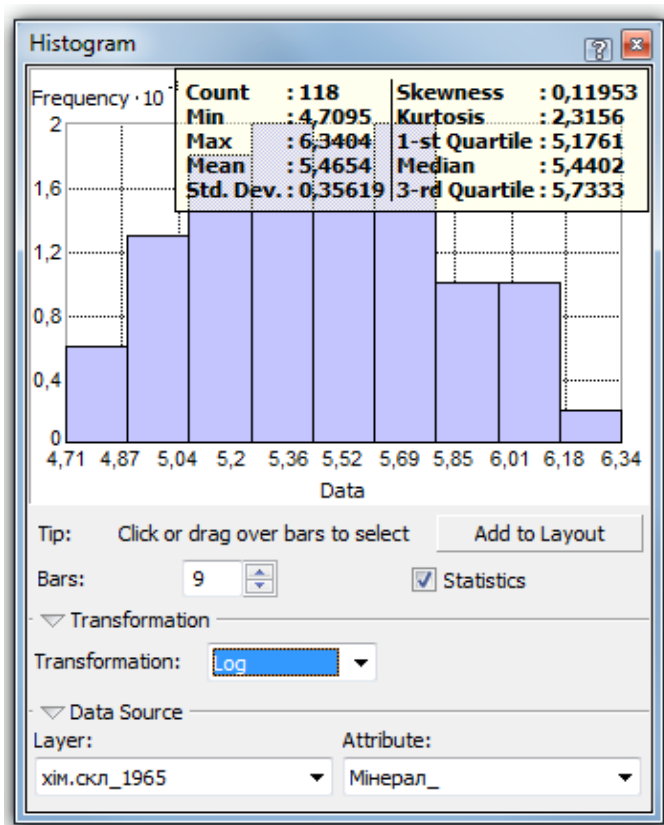
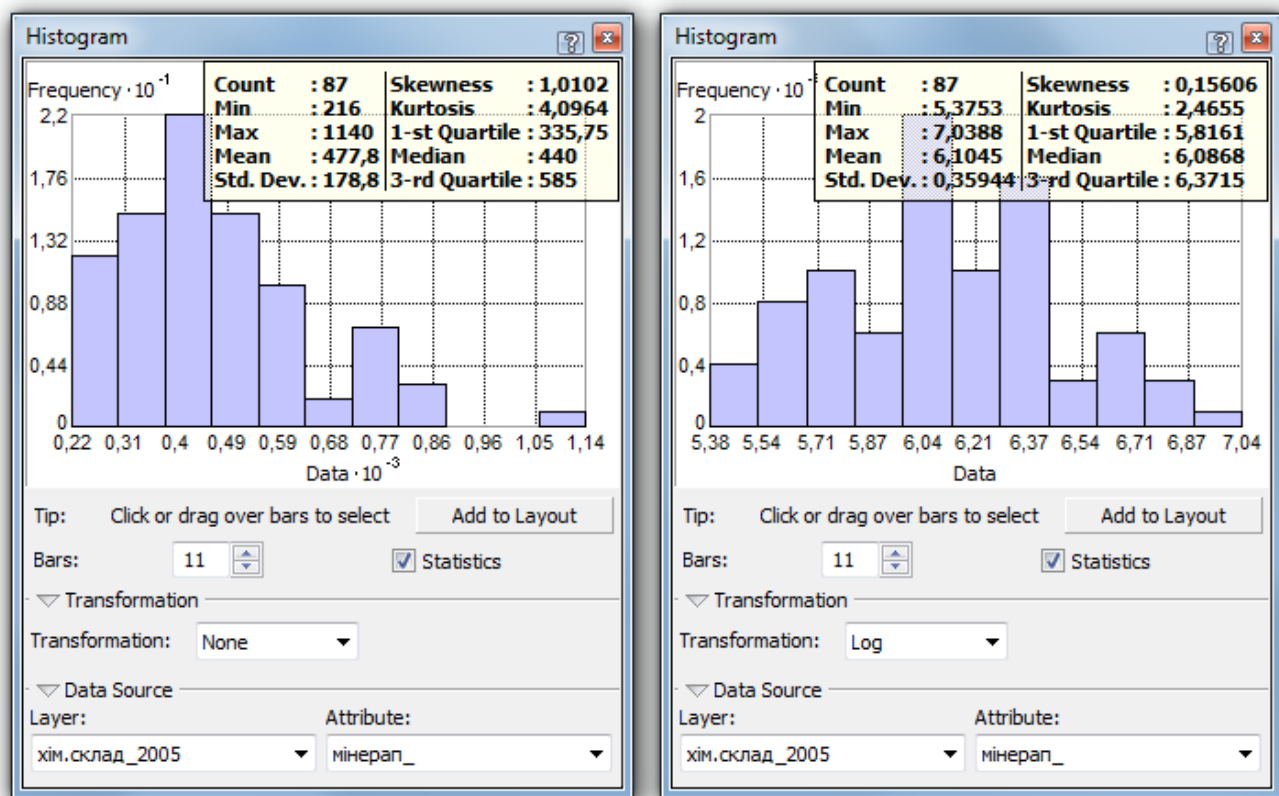


Рис. 2.18. Логарифмічне перетворення щільності розподілу даних мінералізації станом на 1965 р.

Як бачимо, і статистика, і форма гістограми вказують на те, що дані підкоряються логарифмічно нормальному закону розподілу.

Аналогічним чином проводимо статистичну обробку даних мінералізації (11 класів) на період 2005 р. та виконуємо їх логарифмічну трансформацію (рис. 2.19.).



а)

б)

Рис. 2.19. Гістограми щільності розподілу даних мінералізації на 2005 р.:

а) нормальне перетворення; б) логарифмічне перетворення

Отож, із вищезазначеного можна зробити висновок: обидві вибірки даних за показником мінералізації не підкоряються нормальному закону розподілу, але підпорядковуються логнормальному, тому можна стверджувати, що вони належать до однієї генеральної сукупності.

За такою ж схемою проведена статистична обробка даних двох вибірок за величиною жорсткості та вмістом хлоридів.

В додатку Д містяться зведені дані результатів перевірки про нормальність та логнормальність закону розподілу хімічних компонентів у ґрунтовому водоносному горизонті.

Результати перевірки про відповідність гіпотезі про нормальність (логнормальність) закону розподілу хімічних компонентів приведені нижче в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2.

Результати перевірки про відповідність гіпотезі про нормальність
(логнормальність) закону розподілу хімічних компонентів

Хімічні компоненти	1965 р.			2005 р.		
	Кількість точок спостереж.	Норм.	Логнорм.	Кількість точок спостереж.	Норм.	Логнорм.
Мінералізація	118	ні	так	87	ні	так
Жорсткість	118	ні	так	87	ні	так
Хлориди	118	ні	так	87	ні	так

Підтвердити чи спростувати приналежність вибірових сукупностей до однієї генеральної сукупності можна також за допомогою дисперсійного аналізу. Суть дисперсійного аналізу полягає в перевірці гіпотези про рівність дисперсій (дисперсія $D=\sigma^2$). Для цього застосовують вибіркові стандартні відхилення двох вибірок. Критерій перевірки гіпотези базується на F-розподілі Фішера. Спочатку обчислюється F- відношення, причому у чисельнику повинно стояти більше за абсолютною величиною стандартне відхилення [61]:

$$F = \frac{\delta^2 x}{\delta^2 y} \quad (2.2.)$$

Потім за допомогою спеціальної таблиці в залежності від заданої ймовірності та числа ступенів свободи чисельника і знаменника F-відношення визначається F-критерій Фішера ($F_{кр}$). Якщо $F > F_{кр}$, то можна з заданою ймовірністю стверджувати, що дисперсії різні, отже вибірки не належать до однієї генеральної сукупності. Якщо ж $F < F_{кр}$, то не можна з заданою ймовірністю говорити про те, що дисперсії рівні, отож, у такому разі приймається гіпотеза про рівність дисперсій, і тому вважається, що вибірки належать до однієї генеральної сукупності.

В даному випадку, в результаті проведення нескладних розрахунків було встановлено, що за показником мінералізації, жорсткістю та вмістом хлоридів $F < F_{кр}$, отже, вибірки належать до однієї генеральної сукупності (табл.2.3.).

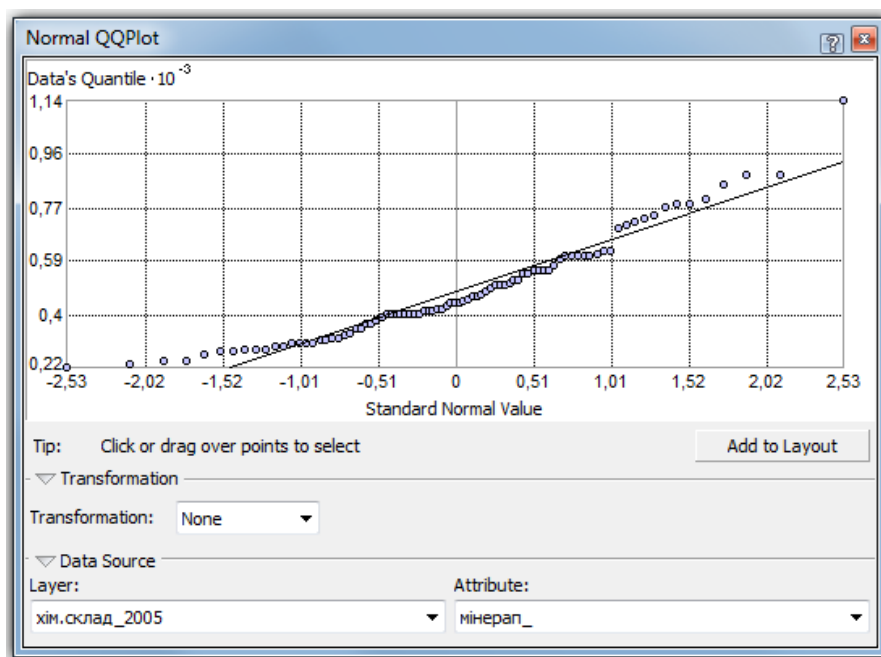
Таблиця 2.3.

Результати дисперсійного аналізу (F-розподіл Фішера)

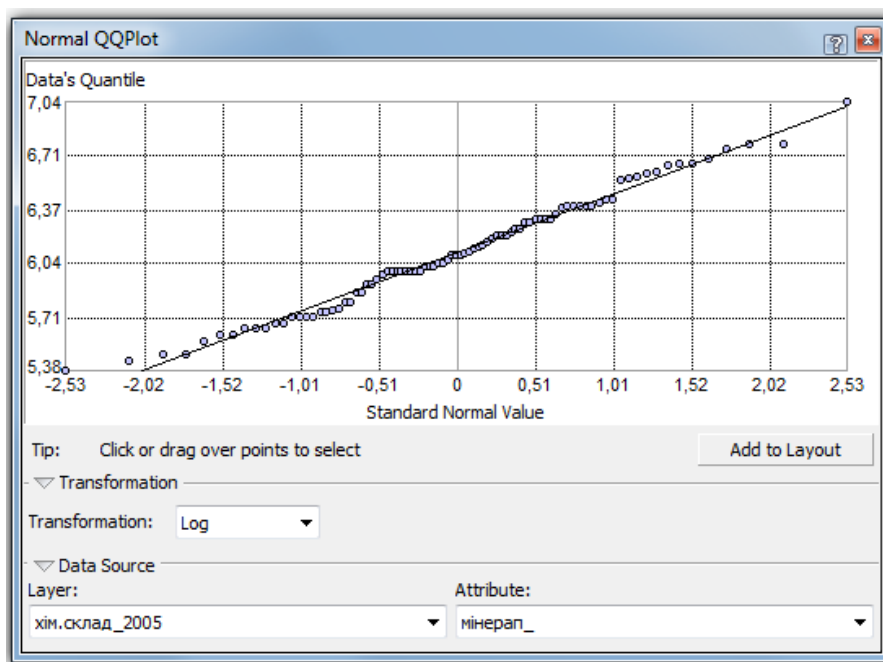
Хімічні компоненти	F-відношення	F-критерій	Приналежність до однієї генеральної сукупності
Мінералізація	1,08	1,46	так
Жорсткість	1,17	1,65	так
Хлориди	1,13	1,55	так

Нормальний графік QQ (квантиль-квантиль) забезпечує перевірку нормальності (логнормальності) розподілу даних. Він будується шляхом нанесення на відповідні осі координат значень із набору даних і значень, які отримані за кривою нормального розподілу, що відповідають однаковому значенню кумулятивного розподілу. Графік QQ дозволяє порівняти розподіл даних із стандартним нормальним. Чим більш точно по точкам можна побудувати пряму лінію, тим ближчий розподіл до нормального (логнормального). Загальний графік QQ використовується для оцінки подібності розподілу двох наборів даних. Він будується шляхом нанесення значень даних, для яких сукупний розподіл має рівні значення.

На графіку, що приведений нижче (рис. 2.20), по осі x нанесені квантилі стандартного нормального розподілу величини мінералізації (2005 р.), а по осі y – квантилі набору даних.



а)



б)

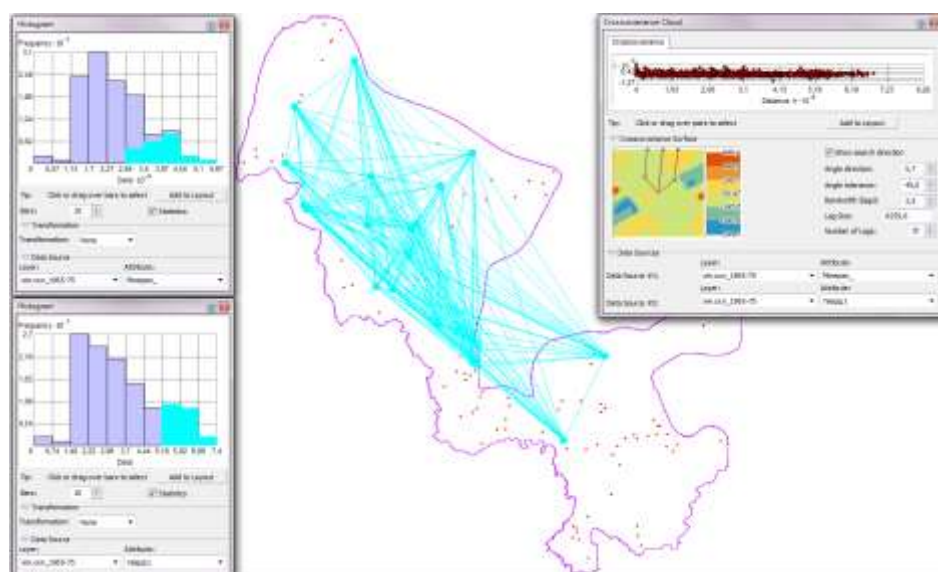
Рис.2.20. Нормальний графік QQ розподілу величини мінералізації 2005 р.: а) нормальне перетворення; б) логарифмічне перетворення

На графіку QQ видно, що досліджувані значення мінералізації при їх нормальному перетворенні дещо відхиляються від прямої лінії, однак при логарифмічному перетворенні набору даних точки лежать вже ближче до прямої лінії.

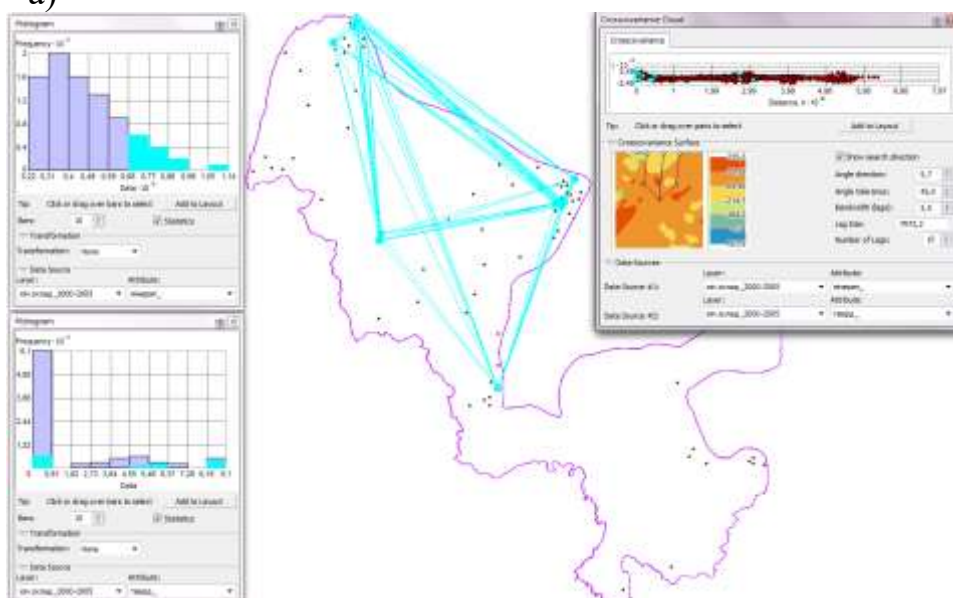
На основі емпіричної формули [61]:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N [(z(s_i) - z_{cep}) \cdot (y(t_j) - y_{cep})]}{(N-1) \cdot \sigma_z \cdot \sigma_y} \quad (2.3.)$$

де $z(s_i)$ – значення i -тої точки в першому наборі даних; $y(t_j)$ – значення i -тої точки в другому наборі даних; z_{cep} і y_{cep} – середні значення для першого і другого набору даних, проведено кореляційний аналіз, в результаті якого визначені та просторово співставлені високі значення кореляції для всіх пар даних (рис.2.21).



а)



б)

Рис.2.21. Просторовий кореляційний аналіз між двома вибірками даних за величиною мінералізації і жорсткості: а) 1965 р.; б) 2005 р.

Аналіз кореляційної матриці свідчить про те, що станом на 1965 р. між мінералізацією, жорсткістю і хлоридами виявлено досить значимий за тіснотою прямий зв'язок (коефіцієнти кореляції становлять від 0,61 до 0,87). Дещо слабшим є зв'язок між жорсткістю і хлоридами ($r = 0,48$). Таким чином, при збільшенні жорсткості та іонів хлору у воді закономірно підвищується її мінералізація. У той же час не було виявлено значимих за щільністю кореляційних зв'язків між вищезазначеними компонентами на період 2005 р. (r від 0,19 до 0,40), що, ймовірно, пояснюється впливом інших компонентів хімічного складу, які не аналізувалися (табл.2.4).

Таблиця 2.4.

Коефіцієнти кореляції між хімічними компонентами

	<i>мінералізація</i>		<i>жорсткість</i>		<i>хлориди</i>	
	1965 р.	2005 р.	1965 р.	2005 р.	1965 р.	2005 р.
<i>мінералізація</i>	1	1				
<i>жорсткість</i>	0,87	0,40	1	1		
<i>хлориди</i>	0,61	0,36	0,48	0,19	1	1

В арсеналі методів сучасної геостатистики [116] існує також ще один спосіб проведення аналізу просторової мінливості набору просторових даних – побудова так званих карт Вороного. Ці карти будуються на основі центрограми із серії полігонів, що утворюються навколо геоцентрів. На картах Вороного може бути виконана оцінка геостатичних показників, що досліджуються, на рівні локального згладжування (середнє, мода, медіана), локальних відхилень (середньоквадратичне відхилення, діапазон між квантилями, ентропія), локальних випадючих значень (кластер), локальних впливів (просте значення). Кожна карта характеризує просторову мінливість показника і дозволяє виділити однорідні групи районів.

Наприклад, локальне середнє показника мінералізації може бути знайдено як середнє із значень щільності, які попадають в найближчі полігони, що оточують центральний полігон. Потім це середнє значення присвоюється центральному полігону. Після того як ця операція буде виконана для всіх

полігонів і їх сусідів, за допомогою кольорової шкали, будуть показані значення локальних середніх, і, тим самим, візуалізовані райони високих і низьких значень мінералізації.

В ході проведення аналізу просторової мінливості набору просторових даних побудовані карти Вороного, які за локальним середнім показником щільності мінералізації дозволили виділити і візуалізувати однорідні групи районів з високими і низькими значеннями мінералізації. В нашому випадку виділені групи однорідних районів за показником щільності, які згруповані за значенням локального середнього в діапазоні значень (мг/дм³): станом на 1965 р. 404-567; 332-404; 271-332; 222-271; 180-222; 144-180; 111-144; станом на 2005 р. 740-1140; 570-740; 470-570; 351-470; 280-351; 216-280 (рис.2.22).

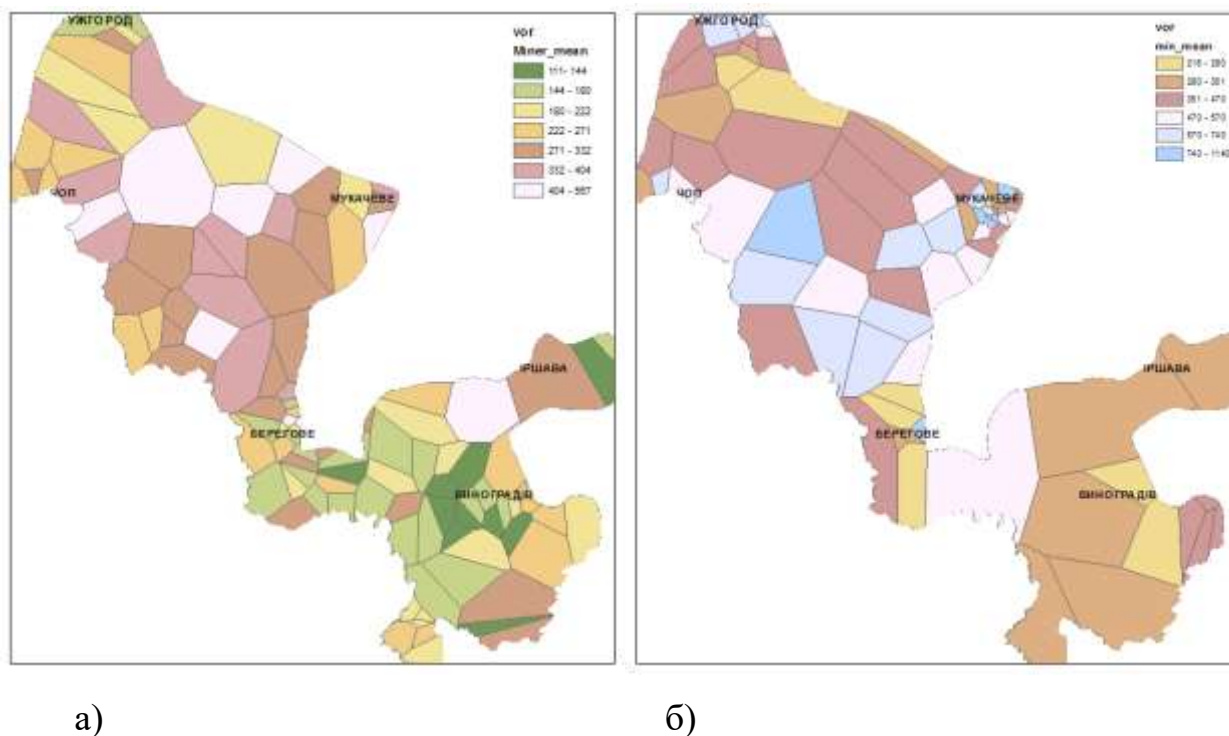


Рис. 2.22. Карти Вороного за локальним середнім показником щільності мінералізації: а) 1965 р.; б) 2005 р.

2.2.2. Моделювання просторово-часових змін хімічного складу

Вивчення просторово-часової мінливості показників хімічного складу ґрунтових вод є актуальним завданням фахівців-гідрогеологів, адже виявлення необхідної характеристики змін якості води на великих водозаборах може вплинути на вирішення питань у сфері питної води та питного водопостачання (технології обробки питної води тощо).

Для дослідження й аналізу просторово-часової динаміки хімічного складу ґрунтових вод основного водоносного горизонту в межах Чоп-Мукачівського басейну використаємо рекомендовану в попередньому підрозділі методику обробки даних на базі ГІС-технологій. В межах Вигорлат-Гутинського вулканогенного басейну, який вміщує, в основному, лавові і тріщинно-жилінні підземні води, ґрунтові води розповсюджені спорадично, інформації про їх хімічний склад майже не має, тому розглядати ці води разом з ґрунтовими водами території досліджень недоцільно.

Перш за все, для оцінки змін мінералізації, жорсткості та вмісту хлоридів в просторі і часі за запропонованою методикою виконаємо побудову серії електронних карт на два моменти часу: 1965 р. та 2005 р. (див. додатки Е-Л).

На карти винесені межі ділянки дослідження, ізолінії з їх числовими позначками, водозабірні свердловини, подана кольорова градація. Для кращого наочного сприйняття результуючі карти мають подібну класифікацію та, відповідно, кольоровий фон.

Однією з найбільш потужних і поширених можливостей сучасних ГІС є здатність цих систем порівнювати картографічне зображення тематичної інформації декількох шарів карти. Цей процес має назву картографічне накладання або оверлей. Як правило, при цьому розуміють операції «накладення один на одного двох або більше шарів, в результаті якого утворюється графічна композиція, або графічний оверлей вихідних шарів (graphic overlay) або один похідний шар, що містить композицію просторових об'єктів вихідних шарів; топологія цієї композиції і атрибути арифметично або логічно похідні від топології і значень атрибутів вихідних об'єктів в

топологічному оверлеї (topological overlay) векторних представлень просторових об'єктів»[96].

На сьогодні для реалізації накладання використовуються різноманітні методи і підходи: від досить простого, наочного графічного накладання, до застосування автоматизованих аналітичних інструментів, які виявляють різні типи співвідношення об'єктів, враховують логічні та математичні залежності між ними тощо.

Найпростіший метод комп'ютерного графічного накладання подібний до традиційного методу суміщення прозорих плівок, коли символи відображення класифікованих даних розміщуються на одній поверхні. Створені за допомогою цього методу карти дозволяють користувачеві візуально оцінити взаємне розміщення різних елементів певної території і наочно показують наявність або відсутність зв'язку між ними. Результатом операції графічного накладання є зображення на екрані, нове покриття при цьому не створюється. Головною вимогою виконання цієї операції на комп'ютері є те, щоб усі шари даних, відібрані для аналізу, були в єдиній картографічній проекції та системі координат.

Для виконання складних обчислювальних запитів визначення просторової подібності між об'єктами, врахування логічних та математичних залежностей між ними використовуються автоматизовані методи картографічного накладання, які дозволяють провести зіставлення покриттів без участі людини. До найбільш поширених і розвинених методів автоматизованого картографічного накладання відносяться: геометричне накладання, застосування логічних операторів, математичне накладання, комбіноване накладання, і в залежності від того, який вид аналізу необхідно виконати, обирається той чи інший метод [51].

Таким чином, для проведення аналізу отриманих результатів дослідження на прикладі карт мінералізації застосуємо метод графічного накладання. Здійснивши графічне накладання двох тематичних шарів (карти мінералізації

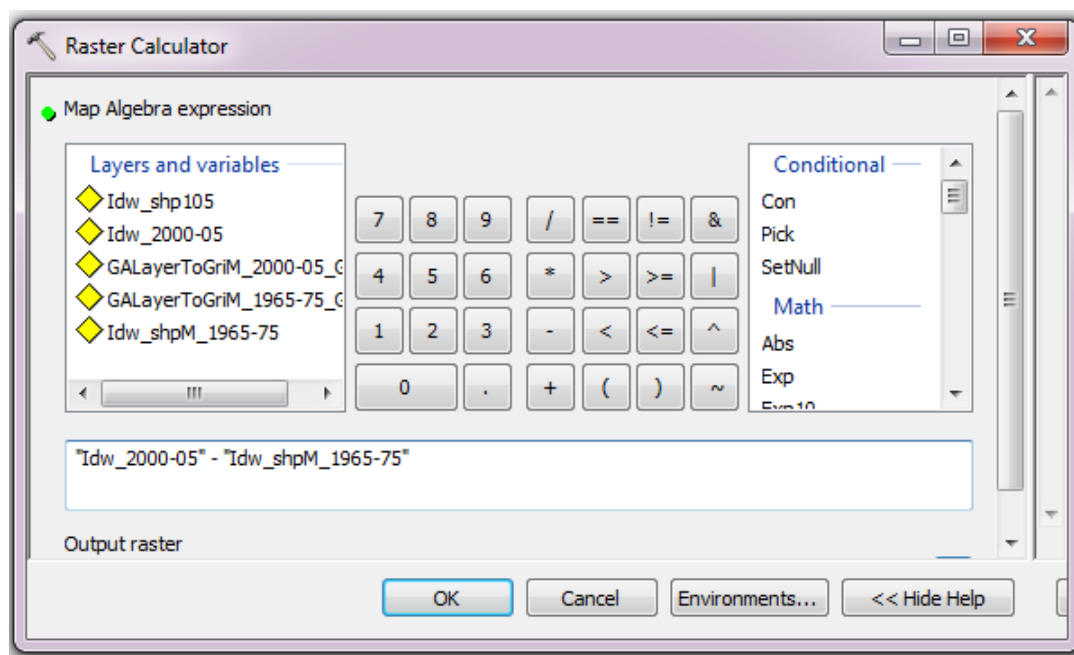


Рис. 2.24. Меню функції Raster Calculator

Отож, виконавши всі необхідні операції, отримуємо карти-схеми (грід-поверхні різниці) мінералізації, жорсткості, хлоридів ґрунтового водоносного горизонту за сорокарічний період (рис. 2.25-2.27).

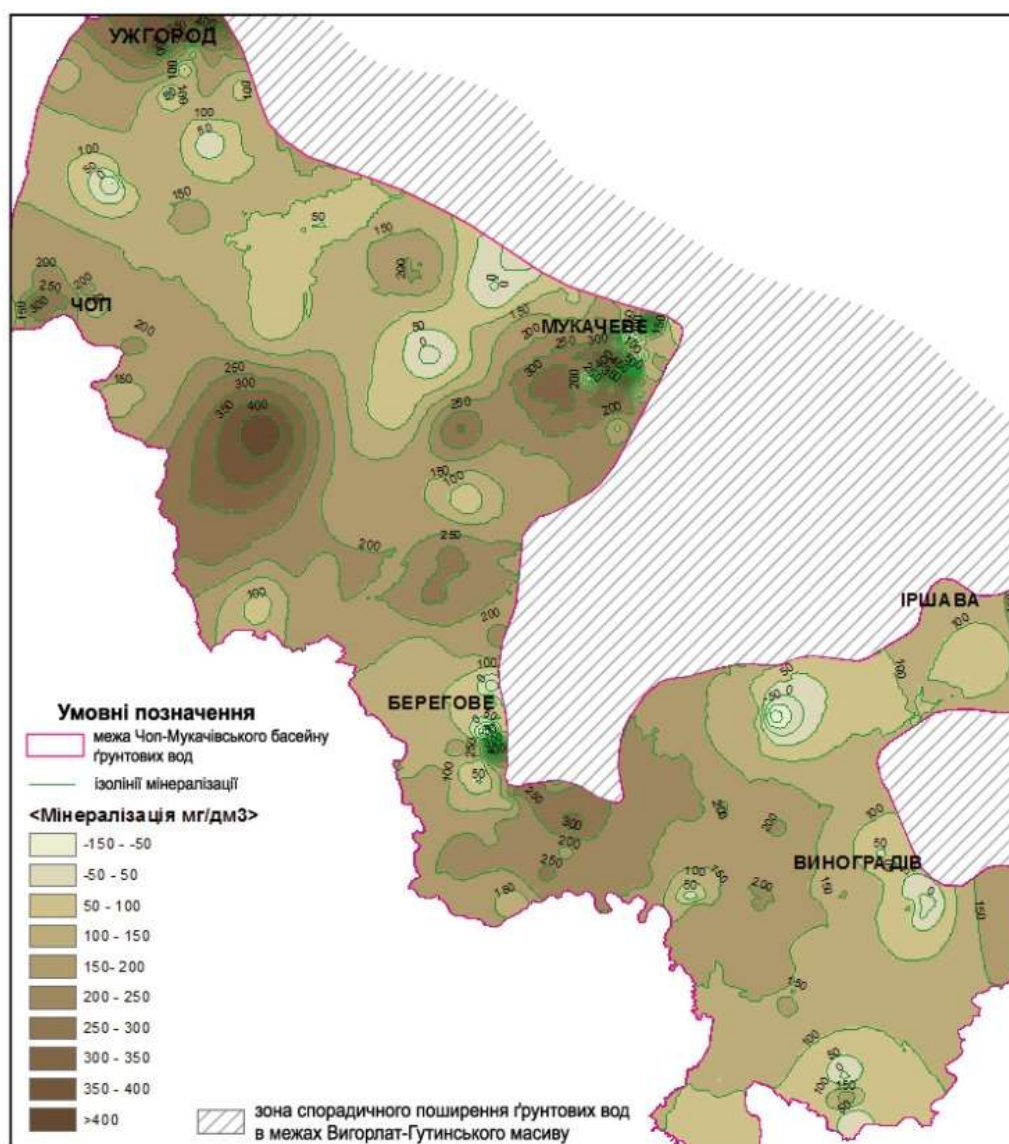


Рис. 2.25. Карта-схема зміни значень мінералізації ґрунтових вод за сорокарічний період (1965-2005 рр.)

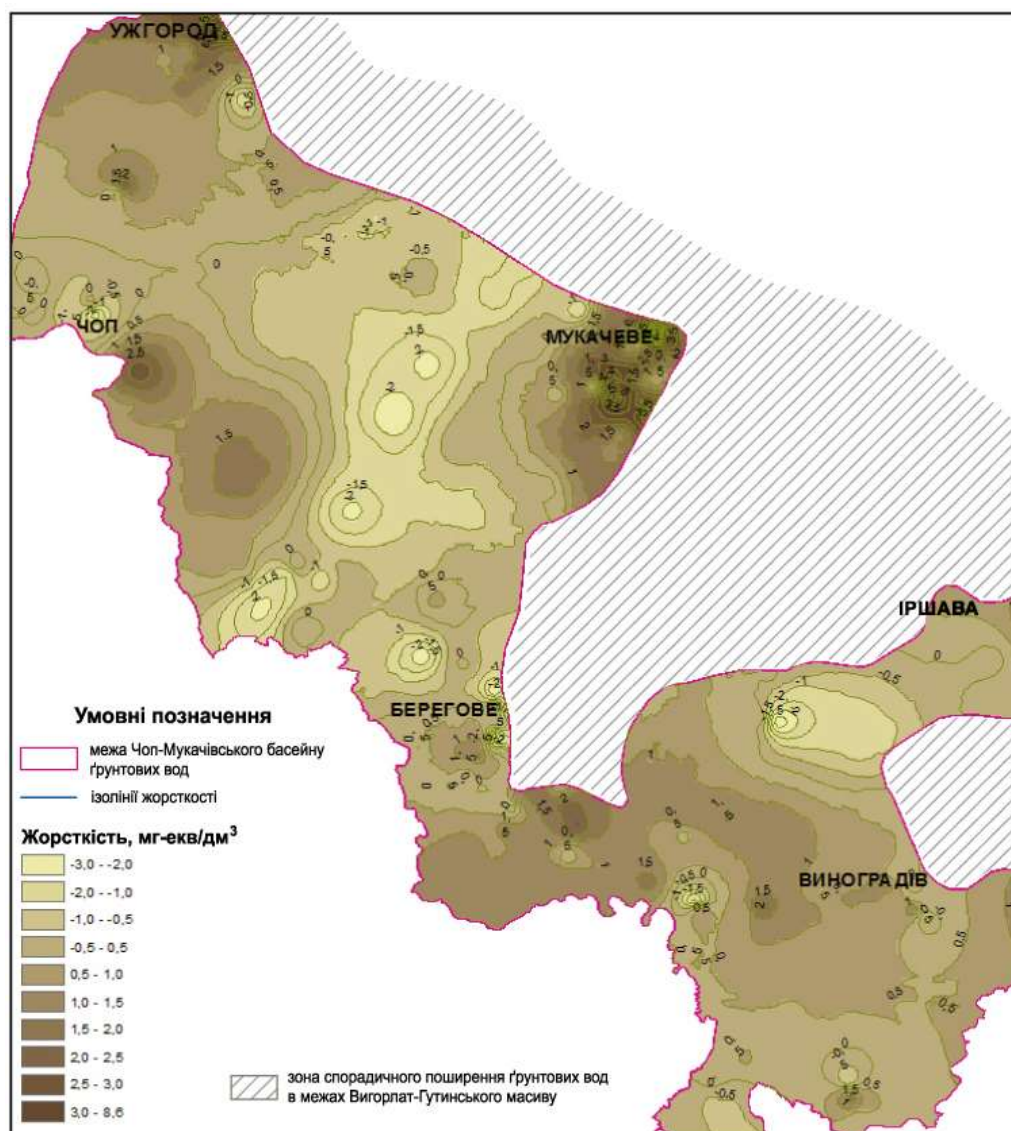


Рис. 2.26. Карта-схема зміни значень жорсткості ґрунтових вод за сорокарічний період (1965-2005 рр.)

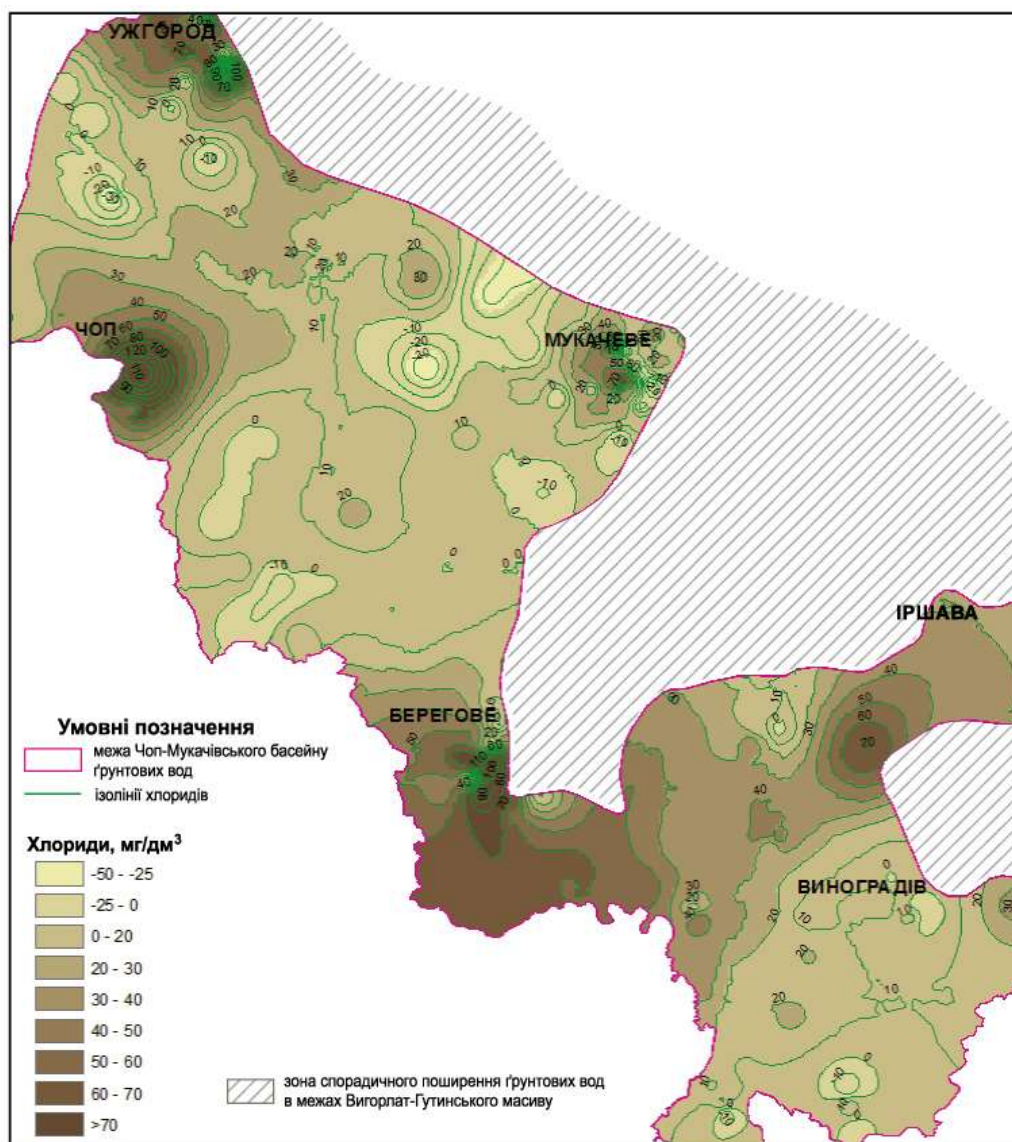


Рис. 2.27. Карта-схема зміни значень хлоридів ґрунтових вод за сорокарічний період (1965-2005 рр.)

Щоб отримати кількісну оцінку масштабів змін мінералізації та компонентів сольового складу (жорсткість, хлориди) в часі необхідно порівняти площі полігонів двох карт. Площі полігонів представлені у відсотках від загальної площі ділянки дослідження. Гістограма порівняння

площ полігонів з різною мінералізацією буде мати наступний вигляд (рис. 2.28.).

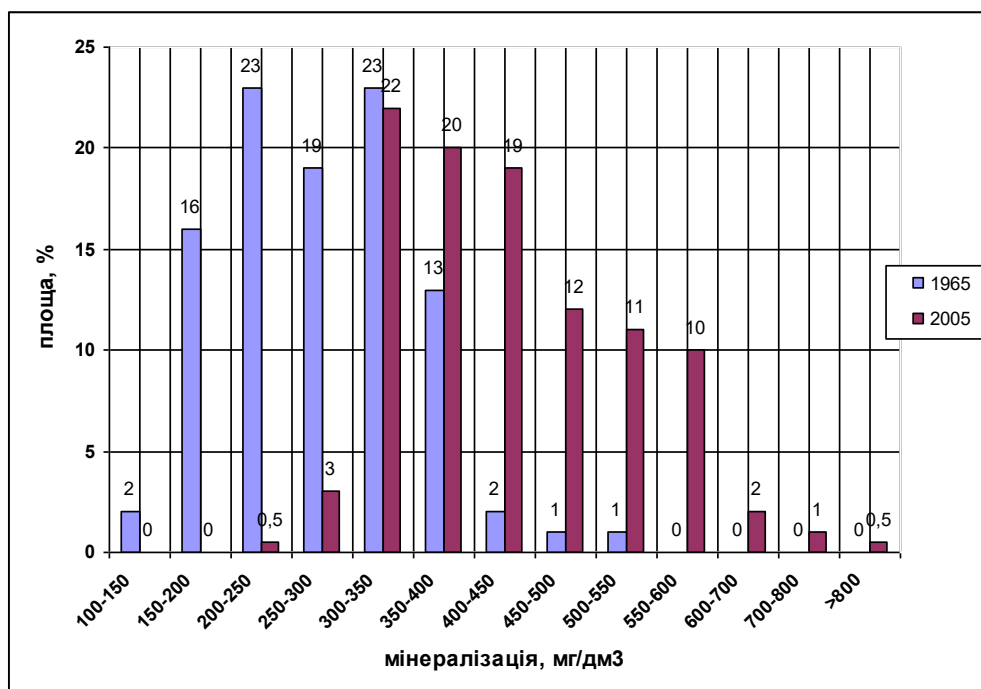


Рис. 2.28. Гістограма порівняння площ полігонів з різною мінералізацією станом на 1965 р. та 2005 р.

Як видно з гістограми, за період 1965 р. велика частина площі ділянки дослідження була зайнята мінералізацією 200-400 мг/дм³, площі з градацією мінералізації більше 550 мг/дм³ відсутні. За тривалий проміжок часу (40 років) ситуація дещо змінилася. Станом на 2005 р. площі полігонів з мінералізацією менше 200 мг/дм³ зникли, замість того, збільшився відсоток площ з мінералізацією більше 550 мг/дм³. Для більшої частини території дослідження величина мінералізації зросла на 200-300 мг/дм³.

Для кількісної оцінки масштабів змін жорсткості в часі порівнюємо площі полігонів розповсюдження вод з різною жорсткістю двох карт. Гістограма порівняння площ полігонів з різною величиною жорсткості буде мати наступний вигляд (рис. 2.29).

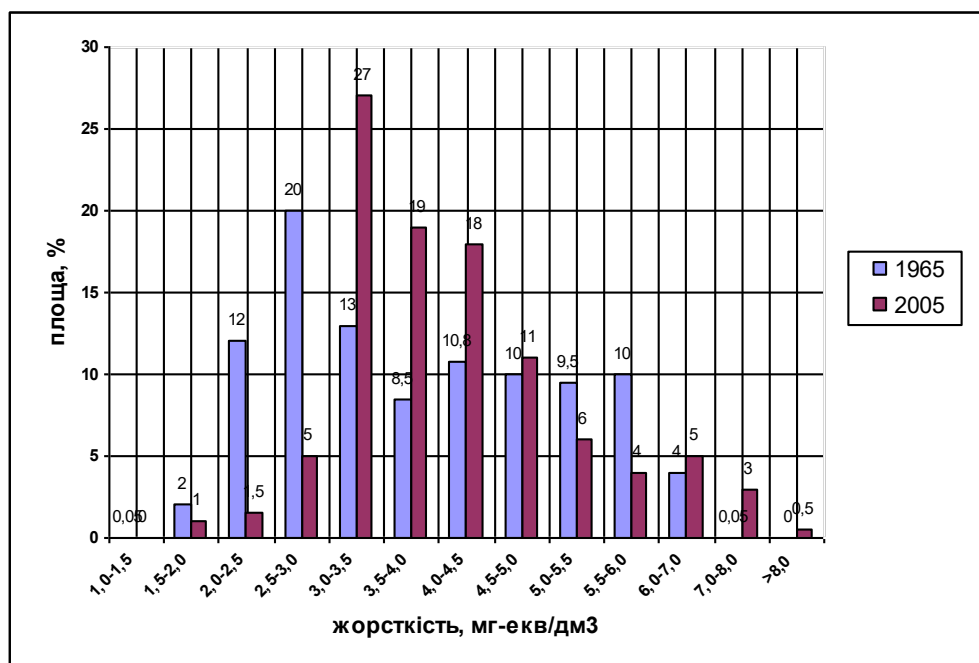


Рис. 2.29. Гістограма порівняння площ полігонів з різною жорсткістю

Отже, подивившись на гістограму, дізнаємось наступне: відсоток площ з жорсткістю 3,0-4,5 мг-екв/ дм³ на період 2005 р. збільшився у двічі, однак, трохи зменшився відсоток території з величиною жорсткості 4,5-6,0 мг-екв/ дм³. Також за вказаний період часу, зріс відсоток площ з жорсткістю 7,0 мг-екв/ дм³ і більше, у порівнянні з 1965 р., на момент якого такі значення не відмічались.

Оцінку масштабів просторово-часових змін вмісту хлоридів у ґрунтових водах на різні моменти часу наочно демонструє подана нижче гістограма (рис. 2.30).

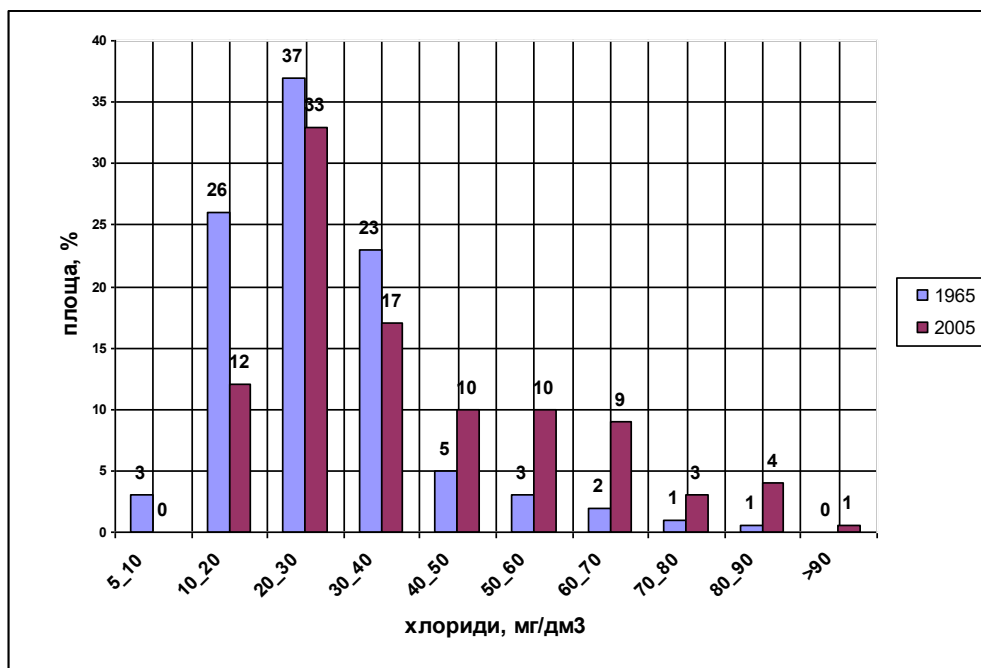


Рис. 2.30. Гістограма порівняння площ полігонів з різним вмістом хлоридів

Аналіз рис. 2.30 показує, що для досліджуваної ділянки, у порівнянні з 1965 р., станом на 2005 р. знизився відсоток площ території з вмістом хлоридів 10-40 мг/дм³. Але за період 2005 р. відсоток площ з вмістом хлоридів > 40 мг/дм³ збільшився у 2-3 рази.

Таким чином, проведена кількісна оцінка масштабів просторово-часових змін мінералізації та компонентів хімічного складу (жорсткість, хлориди) вод ґрунтового водоносного горизонту показує, що на досліджуваній території станом на 2005 рік їх вміст у водах вищеназваного водоносного горизонту зріс у порівнянні з більш раннім періодом.

Висновки до РОЗДІЛУ 2

У другому розділі описано регіональні закономірності розповсюдження ґрунтових вод різного хімічного складу на території досліджень. Автором розроблено новий алгоритм обробки гідрогеологічних даних на основі ГІС-технологій.

Вихідною інформацією для цих досліджень стали результати хімічного аналізу проб води (починаючи з 1960 р. до теперішнього часу) централізованих, окремих водозаборів та одиночних свердловин, які експлуатують ґрунтовий водоносний горизонт. Найбільш повний ряд спостережень за хімічним складом ґрунтових вод є за 1965 р. (118 аналізів) та за 2005 р. (87 аналізів). В останні роки в Чоп-Мукачівському басейні планових моніторингових досліджень хімічного складу ґрунтових вод не проводилося. В 2012–2015 рр. нам вдалося отримати дані хімічного складу ґрунтових вод 14-ти свердловин на приватних ділянках. При їх аналізі встановлено, що тенденція зміни хімічного складу зберігається, і ці зміни не впливають на кінцевий результат.

В межах Вигорлат-Гутинського вулканогенного басейну, який вміщує, в основному, лавові і тріщинно-жильні підземні води, ґрунтові води розповсюджені спорадично, інформації про їх хімічний склад майже не має, тому розглядати ці води разом з ґрунтовими водами території досліджень недоцільно.

На основі вихідних даних автором сформовано спеціалізовану геоінформаційну базу даних хімічного складу ґрунтових вод.

Для виявлення тенденцій зміни хімічного складу ґрунтових вод у часі на основі одномірного статистичного аналізу – за методом нормального або логнормального розподілу, дисперсійного аналізу та шляхом побудови нормального графіку квантиль-квантиль визначався закон щільності розподілу. Ці аналізи підтвердили, що вибірки даних за показниками мінералізації, жорсткості, вмістом хлоридів та ін. підпорядковуються не нормальному, а логнормальному закону розподілу. Тому можна стверджувати, що вони належать до однієї генеральної сукупності. Аналіз кореляційної матриці свідчить про те, що станом на 1965 р. між мінералізацією, жорсткістю і хлоридами виявлено досить значимий за тісністю прямий зв'язок. Дещо слабшим є зв'язок між жорсткістю і хлоридами. Таким чином, при збільшенні жорсткості та іонів хлору у воді закономірно підвищується її мінералізація. У

той же час не було виявлено значимих за щільністю кореляційних зв'язків між вищезазначеними компонентами на період 2005 р. що, ймовірно, пояснюється впливом інших компонентів хімічного складу, які не аналізувалися.

Експериментально-практичні дослідження, що ґрунтувалися на ліцензованому програмному забезпеченні ArcGIS (версія 10.2), дозволили автору здійснити вибір картографічної проекції та провести геокодування даних хімічного складу ґрунтових вод.

Методом зворотних зважених відстаней (ЗЗВ чи IDW) було змодельовані растрові і векторні поверхні поля мінералізації та інших елементів хімічного складу ґрунтових вод станом на 2005 рік. У процесі моделювання виконано також перевірку достовірності отриманих результатів, яка показала, що отримані результати моделювання досить точно відображають фактичні значення показників, що досліджувалися.

Методами картографічного моделювання та просторового аналізу виявлені просторово-часові закономірності зміни мінералізації і компонентів хімічного складу ґрунтових вод за багаторічний період експлуатації.

Для оцінки зміни показників мінералізації, жорсткості та вмісту хлоридів ґрунтових вод побудовано серію карт-схем станом на 1965 та 2005 рр.

У результаті проведення оверлейного аналізу з використанням автоматизованого методу математичного накладання (різниця поверхонь) побудовано відповідні карти-схеми величин мінералізації, жорсткості та вмісту хлоридів за сорокарічний період.

1. При детальному аналізі карт-схем були виділені ділянки ґрунтового водоносного горизонту без помітних змін та із значними змінами хімічного складу вод. Для кількісної оцінки масштабів зміни мінералізації, жорсткості, хлоридів в часі було порівняно площі полігонів на картах (відповідно на 1965 р. та 2005р.), що представлені у відсотках від загальної площі території досліджень. Кількісний аналіз масштабів просторово-часових змін мінералізації та компонентів хімічного складу ґрунтових вод (жорсткості, хлоридів та ін.) дозволив зробити висновок, що на території досліджень

станом на 2005 рік вміст цих хімічних компонентів у ґрунтових водах зріс у порівнянні з більш раннім періодом. Головними причинами цього зростання є і природні і антропогенні чинники. У зв'язку із складною геологічною будовою (численні тектонічні розломи та вулканічні утворення) на території досліджень виявлено осередки підвищеного вмісту деяких хімічних елементів у ґрунтових водах. На забруднення ґрунтових вод також впливають інтенсивний водовідбір, сільськогосподарська діяльність, функціонування об'єктів транспортної інфраструктури.

РОЗДІЛ 3

Фактори формування хімічного складу ґрунтових вод території дослідження

3.1. Особливості природних і антропогенних факторів формування хімічного складу ґрунтових вод

Природні чинники формування хімічного складу ґрунтових вод

Формування хімічного складу ґрунтових вод в Чоп-Мукачівському басейні пов'язано із: а) геологічною будовою і умовами циркуляції підземних вод в зоні інтенсивного водообміну; б) вилуговуванням солей із покривних відкладів; в) катіонним обміном між породою і водою; г) змішуванням вод різних водоносних горизонтів; д) штучним забрудненням ґрунтових вод в результаті господарської діяльності.

Якість ґрунтових вод в межах Чоп-Мукачівського артезіанського басейну формується під впливом природних і антропогенних чинників. Досить часто складно їх відрізнити один від одного, оскільки інтенсивна господарська діяльність нерідко активізує дію природних факторів, які в свою чергу провокують погіршення якості підземних вод. Характеристика якості ґрунтових вод базується на щорічних даних моніторингу підземних вод, що вміщують інформацію про стан та рівень забруднення підземних вод даної території.

На основі матеріалів моніторингових досліджень якісного стану підземних вод, що проводяться на цій території з кінця 60-х років минулого століття, встановлено, що підземні води водоносного горизонту минайського віку загалом відповідають вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 за мікробіологічними та санітарно-хімічними показниками. Однак, на деяких площах, в основному поблизу великих населених пунктів, існують ділянки підвищеного забруднення підземних вод вищевказаного водоносного горизонту [35].

Горизонт ґрунтових вод алювіальних відкладів минайського віку (IaP_{II-III} mn) зверху, на одній третині площі свого розвитку, перекритий шаром глин та

суглинків, потужністю більше 2 м. В підшві горизонту залягають слабоводозбагачені води у відкладах чопської та ільницької світ. За підрахунками В.М. Петрика [30] в заплавах річок Уж, Латориця, Боржава та їх приток потужність водонепроникних мулистих відкладів є незначною, тому ґрунтові води вищезгаданого водоносного горизонту мають тісний гідравлічний зв'язок з поверхневими в межах впливу вказаних водотоків.

Хімічний склад визначається характером живлення, розвантаження, ступінню взаємозв'язку з іншими водоносними горизонтами та комплексами. „Фоновий” склад макрокомпонентів дуже близький до складу поверхневих вод.

За хімічним складом ґрунтові води алювіальних відкладів зазвичай гідрокарбонатні кальцієві, майже завжди з домішками хлоридів, сульфатів, натрію, магнію. Сульфати зустрічаються у складі підземних вод практично по всій площі розвитку алювію.

Що стосується мінералізації, то в межах поширення відкладів минайського віку вона знаходиться в межах 0,4-0,5 г/дм³. Дещо меншою мінералізацією (0,22-0,3 г/дм³) характеризуються підземні води порід минайського віку в районі смт. Вилоч, м. Виноградово, в південній частині Бергівського району [36].

В передгірських районах западини формування ґрунтових вод пов'язане, головним чином, з підземним притоком із Вигорлат-Гутинського вулканогенного басейну лавових і тріщинно-жильних вод, поглинання води із річок та інфільтрації атмосферних опадів.

На загальному фоні прісних ґрунтових вод в межах Бергівської зони розломів встановлені прояви хлоридних і гідрокарбонатно-хлоридних вод з мінералізацією 2,7-7,0 г/дм³. Зазначені факти можуть бути доказом переважно природних умов формування хімічного складу ґрунтових вод. Зокрема, як пояснює Н.Й. Радько у своїй роботі [88], виходи цих вод пов'язані з ділянками інтенсивних диз'юктивних порушень порід. Породи приурочені, головним чином, до вузлів перетину поздовжніх і поперечних розломів (с. М.Бийгань,

м.Чоп). Ці ділянки поширення вод аномального складу розглядаються як осередки вертикальної висхідної міграції по ослаблених тектонічних зонах глибоких мінералізованих вод і часткового їх розвантаження в верхній алювіальний водоносний горизонт. Тектонічні розломи, перетинаючи на своєму шляху ряд водоносних горизонтів, акумулюють у собі води різного іонно-сольового складу, внаслідок чого води в межах розломів мають змішаний характер.

Особливістю хімічного складу вод як алювіальних відкладів минайського віку, так і залягаючих нижче водоносних горизонтів Чоп-Мукачівського артезіанського басейну є низькі концентрації в них мікроелементів, які закономірно зменшуються з наближенням до денної поверхні.

В межах площі дослідження виявлені аномальні ділянки, де вміст хімічних елементів в ґрунтових водах перевищує санітарно-гігієнічні норми до питних вод. Виділяються аномалії з підвищеним, відносно ГДК, вмістом заліза і марганцю, що на думку більшості дослідників мають природне походження [29,88]. Води з підвищеним вмістом заліза фіксуються практично на всій площі розвитку ґрунтового водоносного горизонту. Невеликі ділянки, де вміст заліза у воді не перевищує 1 мг/дм^3 зустрічаються південніше м. Ужгород, в районі с. Ратівці-Струмківка, на захід від с. Чома і Бадалово (південніше м. Берегове), в районі с. Велика Паладь, а також в межах неширокої смуги, що проходить через села Олешник і Нове Село. Решта території поділяється на райони:

- порівняно благополучні за вмістом заліза ($1-10 \text{ мг/дм}^3$);
- вода умовно придатна для централізованого водопостачання ($10-20 \text{ мг/дм}^3$);
- вода не придатна для централізованого водопостачання (більше 20 мг/дм^3);

Порівняно благополучною є територія, розташована в східному напрямі від с. Добросілля. Від проникнення заліза алювіальний водоносний горизонт тут захищений товщею слабопроникних глинистих відкладів, що знаходяться в

підосві алювію. Концентрації в межах 10-20 мг/дм³ зустрічаються в зоні розвантаження Ужгородських мінеральних вод. Розвиток таких вод можливий поблизу розломів, що обмежують Велико-Доброньську кальдеру з півночі. Аномально високий вміст заліза в плані пов'язаний з дочетвертинними тектонічними западинами. Чітко прослідковується зв'язок вод з вмістом заліза більше 20 мг/дм³ з Берегівським вулкано-тектонічним горстом, а також з Чопським вулканом. Тут концентрації заліза можуть досягати 50-100 мг/дм³.

С.Р. Фролова вказує на декілька джерел накопичення заліза одночасно [29]. Поблизу зон широкого розвитку сульфідів (в більшості випадків піриту), залізисті і сульфатні аномалії просторово співпадають. В цьому випадку джерелом заліза слугує пірит, який окислюється. Фоновий вміст заліза може також накопичуватися під впливом елізійного режиму фільтрації, а залізо в верхній частині розрізу може надходити із поверхневих суглинків за рахунок їх оглеїння в паводковий період.

Практично вся площа розвитку алювіальних відкладів минайського віку „заражена” марганцем [35]. Вміст марганцю більше 0,1 мг/дм³ (тобто вище ГДК), зустрічається майже в половині свердловин. Концентрації до 0,5 мг/дм³ рівномірно розподілені по всій площі. Води, які вміщують більше 0,1 мг/дм³ марганцю пов'язані з певними елементами геологічної будови території і можна чітко прослідкувати зв'язок підвищеного вмісту марганцю з Мукачівським регіональним розломом, Берегівським горстом, Чопським вулканом. Підвищені концентрації марганцю зазвичай співпадають з зонами розвитку аномально високих концентрацій заліза.

Антропогенне навантаження на ґрунтовий водоносний горизонт

При інтенсивному антропогенному впливі ґрунтові води підлягають найбільшому забрудненню. Техногенне навантаження на ґрунтові води, обумовлене різними видами господарської діяльності залишається одним із основних факторів, які впливають на гідрогеохімічні процеси, що викликають їх забруднення [24].

Відмінною рисою гідрохімічного режиму ґрунтових вод в межах Чоп-Мукачівського артезіанського басейну є його перехід від природного до слабо порушеного і порушеного, що обумовлене впливом антропогенних процесів (водовідбору, меліорації, комунальних і виробничих забруднень).

Ще з середини 70-х років минулого століття в межах поширення основного алювіального водоносного горизонту, намітилася тенденція до погіршення якості вод, яка зберігається і до тепер. Так, на декількох водозаборах, призначених для централізованого водопостачання м. Мукачеве у 2002 р. загальна мінералізація становила $0,8-0,86 \text{ г/дм}^3$ – це більш ніж у 3 рази вище „фонових” значень для алювіального водоносного горизонту. В алювіальних водах, що видобуваються з глибини 40-50 метрів для забезпечення залізничної станції Батьове (центральна частина Чоп-Мукачівського артезіанського басейну), зафіксоване підвищення загальної мінералізації води до $0,7-0,8 \text{ г/дм}^3$ та жорсткості до $7,7 \text{ мг-екв/дм}^3$. У пробах води водозаборів поблизу м. Мукачеве спостерігається значна кількість азотистих сполук. Ріка Верке, що протікає через центр м. Берегове, перетворена в стічну канаву, а її береги захаращені сміттєзвалищами. Аналогічна ситуація прослідковується в межах м. Виноградів. Верхня частина водоносного горизонту до глибини 7-9 метрів забруднена азотистими сполуками в кількостях, що перевищують ГДК (нітратами – до 360 мг/дм^3 ; нітритами – до $0,6 \text{ мг/дм}^3$) [36].

Геолого-екологічні обстеження, які були проведені протягом 90-х років минулого століття Й.Й. Черепанем в Берегівському, Мукачівському, Виноградівському районах, показали значний ріст концентрації Cl -іону [31]. По сульфат-іону вміст виріс в 2-10 разів.

Збільшення мінералізації ґрунтових вод та збагачення їх азотистими сполуками типу нітритів, нітратів та амонію, свідчить про інтенсивне органічне та бактеріальне забруднення, обумовлене перевантаженням території сільгоспоб'єктами і неканалізаційованими населеними пунктами [35]. Як і в попередні роки, найбільш характерними потенційними

забруднювачами залишаються господарсько-побутові стоки міст і сільських населених пунктів, відходи і стоки тваринницьких ферм, промислові відходи та пестициди. В промислових зонах, де здійснюється накопичення і тимчасове зберігання виробничої сировини та твердих відходів виробництва (численні сміттєзвалища, полігони) інтенсивність забруднення є найбільш високою.

Значне навантаження на ґрунтовий водоносний горизонт спричинюють численні сміттєзвалища, велика кількість яких розташована на берегах річок Уж, Латориця. На них складається понад 0,4 млн. тонн найрізноманітнішого сміття, яке щороку збільшується на 40 тис. тонн.

В південно-західній частині, де ведеться інтенсивне сільськогосподарське виробництво, нараховується 53 склади пестицидів. В ряді випадків тара для їх зберігання пошкоджена або ж розміщена в місцях, де існує загроза підтоплення. Така система зберігання пестицидів спричиняє проникнення хімічних речовин у водоносний горизонт. Аналізи проб відібраних по проблемних в сенсі забруднення води водозаборах (Ужгородський – „Минай”, Берегівський – „Геча”) свідчать про високий вміст деяких пестицидів, що перевищують ГДК [34]. На ділянках розміщення багаточисленних заправок, на пунктах миття вагонів (станції Ужгород, Батьово), а також вздовж автомагістралей підземні води перебувають в зоні впливу хімічного забруднення.

Велику небезпеку для геологічного середовища загалом і для водоносного горизонту минайського віку зокрема, складає хімічна речовина „Премікс”, яка була завезена з Угорщини до Закарпаття у 1999-2004 роках. Ця речовина, яка за даними „Інституту гігієни та медичної екології ім. О.М.Марзєєва АМН України”, містить у своєму складі оксиди важких металів (свинець, хром, нікель), належить до найвищого першого класу небезпеки, загрожує здоров'ю і, навіть, життю людей. Одна із ділянок, де згадана речовина знаходиться у відкритому вигляді, розміщена в зоні живлення ґрунтових вод алювіального водоносного горизонту, що використовуються водозабором „Геча” для централізованого водопостачання м. Берегове (зона виклинювання алювію)

[35]. Водозабір розміщений нижче по потоку, а його відстань до „Преміксу” складає 2,2-2,4 км. На даний час Державному управлінню охорони навколишнього природного середовища в Закарпатській області за сприяння Мінприроди вдалося організувати вивезення на утилізацію більшої частини цієї речовини, але ще близько 1300 тонн тимчасово зберігається в контейнерах та у залізничних вагонах. Вирішення цієї проблеми потребує значних коштів, тому вирішальними мають бути дії органів державної влади в сфері охорони довкілля та представництв МНС [122].

Приблизно на третині площі свого розповсюдження горизонт перекритий шаром глин потужністю більше 2 м, і картується як умовно захищений. На решті території горизонт незахищений [32]. До того ж інтенсивна меліорація перезволожених і заболочених земель рівнинної частини Закарпатського прогину призвела до зниження захисних властивостей слабопрониклих порід зони аерації, що зумовлено значною кількістю магістральних меліоративних каналів, глибина котрих часто перевищує потужність покривних суглинків і глин. В деяких місцях глибина магістральних каналів співпадає або нижче глибини залягання дзеркала ґрунтових вод водоносного горизонту минайського віку. Забруднені води, оминаючи захисний шар покривних глин і суглинків, на всьому протязі меліоративної системи інфільтруються в ґрунтові води, погіршуючи їх якість. В природних умовах захищеність горизонту збільшується зі сходу на захід, де верхній глинистий шар менше піддавався розмиву.

Так, при прокладанні магістрального каналу Бактянської меліоративної системи (Берегівський район), був повністю знищений шар слабо проникних порід потужністю 6-8 м, що призвело до незахищеності всього ґрунтового водоносного горизонту в межах всієї системи. Негативні процеси з погіршення якості ґрунтових вод спостерігаються під час паводкового наповнення каналів і в після паводковий період фільтрації. В межах меліоративних систем збільшується інтенсивність забруднення поверхневих і підземних вод внаслідок сільгоспвиробництва (мінеральні та органічні добрива, пестициди,

тощо). Крім того, хімізм підземних вод порушених меліорацією зазнав змін. Мінералізація вод прямо пропорційна щільності меліоративних споруд і глибині їх урізу. На територіях Бактянської, Батарської, Сальвинської меліоративних систем відмічений ріст мінералізації ґрунтових вод та збільшення вмісту заліза [34].

3.2. Дослідження умов формування хімічного складу ґрунтових вод

На основі побудованих карт-схем зміни значень мінералізації, жорсткості, хлоридів за період 1965-2005 рр., що відображені в попередньому розділі, проведемо аналіз умов формування хімічного складу ґрунтового водоносного горизонту.

Аналіз побудованої поверхні різниці величини мінералізації (див.рис. 2.25) показує, що майже на всій площі ділянки дослідження (95% від загальної площі території дослідження) відбулося підвищення мінералізації, на 3,3% території відсутніх змін не відбулося, і тільки на 1,5% площі мінералізація дещо зменшилась. Збільшення мінералізації (на 200-300 мг/дм³) фіксується поблизу великих населених пунктів – Мукачеве, Ужгород, Чоп, що пов'язане з антропогенним навантаженням на водоносний горизонт житлово-комунальних господарств, діяльністю промисловості. В межах центральної частини території (смт. Батьово) тенденція зміни мінералізації може бути пояснена функціонуванням об'єктів транспортної інфраструктури. Суттєвого збільшення мінералізації не відбулося (чи навіть вона трохи зменшилась) в межах локальних ділянок північно-східної та південної частини території дослідження.

Очевидним є те, що ареали поширення площ з підвищеною мінералізацією просторово співпадають з ділянками, які характеризуються високою жорсткістю та збільшеним вмістом хлорид-іонів (рис.2.26 та 2.27 відповідно).

Аналізуючи побудовану поверхню різниці величини жорсткості вод алювіальних відкладів минайського віку можна говорити про те, що майже на половині площі (43% від загальної площі території дослідження) жорсткість зросла, на 34% території суттєвих змін не відбулося, а на 23% площі жорсткість зменшилась.

Відсоткове співвідношення площ за вмістом хлоридів до загальної площі ділянки дослідження показує, що на 10% займаної території значення вмісту хлоридів у ґрунтових водах алювіального водоносного горизонту зменшилися (локальні ділянки в центральній, північно-західній та південно-східній частині). Майже на половині площі – 48% від загальної площі території дослідження, істотних змін не відбулося. А на близько 40% площі вміст хлоридів збільшився. Найвищі значення вмісту хлоридів спостерігаються поблизу м.Ужгород, м.Мукачеве, м.Берегове (південна частина) та станційних пунктів – ст. Єсень, ст. Соловка, ст. Батьово. Підвищена жорсткість та вміст хлоридів в межах міської забудови свідчить про перманентне антропогенне забруднення алювіального водоносного горизонту.

Крім того, осередки підвищеного вмісту хлору, формуються також під впливом і природних чинників, адже виходи цих вод приурочені до ділянок інтенсивних диз'юктивних порушень, головним чином до вузлів перетину поперечних і повздовжніх розломів (Чопський, Берегівський). По ослабленим тектонічним зонам відбувається часткове розвантаження глибоко мінералізованих вод у водоносні горизонти верхньої гідродинамічної зони.

Висновки до РОЗДІЛУ 3

Розділ присвячений вивченню факторів формування хімічного складу ґрунтових вод території досліджень.

Формування хімічного складу ґрунтових вод в Чоп-Мукачівському басейні пов'язано із складною геологічною будовою і умовами циркуляції

підземних вод в зоні інтенсивного водообміну, вилугуванням солей із покривних відкладів, катіонним обміном між породою і водою, змішуванням вод різних водоносних горизонтів, штучним забрудненням ґрунтових вод в результаті господарської діяльності.

Формування хімічного складу ґрунтових вод здійснюється під впливом як природних, так і антропогенних факторів, які часто досить складно відрізнити один від одного, оскільки інтенсивна господарська діяльність нерідко активізує дію останніх.

В передгірських районах западини ґрунтові води формуються, головним чином, за рахунок підземного притоку із Вигорлат-Гутинського вулканогенного басейну лавових і тріщинно-жильних вод, поглинання води із річок та інфільтрації атмосферних опадів.

У зв'язку із складною геологічною будовою (численні тектонічні розломи та вулканічні утворення) на території досліджень виявлено аномальні ділянки, де вміст деяких хімічних елементів у ґрунтових водах значно перевищує санітарно-гігієнічні норми до питних вод. Практично на всій території Чоп-Мукачівського басейну виділяються аномальні ділянки з підвищеним вмістом заліза і марганцю, які пов'язані з наявністю останніх у водовміщуючих породах. Чітко прослідковується зв'язок підвищеного вмісту заліза і марганцю з Мукачівським регіональним розломом, Берегівським горстом, Чопським вулканом. Підвищені концентрації заліза в межах зон розломів Вигорлат-Гутинського гірського пасма (територія м. Ужгород), ймовірно, можуть бути пов'язані із зонами розвантаження в алювій залізистих вуглекислих мінеральних вод.

У ґрунтовому водоносному горизонті виявлено ряд аномальних ділянок, утворення яких пов'язане з антропогенним впливом. На обмежених локальних ділянках у районі населених пунктів, промислових підприємств фіксується підвищення загальної мінералізації і жорсткості води, а також значне зростання концентрації хлорид-іонів, що у кілька разів перевищують фонові значення для цього ґрунтового горизонту. Із сільськогосподарською і

господарсько-побутовою діяльністю слід пов'язувати більшість аномалій у зонах впливу водозаборів, призначених для централізованого водопостачання міст Мукачеве, Виноградів, Берегове. Тут спостерігається високий вміст азотистих сполук, що свідчить про інтенсивне органічне та бактеріальне забруднення в результаті перевантаження території сільськогосподарськими об'єктами і не каналізованими населеними пунктами.

Проведений ГІС-аналіз карт змін величини мінералізації, жорсткості, хлоридів показав, що майже на всій території досліджень відбулося підвищення мінералізації. Ділянки з підвищеною мінералізацією просторово співпадають з ділянками, які характеризуються високою жорсткістю та завищеним вмістом хлорид-іонів, які розповсюджені локально в містах Ужгород, Мукачеве, Чоп, Берегове, що свідчить про перманентне антропогенне забруднення ґрунтового водоносного горизонту.

Крім того, ділянки підвищеного вмісту хлору формуються також під впливом і природних геологічних чинників, що приурочені до диз'юнктивних порушень і, особливо, до вузлів перетину поперечних і повздовжніх розломів, де по ослаблених тектонічних зонах відбувається розвантаження мінералізованих вод у водоносні горизонти верхньої гідродинамічної зони.

РОЗДІЛ 4

Вивчення природних умов захищеності ґрунтового водоносного горизонту від забруднення

4.1. Методика якісної оцінки умов захищеності та її удосконалення на основі ГІС

Інтенсивність антропогенного впливу на підземні води багато в чому визначається ступенем їхньої захищеності. Під природною захищеністю водоносного горизонту від забруднення розуміється його перекриття відкладами, що перешкоджають проникненню забруднюючих речовин з поверхні землі [25].

Вивчення захищеності підземних вод від забруднення і стійкості до антропогенного впливу служить одним з інструментів регулювання відносин між компонентами геоекосистем, важливою ланкою в розробці основ раціонального використання і охорони водних ресурсів. У 1989 році на основі матеріалів геологічних, геоморфологічних зйомок, пошуково-розвідувальних робіт на прісні води видана карта природної захищеності підземних вод масштабу 1: 200 000, яка відображає стан ґрунтових вод в адміністративних границях Закарпатської області [32].

Захищеність залежить від природних і антропогенних факторів. До основних природних відносяться: глибина залягання підземних вод, наявність в розрізі і товщина водотривких порід, наявність гідрогеологічних вікон, літологія і сорбційні властивості порід, співвідношення рівня ґрунтового і напірних водоносних горизонтів. До антропогенних факторів слід віднести наявність та умови знаходження забруднюючих речовин на поверхні землі, швидкість їх проникнення у підземні води, хімічний склад забруднюючих речовин і, як наслідок, їх міграційну здатність, хімічну стійкість, характер взаємодії з породами і підземними водами.

Захищеність підземних вод можна охарактеризувати якісно і кількісно. У першому випадку в основному розглядаються тільки природні фактори, в другому – природні та техногенні.

В основі якісної оцінки природної захищеності ґрунтових вод, яка детально розроблена В.М. Гольдбергом [25], лежить визначення суми умовних балів, що залежить від умов залягання ґрунтових вод, товщини слабопроникних відкладів і їх літологічного складу:

$$E = m_0 + A; \quad A = \frac{h}{k_a} \quad (4.1)$$

m_0 – товщина шару слабопроникних відкладів;

h – товщина зони аерації (відмітка рівня ґрунтових вод);

k_a – коефіцієнт фільтрації зони аерації

Обґрунтування балів, що відповідають різним глибинам залягання рівня ґрунтових вод, товщині і літології слабопроникних відкладів, проводиться виходячи з часу досягнення фільтруючими з поверхні землі забруднюючими речовинами рівня ґрунтових вод. В якості вихідної одиниці для оцінки балів прийнято час фільтрації t_1 через зону аерації, складену добре проникними породами ($k_f \sim 2$ м / добу) потужністю 10 м.

Виділено п'ять градацій глибин залягання ґрунтових вод: до 10, 10-20, 20 - 30, 30-40, понад 40 м (табл.4.1).

Таблиця 4.1.

Бали захищеності за градацією глибини залягання підземних вод
(потужність зони аерації)

Глибина залягання підземних вод, м	$m < 10$	$10 < m < 20$	$20 < m < 30$	$30 < m < 40$	$m > 40$
Кількість балів	1	2	3	4	5

За літологією і фільтраційними властивостями слабопроникних відкладів виділяються три групи: а – супіски, легкі суглинки, ($k_f \sim 0,1-0,01$ м / добу), с – важкі суглинки і глини ($k_f < 0,001$ м / добу), b – (проміжна група між а і с) – суміш порід груп а і с ($k_f \sim 0,01-0,001$ м / добу).

Бали захищеності за градацією товщини шару слабопроникних відкладів представлені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2.

Бали захищеності за градацією товщини шару слабопроникних відкладів

Товщина слабо проникних відкладів m_0 , м	Види відкладів		
	Супіски, легкі суглинки $k=0,1-0,01$ м/д	Змішані різновиди $k=0,01-0,001$ м/д	Важкі суглинки, глини $k < 0,001$ м/д
$m_0 < 2$	1	1	2
$2 < m_0 < 4$	2	3	4
$4 < m_0 < 6$	3	4	6
$6 < m_0 < 8$	4	6	8
$8 < m_0 < 10$	5	7	10
$10 < m_0 < 12$	6	9	12

Сума балів, що залежить від умов залягання ґрунтових вод, товщини слабопроникних відкладів і їх літологічного складу, визначає ступінь захищеності ґрунтових вод. Для розрахунку суми балів необхідно скласти бали, отримані за товщину зони аерації та бали за товщину слабопроникних відкладів, що наявні в розрізі. За сумою балів виділяють категорії захищеності: захищені, умовно захищені та не захищені ґрунтові води.

4.2. Просторова оцінка природних умов захищеності ґрунтового водоносного горизонту

В результаті проведеної роботи, застосовуючи модернізовану методику В.М. Гольдберга, на першому етапі побудовано растрову цифрову модель рельєфу (спочатку на основі шару ізоліній рельєфу, за допомогою модуля 3D Analyst створена векторна модель рельєфу, після чого векторна модель конвертована в растрову). На основі даних про глибину залягання підземних вод, що були занесені до спеціалізованої бази даних (по 87 свердловинам станом на 2005 рік) побудовано растрову модель глибини залягання ґрунтових вод (*idw_rgv*). В подальшому, використовуючи дані про потужність шару

слабопроникних відкладів, виконана побудова растрової моделі потужності шару слабопроникних відкладів (idw_pot). З метою визначення сумарної бальної оцінки природної захищеності ґрунтового водоносного горизонту алювіальних відкладів в ArcGIS за допомогою функції Spatial Analyst →

Map Algebra → Raster Calculator реалізовано математичне накладання двох растрових шарів (idw_rgv+ idw_pot), на основі чого здійснене ранжування досліджуваної території. Результатом є створена карта-схема просторової диференціації ґрунтового водоносного горизонту за сумарною бальною оцінкою природної захищеності (рис. 4.1).

Сумарна бальна оцінка, що визначає ступінь захищеності ґрунтових вод алювіальних відкладів і відповідні їй площі території дослідження відображені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3.

Сумарна бальна оцінка і відповідні їй площі території дослідження

Сума балів	Площа території дослідження, км ²	Відсоток від площі території дослідження, %
<5	45,55	2,13
5-10	1471,72	68,82
10-15	564,10	26,38
15-20	47,52	2,22
20-25	6,41	0,29
>25	2,99	0,13

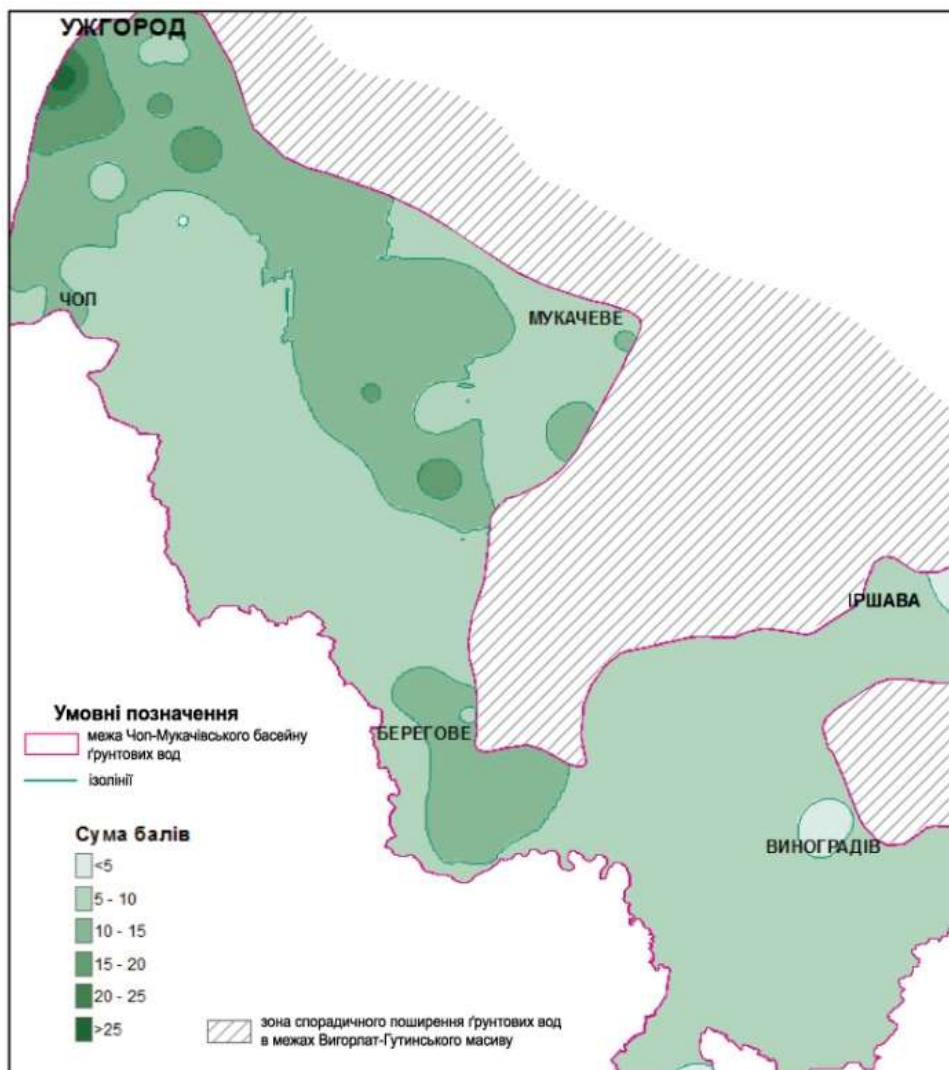


Рис. 4.1. Карта-схема просторової диференціації ґрунтового водоносного горизонту за сумарною бальною оцінкою природної захищеності.

Примітка. Незахищені ґрунтові води показані світло-зеленим кольором, а умовно захищені – темно-зеленим і зеленим.

Спільне врахування товщини зони аерації та шару слабопроникних відкладів дозволило виділити дві категорії захищеності ґрунтового водоносного горизонту (не захищені, умовно захищені), які докладно охарактеризовані в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4.

Характеристика умов захищеності від забруднення ґрунтового
водоносного горизонту минайського віку

Категорії захищеності ґрунтових вод	Умови захищеності від забруднення	Райони переважного розповсюдження	Розповсюдженість, %
Не захищені	Верхній водотривкий шар, складений глинами, суглинками невеликої товщини (до 3 м). На окремих ділянках, в заплавах рік Латориця, Тиса водотрив практично відсутній. На ділянках вказаних водотоків ґрунтовий водоносний горизонт має тісний гідравлічний зв'язок з поверхневими водами	Мукачівський, Берегівський, Іршавський, Виноградівський, частково Ужгородський	71
Умовно захищені	Водотрив товщиною більше 3 м, витриманий за потужністю, без порушення суцільності	Ужгородський, частково Мукачівський (західна частина), Берегівський (південна частина)	29

Не захищені ґрунтові води, яким за сумою балів відповідає градація від 5 до 20, пов'язані з областями розвитку тонких слабопроникних відкладів, розповсюджених в основному у районах річкових долин. Максимально представлена ця категорія захищеності ґрунтових вод на території дослідження займає 71% площі розповсюдження водоносного горизонту. Умовно-захищені ґрунтові води із градацією ві 20 балів і більше, пов'язані зі слабопроникними глинистими відкладами значної товщини і становлять 29% території розповсюдження водоносного горизонту алювіальних відкладів минайського віку.

4.3. Комплексний аналіз динаміки гідрогеохімічної обстановки ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну

Врахування умов захищеності та виділення категорій мінералізації (за О. М. Овчинниковим) і жорсткості (за О. О. Альокіним) [98] дозволило автору створити карти-схеми літолого-гідрогеохімічного стану ґрунтових вод на 1965 рік та 2005 рік (рис. 4.2, рис.4.3 відповідно).

Так, південно-східна частина території, яка відноситься до не захищених, характеризується зміною як категорій мінералізації, так і жорсткості води (води змінилися із ультрапрісних м'яких на прісні з помірною жорсткістю). В межах західної частини, яка є не захищеною, відбулася трансформація вод із прісних помірно жорстких на води жорсткі з підвищеною мінералізацією.

Причини такої зміни пояснюються тим, що ділянки з незахищеними водами знаходяться в заплавах рік Тиса, Латориця, Боржава, де верхній водотривкий шар відсутній, або ж складений глинами, суглинками невеликої товщини. На заплавах цих рік ґрунтові води мають тісний гідравлічний зв'язок з поверхневими. При наявності поверхневого джерела забруднення внаслідок перетоку тут збільшується ймовірність погіршення їх якості.

Крім того, наявність численних меліоративних каналів в західній частині території призвело до зниження захисних властивостей слабо проникних порід, що значно порушило природну захищеність ґрунтових вод.

Суттєві відхилення у зміні хімічного складу, що зафіксовані поблизу локальних ділянок приміських територій (міст Мукачеве, Берегове, Ужгород), де води ґрунтового водоносного горизонту змінилися з ультра прісних м'яких або з помірно жорстких – на води жорсткі з підвищеною мінералізацією, є підтвердженням негативного впливу антропогенного навантаження. Цьому також сприяє як активна експлуатація їх централізованими водозаборами в межах перелічених ділянок, так і наявність численних джерел забруднення.

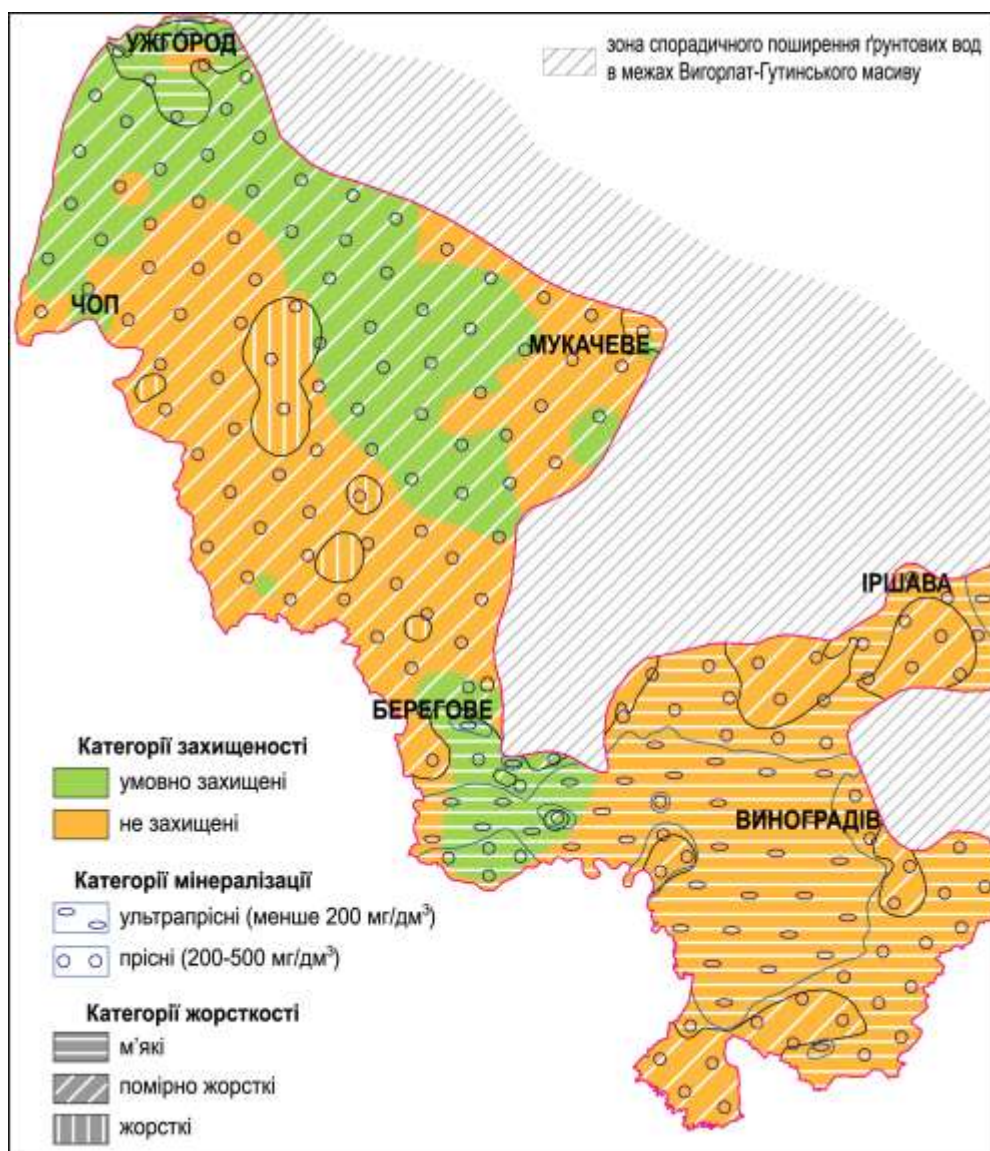


Рис. 4.2. Карта-схема літолого-гідрогеохімічного стану ґрунтових вод, 1965 р.

В північній частині ділянки дослідження, де водотрив витриманий за товщиною, відсутні гідрогеологічні вікна, води класифікуються як умовно-захищені. Кардинальних змін мінералізації та жорсткості води не сталося.

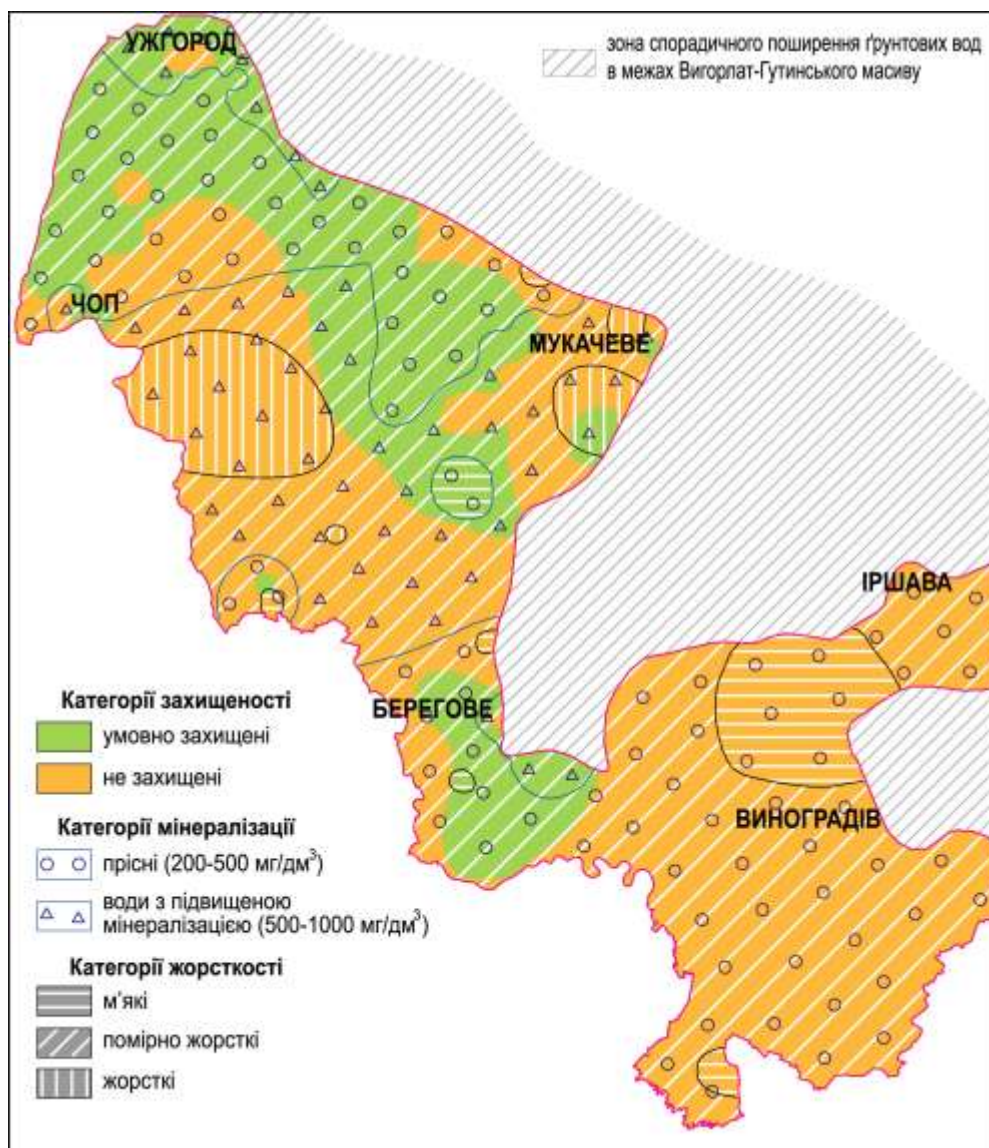


Рис. 4.3. Карта-схема літолого-гідрогеохімічного стану ґрунтових вод, 2005 р.

Використовуючи побудовані автором карти зміни гідрогеохімічної обстановки та карту-схему просторової диференціації ґрунтового водоносного горизонту за сумарною бальною оцінкою природної захищеності за результатами багатолітніх досліджень на основі комплексного підходу виконано районування території Чоп-Мукачівського басейну (рис.4.4).

За результатами цього аналізу вдалося виділити:

1. Ділянки без помітних відхилень хімічного складу води. Сюди входять площі з позитивними змінами хімічного складу (ваговий коефіцієнт дорівнює

1) та площі, де змін хімічного складу не відбулося (ваговий коефіцієнт дорівнює 0).

2. Ділянки зі значними змінами хімічного складу, куди входять площі з негативними змінами хімічного складу (ваговий коефіцієнт дорівнює -1).

3. За допомогою засобів ГІС-технологій встановлено, що до умовно-захищених ділянок приурочені ґрунтові води без помітних відхилень, а до ділянок із слабкою природною захищеністю – ґрунтові води із значними змінами хімічного складу.

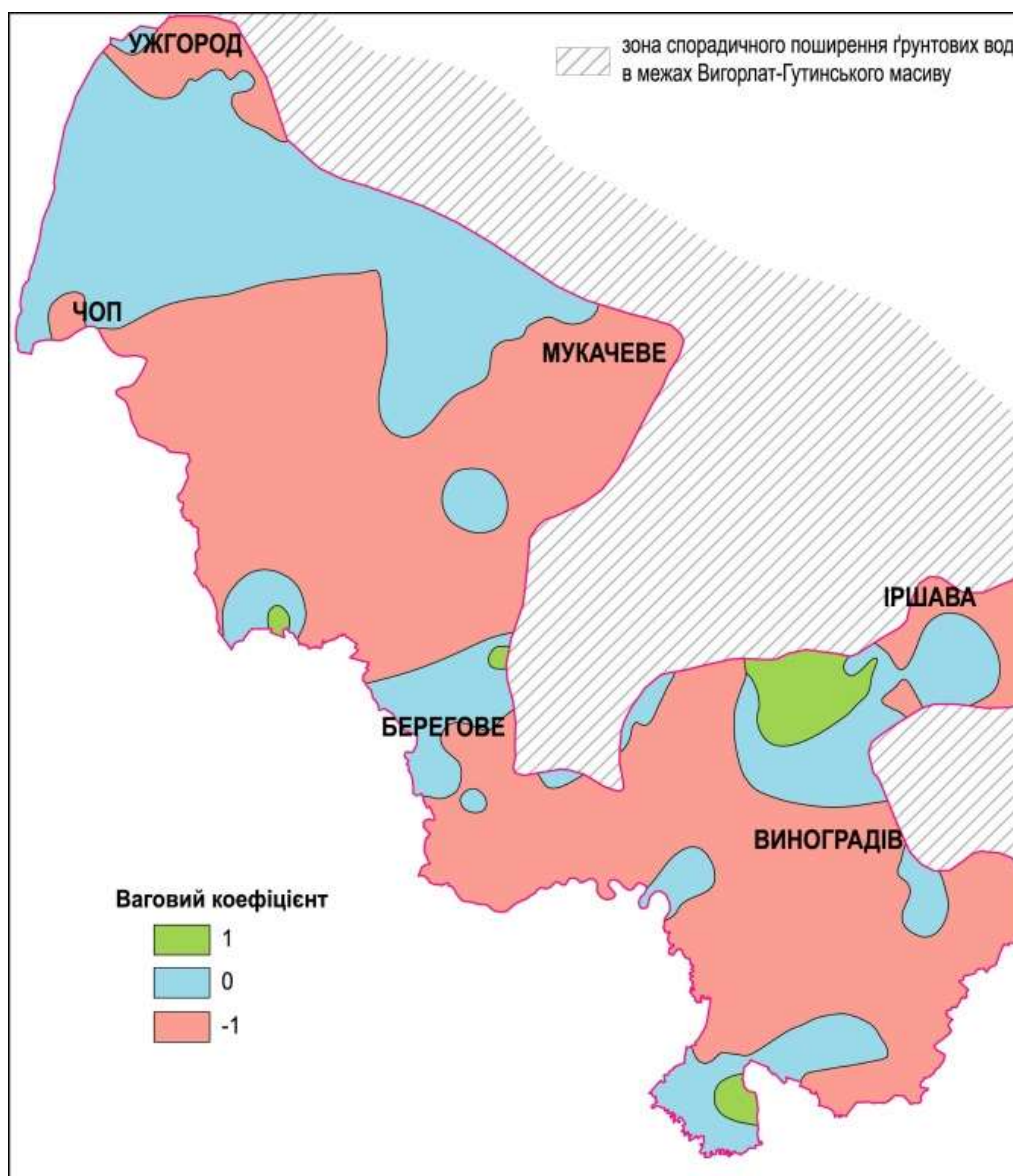


Рис. 4.4. Карта-схема динаміки гідрогеохімічної обстановки ґрунтового водоносного горизонту алювіальних відкладів 1965-2005 рр.

Висновки до РОЗДІЛУ 4

Розділ присвячений вивченню природних умов захищеності ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну. При вивченні і картуванні захищеності ґрунтових вод виконано просторову оцінку природних умов захищеності, в основі якої лежить визначення суми умовних балів, що залежить від геологічних особливостей ґрунтового водоносного горизонту.

В основі якісної оцінки природної захищеності ґрунтових вод, лежить визначення суми умовних балів, що обумовлені природними факторами. За сумою балів виділяють категорії захищеності: захищені, умовно захищені та не захищені ґрунтові води.

В зв'язку з цим, подальшого розвитку набула методика якісної оцінки умов природної захищеності ґрунтових вод В. М. Гольдберга шляхом комплексного застосування літологічних і гідродинамічних характеристик геологічного середовища. Застосовуючи цю модернізовану методику за допомогою засобів ГІС-технологій побудовані растрові шари глибини залягання ґрунтових вод та товщини шару слабо проникних відкладів.

Створено карту-схему просторової диференціації ґрунтового водоносного горизонту за сумарною бальною оцінкою природної захищеності. Виділено дві категорії захищеності ґрунтових вод – незахищені (71% площі розповсюдження цього горизонту) та умовно захищені – 29%. Встановлено, що південно-східна та західна частина Чоп-Мукачівського басейну належить до незахищених, а в північній частині – ґрунтові води картуються як умовно-захищені.

За допомогою засобів ГІС-технологій встановлено, що до умовно-захищених ділянок приурочені ґрунтові води без помітних змін, а до незахищених ділянок – ґрунтові води із значними змінами хімічного складу.

Використовуючи побудовані автором карти зміни гідрогеохімічної обстановки та карту-схему просторової диференціації ґрунтового водоносного горизонту за сумарною бальною оцінкою природної захищеності за результатами багатолітніх досліджень на основі комплексного підходу

виконано районування території Чоп-Мукачівського басейну і виділено: а) ділянки без помітних відхилень хімічного складу води; б) ділянки із значними змінами хімічного складу.

ВИСНОВКИ

Основні результати за темою дисертації можна сформулювати так:

1. В роботі досліджені регіональні закономірності розповсюдження ґрунтових вод різного хімічного складу в Чоп-Мукачівському басейні. З використанням новітніх технологій виділені і оконтурені ділянки ґрунтового водоносного горизонту без помітних змін (північна частина Чоп-Мукачівського басейну) та із значними змінами хімічного складу ґрунтових вод (південно-східна та західна частини).

2. Встановлено регіональні закономірності формування хімічного складу ґрунтових вод в природних умовах і в умовах експлуатації. Досліджені закономірності зміни хімічного складу ґрунтових вод, розглянуті основні чинники та джерела їх забруднення. На забруднення ґрунтових вод впливають антропогенні фактори (інтенсивний водовідбір, сільськогосподарська діяльність, функціонування об'єктів транспортної інфраструктури).

3. Використання геоінформаційних технологій дозволило прослідкувати кількісні зміни хімічного складу ґрунтових вод в часі і просторі. За сорокарічний період спостереження мінералізація підвищилася на 200–400 мг/дм³, загальна жорсткість – на 3–8 мг-екв/дм³, хлориди – на 70 і більше мг/дм³ та ін. Створення карт-схем різниці величини мінералізації, жорсткості та вмісту хлоридів та ін. дало змогу з'ясувати, що майже на всій території дослідження (95% від загальної площі території Чоп-Мукачівського басейну) відбулося підвищення мінералізації, на половині території зросла жорсткість, підвищився вміст хлоридів та ін. Встановлені імовірні причини цих змін.

4. За удосконаленою автором методикою В.М. Гольдберга виконано просторову оцінку природних умов захищеності ґрунтового водоносного горизонту Чоп-Мукачівського басейну. Виділено дві категорії захищеності ґрунтових вод – незахищені (71% площі розповсюдження цього горизонту) та умовно захищені – 29%. Встановлено, що південно-східна та західна частина Чоп-Мукачівського басейну належить до незахищених, а в північній частині – ґрунтові води картуються як умовно-захищені.

5. За допомогою засобів ГІС-технологій встановлено, що до умовно-захищених ділянок приурочені ґрунтові води без помітних змін, а до незахищених ділянок – ґрунтові води із значними змінами хімічного складу.

6. В умовах збільшення антропогенного навантаження, з метою недопущення погіршення сучасного гідрогеохімічного стану ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну, автор вважає за доцільне рекомендувати підвищити контроль за режимом водовідбору ґрунтових вод та за їх хімічними показниками. Обов'язковим є проведення заходів з мінімізації впливу джерел забруднення (міські водозабори, станційні пункти миття вагонів, промислові відходи та господарсько-побутові стоки) на ґрунтові води. При визначенні пріоритетів проведення моніторингу підземних вод ключову роль повинна відігравати категоризація території за ступенем захищеності ґрунтових вод.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Адаменко О.М. Проблеми геоморфології і палеогеографії Закарпаття / Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат / О.М. Адаменко. – Львів. – С. 19-26.
2. Адаменко О.М.. Антропоген Закарпаття / Адаменко О.М., Гродецькая Г.Д. – Кишинев: Штиинца, 1987. – 147 с.
3. Аксьом О.С. Оцінка природної захищеності підземних вод Уманського дендропарку „Софіївка” засобами ARCGIS 8.1. / О.С.Аксьом // Вісник Київського нац.ун-ту імені Т.Шевченка. Серія Геологія. – 2006. – №38-39. – С. 29-32. – Бібліограф.: 8 назв.
4. Алекин О.А. Основы гидрохимии / О.А. Алекин. – Л., 1970. – 444 с.
5. Алексеев В.А. Система сбора и обработки данных экологического мониторинга / В.А. Алексеев, М.В. Телегина, М.В. Цапок // Геоинформатика. – М., 2008. –№3 С.17-20
6. Алето Вьено. ArcCatalog. Руководство пользователя / Алето Вьено. – М.: Дата+. 2001. –258 с.
7. Анучин В. А. География Советского Закарпаття/ В. А. Анучин – М.: Географиз., 1956. – С. 64–73.
8. Белоусова А.П. Качество подземных вод: современные подходы к оценке / А.П. Белоусова; М.: Наука, 2001. – 339 с.
9. Браунли К.А. Статистическая теория и методология в науке и технике / Пер. с англ.. М.С.Никемна; Под ред..Л.Н.Большева. – М., 1977.
10. Бурачек В.Г. Геоінформаційний аналіз просторових даних: монографія / Бурачек В.Г., Железняк О.О., Зацерковний В.І.; Н.: „Видавництво Аспект-Поліграф”, 2011. – 440 с.
11. Бурачек В.Г. Основи геоінформаційних систем [Текст]: монографія/ В.Г.Бурачек, О.О.Железняк, В.І.Зацерковний Нац. авіац. ун-т. – Ніжин: Аспект-Поліграф, 2011. – 512 с.

12. Вижва С.А. База даних геолого-геофізичної інформації в системі моніторингу за станом геологічного середовища на території Київської агломерації / С.А. Вижва, О.Є. Кошляков, І.Є. Кошлякова, І.В. Цюпа // Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: матеріали Всеукраїнської наукової конференції. – К.: 2006. – С.15–17.
13. Вижва С.А. Структура бази даних геолого-геофізичної інформації в системі моніторингу за станом геологічного середовища на території Київської агломерації / С.А. Вижва, О.Є. Кошляков, І.Є. Кошлякова, І.В. Цюпа // Вісник Київського національного університету. Серія Геологія. №41. – 2007. – С.48–51.
14. Вишняк А.И. Изменение химического состава подземных вод в ограниченных карбонатных структурах при окислении пирита покровных обложений (на примере Полдневского месторождения Егоршинско-Каменской синклинали Восточно-Уральского прогиба): автореф. дис. канд. геол.-минерал.наук / Вишняк А.И.; Московс. гос. ун-т. – М., 2005. – 20 с.
15. Водна рамкова директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення. – К., 2006. – 240 с.
16. Волошин П.К. Моніторингові дослідження підземних вод урбосистеми Львова / П.К. Волошин // наук. праці УкрНДГМІ. – 2003. Вип.252. С. 80–96.
17. Вопросы изучения и анализа режима подземных вод / Сборник статей [науч. ред.. В.С.Ковалевский]. – М., 1967.
18. Вопросы изучения и прогноза режима подземных вод / Сборник статей [науч. ред.. А.А.Коноплянцев]. – М., 1973. 107 с.
19. Гавич И.К. Сборник задач по общей гидрогеологии / И.К. Гавич, А.А. Лучшева, С.М. Семенова-Ерофеева // М.: Недра, 1985. – С.262-300.
20. Гаврилюк О.В. Формирование базы данных при выполнении гидрогеохимических исследований Харьковской городской агломерации

- / О.В.Гаврилук, И.К.Решетов, И.В.Удалов // Вісник національного технічного університету „Харківський політехнічний інститут”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск „Хімія, хімічна технологія та екологія”. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2011. – №59. – С.118–122.
21. Геологическое строение и горючие ископаемые Украинских Карпат. Укр НИГРИ. – М., 1971, вып.25. – 392 с.
 22. Гидрогеология СССР. Украинская ССР. Том V.– М.: Недра, 1971, -308 с.
 23. Гідрологічний щорічник про стан підземних вод України за 2003 рік. - К.: 2004. – 87 с.
 24. Головей С.Д. Систематизация и отображение базы данных в программной среде Arc Gis на примере проекта „Черные сланцы Дальнего Востока”/ С.Д. Головей // ИТиг ДВОРАН Хабаровск, Россия. – С.1–3.
 25. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды / В.М Гольдберг; Л., 1987. – 248 с.
 26. Гольдберг В.М. Гидрогеологические прогнозы качества подземных вод на водозаборах / В.М Гольдберг; М., 1976. –153 с.
 27. Городкова А.Р. Использование математических методов в гидрохимии (на примере подземных вод Восточной Сибири) Автореф. Дис. на соиск. уч.степени канд. хим. наук: 02.00.12./ Городкова А.Р.; Иркутск, 1975. – 32 с.
 28. Де Мерс. Географические информационные системы. Основы/ Де Мерс, Н. Майкл: пер. с англ. – М.: Дата+, 1999. – 489 с.
 29. Державний інформаційний геологічний фонд України, м. Київ 39980
Отчет о региональной оценке ресурсов подземных вод Закарпатской области 1973-1977 гг., Берегово 1977 г., 247 л.
 30. Державний інформаційний геологічний фонд України, м. Київ 50813
Отчет по изучению режима, госучету, использованию и контролю за

- охраной подземных вод от истощения и загрязнения, ведения ГВК на территории Закарпатской области за 1978 г., Берегово 1978 г., 189 л.
31. Державний інформаційний геологічний фонд України, м. Київ Отчет о результатах эколого-геохимической съемки г. Мукачево за 1990-1991 гг., Берегово 1991 г.
 32. Державний інформаційний геологічний фонд України, м. Київ 52500 Карта естественной защищенности подземных вод Украины. Закарпатская область м: 1: 200 000, Киев 1990 г., 54 л.
 33. Державний інформаційний геологічний фонд України, м. Київ Створення автоматизованої бази даних хімічного складу підземних вод за даними режимних спостережень (Львівська, Тернопільська, Івано-Франківська, Чернівецька, Закарпатська області): Звіт за 2000 р., Львів 2000 р.
 34. Державний інформаційний геологічний фонд України, м. Київ 61126 Державний облік використання підземних вод, ведення ДВК та моніторингу ресурсів і запасів підземних вод території Закарпатської області: (Звіт за 2001-2006 рр.) Берегове 2006 р.
 35. Державний інформаційний геологічний фонд України, м. Київ 61269 Оцінка стану прогнозних ресурсів та експлуатаційних запасів підземних вод Закарпатської області : (Звіт за 2002-2007 рр.) Берегове 2007 р., 87 арк.
 36. Державний інформаційний геологічний фонд України, м. Київ 61159 Звіт по оцінці екологічного стану геологічного середовища прикордонних територій Закарпатської області в масштабі 1: 100 000. Берегове 2004 р.
 37. Дэвис Дж.С. Статистический анализ данных в геологии.: Пер. с англ.. в 2 кн./ Пер. В.А.Голубевой; Под ред.. Д.А.Родионова. Кн.1 – М., 1990.
 38. Дзекцер Е.С. Мониторинг подземных вод урбанизированных территорий / Е.С. Дзекцер // Водные ресурсы. – 1993. Т 20. – №5. – С. 615–620.

39. Діброва О. Т. Закарпатська область (географічний нарис) / О. Т. Діброва // К., 1957. – С. 6–15.
40. Доленко Г.Н. Разломная тектоника Предкарпатского и Закарпатского прогибов и ее влияния на распределение залежей нефти и газа / Г.Н. Доленко; К.: Наукова думка, 1976. – 126 с.
41. ДСанПіН 2.2.4-171-10. Державні санітарні норми та правила „Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”. – Введ. 2010-07-01. – К.: 2010. – 45 с.
42. ДСТУ 4808:2007 Джерела централізованого питного водопостачання. Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання. – Введ.2007-07-05. – К.: Вид-во Міністерство будівництва, архітектури і житлово-комунального господарства України, 2007. – 53 с.
43. Дьяконов В.В. Компьютерные методы обработки геологической информации / Дьяконов В.В., Жорж Н.В. : Учебное пособие. – М.: РУДН, 2008. – 266 с.
44. Жуков М.Н. Математична статистика та обробка геологічних даних / М.Н. Жуков; ВПЦ „Київський університет”, 2008. – 487 с.
45. Жуков М.Н. Статистичний аналіз геологічних даних / М.Н. Жуков; К.: ІСДО, 1995. – 552 с.
46. Жуков Н.Н. Вероятностно-статистические методы анализа геолого-геофизической информации / Н.Н. Жуков; К.: Вища школа, 1975.
47. Зальцберг Э.А. Статистические методы прогноза естественного режима уровня грунтовых вод / Э.А. Зальцберг; Л., Недра, ЛО, 1976. – 101 с.
48. Заносова В.И. Водно-ресурсный потенциал западно-сибирского региона и его роль в устойчивом развитии мелиоративно-водохозяйственных систем АПК (на примере Алтайского края): автореф.дис. ...д-ра сельскох.наук: 06.01.02 / Заносова В.И.;Алтайс.гос.ун-т. – Б., 2011. – 36 с.
49. Зеегофер Ю.О., Селезнев В.Н. О методике изучения изменений поверхностных и подземных вод на территории крупных городов/ Ю.О.

- Зеегофер, В.Н. Селезнев // Бюллетень МОИП. – Вып.№5. – 1981. – Т.56. – С.131-136.
50. Изменения гидрогеологических условий под влиянием техногенных факторов / Под ред. А.Б. Бабинец. – Киев: 1982. – 54 с.
 51. Іщук О.О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навчальний посібник/ О.О Іщук, М.М. Коржнев, О.Є. Кошляков./ За ред. акад. Д.М.Гродзинського. – К.: Видавничо-поліграфічний центр „Київський університет”, 2003. – 200 с.
 52. Камзіст Ж.С. Гідрогеологія України. Навчальний посібник / Ж.С. Камзіст, О.Л. Шевченко; К.: „Інкос”, 2009. – 614 с.
 53. Кирюхин В.А. Гидрогеохимия / В.А. Кирюхин, А.И. Коротков, С.Л. Шварцев; М.: 1993. – 384 с.
 54. Ковалевский В.С. Исследование режима подземных вод в связи с их эксплуатацией / В.С. Ковалевский; М.: Недра, 1986. – 200 с.
 55. Коноплянцев А.А. Изучение, прогноз и картирование режима подземных вод / Коноплянцев А.А., Семенов С.М. М.: Недра, 1979. – 193 с.
 56. Королев В.А. Мониторинг геологической среды / В.А. Королев; М.: Изд. МГУ, 1995. – 270 с.
 57. Кошлякова Т.О. Сучасний стан використання питних підземних вод [Електронний ресурс] / [Т.О.Кошлякова] // Збірник наукових статей „III-го Всеукраїнського з'їзду екологів з міжнародною участю”. – Вінниця, 2011. – Том 1. – С.204-207.
 58. Кошляков О.Є. Геоінформаційна база даних хімічного складу питних підземних вод для території м.Києва / О.Є. Кошляков, Т.О.Кошлякова // Вісник Київського нац. ун-ту імені Т.Шевченка. Серія Геологія. – 2010. – №51. – С.36–38. – Бібліограф.: 8 назв.
 59. Кошляков О.Є. До питання оцінки захищеності питних підземних вод у м. Києві / О.Є.Кошляков, О.В.Диняк, І.Є. Кошлякова // Сучасні

- проблеми геології: Збірка наукових праць присвячена 155-річчю з дня народження академіка П.А.Тутковського. – К., 2013. – С.298-301.
60. Кошляков О.Є. Застосування методів математичної статистики з метою вивчення динаміки змін якості питних підземних вод м.Києва / О.Є.Кошляков, Т.О.Кошлякова // Сучасні проблеми геології: Збірка наукових праць присвячена 155-річчю з дня народження академіка П.А.Тутковського. – К., 2013. – С.305-310.
 61. Кошляков О.Є. Гідрогеологічне моделювання: підручник/ О.Є.Кошляков. – К.: ВПЦ „Київський університет”, 2003. – 79 с.
 62. Кошляков О.Є. Зміни хімічного складу підземних вод водоносного комплексу у відкладах іваницької світи середньої та верхньої юри і загорівської, журавинської, буромської світ нижньої та верхньої крейди в межах м.Києва під впливом експлуатації / О.Є. Кошляков, Т.О.Кошлякова // Вісник Київського нац. ун-ту імені Т.Шевченка. Серія Геологія. – 2010. – №49. – С.35–37. – Бібліограф.: 6 назв.
 63. Кошляков О.Є. Моніторинг гідрогеодинамічної складової геологічного середовища урбанізованих територій (на основі ГІС). Автореф. дис.д-ра геол. наук: 04.00.05. / Кошляков О.Є.; Київ.нац.ун-т ім.Т.Шевченка. – К., 2011. – 32 с.
 64. Крайнов С.Р. Геохимико-экологическое состояние подземных вод России (причины и тенденции изменения химического состава подземных вод) / С.Р. Крайнов, В.П. Закутин // Геохимия, 1994, №3. – С. 312–328.
 65. Крайнов С.Р. Геохимия подземных вод водохозяйственно-питьевого назначения / Крайнов С.Р., Швец В.М.; М.: 1987. – 237 с.
 66. Крамбейн У. Статистические модели в геологии / Крамбейн У. Грейбилл Ф.; М.: Мир, 1969.
 67. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер; – М.: Мир, 1978.

68. Курганевич Л.П. Водний кадастр. Навч. Посібник / Л.П. Курганевич; Львів: „Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка”, 2007. – 116 с.
69. Ломтадзе В.В. Идеология и технология создания и использования региональных баз геолого-геофизических данных / В.В. Ломтадзе, А.В. Королева // Геоинформатика. – М., 2009. – №1. С.52-56.
70. Ломтадзе В.В. Проблема формирования баз геолого-геофизических данных / В.В. Ломтадзе // Изв.вузов., Геология и разведка. – 1985. №6.
71. Лютий Г.Г., Саніна І.В. Фактори погіршення якості підземних вод у процесі експлуатації водозаборів / Г.Г.Лютий, І.В.Саніна // Збірник наукових праць УкрДГРІ. – К., 2011. – №1. – С.91-104.
72. Льготин В.А. Многолетние изменения среднесезонных и среднегодовых уровней и температуры подземных вод верхний гидродинамической зоны в Томской области / В.А. Льготин, О.Г. Савичев, Ю.В. Макушин // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – М.: Наука. – 2010. – №1. – С.23–29.
73. Максимова Э.А. Региональные изменения гидродинамических и гидрохимических условий эксплуатационного горизонта под. влиянием водоотбора (на примере сарматского водоносного комплекса Одесской области): автореф. дис. анд.геол.-минерал. наук / Максимова Э.А.; М., 1988. – 17 с.
74. Мандрик Б.М., Чомко Д.Ф., Чомко Ф.В. Гідрогеологія. – Київ.: ВПЦ „Київський університет”, 2005. – 172 с.
75. Методические рекомендации по изучению и прогнозу режима химического состава подземных вод в естественных и нарушенных условиях / Е.Н.Ярцева, В.А.Барон, В.М.Гольдберг, Н.И.Парфенова М.: ВСЕГИНГЕО, 1974.
76. Методические рекомендации по организации и ведению мониторинга подземных вод (изучение режима химического состава подземных вод). – М.: ВСЕГИНГЕО, 1985. – 76 с.

77. Михневич Г.С. Геоэкологическая оценка природной защищенности подземных вод от загрязнения (на примере системы верхнего межморенного водоносного горизонта Калининградской области): автореф. дис. канд.географ.наук / Михневич Г.С.; БФУ им. И. Канта. – К., 2011. – 18 с.
78. Мониторинг подземных вод и экзогенных геологических процессов// труды ГИДРОИНГЕО. – Ташкент: САИГИМС, 1990. – 121 с.
79. Морару К.Е. Гидрогеохимия зоны активного водообмена юго-запада Причерноморского артезианского бассейна (геоэкологические аспекты). Автореф. дис. д-ра геол.-минерал.наук: 25.00.36. / Морару К.Е.; Институт геологии и сейсмологии АН республики Молдова. – К., 2013. – 52 с.
80. Огняник Н.С. Охрана подземных вод в условиях техногенеза / Н.С. Огняник; К.: Вища школа, 1985. – 221 с.
81. Петрашкевич М. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности Закарпатского внутрененного прогиба : автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук / Петрашкевич М.; 1968.
82. Підземні води західних областей України [Відп. ред. О.Д. Штогрин, К.С.Гавриленко] К.: „Наук. думка”, 1968. – 316 с.
83. Плотников Н.И. Техногенные изменения гидрогеологических условий / Н.И. Плотников; М.: 1989. – 268 с.
84. Плякин А.В. Реализация геостатистических методов оценки геоэкологического состояния территории в геоинформационной системе /А.В.Плякин, В.Н.Козырева // Вестник Волгогр. гос.ун-та Сер.3. Эконом.-Эколог. 2012 №2. С. 195–204.
85. Почтаренко В.І. Оцінка екологічного стану геологічного середовища із застосуванням ГІС-технологій / В.І. Почтаренко, І.В. Саніна, Н.Г. Люта // Геоінформатика. – К.: 2002. – №1. – С.20–33.
86. Природа Закарпатської області / За ред. К.І. Геренчука. – Львів: Вища школа, 1981. – 156 с.

87. Проскурина И.В. Региональная оценка опасности загрязнения подземных вод как компонента окружающей среды: автореф.дис. канд. географ.наук / Проскурина И.В; Москов.гос.ун-т. – М., 2009. – 18 с.
88. Радько Н. Й. Підземні води Закарпатського внутрішнього прогину / Н. Й. Радько; К.: Наук. думка, 1975.
89. Рудницький С. Основи морфології і геології Підкарпатської Русі і Закарпаття взагалі / С. Рудницький; Ужгород, 1925.
90. Рубан С.А. та інш. Звіт про науково-дослідну роботу: „Розробка та впровадження методів прогнозування у системі державного моніторингу підземних вод” УкрДГРІ. Дніпропетровськ, 2009. – 251 с.
91. Рубан С.А. Система моніторингу підземних вод. Державний рівень. Дніпропетровськ, 2002.
92. Рубан С.А. Гідрогеологічні оцінки та прогнози режиму підземних вод України / Рубан С.А., Шинкаревський М.А.; К.: УкрДГРІ, 2005. – 572 с.
93. Рудько Г.І. Гідрогеохімія: підручник для студ. вузів / Г.І.Рудько – К.: Київський ун-т, 2007. – 255 с.
94. Саніна І.В. Досвід регіональних оцінок захищеності вод першого від поверхні водоносного горизонту із застосуванням ГІС-технологій / І.В.Саніна, Н.Г.Люта // Сучасні проблеми геології: Збірка наукових праць присвячена 155-річчю з дня народження академіка П.А.Тутковського. – К., 2013. – С.310-312.
95. Сахаров В.А. Зонирование урбанизированных территорий по геоэкологическому состоянию грунтовых вод (на примере г. Южно-Сахалинска): автореф.дис. канд.геол.-минерал.наук / Сахаров В.А.; Томский политехн. ун-т. – Т., 2010. – 22 с.
96. Світличний О.О. Основи геоінформатики: Навчальний посібник / Світличний О.О., Плотницький С.В.; за. ред. О.О.Світличного. – С.: ВТД „Університетська книга”, 2006. – 295 с.
97. Сеннов А.С. Геоинформационные системы в гидрогеологии: учебное пособие/ А.С. Сеннов, А.А. Шварц; С.-Пб. ун-т., 2005. – 64 с.

98. Справочник по гидрохимии / под ред. д-ра геол.-минер.наук А.М. Никанорова. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. – 390 с.
99. Старостин В.А. Особенности строения Закарпатского прогиба и перспективы поисков нефти и газа по геофизическим данным : Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук / Старостин В.А.; К., 1981. – 22 с.
100. Суярко В.Г. Гідрогеохімія (геохімія підземних вод): навчальний посібник / В.Г. Суярко, К.О. Безрук. – Харків: Видавництво ХНУ імені В.Н. Каразіна, 2010. – 111 с.
- 101.Тютюнова Ф.И. Гидрогеохимия техногенеза / Ф.И. Тютюнова; М.: Наука, 1987. – 218 с.
- 102.Тютюнова Ф.И. Особенности гидрогеохимического мониторинга в пределах урбанизированных территорий / Ф.И. Тютюнова // Режимные инженерно-геологические и гидрогеологические наблюдения в городах. – М.: Наука, 1983. – С. 96–99.
103. Управління водними і земельними ресурсами на базі ГІС-технологій / навч. посібник / В.В.Морозов, П.П.Надточій, Т.М.Мислива, О.В.Морозов, В.І.Пічура, Д.О.Ладичук, С.Я.Плоткін / за ред. Морозова В.В. – Херсон.: Вид-во ХДУ, 2007. – 288 с.
- 104.Чеселов С.М. Статистические методы решения гидрогеологических задач на ЭВМ / С.М. Чеселов, Б.А. Шмагин; М.: Недра, 1989. – 174 с.
105. Чини Р.Ф. Статистические методы в геологии : Пер с англ.. – М.: Мир, 1986. – 189 с.
106. Чомко Д.Ф. Сучасний стан та проблеми використання ГІС-технологій в геологічних дослідженнях / Д.Ф.Чомко, О.А.Остроух // Вісник Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна. – 2009. Вип. №882. – С. 99–102.
107. Шевченко О.Л. Дослідно-фільтраційні спостереження. Робоча навчальна програма з дисципліни „Дослідно-фільтраційні спостереження”. – К., 2008. – 30 с.

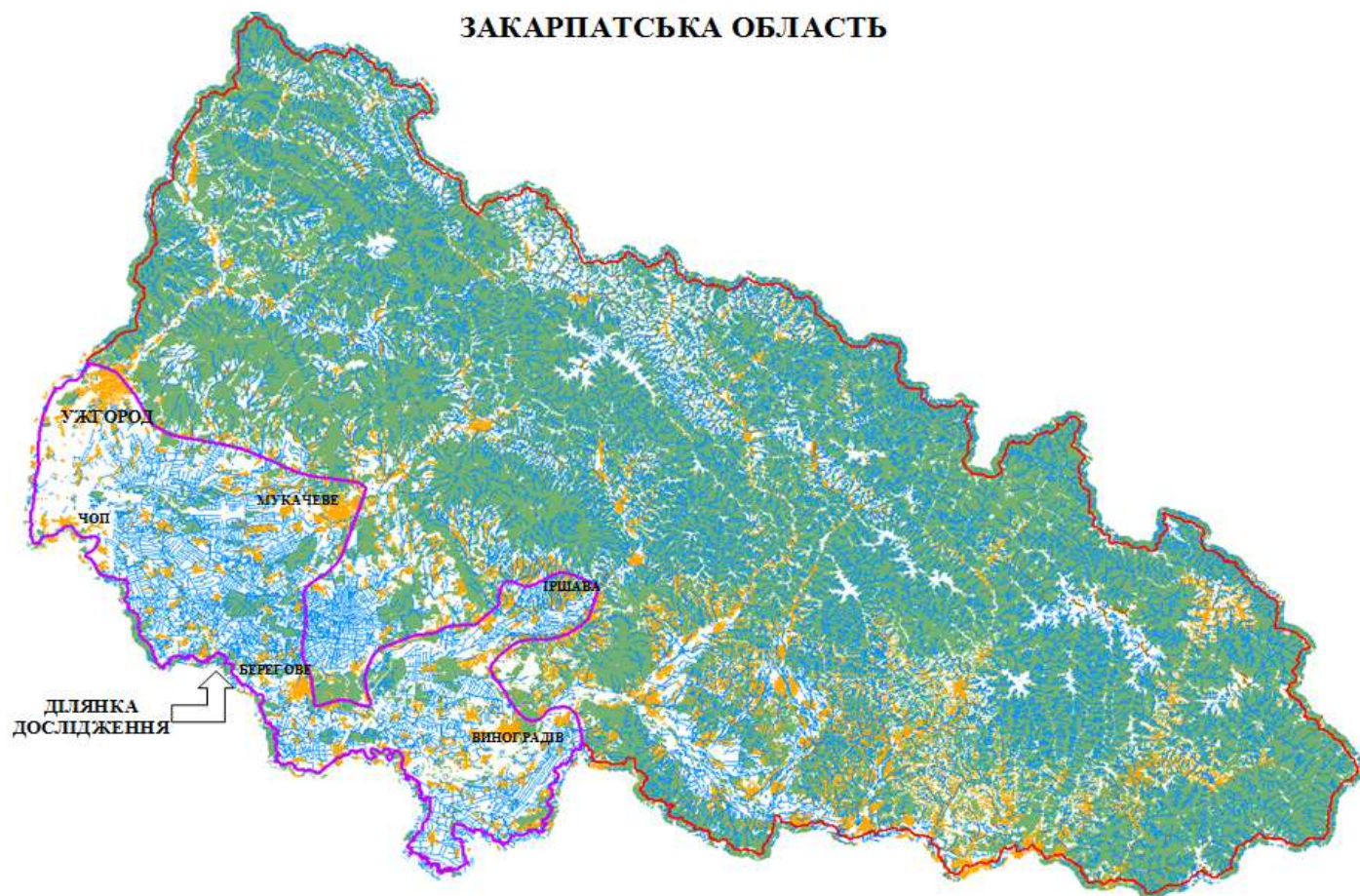
108. Шестопалов В.М. Оценка защищенности и уязвимости подземных вод с учетом зон быстрой миграции / Шестопалов В.М., Богуславский А.С., Бублясь В.Н.; Научно-инженер. центр радиогидрогеоэкологических полигонных исследований, Ин-т геол. наук. НАН Украины. – Киев, 2007. – С.120, ил.36, библиограф.150.
109. Шинкаревский М.А. и др. Разработка методов изучения и прогнозирования режима подземных вод под влиянием производственной деятельности. Днепропетровск, 1980. – 94 с.
110. Яковлев Є.О. Еколого-геохімічна оцінка забруднення ґрунтів, донних відкладів, ґрунтових вод. Методичні рекомендації / Є.О. Яковлев, І.В., Мельник, А.І. Дубицький; Київ.: ДГП „Геоінформ”, 1998. – 34 с.
111. Dirk Masuch Oesterreich A methodical approach toGIS-based hydrogeologic mapping / Revista Mexicana de Ciencias Geologicas. – 2000. – volume 17, numero 1. – P. 24–33.
112. Keller W.D. Drinking water: A geochemical factor in human health //Geological Sociery of America bulletin. №3. 1978. Vol. 89.
113. Kenneth J. Lanfear Water-resource applications of geographic information systems by the U.S. Geological Survey. – Reston, Virdginia.
114. Legraye M. Problemes geologiques et hydrogeologiques relatifs aux barrages et aux basins de retenue / Legraye M., Calembert L. / Universite de Liege. 1959.
115. Radu Constantin Godu, Guy Carabin, Vincent Hallet GIS-based hydrogeological databases and groundwater modelling / Hydrogeology Jornal. – 2001. – P. 559–569.
116. Shaner J. & Wrightsell J. Editing in ArcMap™ Tutorial. Copyright © 2000 ESRI. 40 p.
117. <http://www.ecores.uzh.ukrtel.net>
118. <http://www.esri.com>
119. <http://www.geoinf.kiev.ua>
120. <http://www.geolink-consulting.ru>

121. [http:// www.minregion.gov.ua](http://www.minregion.gov.ua)
122. <http://www.vodhosp.uzhgorod.ua>
123. <http://www.vsegei.ru>

ДОДАТКИ

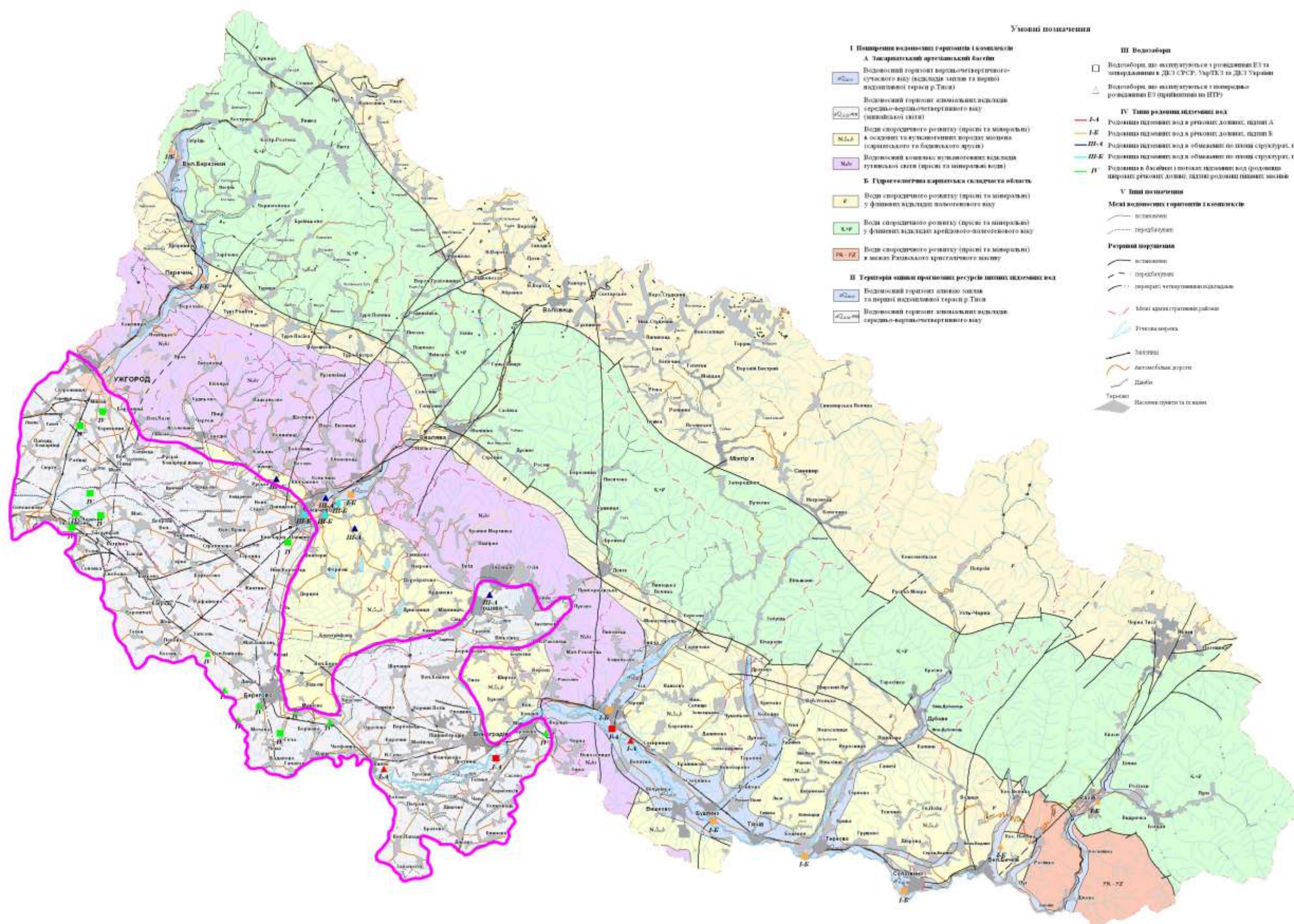
Додаток А

Ділянка дослідження на території Закарпатської області



Додаток Б

Карта поширення водоносних горизонтів і комплексів



Додаток В

Часові зміни хімічного складу ґрунтових вод Чоп-Мукачівського басейну

Показники хімічного складу	Одиниці виміру	Значення вмісту		Нормативи для питної води (не більше)	
		1965 р.	2005 р.	водопровідної	з колодязів
Мінералізація	мг/дм ³	111,0-567,0	216,0-1140,0	1000 (1500)	1500
Жорсткість	мг-екв/дм ³	1,1-7,4	1,5-11,2	7,0 (10,0)	10
Хлориди	мг/дм ³	3,55-118,8	6,03-219,6	250 (350)	350
Сульфати	мг/дм ³	2,0-117,7	1,0-189,3	250 (500)	500
Нітрати	мг/дм ³	1,0-40,0	0,05-52,0	50	50
Нітрити	мг/дм ³	0,01-3,0	0,002-0,5	0,5	3,3
Амоній	мг/дм ³	0,08-6,0	0,05-6,0	0,5 (2,6)	2,6
Залізо	мг/дм ³	0,1-8,8	0,1-10,0	0,2 (1,0)	1
Марганець	мг/дм ³	0,007-4,47	0,015-7,6	0,05 (0,5)	0,5

(Норматив, зазначений у дужках, установлюється в окремих випадках за погодженням з головним державним санітарним лікарем відповідної адміністративної території)

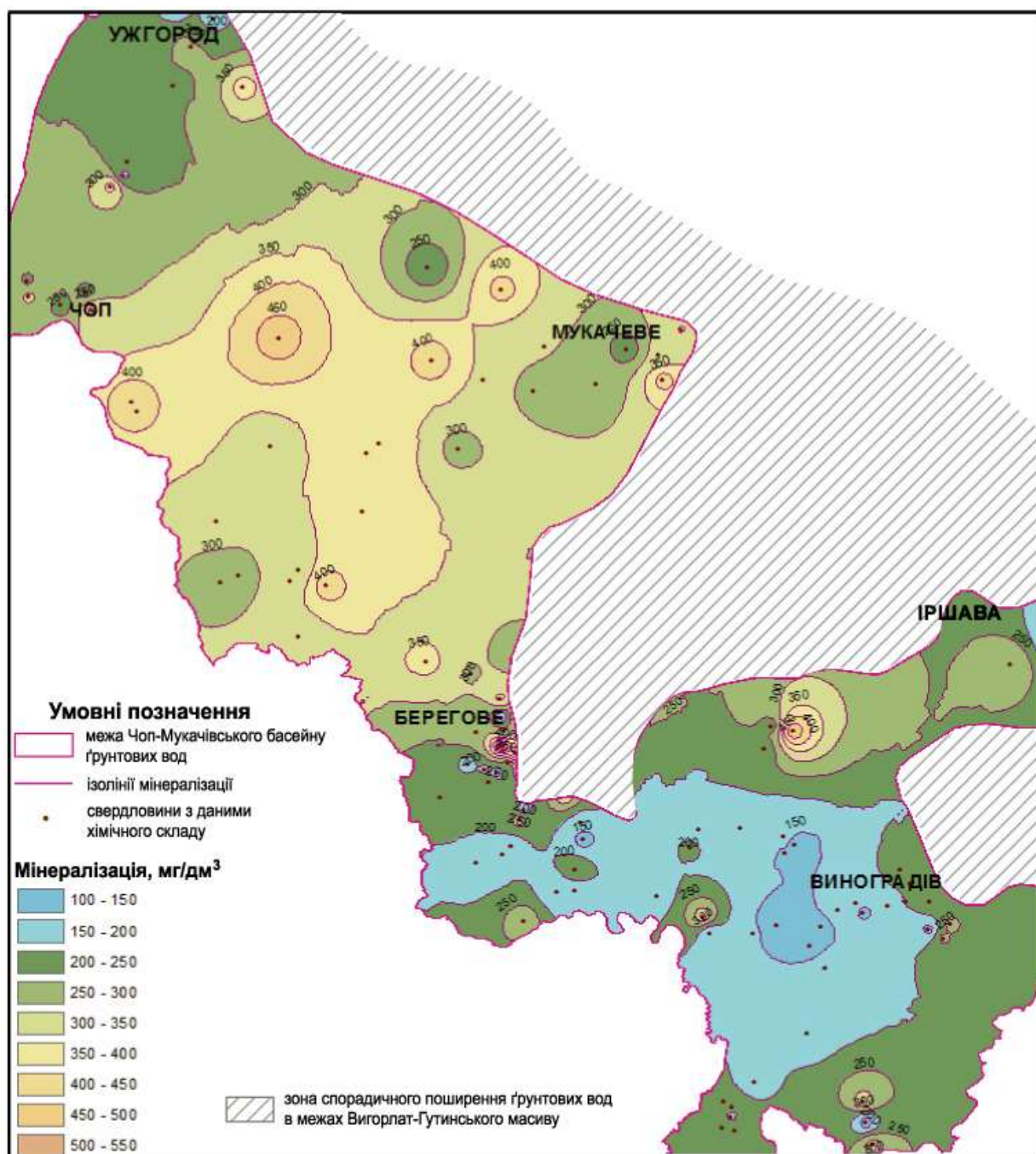
Додаток Д

Результати перевірки про нормальність та логнормальність закону розподілу
хімічних елементів у ґрунтовому водоносному горизонті

Хімічні елементи	МІНЕРАЛІЗАЦІЯ, мг/дм ³				ЖОРСТКІСТЬ, мг-екв/ дм ³				ХЛОРИДИ, мг/дм ³			
	1965 р.		2005 р.		1965 р.		2005 р.		1965 р.		2005 р.	
	Норм.	Логнорм.	Норм.	Логнорм.	Норм.	Логнорм.	Норм.	Логнорм.	Норм.	Логнорм.	Норм.	Логнорм.
Середнє арифметичне (Mean)	251, 81	5,46	477,8	6,10	3,46	1,15	4,71	1,48	24,58	2,92	52,0 5	3,64
Середньо квадратичне відхилення (Std.Dev.)	92,1 39	0,35 6	178,8	0,35 9	1,486	0,423	1,839	0,361	18,821	0,75 7	43,2 16	0,806
Асиметрія (Skewness)	0,84	0,11	1,01	0,15	0,74	0,06	1,26	0,25	1,44	- 0,04 3	1,64	-0,10
Ексцес (Kurtosis)	3,32	2,31	4,09	2,46	2,61	2,18	4,49	3,26	4,82	2,35	5,58	2,68
Медіана (Median)	230, 5	5,44	440	6,08	3,10	1,13	4,3	1,45	18,61	2,92	38,4	3,64

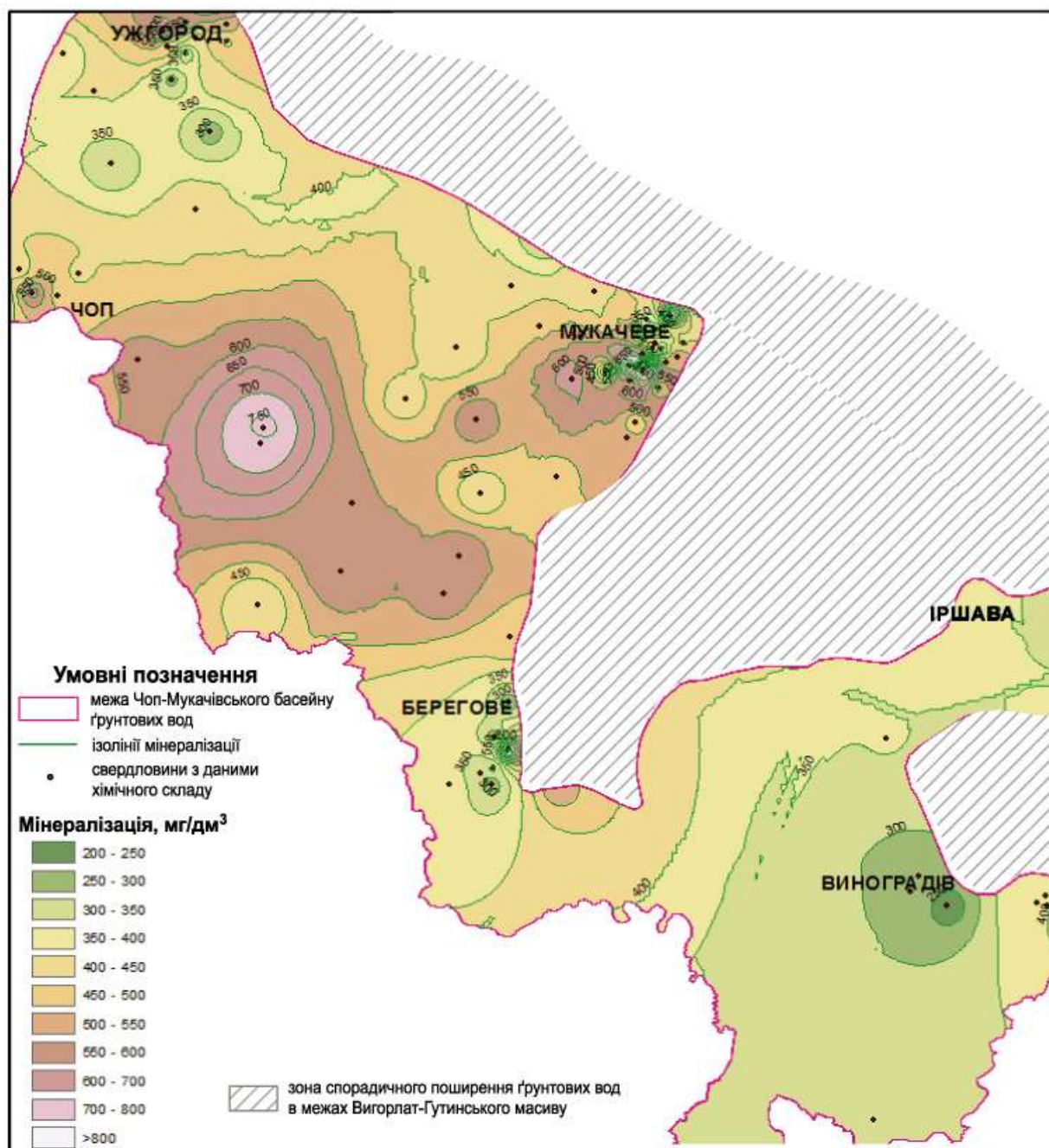
Додаток Е

Карта мінералізації ґрунтового водоносного горизонту, 1965 р.



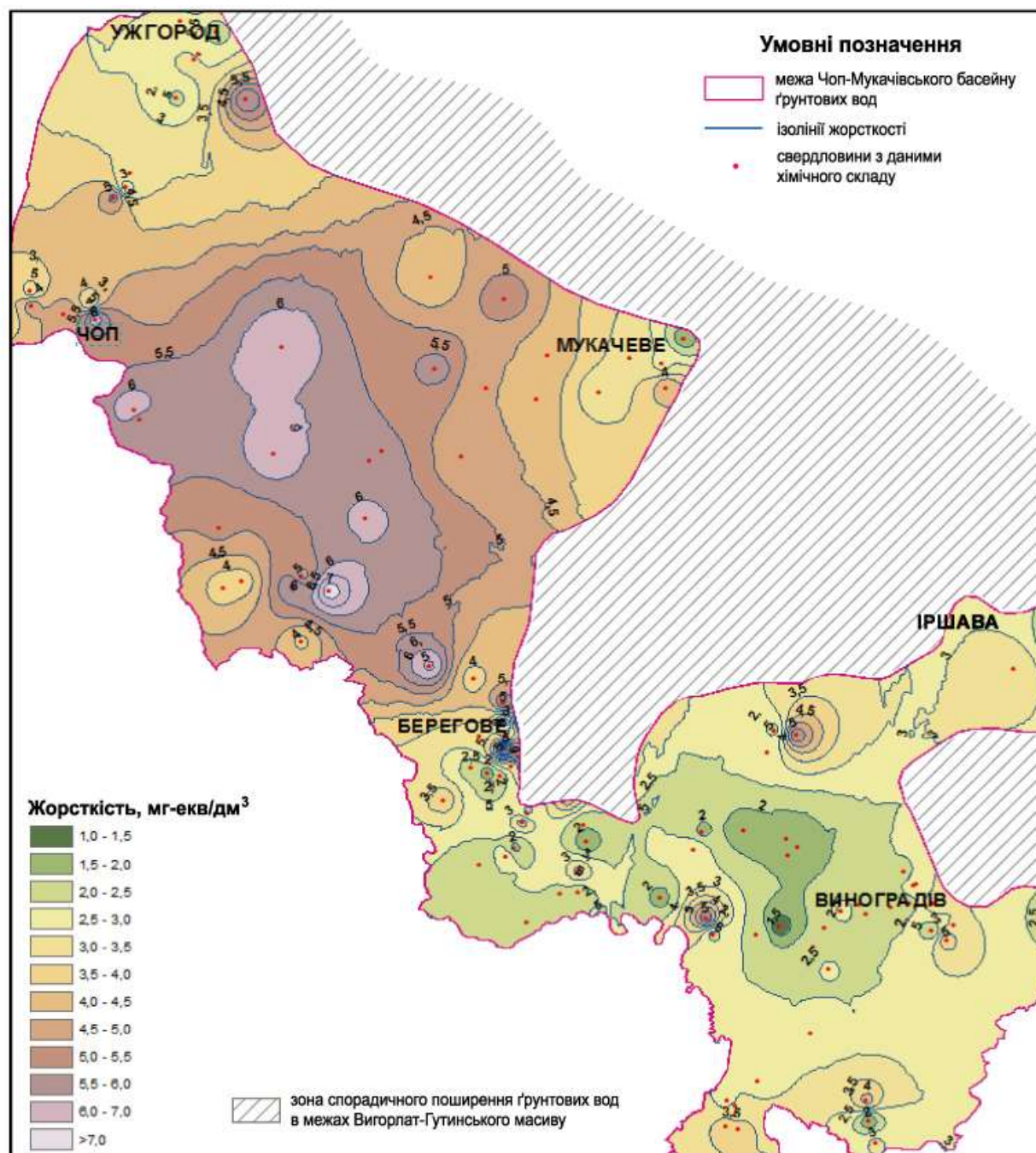
Додаток Ж

Карта мінералізації ґрунтового водоносного горизонту, 2005 р.



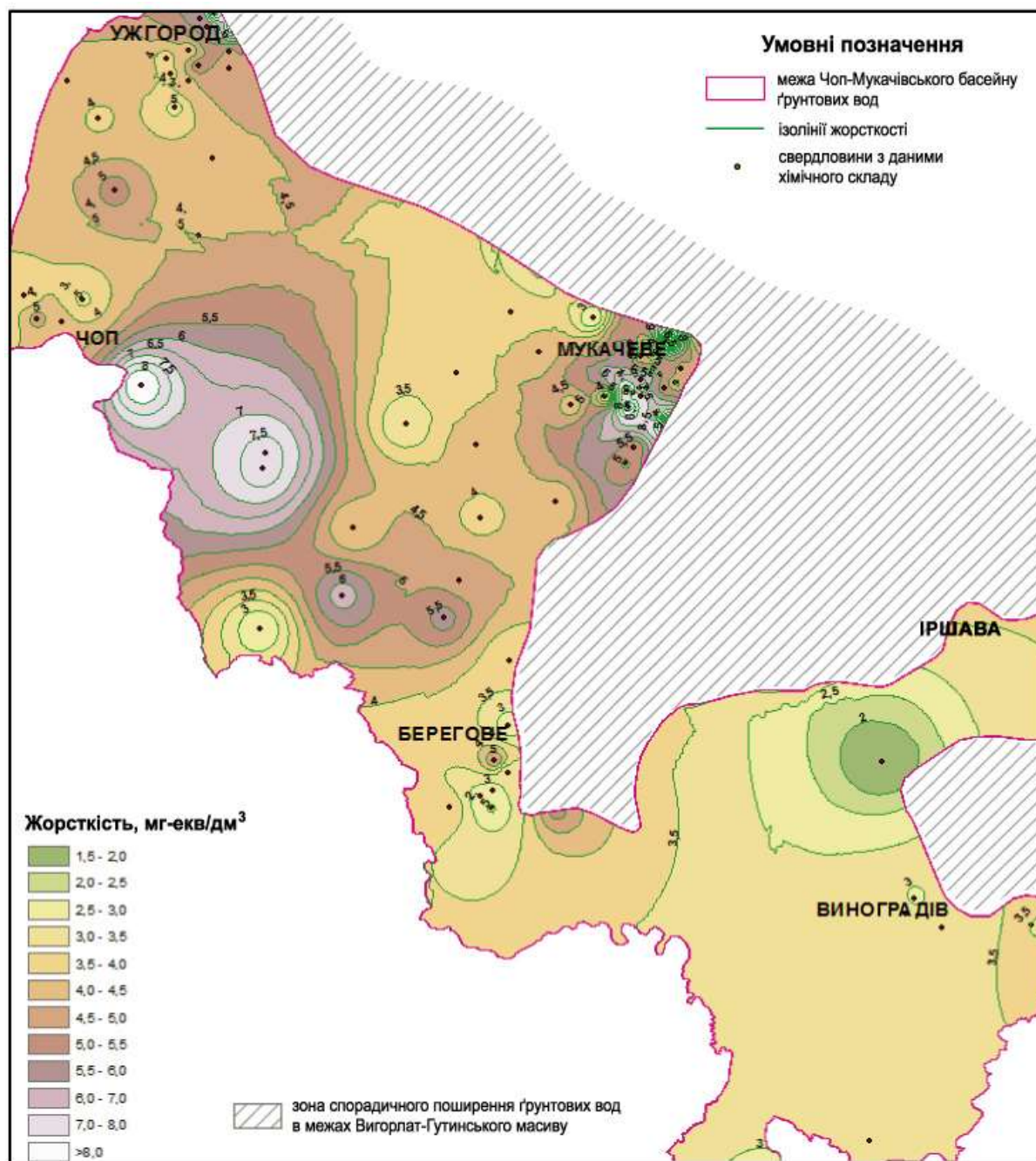
Додаток 3

Карта поширення ґрунтового водоносного горизонту з різною величиною жорсткості, 1965 р.



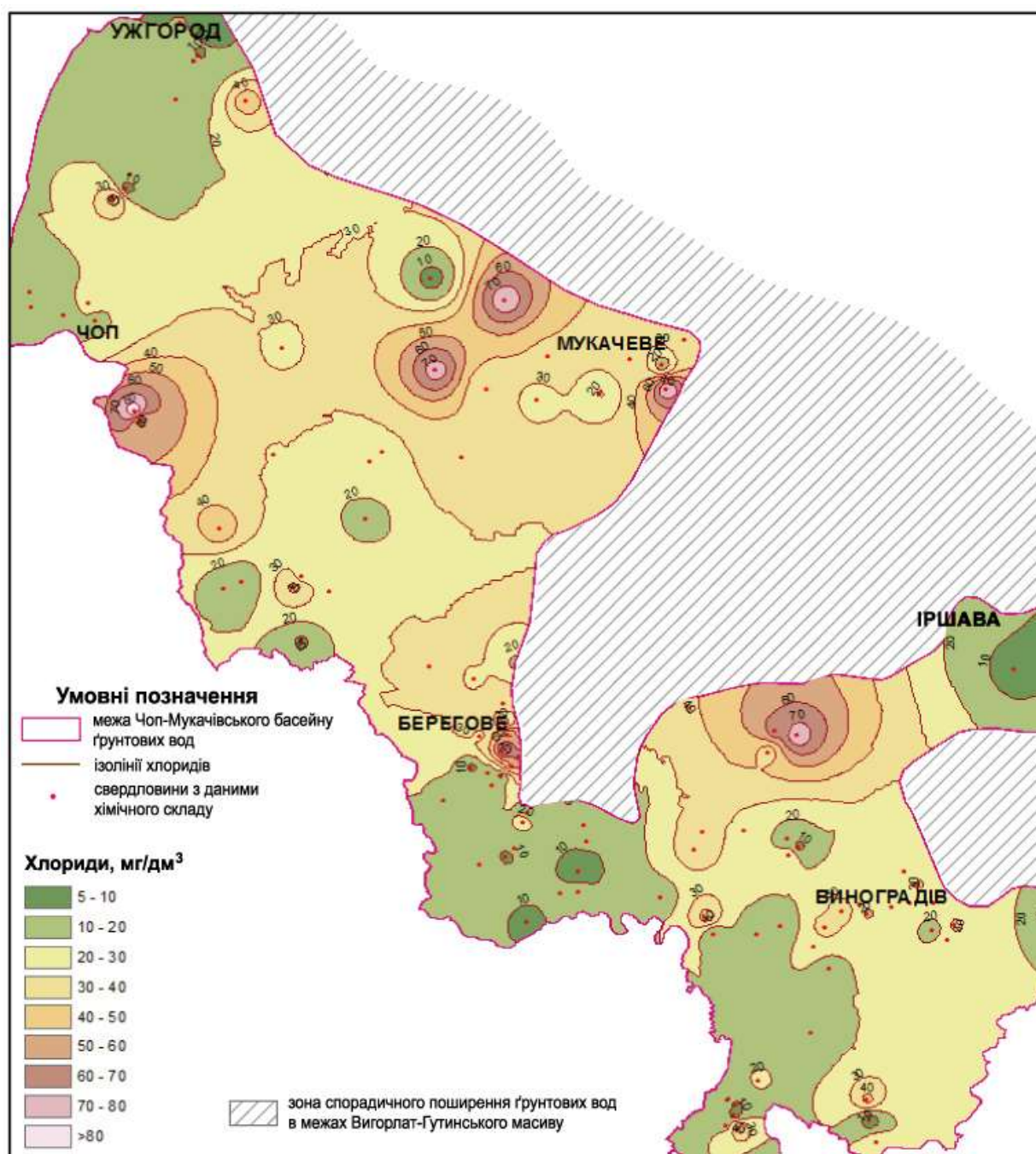
Додаток И

Карта поширення ґрунтового водоносного горизонту з різною величиною жорсткості, 2005 р.



Додаток К

Карта поширення ґрунтового водоносного горизонту з різним вмістом хлоридів, 1965 р.



Додаток Л

Карта поширення ґрунтового водоносного горизонту з різним вмістом хлоридів, 2005 р.

