

УДК 556.551
КП XXXXXX
№ держ. реєстр. 0116U007904
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
(ОДЕКУ)
65016 України, м. Одеса, вул. Львівська, 15

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи ОДЕКУ
д. геогр. н., проф. Ю.С. Тучковенко

15.12.2016 р.

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
Науково-дослідні роботи з обстеження русла річки Великий Куяльник
(заключний)

Науковий керівник НДР
д.геогр.наук, проф.

Н.С. Лобода

2016

Рукопис закінчено 14 грудня 2016 р.
Результати роботи розглянуті науково-технічною радою ОДЕКУ,
протокол № 5 від 15.12.2016 р.

СПИСОК АВТОРІВ

Науковий керівник, провідний науковий співробітник, доктор географічних наук, професор	<hr/> 2016.12.12	Н. Лобода (реферат, вступ, розділи 1, 3, 4, 5, висновки)
Відповідальний виконавець, старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	<hr/> 2016.12.12	О. Гриб (розділи 1.1, 2, 4, 6, висновки, Додатки А, Б, В)
Провідний науковий співробітник, доктор географічних наук, професор	<hr/> 2016.12.12	Ю. Тучковенко (розділ 7, висновки)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	<hr/> 2016.12.12	М. Сербов (розділи 4.2, 5.5, Додаток А, рис. А.1-А.28)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	<hr/> 2016.12.12	Є. Бояринцев (розділ 2.3, Додаток А, рис. А.29-А.34, А.85-А.88)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	<hr/> 2016.12.12	Н. Отченаш (розділ 4.1, 5.3, Додаток В.2)
Науковий співробітник, кандидат географічних наук	<hr/> 2016.12.12	А. Куза (розділ 5.2, Додаток В.1)
Науковий співробітник	<hr/> 2016.12.12	Я. Яров (розділ 2.1, Додаток А, рис. А.35-А.46)
Науковий співробітник	<hr/> 2016.12.12	О. Тучковенко (розділи 6.5, 7.2.1)
Науковий співробітник	<hr/> 2016.12.12	К. Гриб (розділ 6.2, Додаток Г, табл. Г.1, Г.3, рис. Г.1-Г.14, Г.19-Г.22)

Молодший науковий співробітник, кандидат географічних наук	<hr/> 2016.12.12	В. Пилип'юк (розділ 2.2, Додаток А, рис. А.47-А.69)
Науковий співробітник	<hr/> 2016.12.12	П. Терновий (розділ 6.3, Додаток А, рис. А.70-А.84)
Науковий співробітник	<hr/> 2016.12.12	З. Сербова, (Додаток Б, Додаток Г, рис. Г.15, Г.16)
Технік III кат.	<hr/> 2016.12.12	М. Козлов (Додаток Д, перелік посилань)
Молодший науковий співробітник	<hr/> 2016.12.12	Д. Кушнір (розділ 7.1, 7.2.2)
Науковий співробітник	<hr/> 2016.12.12	А. Співак (розділ 4.3, Додаток Г, табл. Г.2, рис. Г.17, Г.18, рис. Г.23-Г.27)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук	<hr/> 2016.12.12	В. Бондаренко (розділ 6.4, Додаток Г, табл. Г.4)
Провідний інженер	<hr/> 2016.12.12	В. Циганова (рис. 1.1, 4.7, 4.8, табл. 7.2)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	<hr/> 2016.12.12	Г. Хоменко (розділ 3.1, 3.2)
Старший науковий співробітник, кандидат географічних наук, доцент	<hr/> 2016.12.12	О. Вольвач (розділи 3.1, 6.4)
Нормоконтролер		С.В. Малацковська

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 307 с., 69 рис., 44 табл., 95 джерел, 5 додатків.

Об'єкт дослідження – річка Великий Куяльник

Мета роботи – оцінити водні ресурси річки Великий Куяльник (р. В. Куяльник) в умовах змін клімату у XXI ст., визначити можливі обсяги збільшення стоку р. В. Куяльник в очікуваних у першій половині XXI ст. кліматичних умовах за рахунок регулювання водогосподарської діяльності на водозборі, оцінити ефективність впливу заходів, спрямованих на збільшення стоку р. В. Куяльник, на гідроекологічний режим Куяльницького лиману.

Методи дослідження. Для досягнення мети використані стохастична модель “клімат-стік”, модель водно-сольового балансу Куяльницького лиману та тривимірна чисельна гідротермодинамічна модель Delft3D-FLOW, а також електронно-інформаційні, картографічні, графоаналітичні та експедиційні методи дослідження.

Визначена роль стоку р. В. Куяльник у формуванні гідроекологічного режиму Куяльницького лиману в сучасних умовах; оцінений вплив кліматичних змін на водні ресурси р. В. Куяльник, які вже відбулися та очікуються у першій половині XXI ст.; обстежено річку та складено перелік штучних водойм (ставків, водосховищ), гідротехнічних споруд (дамб, гребель, шлюзів тощо), які впливають на зменшення притоку вод р. В. Куяльник до Куяльницького лиману; оцінений вплив штучних водойм на водозборі р. В. Куяльник, як головного чинника водогосподарських перетворень, на її водні ресурси з урахуванням зміни кліматичних умов; оцінено можливе збільшення об'ємів надходження прісних вод до Куяльницького лиману за рахунок скорочення чисельності штучних водойм у басейні р. В. Куяльник та регламентування їх експлуатації; оцінено вплив потенційно можливого у сучасних кліматичних умовах збільшення стоку р. В. Куяльник на водно-сольовий баланс (мінливість значень рівня та мінералізації води), абіотичні показники гідроекологічного режиму (гідрохімічні показники), внутрішньорічну просторово-часову мінливість гідрологічних та гідрофізичних характеристик Куяльницького лиману; надані науково-обґрунтовані висновки щодо доцільності та ефективності проведення заходів та часткового відновлення природного стоку р. В. Куяльник в Куяльницький лиман з урахуванням кліматичних змін, що відбулися та очікуються у першій половині XXI ст.

СТІК РІЧКИ ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК, КЛІМАТИЧНІ ЗМІНИ, ВОДОГОСПОДАРСЬКІ ПЕРЕТВОРЕННЯ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ВІДНОВЛЕННЯ ПРИРОДНОГО СТОКУ, ЕКОЛОГІЧНІ НАСЛІДКИ

ЗМІСТ

	стор.
Вступ.....	7
1 Визначення ролі стоку річки Великий Куяльник у формуванні гідроекологічного режиму Куяльницького лиману в сучасних умовах.....	10
1.1 Гідрологічна вивченість та характеристики стоку, визначені за даними спостережень.....	11
1.2 Методика визначення характеристик природного річного стоку на основі моделі “клімат -стік”.....	18
1.3 Визначення ролі р.Великий Куяльник у формуванні припливу прісних вод до лиману на основі за моделі «клімат-стік».....	24
2 Екологічна оцінка якості вод гирлової ділянки річки Великий куяльник у створі с. Северинівка за гідрохімічними показниками.....	30
2.1 Оцінка якості води за величиною індексу забруднення води (ІЗВ).....	30
2.2 Оцінка якості води за комбінаторним індексом забруднення (КІЗ).....	32
2.3 Оцінка якості води за методикою НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерисмана.....	39
2.4 Екологічна оцінка якості вод.....	43
3 Оцінка впливу кліматичних змін на водні ресурси р. Великий Куяльник за даними спостережень та сценаріями змін клімату.....	47
3.1 Основні тенденції змін кліматичних чинників на початку ХХІ сторіччя (за даними спостережень).....	47
3.2 Основні тенденції змін кліматичних чинників та стоку у ХХІ сторіччі (за даними кліматичних сценаріїв).....	51
4 Гідротехнічні споруди та штучні водойми в басейні річки Великий Куяльник. Оцінка її екологічного стану по довжині русла.....	59
4.1 Штучні водойми.....	59
4.2 Спрямлення русла та регулювання шлюзами.....	64
4.3 Оцінка екологічного стану по довжині р.Великий Куяльник.....	69
5.Оцінка впливу штучних водойм на стік р.Великий Куяльник в сучасних та сценарних кліматичних умовах.....	74
5.1 Антропогенні чинники формування стоку та методики визначення коефіцієнтів антропогенного впливу.....	74
5.2 Оцінка впливу антропогенних чинників на стік річок.....	78
5.3 Оцінка впливу штучних водойм з урахуванням кліматичних змін (за сценаріями кліматичних змін).....	80
5.4 Відтворення хронологічних рядів природного та побутового стоку на ХХІ сторіччя.....	82
5.5 Регламентування експлуатації штучних водойм.....	84
6 Оцінка впливу потенційно можливого збільшення стоку р. В. Куяльник на водно-сольовий баланс Куяльницького лиману у сучасних та майбутніх кліматичних умовах.....	86

6.1 Математична структура моделі водно-сольового балансу лиману.....	86
6.2 Визначення об'єму та мінералізації атмосферних опадів.....	89
6.3 Визначення об'єму та мінералізації припливних вод до лиману.....	90
6.4 Визначення випаровування з водної поверхні лиману.....	91
6.5 Визначення об'ємів припливу морських вод через трубопровід «море-лиман» та їх мінералізації.....	92
6.6 Результати моделювання мінливості рівня та солоності води в Куяльницькому лимані на основі моделі водно-сольового балансу з урахуванням змін клімату у ХХІ сторіччі.....	93
7 Чисельне моделювання мінливості гідрологічних та гідрофізичних характеристик Куяльницького лиману за різних обсягів стоку річки Великий Куяльник.....	102
7.1 Опис гідротермодинамічної моделі, результатів її адаптації та верифікації.....	102
7.2 Моделювання мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману за умов 2015 р.....	109
7.2.1 Умови фактичного надходження стоку річки Великий Куяльник до лиману.....	109
7.2.2 Аналіз результатів сценарних розрахунків збільшення надходження стоку річки В.Куяльник в лиман.....	115
7.3 Моделювання мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду.....	124
ВИСНОВКИ.....	135
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	144
ДОДАТКИ.....	153

ВСТУП

Актуальність дослідження обумовлена необхідністю припинення процесів погіршення бальнеологічних та рекреаційних ресурсів Куяльницького лиману через значні антропогенні навантаження на водозбір лиману, насамперед, на річкову мережу, яка живить лиман, та зміни клімату, що призводять до зменшення водних ресурсів басейну й впливають на гідрологічні, гідрохімічні та гідроекологічні характеристики лиману [1].

Робота виконана у рамках “Регіональної програми збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки”, яка була затверджена рішенням Одеської обласної ради № 270-VI від 28.10.2011 р. [2].

Водний баланс Куяльницького лиману складається з приходних та витратних складових. До приходних складових відносяться об’єми опадів, які випадають на водну поверхню лиману, та надходження об’ємів прісної води від річок та тимчасових водотоків. До витратних складових належать втрати на випаровування з водної поверхні лиману. При зростанні приходної складової відбуватиметься наповнення лиману та зменшення його солоності, при зростанні витратної – обміління та зростання солоності [3]. У минулому сторіччі приплив прісних вод від річок та тимчасових водотоків становив суттєву частину приходної складової водного балансу лиману. Серед всіх водотоків головне місце посідала річка Великий Куяльник (В.Куяльник) [4].

Водозбір річки Великий Куяльник займає 82,6% площі водозбору усього лиману. Стік цієї річки формував головну частину припливу прісних вод від річок та водотоків до Куяльницького лиману. Водогосподарські перетворення, які відбувались на водозборі річки, починаючи з середини ХХ сторіччя, призвели до суттєвого зменшення стоку річок. Зміни регіонального клімату, що розпочалися наприкінці минулого сторіччя, посилили наслідки негативного впливу водогосподарської діяльності й викликали всихання лиману [5]. Всихання проявляється у зниженні рівнів води, площі водного дзеркала та загального об’єму води і супроводжується зростанням мінералізації до критичного рівня, за яким зупиняється існування повноцінного біоценозу. Останнє може вплинути на процес подальшого формування лікувальної грязі та ропи лиману. Вирішення проблеми всихання лиману через подачу морської води по трубопроводу “море-лиман” пов’язане із можливим забрудненням лиману морськими водами Одеської затоки і ініціацією небажаних хімічних процесів, наприклад, процесів утворенні гіпсової корки у донних відкладеннях [6]. У зв’язку із цим значна увага при управлінні водним балансом лиману та його екосистемою в цілому приділяється оцінці перспектив відтворення природного режиму формування стоку р. Великий Куяльник як основного постачальника прісної води від водотоків.

Метою роботи є оцінка водних ресурсів р.В.Куяльник в умовах змін клімату у ХХІ ст., визначення можливих обсягів збільшення стоку р.В.Куяльник в очікуваних у першій половині ХХІ ст. кліматичних умовах за

рахунок регулювання водогосподарської діяльності на водозборі річки та оцінки ефективності заходів, спрямованих на збільшення стоку р.Великий Куяльник і покращення гідроекологічного режиму Куяльницького лиману.

Основними завданнями роботи є наступні.

1. Визначити роль стоку р. В. Куяльник у формуванні гідроекологічного режиму в сучасних умовах.

2. Оцінити вплив кліматичних змін на водні ресурси р.В.Куяльник, які вже відбулися та очікуються у першій половині ХХІ ст. (згідно із сценаріями змін клімату).

3. Обстежити річку та скласти перелік штучних водойм (ставків, водосховищ), гідротехнічних споруд (дамб, гребель, шлюзів тощо), які впливають на зменшення притоку вод від р. В.Куяльник до Куяльницького лиману.

4. Оцінити вплив штучних водойм на водозборі р.В.Куяльник, як головного чинника водогосподарських перетворень, на водні ресурси з урахуванням кліматичних змін.

5. Оцінити можливе збільшення об'ємів надходження прісних вод до Куяльницького лиману за рахунок скорочення чисельності штучних водойм у басейні р. В. Куяльник та регламентувати режими їх експлуатації.

6. Оцінити вплив потенційно можливого у сучасних кліматичних умовах збільшення стоку р. В.Куяльник на водно-сольовий баланс, абіотичні показники гідроекологічного режиму, внутрішньорічну просторово-часову мінливість гідрологічних та гідрофізичних характеристик Куяльницького лиману.

7. Надати обґрунтовані висновки щодо доцільності та ефективності проведення заходів відносно часткового відновлення природного стоку р.В.Куяльник з урахуванням кліматичних змін, що відбулися та очікуються у першій половині ХХІ ст.

Новизна роботи полягає у оцінці перспектив відтворення природного стоку р.Великий Куяльник з метою поліпшення гідрологічного, гідрохімічного та гідроекологічного стану Куяльницького лиману у сучасності та майбутньому на базі обстеження русла річки Великий Куяльник, математичного моделювання гідрологічних та гідрохімічних процесів.

У роботі використані стохастична модель “клімат-стік” [7], модель водно-сольового балансу Куяльницького лиману [8] та тривимірна чисельної гідротермодинамічна моделі Delft3D-FLOW [9, 10].

Практична значущість роботи полягає у науковому обґрунтуванні перспектив збільшення водності р.Великий Куяльник у кліматичних умовах ХХІ сторіччя та доцільності проведення робіт по розчищенню русла з метою відновлення природного притоку прісних вод до лиману та поліпшення його гідрологічного, гідрохімічного та гідроекологічного стану.

У роботі використаний власний [11] та європейський досвід з питань комплексного управління водними ресурсами Європейських лагун в умовах змін клімату (Міжнародний дослідницький проект 7-ї Рамкової Програми ЄС

«Комплексне управління водними ресурсами і прибережною зоною в Європейських лагунах в умовах зміни клімату» (FP7-ENV-2011 № 283157 “Integrated water resources and coastal zone management in European lagoons in the context of climate change – LAGOONS) [12].

Виконання проекту передбачало організацію польових досліджень р.В.Куяльник, які виконувалися науковцями ОДЕКУ, картосхеми виїздів наведені у додатку А. Всі вимірювання виконувалися повіреними і атестованими приладами та обладнанням (Додаток Б).

1 ВИЗНАЧЕННЯ РОЛІ СТОКУ РІЧКИ ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК У ФОРМУВАННІ ГІДРОЕКОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

Сучасна наука [13] розглядає лиман як один із видів дельтових водойм (поряд із лагуною, естуарієм та затокою), які є елементами гідрографічної мережі гирлової області річок, існують у водно-аккумулятивних формах рельєфу та характеризуються відсутністю або уповільненим рухом води. Дельтові водойми формуються у межах гирлового узмор'я, де змішуються річкові та морські води; взаємодіють стокові, вітрові та компенсаційні течії, відбувається накопичення осадів та діють інші гирлові процеси. Гирлові узмор'я можуть бути відкритими й закритими. Перші виходять за межі загальної лінії морського узбережжя та вільно обмінюються речовинами та енергією з прилеглою частиною моря. Другі включають до себе повністю або частково залив, лиман, бухту або естуарій й можуть мати як обмежений, так і вільний обмін речовинами та енергією з прилеглою частиною узмор'я або моря [14]. Слово “лиман” походить від грецького слова “límen”, що означає “гавань, бухта”. У цьому значенні слово “líman” широко застосовувалося турками та татарами, які панували на берегах Чорного моря майже до кінця 18-го століття. Синонімами цього слова були слова: “затока, озеро, гаф”. За таким підходом лиман є видом закритого (переважно мілководного) подібного до затоки узмор'я, яке сформувалося річковими наносами за умови відсутності приливно-відливних течій. Лимани розподіляють на відкриті, які знаходяться у безпосередньому зв'язку із морем, і закриті, відділені від моря перешийками та косами без постійно діючих проток. При повному віддаленні лиманів від моря утворюються лиманні озера.

Зазвичай в лиманах відкладаються дрібнозернисті піски, алеврити і глини а також і органічні речовини. При малому припливі прісних вод з материка і посушливому кліматі солоність води у лиманах зростає і в них накопичуються специфічні мулисті відкладення — грязі, які використовуються як лікувальний засіб.

Сформовані за час існування Куяльницького лиману його лікувальні грязі (пелоїди) та ропа за своїми властивостями не поступаються ропі та грязям Мертвого моря й, більш того, були визнані світовим еталоном лікувальних грязей [15].

Куяльницький лиман відноситься до Куяльницької медичної підзони, медична спрямованість якого визначається наявністю пелоїдів та ропи Куяльницького лиману, мінеральних вод Куяльницького родовища та клімату, який об'єднує властивості морського та степового типу [16, 17]

Мінеральні води Куяльницького родовища використовуються для лікування в санаторії ім. Пирогова (св. № 9, 15, 16, 8, 10) захворювань серцево-судинної системи, опорно-рухового апарату, патології гастродуоденальної системи тощо. Середньомінералізовані хлоридні натрієві води (св. № 9, 15, 16) використовуються для розведення ропи лиману і у подальшому — для зовнішніх процедур у водогрязелікарні курорту при

серцево-судинних, нервових, гінекологічних, кожних захворюваннях та хворобах опірно-рухового апарату. Саме розвиток лікувально-оздоровчого напрямку визначили спеціалізацію рекреаційного комплексу Одеси [16]. Збереження рекреаційного комплексу Куяльницького лиману є важливою задачею сучасності.

Водний баланс Куяльницького лиману як закритої водойми складається з приходних та витратних складових. До приходних складових відносяться опади, які випадають на водне дзеркало лиману, приплив прісних вод від водотоків, приплив підземних вод. До основних витратних складових належить випаровування з водної поверхні. Від співвідношення приходної та витратної складових залежать процеси формування пелоїдів та ропи. При переважанні приходної складової (головним чином за рахунок опадів та стоку водотоків) буде відбуватися розпріснення лиману. Якщо ж переважає витратна складова, то об'єм, площа водного дзеркала та рівні води зменшуються (відбувається всихання лиману), а мінералізація у лимані зростає, досягаючи критичної величини, при перевищенні якої припиняється біоценоз. Порушення водного балансу лиману впливає на процеси грязеутворення. Одночасно із цим всихання лиману відкриває значні поверхні його дна, що створює умови для поверхневого забруднення та супроводжується вітровим перенесення соляного пилу, активуючи процеси опустелювання. Різке зменшення припливу прісних вод від водотоків до Куяльницького лиману, яке спостерігається на початку ХХІ сторіччя, викликало необхідність дослідження причин цього явища та виявлення можливостей збільшення стоку водотоків, які живлять лиман [18].

1.1 Гідрологічна вивченість та характеристики стоку, визначені за даними спостережень

Річка Великий Куяльник є найбільшою річкою, яка впадає у Куяльницький лиман [19]. Її довжина якої становить 150 км, а площа водозбору - 1860 км^2 (табл.1.1). Водозбір річки практично повністю розташований у степовій природній зоні [20]. З точки зору геоморфологічного районування цей водозбір належить до Причорноморської низовини, а з точки зору агрокліматичного – до Північного та Південного степу. У минулому сторіччі до початку змін клімату (за В.В. Гребенем [21] до 1989 р.) середня місячна температура у місці витоку річки Куяльник у січні становила -5°C , у квітні 8°C , у липні -21°C , у жовтні -9°C . Середня місячна температура у гирлі річки Куяльник у січні дорівнювала -3.5°C , у квітні 9°C , у липні -22°C , у жовтні -10.5°C [22]. Річна сума опадів у басейні р.Куяльник змінювалася від 500 до 450 мм, основна частина яких випадала у теплий період року (квітень-жовтень), але ці опади витрачалися, головним чином, на випаровування з поверхні суші.

Таблиця 1.1 – Річки басейну Куяльницького лиману

№ з/п	Назва річки	Куди впадає	Права (п) чи ліва притока (л)	Відстань від гирла основної річки, км	Довжина, км	Похил, ‰	Площа басейну, км ²
1	В. Куяльник	Куяльн. лиман	—	—	150	0,7	1860
2	Суша Журівка	В. Куяльник	л	114	11	1,6	199
3	Яр Дубовий	В. Куяльник	л	53	20	4,4	142
4	Кошківка	В. Куяльник	л	13	50	2,5	431
5	Довбока	Куяльн. лиман	—	—	15	5,5	68,3
6	Кубанка	Куяльн. лиман	—	—	17	2,6	129

Ймовірність настання бездощових періодів тривалістю 40 днів становила у гирловій ділянці річки 70% [23].

За гідрогеологічним районуванням водозбір р.Великий Куяльник відноситься до північного крила Причорноморського артезіанського басейну, де переважають підземні води верхньосарматських та середньосарматських відкладень (Дністровсько-Дніпровська північно-стєпова провінція). У верхній течії р.Великий Куяльник у вапняках та піщаниках знаходяться водоносні горизонти київського ярусу палеогену та сарматського ярусу неогену. Перша критична площа, при якій р. Куяльник починає отримувати підземне живлення згідно із районуванням В.Г. Сорокіна становить 100 км², норма інфільтрації річних опадів у підземні водоносні горизонти змінюється від 5 мм поблизу витоку до 1,5 мм поблизу гирла річки [24].

Річка Великий Куяльник знаходиться в зоні недостатньої водності і є мало вивченою з гідрологічної точки зору. Ізолінії характеристик стоку на її території проведені пунктиром, що свідчить про недостатність даних спостережень [25]. За просторово-часовими узагальненнями побутового (порушеного водогосподарською діяльністю) стоку, виконаними А. І. Шерешевським та П.Ф. Вишневським [26] середня багаторічна величина річного стоку річки Великий Куяльник змінювалася від 0,6 л/с км² на півночі до 0,2 л/с км² при впадінні у Куяльницький лиман, коефіцієнт варіації річного стоку – від 0,8 до 1,0.

На річці діє з 1985 року гідрологічний піст р.Великий Куяльник – с.Северинівка. Відстань від створу досліджень від гирла становить 5 км, площа водозбору - 1840 км², відмітка “0” графіка поста дорівнює мінус 4,15 м [27]. Ряди річного та мінімального стоку є статистично неоднорідними, через зростання посушливості клімату та вплив водогосподарської діяльності [28]. У межах водозбору знаходяться численні водосховища та ставки, які виконують сезонне регулювання. Великі зрошувальні системи на території відсутні [23].

За період з 01.01.1986 р. по 31.12.2011 р. в створі гідрологічного поста в гирловій ділянці р. В. Куяльник в межах с. Северинівка (рис. 1.1) за 9496 діб стік мав місце протягом 2096 діб або 22 % всього періоду. Багаторічна середньодобова витрата води за період, коли був стік, дорівнювала 0,63 м³/с, а за весь період – 0,14 м³/с. Найбільша середньодобова витрата води становила 34,5 м³/с, а найбільша виміряна витрата води – 35,9 м³/с, які були визначені 26.03.2003 р.

Загальна кількість діб, коли стік на посту був відсутнім ($Q = 0$ м³/с), дорівнює 7400 діб або 78 % всього періоду, з них:

- при пересиханні річки (перевищення дна русла над нулем поста 1,59 м) 4496 діб або 47,4 % всього періоду, чи 60,8 % періоду, коли стік був відсутнім;

- при перемерзанні води (середня товщина льоду – 0,39 м, найбільша – 0,56 м, найменша – 0,13 м) 135 діб або 1,4 % всього періоду, чи 1,8 % періоду, коли стік був відсутнім;

- при стоячій воді (середнє значення максимальної глибини в створі поста – 0,45 м, найбільше – 1,64 м, найменше – 0,01 м) 2769 діб або 29,2 % всього періоду, чи 37,4 % періоду, коли стік був відсутнім.

“Стояча” вода утворюється в створі вимірювань за рахунок дії вище розташованих регулюючих шлюзів та створення нижче розташованих несанкціонованих дамб, що затримують накопичений стік зі схилів.

За даними про стік р. В. Куяльник в створі Северинівка отримано, що найбільший річний стік спостерігався у 2003 р. (34 мм), найменший – у 1994-2000 рр., 2004 р., 2007-2009 рр. і становив 0 мм [29]. Середня багаторічна величина річного стоку р. В. Куяльник за період 1986-2011 рр. становила 2,4 мм, коефіцієнт варіації C_V дорівнював 2,77, коефіцієнт асиметрії C_S – 4,51, відношення C_S / C_V – 1,6. Статистично значущий лінійний зв'язок між річним стоком попередніх та наступних років, який оцінюється за допомогою коефіцієнта автокореляції $r(1)$, не установлений ($r(1) \approx 0,00$). Відносна середня квадратична похибка розрахунку середньої багаторічної величини стоку становила 54 %, що обумовлено високою варіацією річного стоку та коротким періодом спостережень (табл. 1.2). З 26 років спостережень річний стік дорівнював нулю у 11 випадках.

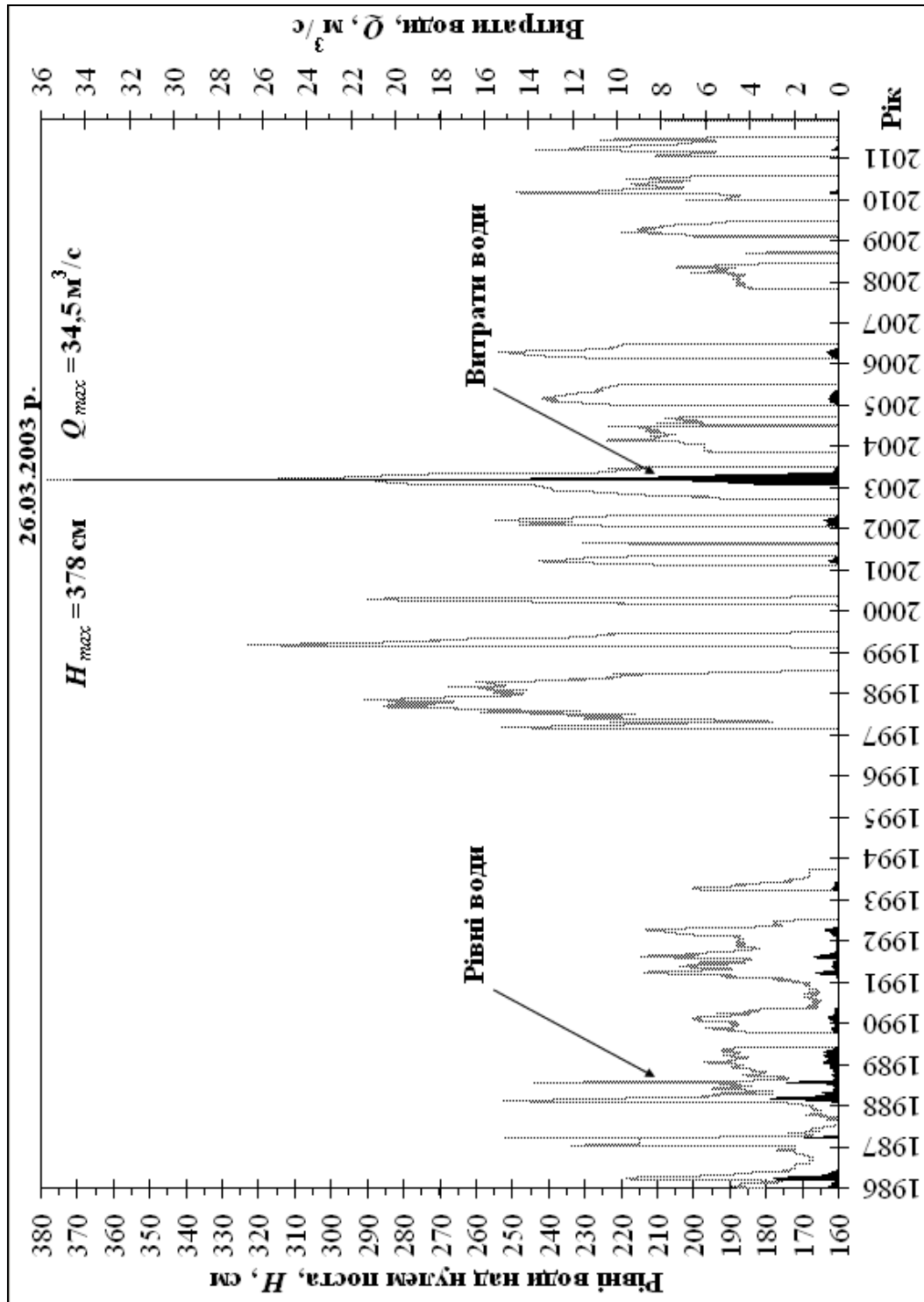


Рисунок 1.1 – Мінливість середньодобових рівнів і витрат води, р. В. Куяльник – с. Северинівка, за період з 01.01.1986 р. по 31.12.2011 р.

Таблиця 1.2 – Оцінки статистичних параметрів річного стоку, визначені за даними спостережень на р. Великий Куяльник – с. Северинівка за різні періоди

Період спостережень	n	\bar{Y} , мм	$\varepsilon_{\bar{Y}}$, %	C_V	ε_{C_V} , %	C_S	σ_{C_S}	C_S / C_V
1986-2011 рр.	26	2,4	54,2	2,77	18,7	4,51	8,85	1,6
1953-2011 рр. (після відновлення)	57	5,3	23,5	1,78	15,6	2,62	2,71	1,5
1953-1988 рр. (після відновлення)	34	7,5	23,8	1,38	16,9	2,20	2,34	1,6
1989-2011 рр.	23	2,1	68,1	3,26	17,6	4,62	12,8	1,4

Установлено, що існує тісний лінійний зв'язок між коливаннями річного стоку у створі р. В. Куяльник – с. Северинівка та р. Тилігул – смт Березівка. Коефіцієнт кореляції за 22 роки сумісних спостережень становить 0,84 (рис. 1.2). За побудованою залежністю відновлені значення стоку за 31 рік, що дозволило уточнити характеристики річного стоку. Порівняння середніх багаторічних величин стоку, визначених за періоди до та після 1989 р., показало зменшення стоку більш, ніж у 3 рази. За даними В.В.Гребіня [21] з 1989р. на території України відбулася зміна температурного режиму за рахунок глобального потепління.

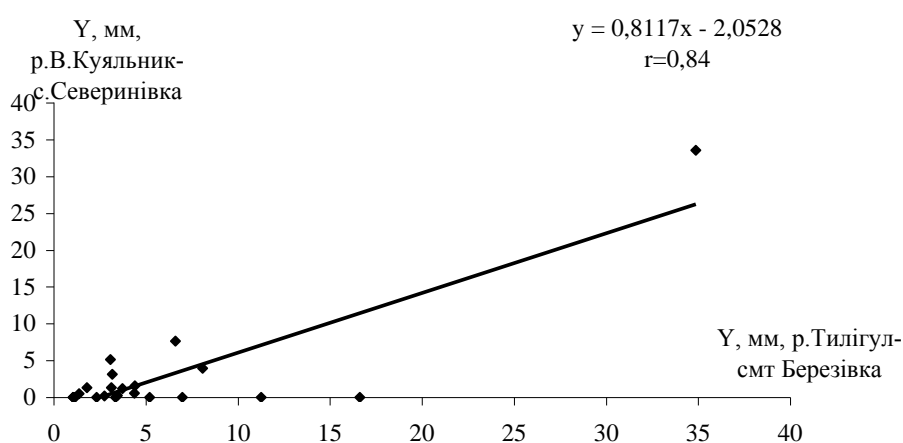


Рисунок 1.2 – Зв'язок річних шарів стоку Y р.Тилігул – смт Березівка, р. В. Куяльник – с.Северинівка (1986-2011 рр.)

Перевірка гіпотези про статистичну приналежність середніх арифметичних значень та дисперсій двох вибірок (до та після 1989 р.) до однієї генеральної сукупності, дозволила виявити, що ряд спостережень за річним стоком у створі Северинівка є статистично неоднорідним. У хронологічному ході коливань річного стоку (рис.1.3) існує статистично значущий тренд, який показує тенденцію до зменшення стоку.

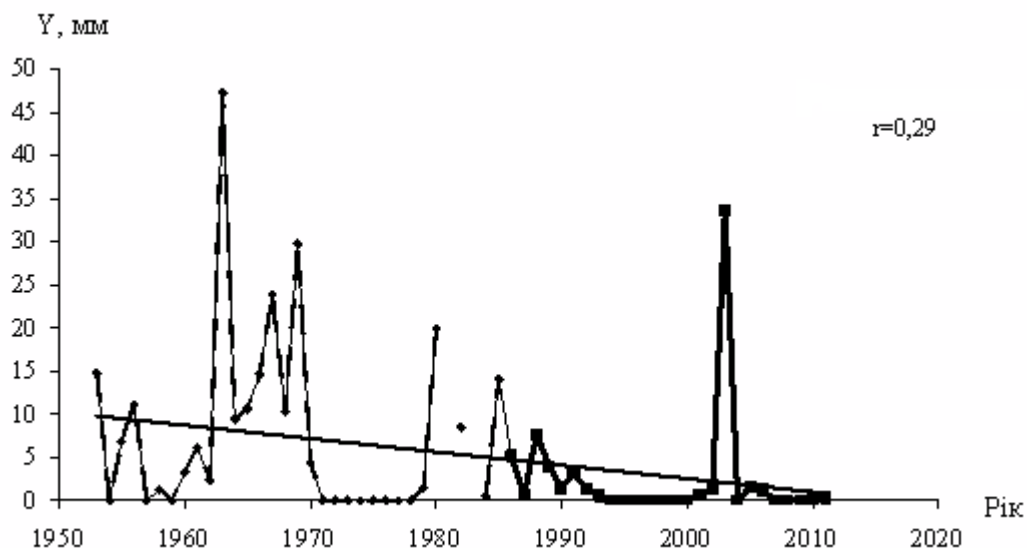


Рисунок 1.3 – Хронологічний хід річних шарів стоку Y у створі р.В.Куяльник – с.Северинівка за період 1953-2011 рр. (— 1953-1985 рр. (відновлені дані), 1986-2011 рр. (спостережені дані), на графіку показана лінія тренду

Установлено, що за весь період спостережень максимальна середня місячна витрата води ($10,3 \text{ м}^3/\text{с}$) у створі р. В. Куяльник – с. Северинівка спостерігалась у березні 2003 р. Мінімальне значення добових та середньомісячних витрат води у створі дорівнює нулю. Річка пересихала у всі роки спостережень, окрім 1986-1988 рр., 1990-1991 рр. В середньому у період після 1989 р. річка пересихає 195 днів на рік. У 1986-1987 рр., 2010-2011 рр. відбувалося перемерзання річки.

Формування високих максимальних витрат води можливе у роки із стійкими від'ємними температурами повітря взимку, коли створюються умови для накопичення снігового покриву. Так, наприклад, у 2003 році від'ємні температури повітря спостерігалися на протязі усього зимового сезону. Найбільш холодними були грудень (середня місячна температура становила мінус $7,9 \text{ }^\circ\text{C}$) та лютий (мінус $7,4 \text{ }^\circ\text{C}$). Найбільш низька середньодобова температура повітря відмічена у січні (мінус $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$). Перехід температури повітря до додатних значень відбувся 25.03.2003 р. Найбільша витрата води дорівнювала $35,9 \text{ м}^3/\text{с}$ (26.03.2003 р.). Саме у

зимовий сезон 2003 р. стійкий льодовий покрив спостерігався з 09.12.2002 р. до 12.02.2003 р., а сума опадів за грудень-березень становила 123 мм.

Орієнтовно внутрішньорічний розподіл стоку по сезонах і місяцях може описуватися згідно із типовою схемою, наведеною в [30]. Звідки видно, що приблизно 50 % річного стоку р. В. Куяльник надходить до лиману у весняний сезон (III-V), а найменший приплив води спостерігається у осінній сезон (IX-XI). Визначення внутрішньорічного розподілу стоку по даних характерних років показало (табл. 1.3), що більшу частину року річка пересихає. У багатоводні роки річка пересихає з червня – серпня до грудня або січня включно. У середні за водністю роки пересихання спостерігається і у зимові місяці. У маловодні роки річка пересихає протягом року.

Таблиця 1.3 - Внутрішньорічний розподіл стоку по місяцях для характерних по водності років (на основі даних спостережень на р. В. Куяльник – с. Северинівка)

Рік	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Дуже багатоводний рік, $P = 4 \%$												
2003	43,8	37,3	9,61	0,43	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,59
Багатоводний рік, $P = 22 \%$ (2005 р.), $P = 30 \%$ (1992 р.)												
2005	34,1	27,9	10,8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3,00	24,3
1992	34,4	42,9	3,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,0	10,7
Середній за водністю рік, $P = 52 \%$ (2011 р.), $P = 56 \%$ (2010 р.)												
2010	83,0	15,2	0,89	0,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2011	18,6	71,9	4,19	1,20	4,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Маловодний рік, $P = 59-100 \%$												
1994-2000, 2004, 2007-2009	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Оскільки річка пересихає на протязі основної частини року, то можна зробити висновок, що її підземне живлення вкрай незначне. Отримані на базі спостережень дані вказують, у гирлі річки у багатоводні та середні за водністю роки головна частина стоку надходить до Куяльницького лиману у період весняної повені. У роботах по визначенню характеристик максимального стоку весняного водопілля річок Причорноморської низовини, виконаних під керівництвом Є.Д. Гопченка [31], зазначається, що велике значення у формуванні весняного водопілля мають опади $x_{весна}$, які випадають після дати накопичення максимальних снігозапасів S_m до кінця водопілля. Зливові опади як чинник формування дощових паводків

розподіляються дуже нерівномірно, але вони можуть викликати катастрофічні паводки, які будуть мати місце, якщо сумарна кількість опадів перевищить 160 мм [32]. У теплі зими за рахунок відлиг сніг на водозборі не накопичується, отже весняне водопілля слабо виражене і значення річного стоку наближаються до нуля. Такі ситуації після 1989р. (як переламного у змінах річних температур по території України) стали для Північно-Західного Причорномор'я звичними. Порухення цього правила можливе за рахунок дощових злив малої повторюваності. Даних спостережень за стоком р.Великий Куяльник недостатньо, щоб оцінити її потенціальні водні ресурси у різних кліматичних умовах та виявити і спрогнозувати наслідки впливу водогосподарської діяльності.

Для оцінки стоку р. Великий Куяльник у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах було використано математичну модель “клімат-стік”, розроблену в ОДЕКУ [7].

1.2 Методика визначення характеристик природного річного стоку на основі моделі “клімат -стік”

На території України практично не лишилося річок, стік яких не був би перетворений антропогенним впливом. Особливо проблематичним з точки зору оцінки характеристик стоку за даними спостережень є південь України, на території якого ізоляції характеристик стоку проводилися пунктиром [33]. Ураховуючи, що метеорологічна вивченість півдня України набагато краща ніж гідрологічна, в Одеському державному екологічному університеті під керівництвом проф. Є.Д. Гопченка та проф. Н.С. Лободи була розроблена математична модель річного стоку, яка базується на використанні метеорологічних даних і відноситься до моделей типу «клімат-стік» [34].

Теоретичним базисом моделі «клімат-стік» при розрахунках природного стоку є рівняння водно-теплогового балансу у модифікації, запропонованій В.С. Мезенцевим [35]. У цьому методі розглядаються рівняння водного та теплового балансів ділянки суші, які містять у собі загальну складову – випаровування з поверхні суші. Рівняння водного балансу ділянки суші за будь-який проміжок часу представляється у виді

$$H = E + Y, \quad (1.1)$$

де H - характеристика зволоження території;

Y - характеристика стоку.

E - характеристика випаровування з поверхні суші.

Під характеристикою зволоження H розуміють опади X , які випадають за розрахунковий період та зміни $w_1 - w_2$ запасів вологи в ґрунті $H = X + w_1 - w_2$.

Рівняння теплового балансу описує процес теплообміну в будь-якій

точці простору і за будь-який проміжок часу у вигляді статей приходу й витрат енергії

$$R^+ + P^+ + B_1 - B_2 = LE + P^- + I_H - LC, \quad (1.2)$$

де R^+ - позитивна (прибуткова) частина радіаційного балансу;

P^+ - позитивна складова турбулентного теплообміну або тепло, що приходить на ділянку суші у зв'язку з рухом повітря, тобто адвективне тепло;

$B_1 - B_2$ - зміна запасів тепла в діяльному шарі ґрунту (теплообмін у ґрунті ΔB);

L - «приховане» тепло пароутворення;

LE - витрата тепла на випаровування;

P^- - витрата тепла на нагрівання повітря (негативна частина турбулентного теплообміну);

I_H - довгохвильове випромінювання земної поверхні у нічні часи доби;

LC - витрата тепла на конденсацію.

Ліва (прибуткова) частина рівності (1.1) розглядається як граничні ресурси енергії, які забезпечують процес випаровування у визначених кліматичних умовах й називаються «теплоенергетичними ресурсами клімату»

$$LE_m = R^+ + P^+ + (B_1 - B_2), \quad (1.3)$$

де E_m - так званий «теплоенергетичний еквівалент», тобто шар води, який міг би випаритися з поверхні суші, якби на процес випаровування були витрачені усі теплоенергетичні ресурси клімату

$$E_m = \frac{R^+ + P^+ + (B_1 - B_2)}{L}. \quad (1.4)$$

Введення характеристики теплоенергетичних ресурсів у рівняння водного балансу (1.1) досягається діленням лівої і правої частин цього рівняння на величину E_m

$$\frac{H}{E_m} = \frac{E}{E_m} + \frac{Y}{E_m}. \quad (1.5)$$

Складові рівняння (1.1) H, E, Y після ділення на E_m позначаються як $\beta_H, \beta_E, \beta_Y$, відповідно. Отже вираз (1.5) можна записати у вигляді

$$\beta_H = \beta_E + \beta_Y. \quad (1.6)$$

Співвідношення β_H для багаторічного періоду, коли $w_1 - w_2 = 0$, записується як $\beta_X = \frac{X}{E_m}$.

Граничні умови складових рівняння (1.6) є такими

$$0 \leq \beta_E \leq 1 \text{ при } 0 \leq \beta_H \leq \infty \text{ та } 0 \leq \beta_Y \leq \beta_H \leq \infty. \quad (1.7)$$

Після диференціювання рівняння (1.6) за величиною співвідношення ресурсів вологи і тепла β_H , В.С. Мезенцев [36] одержав рівняння такого виду

$$\frac{\partial \beta_E}{\partial \beta_H} + \frac{\partial \beta_Y}{\partial \beta_H} = 1. \quad (1.8)$$

Наближений розв'язок рівняння (1.8) наданий В.С. Мезенцевим у такий спосіб:

$$\beta_E = (1 + \beta_H^{-n})^{-\frac{1}{n}}, \quad (1.9)$$

де n - параметр, що інтегрує вплив фізико-географічних умов формування стоку.

З урахуванням позначень (1.5), прийдемо до рівняння виду

$$E = E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (1.10)$$

Відповідно рівняння водного балансу (1.1) набуде вигляду

$$H = Y + E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (1.11)$$

Рівняння водного балансу виду (1.11) містить складову, яка визначається через складові теплового балансу земної поверхні і позначається як E_m , у зв'язку з чим вираз (1.11) називають рівнянням водно-теплового балансу.

Балансове співвідношення (1.11), виражене відносно величини стоку Y , записується у такий спосіб

$$Y = H - E_m \left[1 + \left(\frac{H}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (1.12)$$

З урахуванням виразу $H = X + w_1 - w_2$ визначення шару стоку Y за розрахунковий інтервал часу набуде виду

$$Y = X + w_1 - w_2 - E_m \left[1 + \left(\frac{X + w_1 - w_2}{E_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}. \quad (1.13)$$

Різниця $w_1 - w_2$, яка представляє собою зміну вологовмісту розрахункового шару ґрунту, приймає істотні додатні та від'ємні значення для внутрішньорічних інтервалів часу. Для багаторічного періоду, коли виконується умова

$$w_1 - w_2 = 0, \quad (1.14)$$

рівняння водно-теплового балансу має вигляд

$$\bar{Y} = \bar{X} - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (1.15)$$

де $\bar{Y}, \bar{X}, \bar{E}_m$ - багаторічні величини (норми) річного стоку, опадів та теплоенергетичного еквівалента, відповідно.

Результати досліджень показали, що при розрахунках норм річного стоку для рівнинних територій необхідно використовувати $n = 3$.

Найбільші труднощі виникають при оцінці теплоенергетичних ресурсів клімату за рівнянням (1.4), оскільки матеріали про зміни запасів тепла у діяльному шарі ґрунту $B_1 - B_2$ відсутні. Однак, у цілому за рік, а тим більше за багаторічний період виконується умова $B_1 - B_2 = 0$. Отже, можна прийняти

$$E_m = \frac{R^+ + P^+}{L}. \quad (1.16)$$

Через невелику кількість актинометричних станцій, дані яких мають використовуватися для розрахунків за формулою (1.16), для території України Є.Д. Гопченком та Н.С. Лободою отримана залежність середніх багаторічних величин максимально можливого випаровування від температур повітря [37]

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{T}_M - 307, r = 0,94; \quad (1.17)$$

де \bar{E}_m – середня багаторічна величина (норма) максимально можливого випаровування;

$\sum_V^{IX} \bar{T}_M$ – сума норм середніх місячних температур повітря за літній період (із травня по вересень, включно); r – коефіцієнт кореляції.

Норма річного стоку \bar{Y} , розрахована за (1.15), визначається кліматичними чинниками – нормою річних опадів \bar{X} й нормою максимально можливого випаровування \bar{E}_m , які підкоряються закону географічної зональності та представляються у вигляді карт ізоліній. Величини стоку, розраховані за метеорологічними даними з використанням рівнянь (1.13) або (1.15), отримали назву «кліматичного». Норма кліматичного стоку, отримана за рівнянням (1.15), у подальшому позначена як \bar{Y}_K .

Кarti ізоліній середніх багаторічних величин (норм) річних опадів, максимально можливого випаровування та розрахованого за (1.15) кліматичного стоку побудовані на топографічній основі 1:500000 для рівнинної території України [7]. При побудові карт ізоліній норм річного кліматичного стоку значення \bar{Y}_K визначалися за даними метеорологічних станцій. На карті ці значення були віднесені до точок з координатами, які відповідають географічному положенню кожної з цих станцій. При визначенні норми річного кліматичного стоку з виділеного водозбору за побудованою картою ізоліній шукана величина \bar{Y}_K має визначатися як середня зважена по частинних площах водозбору, які містяться між ізолініями. Порівняння норм річного кліматичного стоку із фактичними даними, виконані для водозборів річок, що мають усталене підземне живлення, показали задовільну відповідність цих величин у різних географічних зонах України. Установлено, що норма річного кліматичного стоку є тотожною нормі зонального річного стоку. Точність визначення норми річного кліматичного стоку за картою ізоліній, побудованою на основі метеорологічних даних, становить $\pm 10\%$.

Для річок з нестійким підземним живленням [38] характерна суттєва відмінність природного стоку від зонального. Для таких випадків модель «клімат-стік» передбачає використання коефіцієнтів переходу від норм річного кліматичного стоку, визначеного за картами ізоліній, до природного (непорушеного господарською діяльністю). Ці коефіцієнти описують вплив чинників підстильної поверхні на процес формування річного стоку.

Територія Північно-Західного Причорномор'я знаходиться у зоні недостатнього зволоження і поділяється на область додатних виправлень до норми річного кліматичного стоку та область від'ємних виправлень. Границею між ними є границя зим із стійким сніговим покривом, який

установлюється менше ніж у 50% випадків. Область додатних виправлень знаходиться вище цієї межі, область від'ємних – нижче. Для розрахунку коефіцієнтів переходу від норм річного кліматичного стоку до норм природного стоку річок Північно-Західного Причорномор'я в області додатних поправок $K_{ПЕР,1}$ розроблені емпіричні рівняння, які ураховують нерівномірність випадіння дощів та розподілу снігового покриву по площі водозбору [39]

$$k_{ПЕР,1} = 2,4 - 0,7(\lg(F + 1) - 1) - \text{при } F < 1000 \text{ км}^2; \quad (1.18)$$

$$K_{ПЕР,1} = 1 - \text{при } F \geq 1000 \text{ км}^2, \quad (1.19)$$

де F – площа водозбору, км².

В області від'ємних поправок до норм річного кліматичного стоку велике значення у формуванні стоку річок мають його втрати на поверхневе затримання. Перехідні коефіцієнти $K_{ПЕР,2}$ від норм кліматичного до природного стоку установлюються в залежності від середньої висоти водозбору, яка є непрямою характеристикою пласкості земної поверхні і пов'язана певним чином із уклоном поверхні:

$$K_{ПЕР,2} = 1 - 0,003(280 - H_{СЕР}), \text{ при } H_{СЕР} < 280 \text{ м}, \quad (1.20)$$

$$K_{ПЕР,2} = 1, \text{ при } H_{СЕР} \geq 280 \text{ м}, \quad (1.21)$$

де $H_{СЕР}$ – середня висота водозбору.

Чим менша висота місцевості, тим менший уклон поверхні й тим більше втрати талого та дощового поверхневого стоку на затримання у безстічних низинах.

За моделлю «клімат-стік» норма природного стоку $\bar{Y}_{ПР}$ малого або середнього за розмірами водозбору розраховується як добуток норми кліматичного стоку, що визначається за картою ізоліній, на перехідний коефіцієнт

$$\bar{Y}_{ПР} = K_{ПЕР} \bar{Y}_K. \quad (1.22)$$

На базі аналізу статистичних параметрів, розрахованих по рядах річного кліматичного стоку 30-річної тривалості (1951-1980 рр.) були установлені зв'язки між багаторічною мінливістю річного стоку (коефіцієнтом варіації C_V) та нормою річного кліматичного стоку \bar{Y}_K :

$$C_V = \frac{1,5}{\left(\frac{\bar{Y}_K}{10}\right)^{0,62}}, \quad (1.23)$$

де C_V – коефіцієнт варіації річного стоку.

Значення у чисельнику, яке дорівнює 1,5, є коефіцієнтом варіації, що відповідає нормі річного кліматичного стоку рівній 10 мм ($C_V=1,5$ при $\bar{Y}_K=10$ мм). Така норма річного кліматичного стоку відповідала кліматичним умовам узбережжя Чорного моря до початку суттєвого впливу змін глобального клімату на водні ресурси.

Між коефіцієнтами асиметрії та варіації для території Північно-Західного Причорномор'я для умов минулого сторіччя встановлене співвідношення

$$C_S = 1,7C_V, \quad (1.24)$$

де C_S – коефіцієнт асиметрії.

Приймається, що закономірності, описані рівняннями (1.23) та (1.24) справедливі як для кліматичного, так і для природного стоку.

На основі методу сумісного аналізу складових просторової дисперсії статистичних параметрів стоку було встановлено, що коефіцієнт автокореляції природного річного стоку $r(1)$ для річок Північно-Західного Причорномор'я можна приймати рівним нулю.

Апробація моделі «клімат-стік» для визначення характеристик природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) річного стоку річок показала задовільний збіг розрахункових і фактичних даних як для малих, так і великих річок України [40]. Встановлено, що точність визначення статистичних параметрів річного стоку за моделлю «клімат-стік» знаходиться у межах точності розрахунків цих параметрів за даними гідрометричних спостережень.

Слід зазначити, що карти ізолій норм річного кліматичного стоку, наведені у роботах [7, 39], відповідають умовам, які були характерними до початку суттєвих змін клімату України, тобто до 1989р. Отже, ці норми річного кліматичного стоку, визначені на основі просторово-часових узагальнень річного стоку, можуть використовуватися як базові при оцінках змін водних ресурсів за сценаріями глобального потепління.

1.3 Визначення ролі р.Великий Куяльник у формуванні припливу прісних вод до лиману на основі за моделі “клімат-стік”

Природні (непорушені водогосподарською діяльністю) водні ресурси річок водозбору Куяльницького лиману, які відповідають кліматичним

умовам до початку суттєвого впливу глобального потепління, визначалися на основі метеорологічних даних з Довідників по клімату СРСР [41, 42] з використанням розрахункових формул (4.15-4.25). Згідно із побудованими для того періоду картами ізолій норма річних опадів на водозборі Куяльницького лиману зменшується у напрямі північний захід – південний схід (від 575 до 460 мм), річна норма максимально можливого випаровування у тому ж напрямку зростає від 925 мм до 990 мм. У межах водозбору Куяльницького лиману норми річного кліматичного стоку у минулому сторіччі змінювалися від 30 мм до 15 мм (рис.1.4).

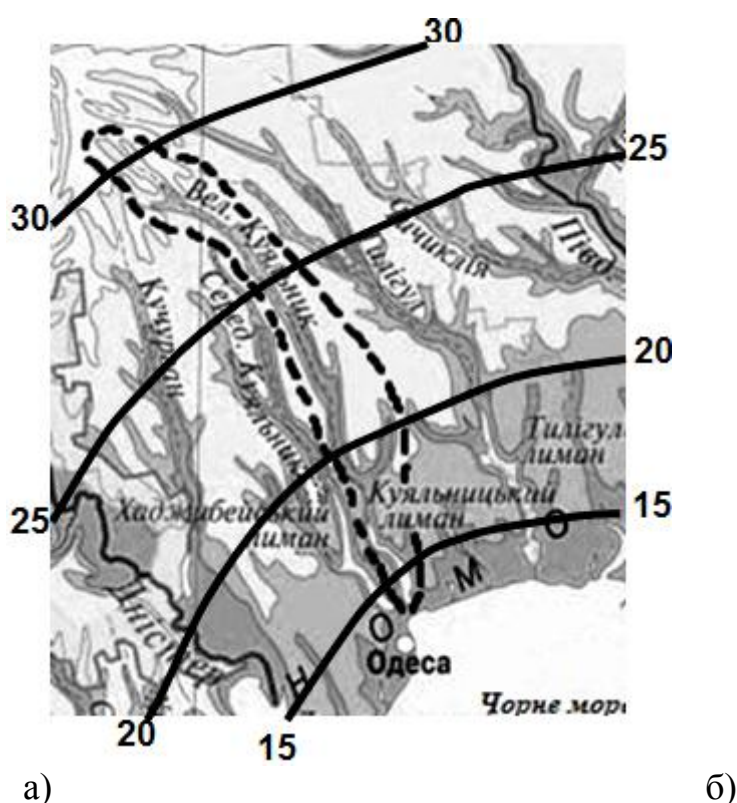


Рисунок 1.4 – Карта ізолій норм річного кліматичного стоку (мм) в басейні Куяльницького лиману до початку впливу глобального потепління

Норма річного кліматичного стоку, визначена за картою ізолій, для кожного із водозборів Куяльницького лиману змінювалася від 23 мм до 15 мм (табл. 1.4). Усі розглянуті водозбори річок знаходяться в області від’ємних виправлень до норми річного кліматичного стоку, та мають середню висоту водозборів менше 280м. Перехід від норм річного кліматичного стоку до природного виконувався за формулою (1.21).

Таблиця 1.4 – Визначені за моделлю «клімат-стік» кліматичні чинники формування природного річного стоку та норми річного кліматичного стоку для річок водозбору р.Великий Куяльник

Річка	Кліматичні чинники			Норма річного кліматичного стоку, \bar{Y}_K , мм
	\bar{X} , мм	\bar{E}_m , мм	\bar{E} , мм	
В. Куяльник	510	960	487	23
Довбока	480	970	462	18
б.Млинова	470	973	454	16
б.Баштанна	470	974	454	16
Кубанка	475	975	458	17
б.Гіндельдорфська	465	980	450	15
б. Корсунцівська	460	985	445	15
Боковий приплив	465	980	450	15

Річний стік річок характеризується значною багаторічною мінливістю та асиметрією (табл. 1.5). Коефіцієнт варіації C_v змінюється від 1,19 до 2,72. Коефіцієнт асиметрії C_s приймає значення від 2,0 до 4,6. Сумарний об'єм прісних вод, які надходили до Куяльницького лиману від у природних умовах минулого сторіччя, становив 22,2 млн.м³. Таким чином, річний приплив стоку від р. Великий Куяльник складав 91,8% від загального припливу прісних вод від усіх водотоків водозбору Куяльницького лиману.

Розрахунки об'ємів стоку у роки різної забезпеченості (табл.1.6) показали, що навіть для річки В.Куяльник можливі нульові значення річного стоку у дуже маловодні роки (із забезпеченістю водності більшою або рівною 95%). На річках Довбока та Кубанка відсутність річного стоку можлива у маловодні роки (із забезпеченістю більшою або рівною 75%). Річний стік у балках дорівнював нулю не тільки у маловодні, а і у середні за водністю роки. У багатоводні роки (наприклад, 1%-ої забезпеченості) річний стік річки В.Куяльник становив 85% від загального надходження води до Куяльницького лиману, у роки 50-ої забезпеченості – 98%, а у маловодні роки – 100%.

Таблиця 1.5 – Статистичні параметри природного річного стоку, визначені за моделлю «клімат-стік»

Річки та балки	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , мм	Середня висота водозбору, H_{CER} , м	Площа водозбору, F , км ²	Пере-хідний кое-фіцієнт, $K_{ПЕР,2}$	Параметри природного річного стоку			
					$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
р.Великий Куяльник	23	120	1860	0,52	12	20,4	1,19	2,03
р.Довбока	18	35,0	69,5	0,369	6,62	0,460	1,74	2,95
б.Млинова	16	25,0	2,20	0,235	3,86	0,0352	2,42	4,12
б.Баштанна	16	30,0	8,70	0,25	4,10	0,0357	2,34	3,97
р.Кубанка	17	37,0	136,5	0,27	4,60	0,628	2,17	3,69
б.Гіндель-дорфська	15	21,0	15,0	0,22	3,45	0,0518	2,59	4,42
б.Корсун-цівська	15	20,0	17,0	0,22	3,22	0,0547	2,72	4,61
Бічний приплив	15	27	142	0,24	3,73	0,530	2,48	4,21
Сумарний приплив прісних вод до лиману						22,2		

Таблиця 1.6 – Характеристики природного річного стоку (об'єми) у роки різної водності

Річка – пост	Природний річний стік заданої забезпеченості W_p , млн. м ³								
	$W_{0,01\%}$	$W_{0,1\%}$	$W_{1\%}$	$W_{5\%}$	$W_{25\%}$	$W_{50\%}$	$W_{75\%}$	$W_{95\%}$	$W_{99\%}$
В. Куяльник	221	165	108	69,0	29,6	12,9	3,16	0	0
Довбока	8,51	6,09	3,69	2,04	0,62	0,14	0	0	0
б.Млинова	1,08	0,74	0,41	0,20	0,04	0	0	0	0
б. Баштанна	1,04	0,72	0,40	0,19	0,04	0	0	0	0
р.Кубанка	16,3	11,3	6,43	3,24	0,70	0,06	0	0	0
б. Гіндель-дорфська	1,77	1,21	0,64	0,30	0,05	0	0	0	0
б. Корсун-цівська	2,01	1,36	0,72	0,33	0,05	0	0	0	0
Бічний приплив	16,9	11,6	6,30	3,00	0,52	0	0	0	0
Сума	269	198	127	78,3	31,6	13,1	3,16	0	0

Найбільший об'єм річного природного стоку припадає на притоки р. Кошківка (3,50 млн. м³) та Суха Журівка (3,29 млн. м³), найменший об'єм стоку формується у балці Плоскій (0,95 млн. м³). Коефіцієнти варіації C_v приток р. В.Куяльник змінюються від 0,93 до 1,71; коефіцієнти асиметрії відповідно від 1,58 до 2,90. Об'єми природного стоку приток річки В.Куяльник у роки різні за водністю роки представлені у таблиці 1.8. На всіх річках природний річний сток відсутній у дуже маловодні роки, із забезпеченістю 95% і більше. На р. Кошківка (Кошкова), що розташована у нижній частині водозбору Куяльницького лиману, через значну мінливість стоку нульові значення річного стоку були можливі навіть у роки 75% забезпеченості водності.

Таблиця 1.8 – Характеристики природного річного стоку (об'єми) у роки різної водності приток річки Великий Куяльник

Річка – пост	Природний річний стік заданої забезпеченості W_p , млн. м ³								
	$W_{0,01\%}$	$W_{0,1\%}$	$W_{1\%}$	$W_{5\%}$	$W_{25\%}$	$W_{50\%}$	$W_{75\%}$	$W_{95\%}$	$W_{99\%}$
р. Суха Журівка	32,3	24,0	16,1	10,5	4,8	2,2	0,7	0	0
б. Силовка	21,4	15,5	9,8	5,9	2,1	0,8	0,1	0	0
р. Кошківка	63,1	45,3	27,5	15,4	4,7	1,1	0	0	0
б. Плоска	7,4	5,7	3,9	2,7	1,4	0,7	0,3	0	0
Сума	124	90,5	57,3	34,5	13	4,87	1,05	0	0

2 ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОД ГИРЛОВОЇ ДІЛЯНКИ РІЧКИ ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК У СТВОРІ С.СЕВЕРИНІВКА ЗА ГІДРОХІМІЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

Річка Великий Куяльник є основною річкою, що живить Куяльницький лиман. Важливим питанням є оцінка не тільки оцінка її водності, а і якості вод, що надходять безпосередньо до лиману. В даних гідрологічних вимірювань у гирлі (р.Великий Куяльник–с.Северинівка) періодично вказується на наявність “стоячої води”. Проведені в ОДЕКУ дослідження [43] показали, що відсутність стоку пов’язана із дією шлюзів-регуляторів, розташованих вище за течією, та наявністю дамби нижче за течією. Шлюзи-регулятори перекривали стік зверху. Дамба сприяла затриманню та накопиченню поверхневого стоку на ділянці вимірювань. При наявності та відсутності течії (стоку) води умови формування гіdroхімічного режиму мають бути різними. У зв’язку із цим було проведено дослідження зміни хімічного складу та якості води в залежності від відсутності та наявності течії.

2.1 Оцінка якості води за величиною індексу забруднення води (ІЗВ)

Розрахунок індексу забруднення ІЗВ [44] виконувався за рибогосподарськими нормативами з використанням шістьох гіdroхімічних показників (азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, БСК₅) на базі такого рівняння:

$$I_{\text{ЗВ}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (2.1)$$

де C_i та $ГДК_i$ – фактична концентрація і значення ГДК нормованих компонентів, відповідно;

n – число показників, що використовуються для розрахунку ІЗВ.

За величинами розрахованих ІЗВ виділяють сім класів якості води (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Класи якості води за показником ІЗВ

Значення ІЗВ	Класи якості води	Рівень забруднення води
$\leq 0,2$	I	«дуже чиста»
0,21-1,09	II	«чиста»
1,1-2,09	III	«помірно забруднена»
2,1 – 4,09	IV	«забруднена»
4,1 – 6,09	V	«брудна»
6,1 – 9,99	VI	«дуже брудна»
$>10,0$	VII	«надзвичайно брудна»

У роботі використані дані гідрохімічних спостережень Гідрометслужби України та Одеського обласного управління водних ресурсів за період 1986-2016рр. Розрахунки ІЗВ виконувалися роздільно для випадків, коли у створі спостерігалася стояча вода та коли існувала течія.

Аналіз повторюваності різних класів забрудненості води р. Великий Куяльник (табл. 2.2, рис. 2.1) показує, що при наявності та відсутності водного стоку в річці переважаючим за частотою появи є II клас якості («чиста»), на який припадає 60,9 % випадків при наявності стоку води і 44,1% випадків при відсутності стоку. В період відсутності водного стоку якість води зазнає помітного погіршення, що проявляється при появі випадків «дуже брудної» та «надзвичайно брудної» води, та відповідає якості вод VI-VII класу. Перевага II класу якості вод при наявності стоку вказує на те, що води р. Великий Куяльник мають певні зміни щодо природного стану (у гідрохімічному сенсі), однак ці зміни поки що не порушили екологічної рівноваги. При відсутності водного стоку екологічний стан річки істотно погіршується.

Таблиця 2.2 - Повторюваність (%) випадків різних класів якості води по методу ІЗВ, р.Великий Куяльник - с. Северинівка, 1986-2016 рр.

Клас	I	II	III	IV	V	VI	VII
Характеристика ступеня забрудненості вод	дуже чиста	чиста	помірно забруднена	забруднена	брудна	дуже брудна	надзвичайно брудна
За наявності стоку води	-	60,9	21,9	14,6	2,6	-	-
Без стоку води (стояча вода)	-	44,1	20,6	14,7	8,8	5,9	5,9

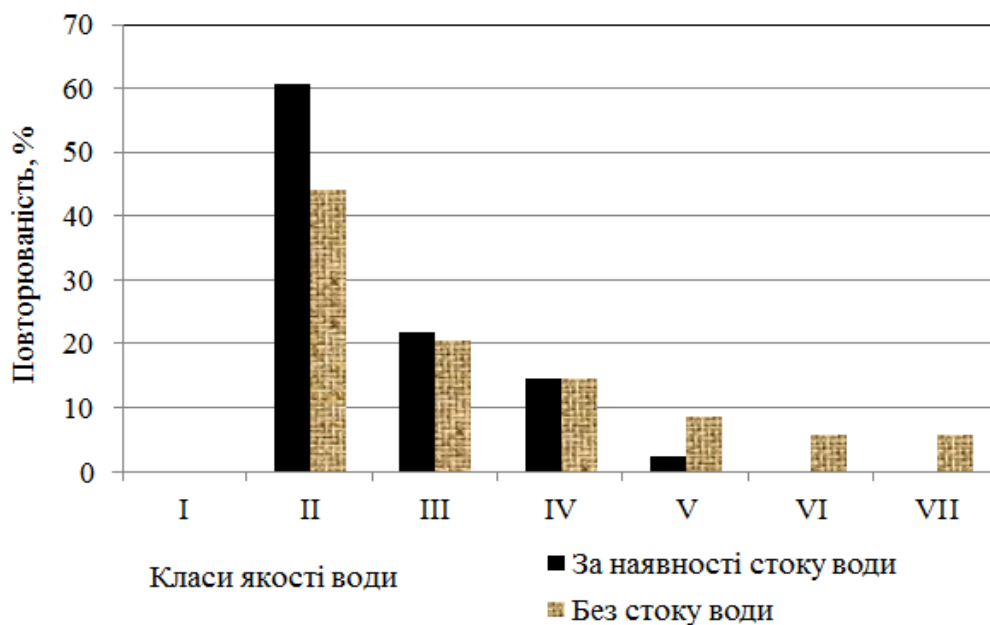


Рисунок 2.1 – Повторюваність (% випадків) різних класів якості вод р.Великий Куяльник – с. Северинівка за 1986-2012 рр. в періоди відсутності та наявності стоку води

2.2 Оцінка якості води за комбінаторним індексом забруднення (КІЗ)

Даний метод дозволяє класифікувати якість води за повторюваністю і кратністю забруднення окремими гідрохімічними показниками, виділити пріоритетні забруднювальні речовини [45].

Метод КІЗ передбачає здійснення оцінки комплексності забруднення води в створі за допомогою умовного коефіцієнта комплексності, вираженого відношенням числа забруднювальних речовин, вміст яких перевищує функціонуючі в країні нормативи, до загального числа інгредієнтів, визначених програмою дослідження

$$K = 100 \cdot \frac{n''}{n}, \quad (2.2)$$

де K – умовний коефіцієнт комплексності забруднення, %;

n'' – число інгредієнтів і показників якості води, склад яких перевищує встановлені ГДК;

n – загальне число нормованих інгредієнтів і показників якості води.

Використання методу КІЗ з метою встановлення рівня якості води водних об'єктів передбачає проведення триступеневої класифікації:

- за ознаками повторюваності випадків забруднення;
- за кратністю перевищення нормативів ГДК;

- за характером забрудненості води окремими хімічними речовинами.

Класифікація за ознаками повторюваності випадків забруднення полягає у встановленні міри стійкості забрудненості за показником повторюваності випадків перевищення ГДК за певними гідрохімічними інгредієнтами

$$H_i = 100 \cdot \frac{N_{\text{ГДК}}}{N_i}, \quad (2.3)$$

де H_i – повторюваність випадків перевищення ГДК по i -му інгредієнту, %;

$N_{\text{ГДК}}$ – число випадків, коли вміст i -го інгредієнта перевищує його ГДК;

N_i – загальне число результатів аналізу по i -му інгредієнту.

При аналізі забрудненості вод за ознаками повторюваності виділяються як «якісно помітні» такі характеристики забрудненості: «одинична» (до 10% випадків), «нестійка» (10-30% випадків), «стійка» (30-50% випадків), «характерна» (50-100% випадків). Якісним виразам виділених характеристик забрудненості води присвоюються кількісні показники (a, b, c, d) в балах від 1 до 4.

Класифікація за кратністю перевищення нормативів ГДК передбачає встановлення рівня забрудненості за показником кратності перевищення ГДК

$$K_i = \frac{C_i}{C_{\text{ГДК}}}, \quad (2.4)$$

де K_i – кратність перевищення ГДК по i -му інгредієнту;

C_i – концентрація i -го інгредієнта у воді водного об'єкта, мг/дм³;

$C_{\text{ГДК}}$ – гранично допустима концентрація i -го інгредієнта, мг/дм³.

При аналізі загального ступеня забрудненості вод за показником кратності перевищення ГДК за рівнем забрудненості окремими речовинами виділяються як «якісно помітні» такі характеристики забрудненості: «низька» (до 2 ГДК), «середня» (2-10 ГДК), «висока» (10-50 ГДК), «дуже висока» (>50 ГДК). Якісним виразам виділених характеристик забрудненості води присвоюються кількісні показники (a_1, b_1, c_1, d_1) в балах від 1 до 4.

При поєднанні першого та другого ступенів класифікації води по кожному з гідрохімічних інгредієнтів визначаються узагальнені оціночні бали (S_i), одержані як добуток оцінок (a, b, c, d) та (a_1, b_1, c_1, d_1) за окремими характеристиками. Значення S_i може змінюватися від 1 до 16. Чим більша величина S_i , тим гірша якість води по окремому інгредієнту.

Класифікація за характером забрудненості води окремими хімічними речовинами полягає в узагальненні даних по окремих гідрохімічних

показниках. Для цього обчислюється показник КІЗ (комбінаторний індекс забрудненості) шляхом додавання всіх узагальнених оцінних балів (S_i) по окремих гідрохімічних показниках. При цьому ті гідрохімічні показники, для яких узагальнений оцінний бал $S_i \geq 11$, вважаються лімітуючими ознаками забруднення (ЛОЗ), тобто вони виступають найбільшими забруднювальними речовинами і погіршують якість води до категорії «неприпустимо брудна».

Надалі розраховується показник осередненої забрудненості – питомий комбінаторний індекс забруднення (ПКІЗ). За цим показником встановлюється клас і розряд якості води («слабо забруднена», «забруднена», «брудна», «дуже брудна») та здійснюється висновок щодо придатності води для певного виду водокористування (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Вплив забруднення на можливість використання води водотоків

Стан води водотоків	Види водокористування					
	Господарсько-питне	рекреація	побутове	рибне господарство	промисловість	зрошення
Слабо забруднена	Придатна з очисткою	Використовується	Придатна	Придатна для деяких видів риби	Придатна для всіх видів	Придатна
Забруднена	Не придатна	Не придатна	Не придатна	Непридатна	Ускладнено	Придатна з обмеженнями
Брудна	Не придатна	Взагалі непридатна	Не придатна	Непридатна	Можливо для спеціальних цілей	Ускладнено
Дуже брудна	Не придатна	Не використовується	Взагалі неможливо	Неможливо	Можливо в окремих випадках	Можливо в окремих випадках

Була виконана статистично узагальнена оцінка якості води р.Великий Куяльник поблизу с.Северинівка за методом КІЗ за період 1986-2012 рр. при наявності стоку згідно господарсько-питних нормативів. Для 11 з 22 гідрохімічних показників були установлені випадки перевищень ГДК різної інтенсивності. Згідно розрахованих оціночних балів, по більшості показників (розчинений кисень, кольоровість, нафтопродукти, феноли, СПАР, нітрити, нітрати, фосфати, кремній, мідь, цинк, марганець, хром) фіксується «одинична забрудненість низького рівня», якість води оцінюється на рівні «слабо забруднена». Дещо більшим є рівень забрудненості азотом амонійним – «нестійка забрудненість низького рівня», вода «забруднена». За вмістом натрію і калію, сульфатів, заліза фіксується «стійка забрудненість низького

рівня», вода оцінюється як «брудна». За рівнем вмісту у воді хлоридів, органічних речовин (за БСК₅), мінералізації виявлена «характерна забрудненість низького рівня», вода оцінюється як «брудна». За вмістом у воді органічних речовин (показник біхроматної окиснюваності) стан забрудненості води відповідає «стійкій забрудненості середнього рівня», вода оцінюється як «дуже брудна». Найбільший рівень забрудненості припадає на магній, вміст якого у воді відповідає «характерній забрудненості середнього рівня», вода «дуже брудна». В підсумку комплексності забруднення складає 50%, показник КІЗ дорівнює 50 балам, ПКІЗ – 2,27 балів, клас якості води III (розряд а) – «брудна». Речовин ЛОЗ не виявлено.

Статистично узагальнена оцінка якості води р.Великий Куяльник поблизу с.Северинівка за методом КІЗ за період 1986-2012 рр. за умов відсутності стоку згідно господарсько-питних нормативів дала наступні результати. З 22 гіdroхімічних показників для 15 відзначались випадки перевищень ГДК різної інтенсивності. Згідно розрахованих оціночних балів, по більшості показників (нафтопродукти, феноли, СПАР, нітрити, нітрати, фосфати, кремній, мідь, цинк, марганець, хром) фіксується «одинична забрудненість низького рівня», якість води оцінюється на рівні «слабо забруднена». Дещо більшим є рівень забрудненості води за розчиненим киснем, азотом амонійним, залізом – «нестійка забрудненість низького рівня», вода «забруднена». За вмістом органічних речовин (за БСК₅), натрію і калію, сульфатів фіксується «стійка забрудненість низького рівня», вода оцінюється як «брудна». За рівнем вмісту у воді хлоридів, кольоровості фіксується «характерна забрудненість низького рівня», вода оцінюється як «брудна». Найбільший рівень забрудненості припадає на магній, мінералізацію і органічні речовини (біхромат на окиснюваність), вміст яких у воді відповідає «характерній забрудненості середнього рівня», вода «дуже брудна». В підсумку отримано, що комплексність забруднення складає 68%, показник КІЗ дорівнює 57 балам, ПКІЗ – 2,59 балам, клас якості води III (розряд а) – «брудна». Речовин ЛОЗ не виявлено.

Статистично узагальнена оцінка якості води р.Великий Куяльник поблизу с.Северинівка за методом КІЗ за період 1986-2012 рр. за наявності стоку згідно рибогосподарських нормативів показала такі результати. З 22 гіdroхімічних показників для 18 відзначались випадки перевищень ГДК різної інтенсивності. Згідно розрахованих оціночних балів, по деяким показникам (розчинений кисень, нафтопродукти, феноли, СПАР, нітрати, фосфати, мідь, марганець) фіксується «одинична забрудненість низького рівня», якість води оцінюється на рівні «слабо забруднена». Дещо більшим є рівень забрудненості кальцієм – «нестійка забрудненість низького рівня», вода «забруднена». За вмістом нітритів, калію фіксується «стійка забрудненість низького рівня», вода оцінюється як «брудна». За рівнем вмісту у воді натрію, хлоридів, мінералізації, цинку фіксується «характерна забрудненість низького рівня», вода оцінюється як «брудна». За вмістом у воді органічних речовин (показник біхроматної окиснюваності) і азоту амонійного стан забрудненості води відповідає «стійкій забрудненості

середнього рівня», вода оцінюється як «дуже брудна». Найбільший рівень забрудненості припадає на БСК₅, магній, сульфати, залізо, хром, вміст яких у воді відповідає «характерній забрудненості середнього рівня», вода «дуже брудна». В підсумку комплексність забруднення складає 82%, показник КІЗ складає 83 бали, ПКІЗ – 3,77 балів, клас якості води III (розряд б) – «брудна». Речовин ЛОЗ не виявлено.

Виконана статистично узагальнена оцінка якості води р.Великий Куяльник поблизу с.Северинівка за методом КІЗ за період 1986-2012 рр. за відсутності стоку згідно рибогосподарських нормативів. З 22 гідрохімічних показників для 20 відзначались випадки перевищень ГДК різної інтенсивності. Згідно розрахованих оціночних балів, по деяким показникам (феноли, нітрати, фосфати, марганець) фіксується «одинична забрудненість низького рівня», якість води оцінюється на рівні «слабо забруднена». Дещо більшим є рівень забрудненості по розчиненому кисню, СПАР, калію, міді – «нестійка забрудненість низького рівня», вода «забруднена». За вмістом кальцію, нафтопродуктів, цинку, хрому фіксується «стійка забрудненість низького рівня», вода оцінюється як «брудна». За рівнем вмісту у воді азоту амонійного, нітритів фіксується «стійка забрудненість середнього рівня», вода оцінюється як «дуже брудна». За вмістом у воді органічних речовин (показники БСК₅, біхроматної окиснюваності), магнію, натрію, сульфатів, хлоридів, мінералізації, заліза стан забрудненості води відповідає «характерній забрудненості середнього рівня», вода оцінюється як «дуже брудна». В підсумку комплексність забруднення складає 91%, показник КІЗ дорівнює 100 балам, ПКІЗ – 4,55 балам, клас якості води IV (розряд а) – «дуже брудна». Речовин ЛОЗ не виявлено.

При порівнянні отриманих результатів за наявності і відсутності стоку по господарсько-питним і рибогосподарським нормативам ГДК (табл. 2.4) виявлено, що екологічний стан річки Великий Куяльник погіршується при припиненні стоку води. При цьому в руслі річки внаслідок відсутності водообміну протікають процеси накопичення високомінералізованих вод і відбувається розкладання органічних залишків, що проявляється у зростанні концентрацій багатьох гідрохімічних показників і як наслідок – у погіршенні якості води річки. При цьому для господарсько-питних нормативів комплексність забруднення при припиненні стоку води у річці зростає на 18 %, КІЗ збільшується на 7 балів, зростає показник ПКІЗ, хоча клас якості не змінюється. Підчас розрахунків по рибогосподарським нормативам ГДК створюється я аналогічна ситуація – комплексність забруднення зростає з 82 до 91 %, КІЗ збільшується на 17 балів, ПКІЗ суттєво зростає з 3,77 до 4,55 балів, клас якості води погіршується на один порядок з III б («брудна») до IV а («дуже брудна»). Також слід зазначити, що рівень забруднення води річки Великий Куяльник в цілому є високим, але не виявлено речовин ЛОЗ, що свідчить про відсутність якогось чітко вираженого (пріоритетного) джерела забруднення води. Тому погіршення якості води і екологічного стану р.Великий Куяльник можна розглядати як наслідок дії комплексу факторів, які присутні на її водозборі.

Таблиця 2.4 – Результати оцінки якості води р.Великий Куяльник – с.Северинівка за 1986-2016 рр. за господарсько-питними і рибогосподарськими нормативами ГДК по методу КІЗ

Показник	n	n'	K, %	КІЗ, бали	ПКІЗ, бали	Клас якості	ЛОЗ
Господарсько-питні нормативи ГДК							
За наявності стоку води	22	11	50	50	2,27	III а – «брудна»	-
При відсутності стоку води	22	15	68	57	2,59	III а – «брудна»	-
Рибогосподарські нормативи ГДК							
За наявності стоку води	22	18	82	83	3,77	III б – «брудна»	-
При відсутності стоку води	22	20	91	100	4,55	IV а – «дуже брудна»	-

Результати визначення класу якості та забрудненості води окремими речовинами дозволяють зробити висновок, що за хімічним складом води річки Великий Куяльник не можуть бути безпечно використані для господарсько-питних і рибогосподарських потреб без ризику для риб та кінцевого споживача – людини. Обмежений водообмін і накопичення забруднювальних речовин в умовах відсутності достатнього припливу води з водозбірної басейну та інтенсивного випаровування з водної поверхні штучних водойм, потрапляння забруднених господарсько-побутових вод з приватного сектору, зі звалищ, забрудненого поверхневого стоку, високий ступінь зарегульованості, недостатня промивка русла, призводять до накопичення у водах надлишкових концентрацій головних іонів, біогенних речовин, розвитку дефіциту (відсутності) розчиненого у воді кисню та, як наслідок, до значного біогенного навантаження, а отже до деградації річки Великий Куяльник та її приток, і, отже до руйнування екосистеми Куяльницького лиману. Поліпшити ситуацію можливо шляхом уникнення перешкоджання стоку води, суворого дотримання вимог водоохоронного законодавства і регулярного гідрохімічного моніторингу.

Оцінка повторюваності різних класів якості вод, установлених за методом КІЗ для господарсько-питних нормативів за кожною пробою річки Великий Куяльник біля с.Северинівка за 1986 – 2012 рр. для періодів наявності та відсутності стоку в руслі (табл. 2.5, рис. 2.2) показує, що переважаючими класами за повторюваністю є II і III (вода «забруднена –

брудна»). При відсутності стоку ситуація погіршується – зростає кількість випадків настання III і IV класів якості (вода «брудна – дуже брудна»).

Таблиця 2.5 – Повторюваність (%) випадків різних класів якості води за методом КІЗ, р.Великий Куяльник - с.Северинівка, 1986-2016 рр. за господарсько-питними нормативами

Клас якості	I	II	III а	III б	IV а	IV б	IV в	IV г
Характеристика стану забрудненості вод	слабко забруднена	забруднена	брудна		дуже брудна			
За наявності стоку води	7,3	43,9	41,5	7,3	-	-	-	-
При відсутності стоку води	-	37,8	42,7	13,9	5,6	-	-	-

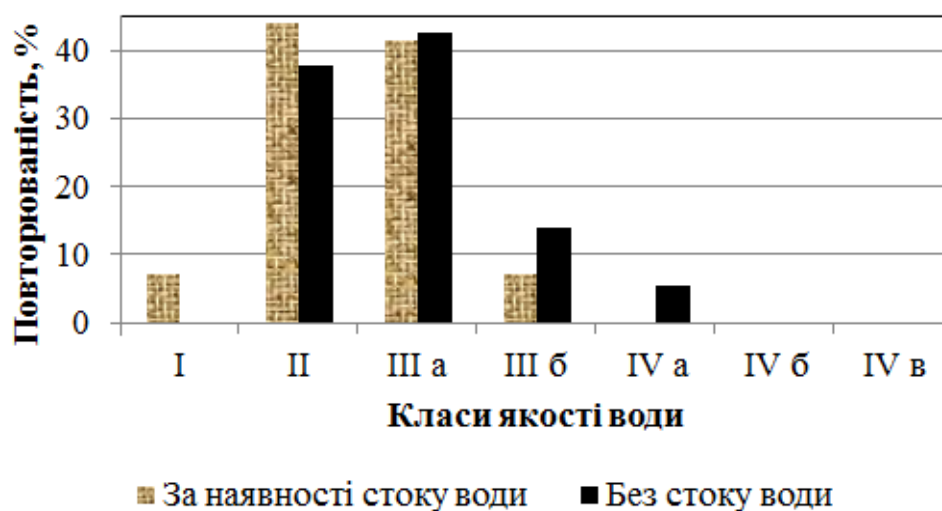


Рисунок 2.2 – Повторюваність (% випадків) різних класів якості води за методом КІЗ, р.Великий Куяльник - с.Северинівка, 1986-2012 рр. за господарсько-питними нормативами

Оцінка повторюваності різних класів якості вод за методом КІЗ для рибогосподарських нормативів за кожною пробою річки Великий Куяльник біля с.Северинівка за 1986 – 2012 рр. для періодів наявності та відсутності стоку в руслі (табл. 2.6, рис. 2.3) показує, що переважаючими класами за повторюваністю є III (вода «брудна»), при відсутності стоку ситуація погіршується – зростає кількість випадків настання III і IV класів якості (вода «брудна – дуже брудна»).

Таблиця 2.6 – Повторюваність (%) випадків різних класів якості води за методом КІЗ, р.Великий Куяльник - с.Северинівка, 1986-2016 рр. за рибогосподарськими нормативами

Клас якості	I	II	III а	III б	IV а	IV б	IV в	IV г
Характеристика стану забрудненості вод	слабко забруднена	Забруднена	брудна		дуже брудна			
За наявності стоку води	-	4,9	29,3	46,3	17,1	2,4	-	-
При Відсутності стоку води	-	-	36,1	27,8	27,8	8,3	-	-

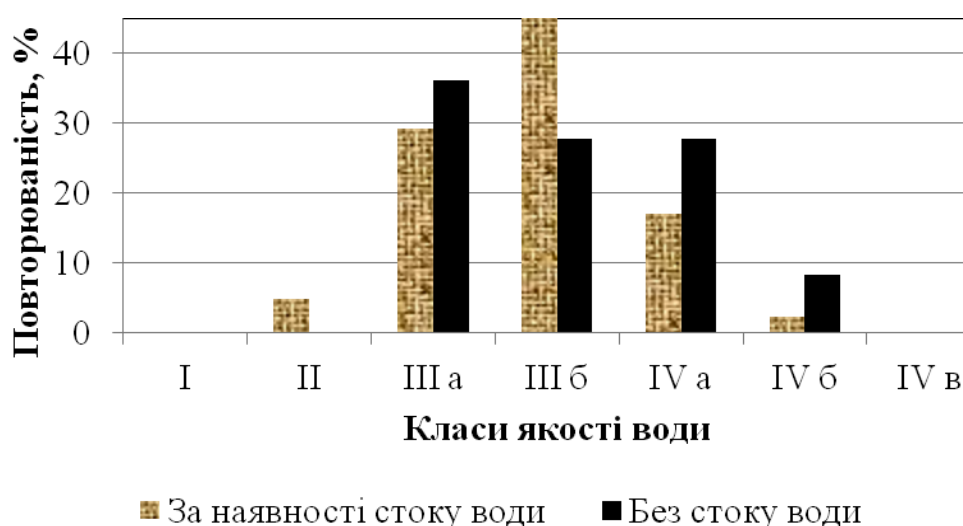


Рисунок 2.3 – Повторюваність (% випадків) різних класів якості води за методом КІЗ, р.Великий Куяльник - с.Северинівка, 1986-2012 рр. за рибогосподарськими нормативами

2.3 Оцінка якості води за методикою НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерисмана

Методика передбачає оцінку якості води за різними критеріями шкідливості: санітарного режиму (W_c); органолептичних властивостей ($W_{орг}$); санітарно-токсикологічного забруднення (W_{CT}); епідеміологічного забруднення (W_e).

Комплексна оцінка обчислюється окремо для кожного критерію (ЛОШ) W_c , $W_{орг}$, $W_{СТ}$ і W_e за формулою

$$W = 1 + \frac{\sum_{i=1}^n (\sigma_i - 1)}{n}, \quad (2.5)$$

$$\sigma_i = \frac{C_i}{\tilde{A}\tilde{A}\tilde{E}_s}, \quad (2.6)$$

де W – комплексна оцінка рівня забруднення води за даною ЛОШ;

n – кількість показників, що використані в розрахунку;

$ГДК_i$ – нормативне значення одиничного показника;

C_i – концентрація речовини.

Якщо $\sigma_i < 1$, тобто концентрація менша за нормативну, то приймається, що $\sigma_i = 1$. Остаточний висновок щодо якості води робиться по таблиці комплексних оцінок W (табл. 2.7).

Таблиця 2.7 – Рівні забруднення води за різними критеріями

Рівень забруднення	Критерій забруднення			
	Органо- лептичний ($W_{орг}$)	Санітарний режим (W_c)	Санітарно- токсикологічний ($W_{СТ}$)	Епідеміо- логічний (W_e)
Допустимий	1	1	1	1
Помірний	1,0-1,5	1,0-3,0	1,0-3,0	1,0-10,0
Високий	1,5-2,0	3,0-6,0	3,0-10,0	10,0-100,0
Дуже високий	>2,0	>6,0	>10,0	>100,0

За наявними даними була здійснена оцінка рівнів забрудненості вод р. Великий Куяльник біля с. Северинівка за 1986 – 2012 рр. за періоди відсутності і наявності стоку по господарсько-питним нормативам ГДК за органолептичним, санітарним і санітарно токсикологічним критеріями методики НДІ гігієни ім. Ф.Ф.Ерисмана (епідеміологічний критерій не розраховувався).

Аналіз результатів оцінки рівнів забруднення за органолептичним критерієм (табл. 2.8, рис. 2.4) свідчить, що в періоди наявності і відсутності стоку переважна більшість випадків за повторюваністю зосередилась на рівні «помірний» (73,2 % випадків в період наявності стоку і 61,1% випадків в період відсутності водного стоку).

Таблиця 2.8 - Повторюваність (%) випадків різних рівнів забруднення вод р.В.Куяльник - с. Северинівка за 1986-2016 рр. за методом НДІ гігієни ім. Ф.Ф.Ерисмана за господарсько-питними нормами ГДК

Критерії забруднення		Рівні забруднення			
		Допустимий	Помірний	Високий	Дуже високий
Органо-лептичний	За наявності стоку води	12.2	73.2	7.3	7.3
	Без стоку води	-	61.1	19.4	19.4
Санітарний	За наявності стоку води	14.6	76.6	9.8	-
	Без стоку води	50	27.8	16.7	5.5
Санітарно-токсикологічний	За наявності стоку води	26.8	73.2	-	-
	Без стоку води	30.6	61.1	8.3	-

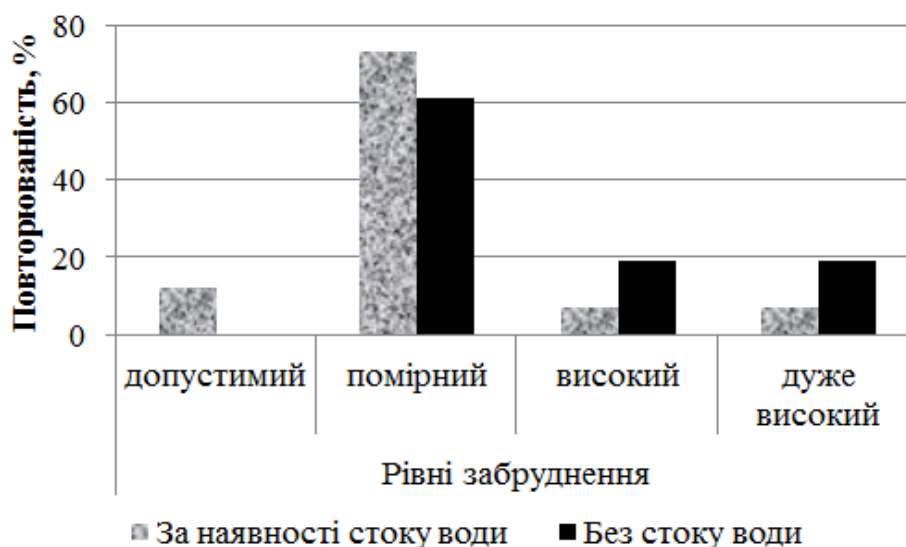


Рисунок 2.4 – Повторюваність різних рівнів забруднення вод р. Великий Куяльник поблизу с. Северинівка у 1986-2012 рр. по органолептичному критерію за методом НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерисмана

Також було отримано, що при відсутності стоку якість вод річки Великий Куяльник за цим критерієм погіршується в бік зростання кількості випадків «високого» і «дуже високого» рівнів забруднення, порівняно з періодами наявності водного стоку в руслі річки. В межах органолептичного критерію якість вод річки Великий Куяльник в найбільшій мірі погіршується

за рахунок високих концентрацій хлоридів, сульфатів, мінералізації, біхроматної окиснюваності.

Аналіз результатів оцінки рівнів забруднення за санітарним критерієм (табл. 2.8, рис. 2.5) свідчить, що в період наявності стоку переважна більшість випадків за повторюваністю зосередилась на рівні «помірний» (76,6 % випадків), а в періоди відсутності стоку – на рівні «допустимий» (50% випадків). Також установлено, що в періоди відсутності стоку зростає повторюваність випадків «високого» и «дуже високого» рівнів забруднення за цим критерієм, порівняно з періодами наявності водного стоку в руслі річки. В межах санітарного критерію якість вод річки Великий Куяльник в найбільшій мірі погіршується за рахунок високих концентрацій органічних речовин за показниками БСК₅ та біхроматна окиснюваність.

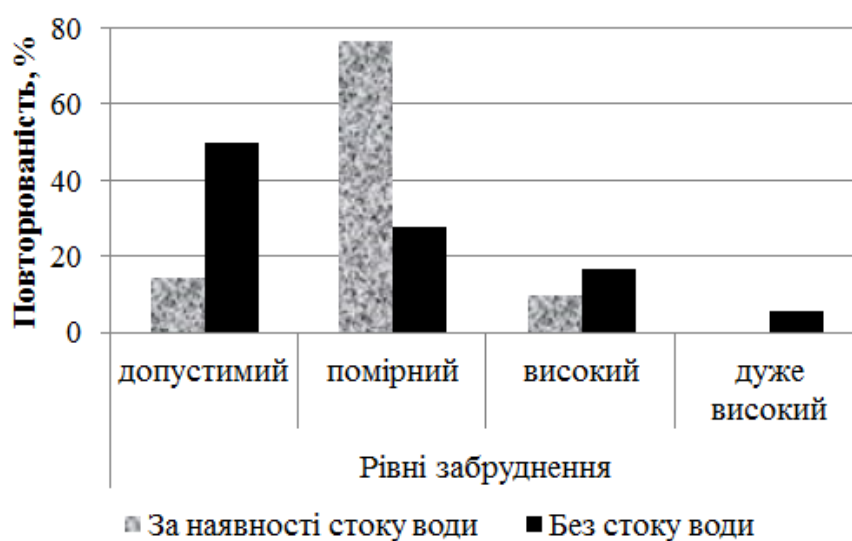


Рисунок 2.5 – Повторюваність різних рівнів забруднення вод р. Великий Куяльник поблизу с. Северинівка у 1986-2012 рр. по санітарному критерію за методом НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерисмана

Аналіз результатів оцінки рівнів забруднення за санітарно-токсикологічним критерієм (табл. 2.8, рис. 2.6) свідчить, що в періоди наявності і відсутності стоку переважна більшість випадків за повторюваністю зосередилась на рівні «помірний» (73,2 % випадків в період наявності стоку і 61,1% випадків в період відсутності водного стоку). За умов відсутності стоку якість вод річки Великий Куяльник за цим критерієм незначно погіршується в бік появи епізодичних випадків «високого» рівня забруднення, порівняно з періодами наявності водного стоку в руслі річки. В межах санітарно-токсикологічного критерію якість вод річки Великий Куяльник в найбільшій мірі погіршується за рахунок високих концентрацій натрію і калію, а також біхроматної окиснюваності.

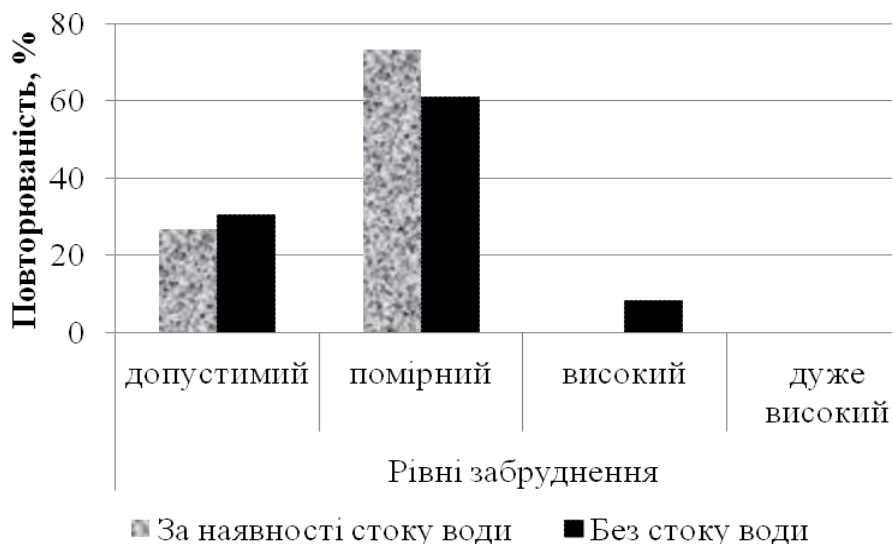


Рисунок 2.6 – Повторюваність різних рівнів забруднення вод р. Куяльник поблизу с. Северинівка у 1986-2012 рр. по санітарно-токсикологічному критерію за методом НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерисмана

Таким чином, при виконанні оцінки якості вод річки Великий Куяльник за господарсько-питними нормативами ГДК за методикою НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерисмана було встановлено, що за органолептичним, санітарним та санітарно-токсикологічним критеріями в періоди наявності і відсутності водного стоку в руслі переважно фіксувався «помірний» рівень забруднення. В усіх випадках при припиненні водного стоку якість вод має тенденцію до погіршення, передусім внаслідок високих концентрацій органічних речовин та деяких головних іонів. Причиною цього є погіршення самоочисної здатності річки, коли в умовах відсутності турбулентного перемішування в руслі вода посилено випаровується і застоюється, що супроводжується зростанням концентрацій головних іонів, мінералізації та органічних залишків у воді. Основною умовою поліпшення екологічного стану і якості води р.Великий Куяльник має бути забезпечення необхідного стоку води, який би сприяв самоочищенню її вод від виявлених забруднювальних речовин.

2.4 Екологічна оцінка якості вод

Оцінка якості води та екологічного стану річки Великий Куяльник біля с.Северинівка здійснювалась на основі даних спостережень за 1986-2012 рр. окремо для періодів відсутності та наявності стоку води в руслі річки за «Методикою екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» [46]. Ця методика дозволяє виконувати екологічну оцінку якості води – одержувати інформацію про воду як складову водної

екосистеми, життєве середовище гідробіонтів і важливу частину природного середовища людини. Крім того, методика передбачає проведення оцінки для середніх і найгірших значень гідрохімічних і гідробіологічних показників екологічного стану водних об'єктів, які зведені в межах трьох блоків. Залежно від кількості вхідних параметрів (повноти наявних показників) екологічна оцінка якості води буває повна (за всіма показниками) і орієнтовна (за не повним переліком показників, які передбачені в методиці).

За обсягом і переліком наявних даних по гідрохімічним показникам була здійснена екологічна оцінка якості води за всіма блоками. При цьому за наявними параметрами визначались значення блокових індексів якості води (сольового складу, еколого-санітарного, специфічних речовин). На підставі значень блокових індексів якості води, визначалася їх приналежність до певного класу і категорії якості води за допомогою систем екологічної класифікації даної методики. Розрахунок проводився за середніми та екстремальними (найгіршими) значеннями показників. За отриманими екологічними індексами (I_1 , I_2 , I_3) обчислювалось значення екологічного (інтегрального) індексу якості води I_e .

Результати розрахунків показали, що води р. Великий Куяльник за критерієм мінералізації є солонуватими β -мезогалинними. В період відсутності стоку за найгіршими показниками мінералізація в річці збільшується до категорії α -мезогалинної. За критеріями іонного складу води річки належать до хлоридного класу, групи магнію, тип III, за відсутності стоку за найгіршими значеннями – до хлоридного класу, групи натрію, II типу.

Аналіз даних спостережень за гідрохімічним режимом річки Великий Куяльник за багаторічний період 1986-2016 рр. показує, що в періоди наявності стоку води середньо багаторічна мінералізація води річки в створі с.Северинівка становить $1,61 \text{ г/дм}^3$, в періоди відсутності стоку в руслі мінералізація вод в багаторічному вимірі зростає на 65% і складає $2,47 \text{ г/дм}^3$. Оцінка розподілу виміряних значень мінералізації вод р.В.Куяльник по різних категоріям класифікації якості поверхневих вод суші та естуаріїв за критерієм мінералізації (один з етапів екологічної оцінки якості води) (табл. 2.9) показує, що вода річки за наявності та відсутності стоку в її руслі переважно є солонуватою β -мезогалинною (91,7 та 75,6% випадків відповідно). Можна побачити, що при припиненні стоку зростає повторюваність кількості випадків переходу вод р.В.Куяльник до вищих категорій (від прісної до солонуватої), що свідчить про структурну перебудову гідрохімічного режиму річки і погіршення її гідроекологічного стану в несприятливі періоди припинення стоку води в її руслі.

Проведена оцінка якості води за критеріями забруднення іонного складу показала, що за середніми показниками при відсутності стоку якісний стан річки Великий Куяльник погіршується на цілу категорію порівняно зі станом при наявності стоку.

Таблиця 2.9 – Показники середньорічної мінералізації і повторюваність випадків різних категорій мінералізації вод р. Великий Куяльник за 1986-2012 рр. в різних умовах (згідно класифікації якості поверхневих вод суші та естуаріїв за критерієм мінералізації)

Класифікація якості поверхневих вод суші та естуаріїв за критерієм мінералізації			Повторюваність, % випадків	
Клас якості вод	Категорія якості вод	Мінералізація, г/дм ³	За відсутності стоку води в руслі	За наявності стоку води в руслі
Прісні води	Гіпо-галинні	<0.5	-	4.9
	Оліго-галинні	0.51-1.0	5.6	19.5
Солонуваті води	β-мезо-галинні	1.01-5.0	91.7	75.6
	α-мезо-галинні	5.01-18.0	2.7	-
	Полі-галинні	18.01-30.0	-	-
Солоні води	Еу-галинні	30.01-40.0	-	-
	Ультра-галинні	>40.0	-	-

Так, при наявності стоку індекс сольового блоку I_1 становить 2 бали, при відсутності стоку – погіршується до 3 балів. По найгіршим значенням оцінки по окремим показникам майже співпадають – значення I_1 при наявності водного стоку складає 6,67 балів, при відсутності стоку – зростає до 7 балів.

Екологічна оцінка якості води р. Великий Куяльник в межах трофосапробіологічного (еколого-санітарного) блоку за середніми значеннями показників засвідчила, що відповідний індекс I_2 за наявності стоку складає 4 бали, за відсутності стоку зростає до 4,5 балів. За найгіршими показниками значення згаданого індексу складає 6,3 і 6,7 балів відповідно. Серед окремих гідрохімічних показників блоку лише по середнім значенням вміст розчиненого у воді кисню є допустимим і відповідає 1 категорії, решта показників і по середнім, і по найгіршим значенням відповідають найгіршим 5-7 категоріям якості води. Це вказує на нестабільність гідрохімічного режиму і екологічного стану річки Великий Куяльник. Якість води погіршується внаслідок високих концентрацій біогенних речовин, органічних сполук. В критичні періоди (маловоддя або при забрудненні) якість води та екологічний стан зазнають відчутного погіршення.

Екологічна оцінка якості води в межах блоку специфічних речовин токсичної дії показала, що відповідний блоковий індекс ІЗ за середніми значеннями показників при наявності водного стоку складає 2,56 балів, при відсутності стоку зменшується до 2,44 балів. В той же час по найгіршим значенням показників, зданий блоковий індекс зростає до 3,89 і 4,11 балів відповідно. Серед окремих гідрохімічних показників в межах блоку слід відзначити невисокі концентрації у водах р. Великий Куяльник нікелю, марганцю, фенолів. Водночас, якість води та екологічний стан річки погіршують високі значення концентрацій міді, хрому, заліза, нафтопродуктів, СПАР. Це вказує на те, що річка забруднюється господарсько-побутовими стічними водами з боку населених пунктів, та зазнає змивів з сільгоспугідь на водозборі залишків мінеральних добрив, засобів захисту рослин.

В підсумку за інтегральним екологічним індексом Іе за середніми значеннями показників вода річки Великий Куяльник біля с.Северинівка при наявності та відсутності стоку відповідає II класу (3 категорія), тобто за станом оцінюється як «добра», за чистотою «досить чиста», за трофністю – «мезоевтрофна», за сапробністю «β'-мезосапробна». При наявності стоку значення Іе складає 2,85 балів, при відсутності стоку – зростає до 3,31 бала. За найгіршими значеннями показників екологічний стан річки Великий Куяльник відповідає IV класу (6 категорія), тобто, за станом вода характеризується як «погана», за чистотою – «брудна», за трофністю – «політропна», за сапробністю – «α"-мезосапробні». Індекс Іе при наявності стоку набуває значення 5,62 бали, при відсутності стоку – зростає до 5,94 балів.

Рівень забруднення речовинами сольового блоку є найбільшим і незначно перевищує забрудненість по трофо-сапробіологічному блоку.

В цілому екологічний стан річки Великий Куяльник оцінюється як незадовільний, в періоди відсутності водного стоку якість води зазнає істотного погіршення.

3 ОЦІНКА ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНІ РЕСУРСИ Р.ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК ЗА ДАНИМИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТА СЦЕНАРІЯМИ ЗМІН КЛІМАТУ

3.1 Основні тенденції змін кліматичних чинників на початку ХХІ сторіччя (за даними спостережень)

Північно-Західне Причорномор'я, у межах якого знаходиться значна частина водозбору р.Великий Куяльник, розташоване у степовій природній зоні України та поділяється на підзони північного й південного степу. Верхів'я водозбору, де формується основна частина стоку, знаходиться у північному степу. Метеорологічна станція, яка може характеризувати кліматичні умови верхів'я водозбору є ст.Любашівка, а для характеристики кліматичних умов нижньої течії обрана метеостанція Роздільна. Базовим періодом, за метеорологічними даними якого були виконані порівняння, є період 1951-1988рр. За даними В.В. Гребіня 1989р. є переламним у ході середніх річних температур повітря на території України [47].

Установлено, що середня річна температура повітря (табл. 3.1) за період 1989-2012 рр. на збільшилась від 0,8°C (Роздільна) до 1,1°C (Любашівка) у порівнянні із попереднім періодом спостережень (1951-1988 рр.).

Таблиця 3.1 – Зміна температур повітря у абсолютних величинах ($\Delta T, ^\circ\text{C}$) при порівнянні періодів до та після 1989 р.

Метеостанція	За рік	За теплий період	За холодний період
Роздільна	0,8	0,7	1,0
Любашівка	1,1	0,7	1,2

Виявлено, що за теплий період (з квітня по жовтень) за період 1989-2012 рр. на середня температура повітря збільшилась на 0,7°C на обох станціях, а за холодний період (листопад - березень) зросла на 1,0°C (Роздільна) і на 1,2°C (Любашівка).

Характерно, що у 1951-1988 рр. середня температура повітря холодного періоду знаходилася у межах від'ємних значень, які змінювалися від -0,2 °C до -1,4 °C, а з 1989р. перейшла у область додатних значень. За даними метеостанції Роздільна в зимовий сезон (ХІІ – ІІ) середні місячні температури січня та лютого зросли на 1,6-1,9 °C (в межах від'ємних значень), однак знизилася температура повітря за грудень на 0,6 °C. У весняний сезон (ІІІ – V) основне підвищення температур повітря припадало на березень (1,8 °C). В літні місяці (VІІ – VІІІ) середньомісячна температура повітря зросла на 1,2-1,8 °C. Порівняльний аналіз температур повітря за

даними спостережень на метеостанції Любашівка за періоди 1951-1988 та 1989-2011 рр. показав, що з 1989 р. середня місячна температура повітря осені підвищилася в середньому на $0,8^{\circ}\text{C}$, зими – на $1,5^{\circ}\text{C}$ [48].

На хронологічних графіках хронологічного ходу температур середніх за рік (рис. 3.1), теплий (рис. 3.2) та холодний (рис. 3.3) періоди установлена тенденція до зростання, яка посилюється з 1989р. У холодний період спостерігається перехід лінії регресії з області від'ємних в область додатних значень. виявлені тренди температур за рік, теплий та холодний періоди характеризуються статистично значущими коефіцієнтами кореляції.

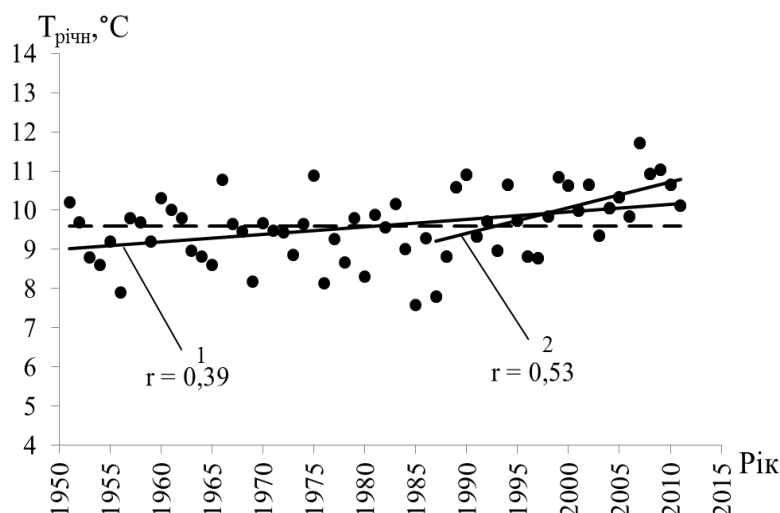


Рисунок 3.1 – Хронологічний хід річної температури повітря за даними метеорологічної станції Роздільна (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда, 1—лінія тренда за 1951-2011 рр., 2—лінія тренда за 1989-2011 рр.)

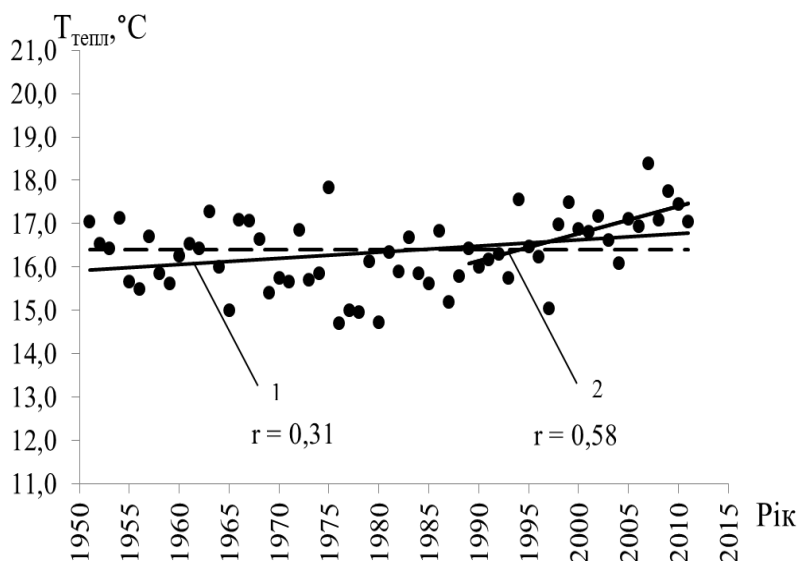


Рисунок 3.2 – Хронологічний хід температури повітря теплового періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Роздільна (---- середнє багаторічне значення, 1 – лінія тренда за 1951-2011 рр., 2 – лінія тренда за 1989-2011 рр.)

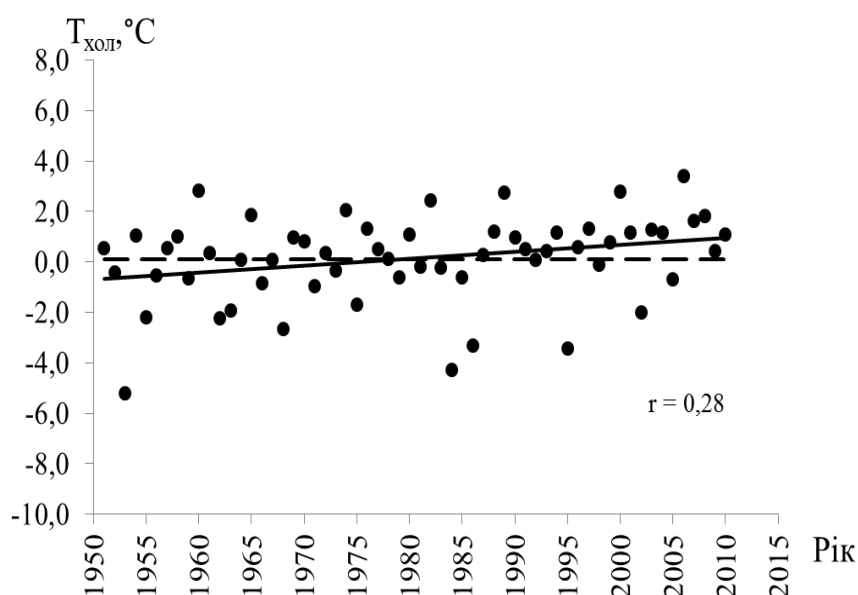
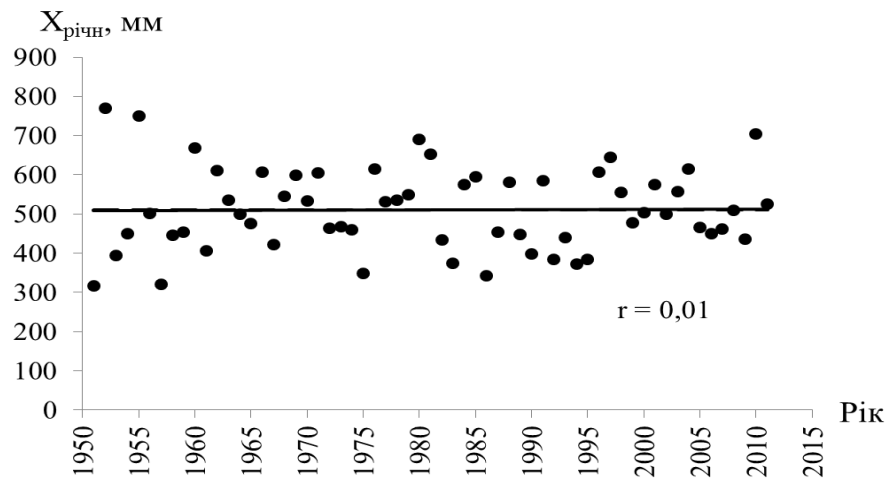


Рисунок 3.3 – Хронологічний хід температури повітря холодного періоду (XI- III) за даними метеорологічної станції Роздільна, 1951-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

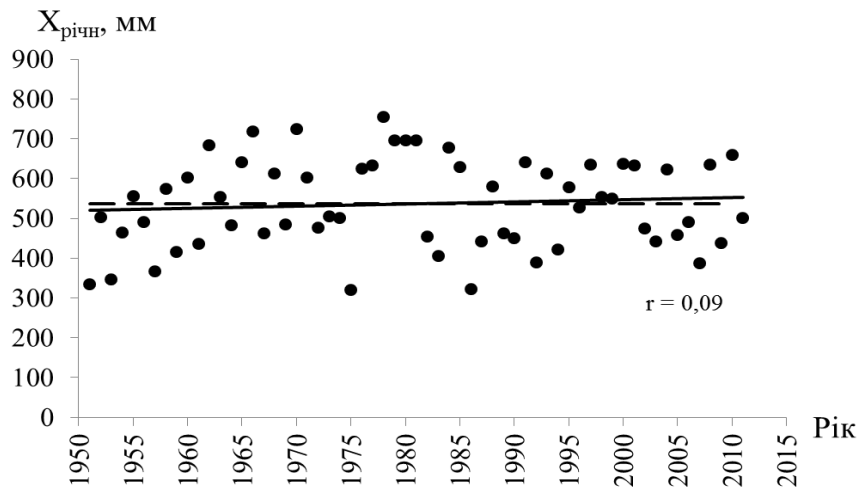
Для осереднених за багаторічний період сум річних опадів (табл. 3.2) за період 1989-2012 рр. по розглянутих метеостанціях не виявлено статистично значущих трендів (рис.3.4-рис.3.6). За кількісними показниками у холодний період переважає тенденція до статистично незначущого зменшення сум опадів, у теплий – до зростання (табл.3.2).

Таблиця 3.2 – Зміна сум опадів у абсолютних величинах (ΔX , мм) за період 1989-2012 рр. у порівнянні із періодом 1951-1988 рр.

Метеостанція	За рік	За теплий період	За холодний період
Роздільна	-11	13	-19
Любашівка	-8	20	-24



а)



б)

Рисунок 3.4 – Хронологічний хід річних сум атмосферних опадів за даними метеорологічної станції Роздільна (а) і Любашівка (б), 1951-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда).

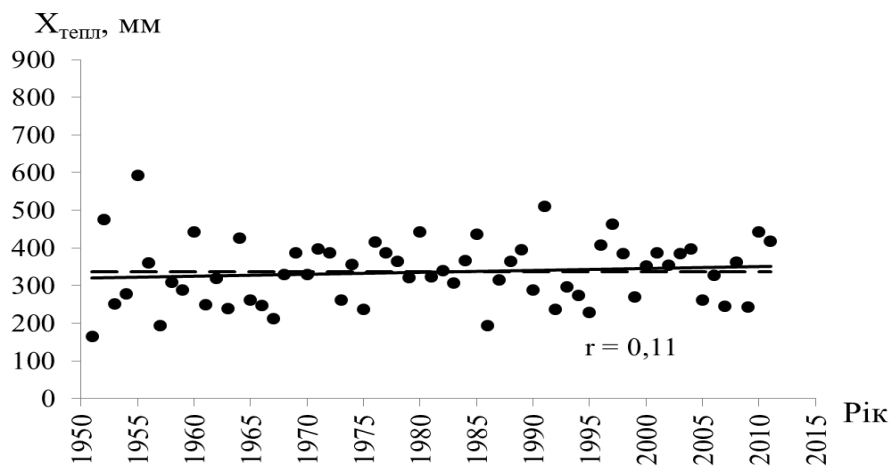


Рисунок 3.5 – Хронологічний хід сум опадів теплого періоду (IV-X) за даними метеорологічної станції Роздільна, 1951-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

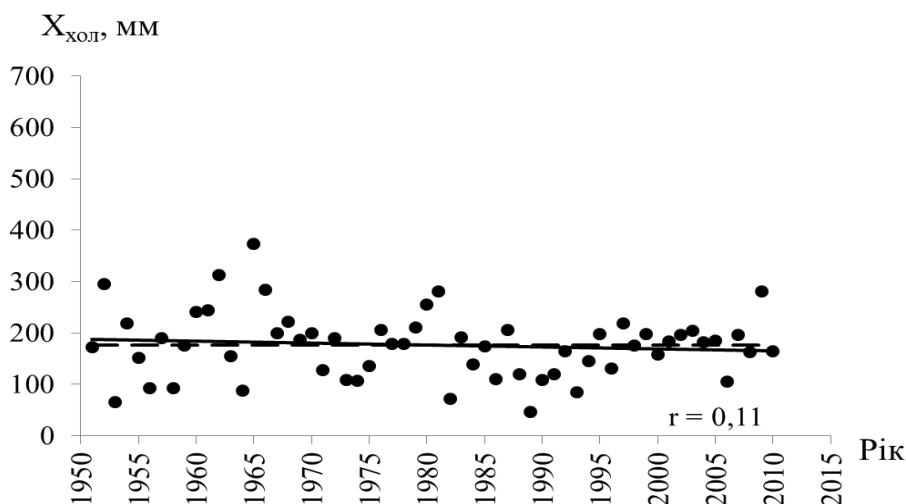


Рисунок 3.6 – Хронологічний хід сум опадів холодного періоду (XI- III) за даними метеорологічної станції Роздільна, 1951-2011 рр. (---- середнє багаторічне значення, — лінія тренда)

Установлені тенденції змін кліматичних чинників на водозборі р.Великий Куяльник обумовлюють несприятливі умови формування стоку на початку XXI сторіччя. Перехід у область додатних значень температур повітря холодного сезону супроводжується відлигами та незначною глибиною промерзання ґрунтів, що призводить до зростання втрат поверхневого стоку на інфільтрацію у підстильну поверхню, зменшення запасів води у сніговому покриві на початок весняного водопілля та відповідного зменшення максимальних витрат і об'ємів весняного водопілля. Збільшення температур повітря теплого періоду обумовлює зростання випаровування з поверхні суші і особливо з водної поверхні водойм, серед яких більшість має штучне походження. Ці втрати стоку не компенсуються зростанням зволоження території через випадання опадів. Навпаки, кількість опадів залишається практично незмінною. Інфільтрація опадів у непромерзлі ґрунти взимку не забезпечує зростання запасів підземних вод водоносних горизонтів і збільшення меженного стоку річки через глибоке залягання водоносних горизонтів. Волога, яка утримується у верхніх шарах ґрунтів, поступово витрачається на випаровування з поверхні суші. Всі ці обставини приводять до зменшення стоку весняного водопілля та збільшення періодів пересихання річки Великий Куяльник та її притоків.

3.2 Основні тенденції змін кліматичних чинників та стоку у XXI сторіччі (за даними кліматичних сценаріїв)

У сучасних математичних моделях загальної циркуляції атмосфери і океану, які пов'язуються із типом розвитку суспільства, надається просторовий розподіл у вузлах регулярної сітки, що з роками стає більш детальною. За сценаріями для кожного вузла надаються дані про середні

місячні опади, температури повітря по місяцях та вологість ґрунту. Така інформація дозволяє виконувати розрахунки стоку по місяцях та сезонах з використанням рівняння водно-теплогового балансу (1.13), яке для умов змін клімату набуде вигляду

$$Y_K' = X' + (w_1 - w_2)' - E_m' \left[1 + \left(\frac{X' + (w_1 - w_2)'}{E_m'} \right)^{-n} \right]^{-\frac{1}{n}}, \quad (3.1)$$

де Y_K' - величина кліматичного стоку за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;

E_m' - величина максимально можливого випаровування за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;

X' - сума річних опадів за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм;

n - параметр, який інтегрує фізико-географічні умови формування стоку;

$(w_1 - w_2)'$ - зміна запасів води у ґрунті за розрахунковий період в умовах змін клімату, мм. Для багаторічного періоду $(w_1 - w_2)' = 0$.

Для дослідження зміни кліматичних чинників формування стоку та водних ресурсів басейну Куяльницького лиману у майбутньому були розглянуті сценарії зміни клімату A1B та A2, B1, RCP4.5, RCP6.0 та RCP8.5.

Кліматичні сценарії A1B та A2, B1 відносяться до “сценаріїв викидів” [49]. У цих сценаріях відображені різні варіанти розвитку подій. Вони враховують демографічні, економічні та науково-технічні чинники, а також зумовлені цими чинниками викиди парникових газів.

У 2013 р. Міжнародна група експертів зі змін клімату опублікувала П'яту «Спеціальну доповідь по сценаріях викидів» (СДСВ) [50], в якій були представлені нові кліматичні сценарії – так звані «характерні траєкторії змін концентрації» (Representative Concentration Pathways – RCP) парникових газів в атмосфері. Вони задають зміни середнього вмісту парникових газів в атмосфері Землі в часі в залежності від передбачуваної динаміки викидів парникових газів та інших факторів. Чотири описані в доповіді траєкторії RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 та RCP8.5 базуються на розгляді різниці додатного та від'ємного випромінювання в системі Земля-атмосфера до кінця XXI сторіччя у порівнянні із допромисловим періодом, які становлять відповідно, 2.6, 4.5, 6.0, 8.5 Вт/м² для кожного сценарію [51]. Для реалізації RCP2.6 глобальні викиди парникових газів повинні почати зменшуватись після 2010-2020 рр. Сценарій RCP4.5 припускає зниження викидів з 2040 р., а RCP6.0 – з 2070 р. Згідно із сценарієм RCP8.5 викиди повинні зростати протягом усього сторіччя.

При оцінках водних ресурсів водозбору Куяльницького лиману виконане порівняння фактичних та сценарних (за ретроспективний період) даних по середніх місячних опадах та температурах повітря. Розглядалася

дані моделі REMO з гілки сценаріїв A1B та моделі RCA3 із гілки сценаріїв A2 та фактичні дані на метеорологічних станціях Одеса, Роздільна, Затишся, Любашівка за 1951-2012 рр. й 1989-2012 рр. [52]. Порівняння здійснювалося на базі застосування спеціальних критеріїв відповідності [12]. Аналіз отриманих критеріїв показав, що сценарій A1B (модель REMO) у більшій мірі відповідає фактичним даним ніж сценарій A2 (модель RCA3). Отримано, що точність оцінок \bar{Y}_K за сценарієм A1B вища ніж для сценарію A2. Оскільки матеріали сценаріїв використовувались у подальшому для оцінки водних ресурсів за моделлю «клімат-стік», було виконано порівняння середніх багаторічних величин кліматичного річного стоку, визначених за цією моделлю по фактичних та сценарних метеорологічних даних. Отримано, що точність оцінок \bar{Y}_K за сценарієм A1B вища ніж для сценарію A2. Крім того, встановлено, що обчислення стоку за сценарієм A2 призводять до появи систематичної похибки: норма стоку визначена за цим сценарієм A2 перевищує фактичні значення на усіх метеостанціях. Таким чином, для оцінок змін водних ресурсів річок басейну Куяльницького лиману у подальшому був обраний сценарій A1B.

У розглянутих сценаріях горизонтальний розмір координатної сітки становить 255*170 вузлів. Кроком розрахунків є 15 хвилин або 25 км.

Визначення середніх багаторічних величин кліматичного річного стоку за моделлю “клімат-стік” відбувалося для різних розрахункових періодів XXI сторіччя і для різних територій: України в цілому [53], Північно-Західного Причорномор'я [54], водозбору Куяльницького лиману [55]. Встановлено, що згідно із кожним з розглянутих сценаріїв (A1B, A2, RCP8.5 та RCP4.5) південну та південно-західну частину України до середини XXI сторіччя очікує зменшення середньої багаторічної величини річного кліматичного стоку до 40-60% [56, 57].

Більш детально були досліджені зміни клімату та стоку за обраними сценаріями A1B та A2 при розрахунках кліматичного стоку за послідовними часовими інтервалами для різних метеостанцій Північно-Західного Причорномор'я: до 1989 р., двадцятирічними періодами 2011-2030 рр. та 2031-2050 рр. Внаслідок зростання теплоенергетичних ресурсів клімату на фоні незначного зменшення ресурсів зволоження у вигляді опадів на території Північно-Західного Причорномор'я водні ресурси будуть зменшуватись [43]. На відміну від сценаріїв A1B та A2, згідно із сценаріями RCP4.5 та RCP8.5 зростання температур повітря, а разом із ними, максимально можливого випаровування з поверхні суші буде відбуватися дуже повільно. Проте опади будуть суттєво зменшуватися. В результаті зменшення водних ресурсів досягне до 2050р. 37.4% за сценарієм RCP4.5 та 48.6% за сценарієм RCP4.8 [56].

При розрахунках норм річного кліматичного стоку на водозборі Куяльницького лиману та прилеглих до нього територій за сценаріями глобального потепління було виділено 12 точок-вузлів координатної сітки з кроком 15 хвилин або 25 км (рис. 3.7).

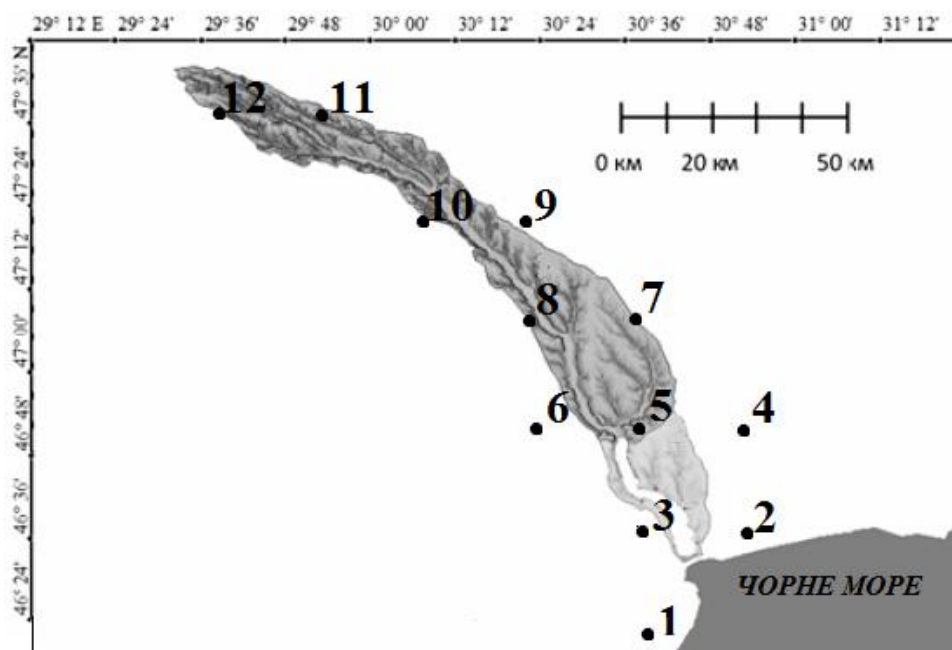


Рисунок 3.7 – Розташування вузлових точок для розрахунків норм кліматичного стоку на території водозбору Куяльницького лиману

Для кожної з точок виконувалися розрахунки середніх багаторічних значень сум річних опадів, максимально можливого випаровування та кліматичного стоку (табл. 3.3), які відповідають кліматичним умовам до початку глобального потепління (до 1989 р.) за даними сценарію A1B як такого, що найбільш задовільно описує розподіл температур повітря та опадів на досліджуваній території.

Таблиця 3.3 – Середні багаторічні характеристики кліматичних чинників та кліматичного стоку у різних точках басейну Куяльницького лиману до початку глобального потепління (до 1989 р.)

№ точки	Координати		\bar{X} , мм	\bar{E}_m , мм	\bar{Y}_k , мм
	Град. сх.д.	Град. пн.ш.			
1	30,625	46,375	455	985	13
2	30,875	46,625	455	978	14
3	30,625	46,625	462	978	15
4	30,875	46,875	470	973	18
5	30,625	46,875	475	970	18
6	30,375	46,875	478	965	18

Продовження таблиці 3.3

№ точки	Координати		\bar{X} , мм	\bar{E}_m , мм	\bar{Y}_k , мм
	Град. сх.д.	Град. пн.ш.			
7	30,625	47,125	478	960	22
8	30,375	47,125	480	958	22
9	30,375	47,375	490	945	25
10	30,125	47,375	495	940	25
11	29,875	47,625	505	927	29
12	29,625	47,625	520	925	30
Сер.			480	959	21

Розрахунки показали, що за сценарієм A1B у ХХІ сторіччі в середньому на водозборі Куяльницького лиману опади змінюватись майже не будуть (табл. 3.4), проте передбачається поступове, рівномірне збільшення максимально можливого випаровування (табл. 3.5), що призведе до зменшення водних ресурсів майже на 50% до кінця ХХІ сторіччя (табл. 3.6).

Таблиця 3.4 – Зміни ресурсів вологи у басейні Куяльницького лиману за сценаріями зміни клімату A1B в різні часові інтервали

№ точ- ки	Середні багаторічні значення річних сум опадів, мм								
	до 1989 року	1990- 2020 рр.	δ , %	2021- 2050 рр.	δ , %	2051- 2080 рр.	δ , %	2051- 2100 рр.	δ , %
1	455	445	-2	421	-7	460	1	449	-1
2	455	439	-3	427	-6	465	2	455	0
3	462	449	-3	433	-6	470	2	460	0
4	470	444	-6	432	-8	473	1	465	-1
5	475	449	-6	435	-8	473	0	465	-2
6	478	458	-4	446	-7	480	0	471	-1
7	478	465	-3	457	-4	497	4	489	2
8	480	466	-3	467	-3	498	4	489	2
9	490	499	2	508	4	536	9	527	8
10	495	492	-1	499	1	521	5	513	4
11	505	522	3	510	1	528	4	520	3
12	520	513	-1	498	-4	510	-2	502	-3
Сер.	480	470	-2	461	-4	493	3	484	1

Таблиця 3.5 – Зміни теплоенергетичних ресурсів (максимально можливого випаровування) у басейні Куяльницького лиману за сценаріями зміни клімату A1B в різні часові інтервали

№ точ- ки	Середні багаторічні значення максимально можливого випаровування, мм								
	до 1989 року	1990- 2020 рр.	δ, %	2021- 2050 рр.	δ, %	2051- 2080 рр.	δ, %	2051- 2100 рр.	δ, %
1	985	1046	6	1100	12	1183	20	1211	23
2	978	1026	5	1076	10	1158	18	1187	21
3	978	1047	7	1097	12	1179	21	1209	24
4	973	1024	5	1070	10	1151	18	1181	21
5	970	1034	7	1080	11	1162	20	1192	23
6	965	1043	8	1089	13	1170	21	1201	24
7	960	1025	7	1067	11	1148	20	1179	23
8	958	1030	8	1071	12	1152	20	1184	24
9	945	1024	8	1062	12	1146	21	1177	25
10	940	1018	8	1058	13	1142	21	1173	25
11	927	993	7	1035	12	1118	21	1149	24
12	925	981	6	1023	11	1106	20	1136	23
Сер.	959	1024	7	1069	12	1151	20	1182	23

Таблиця 3.6 – Зміни водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману за сценаріями зміни клімату A1B в різні часові інтервали

№ точ- ки	Середні багаторічні значення кліматичного стоку, мм								
	до 1989 року	1990- 2020 рр.	δ, %	2021- 2050 рр.	δ, %	2051- 2080 рр.	δ, %	2051- 2100 рр.	δ, %
1	13	10,9	-16	7,6	-41	8,7	-33	7,4	-43
2	14	10,9	-22	8,5	-39	9,6	-31	8,3	-41
3	15	11,2	-25	8,6	-43	9,5	-37	8,2	-46
4	18	11,5	-36	9,1	-50	10,5	-42	9,1	-50
5	18	11,6	-36	9,1	-49	10,2	-43	8,8	-51
6	18	12,3	-32	9,7	-46	10,6	-41	9,1	-49
7	22	13,6	-38	11,3	-49	12,8	-42	11,1	-50
8	22	13,5	-38	12,2	-44	12,7	-42	11,0	-50
9	25	17,9	-28	17,2	-31	17,2	-31	14,9	-40
10	25	17,3	-31	16,3	-35	15,6	-38	13,6	-46
11	29	23,0	-21	18,8	-35	17,3	-40	15,1	-48
12	30	22,4	-25	17,8	-41	15,7	-48	13,7	-54
Сер.	21	15	-29	12	-42	13	-39	11	-47

Розподіл ізоліній змін річного кліматичного стоку у просторі (рис. 3.8) показує, що зменшення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману за період 2021-2050 рр. буде посилюватися від витoku р.Великий Куяльник до гирла. Розрахунки середніх багаторічних величин річного кліматичного та річного природного стоку, виконані по окремих водозборах за період 2021-2050 рр., дозволили зробити висновок, що сумарний приплив прісних вод від водотоків до Куяльницького лиману у непорушених водогосподарською діяльністю умовах становитиме 13,5 млн.м³, тобто зменшиться у порівнянні із даними до 1989р. на 39,2% [43]. Для річки Великий Куяльник середня багаторічна величина річного стоку за період 2021-2050 рр. зменшиться з 20,4 млн.м³ (до 1989р.) до 12,7млн.м³ (2021-2050 рр.). Якщо наближення річного природного стоку до нуля спостерігалось у минулому сторіччі (до 1989р.) у дуже маловодні роки, то у розглядуваний період навіть природний (непорушений водогосподарською діяльністю) стік буде спостерігатися і у середні за водністю роки (табл.3.7, 3.8).

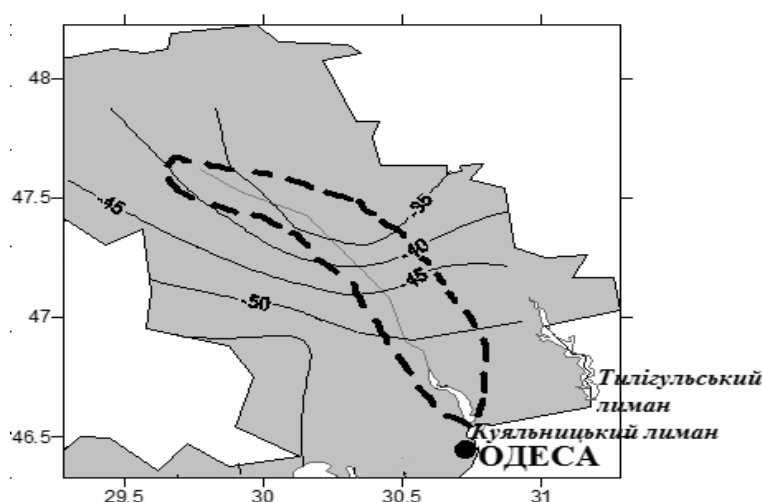


Рисунок 3.8 – Просторовий розподіл відносних відхилень (%) норм річного кліматичного стоку за період 2021-2050 рр. у порівнянні із фактичними даними до 1989 р. на території водозбору Куяльницького лиману за сценарієм А1В, (- - - границя водозбору Куяльницького лиману)

Таблиця 3.7 – Статистичні параметри природного річного стоку р.Великий Куяльник в кліматичних умовах сценарію А1В для періоду 2021-2050 рр.

Річки та балки	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , до 1989 р. мм	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}'_K , 2021-2050рр. мм	Пере-хідний кое-фіцієнт, $K_{ПЕР,2}$	Статистичні параметри природного річного стоку у період 2021-2050рр.			
				$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
р.В.Куяльник	23	13	0,52	6,81	12,7	1,90	3,24

Таблиця 3.8 – Статистичні характеристики природного річного стоку (об'єми) у роки різної водності для періоду 2021-2050 рр.

Річка – пост	Природний річний стік W_p заданої забезпеченості P , млн. м ³								
	$W_{0,01\%}$	$W_{0,1\%}$	$W_{1\%}$	$W_{5\%}$	$W_{25\%}$	$W_{50\%}$	$W_{75\%}$	$W_{95\%}$	$W_{99\%}$
В. Куяльник	269	191	112	59,9	16,1	2,81	0	0	0

Оскільки тридцятирічні розрахункові періоди 1990-2020, 1921-2050, 2051-2080рр. не відображають особливостей коливань метеорологічних характеристик Північно-Західного Причорномор'я, були виділені кліматичні розрахункові періоди, які отримані в результаті аналізу різницевої інтегральних кривих середніх річних температур повітря та річних сум опадів для метеостанцій Північно-Західного Причорномор'я [58].

Виділені розрахункові кліматичні періоди мають наступну тривалість: (1990-2030рр., 2031-2070рр. та 2071-2100рр.).

Оцінка кліматичних чинників формування стоку р.В.Куяльник (табл.3.9) у обрані розрахункові кліматичні періоди показала, що їх середня багаторічна величина буде поступово зменшуватись на протязі ХХІ сторіччя (лише на 2,5%). Середня багаторічна величина максимально можливого випаровування, навпаки, суттєво зростатиме (на 18%). Середня багаторічна величина кліматичного річного стоку зменшиться з 19,6 мм до 11,1 мм, а природного - з 10,2 мм (1990-2030 рр.) до 5,8 мм (2071-2098 рр.). Відповідно зростатиме мінливість та асиметрія статистичного розподілу.

Таблиця 3.9 – Статистичні параметри річного природного стоку р.В.Куяльник у розрахункові кліматичні періоди (за сценарієм А1В)

Період	Норма річних опадів \bar{X} , мм	Норма максимально можл. випаровування, \bar{E}_m , мм	Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , мм	Площа водозбору, F , км ²	Перехідний коефіцієнт, $K_{ПЕР}$	Параметри природного річного стоку			
						$\bar{Y}_{ПР}$, мм	$\bar{W}_{ПР}$, м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
1990-2030 рр.	508	1015	19,6	1860	0,52	10,2	19,0	1,48	2,52
2031-2070 рр.	509	1101	15,7	1860	0,52	8,2	15,2	1,70	2,89
2071-2098 рр.	495	1200	11,1	1860	0,52	5,8	10,7	2,11	3,58

4 ГІДРОТЕХНІЧНІ СПОРУДИ ТА ШТУЧНІ ВОДОЙМИ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК. ОЦІНКА ЇЇ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПО ДОВЖИНІ РУСЛА

4.1 Штучні водойми

Повне обстеження ставків та водосховищ у басейні річки було виконано в 1961–1962 рр. експедицією ОГМІ під керівництвом О.І. Молдованова. Кількість штучних водойм на той час склала 145 шт., з яких близько 40 % було із зруйнованими дамбами або у пересохлому стані [59]. Практично для всіх ставків та водосховищ були визначені основні характеристики та розміри замулення. Детальні дослідження штучних водойм в басейні р. В. Куяльник тривалий час не виконувалися, а ті, що здійснювалися, мали або рекогносцирувальний характер, або охоплювали лише окремі частини басейну, як, наприклад, дослідження проведені ОДУ ім. І.І. Мечнікова у 1977–1980 рр. (на р. Кошкова/Кошківка) та УкрНДГМІ – в 1982–1987 рр. [60].

За результатами досліджень 1961–1962 рр., сумарний об'єм ставків і водосховищ складав 13,9 млн. м³. Під час особливо високих водопіль і паводків вода переливалася через гребені гребель (більшість з яких є «глухими») або руйнувала їх та потрапляла в лиман, як наприклад, в період водопілля 1968 р. За даними інституту «УкрПівденДПроВодГосп» [61], у 1992 р. кількість діючих ставків та водосховищ знизилась і склала 36 шт., з сумарним об'ємом – 6,42 млн. м³.

У 2010 – 2012рр., по даним досліджень ОДЕКУ, кількість водойм дорівнювала 135 шт. з загальним об'ємом (при максимальному наповненні) близько 15,6 млн. м³ і площею водної поверхні – 6,26 км² [62].

За даними Облводресурсів в басейні річки Великий Куяльник станом на 2012 рік знаходилося 59 штучних водойм (додаток В, табл. В.1), у тому числі:

- на території Ананіївського району – 2 ставки (загальна площа 22,3 га, об'єм повний – 0,083млн.м³);
- на території Березівського району – 14 ставків (загальна площа 63,3 га, об'єм повний – 0,532 млн.м³);
- на території Іванівського району – 7 ставків (загальна площа 84,29 га, об'єм повний – 4,572 млн.м³);
- на території Подільського району – 24 ставки (загальна площа 65,59 га, об'єм повний – 1,196 млн.м³);
- на території Ширяївського району – 12 ставків (загальна площа 162,4 га, об'єм повний – 1.373 млн.м³).

За розподілом штучних водойм (по даним Облводресурсів) по гідрографічній мережі (рис.4.1) встановлено, що на головній річці (р. Великий Куяльник) розміщено 7 ставків, на р. Кошківка (Кошкова) – 20 (з них 19 – на р. Кошківка, 1– в б. Райкова), в б. Силівка (Яр Дубовий) – 3 штучних об'єкти (права притока б. Таргар – 2ставки), на р. Суха Журівка – 5 ставків, один з яких розташований на її лівій притоці; в балках Пlosка та Розалівська – 7 та 4 ставків відповідно. Ще 13 ставків знаходяться на балках без назв. І лише для шести ставків були складені паспорти: Новоолександрівський ставок (ДРПВІ "Укрпівдендипроводгосп", 2008 р., термін дії до 2013 р.), Северинівське водосховище (ДРПВІ "Укрпівдендипроводгосп", 2004 р., термін дії до 2009 р.), Силівське водосховище (РНЦ "Фобіус", 2006 р., термін дії до 2011 р.), Григор'ївський ставок №1 (ДРПВІ "Укрпівдендипроводгосп", 2005 р., термін дії до 2010 р.), Григор'ївський ставок №2 (ДРПВІ "Укрпівдендипроводгосп", 2005 р., термін дії до 2010 р.), Ширяївський ставок №1 (РНЦ "Фобіус", 2011 р., термін дії до 2016 р.).

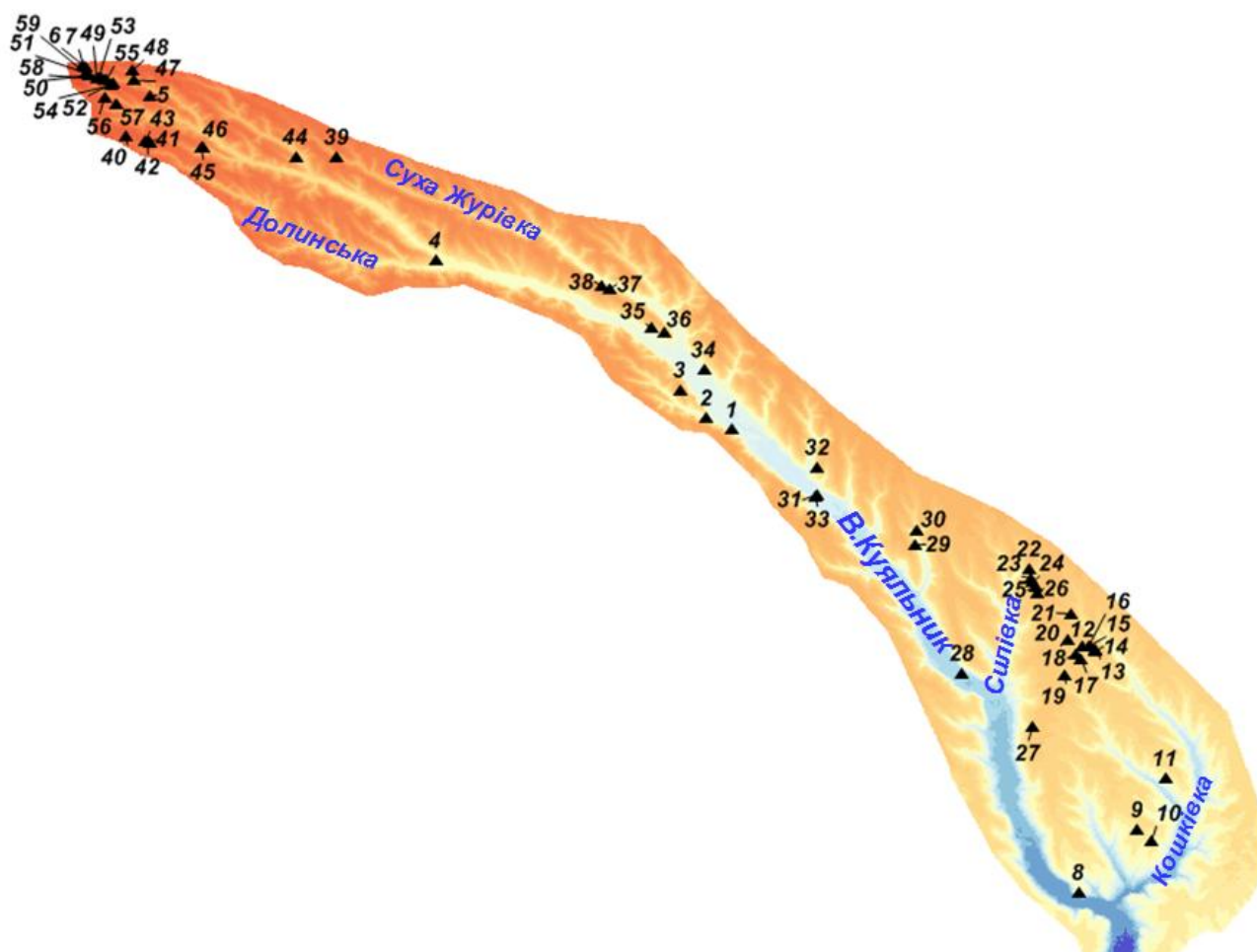


Рисунок 4.1 – Карта розташування штучних водних об'єктів в басейні р.Великий Куяльник за даними Обласного управління водних ресурсів (станом на 2012 рік)

Найбільша щільність цих водойм розмішена у верхній частині Куяльницького лиману, на ділянці річки р. В.Куяльник (між впадінням водотоків: б.Силівка, р.Суха Журівка).

Водойми, які установлені за супутниковими знімками, розміщуються переважно у верхній частині басейну річки Великий Куяльник та на ділянці між впадінням б. Силівка (Яр дубовий) та р. Суха Журівка (рис. 4.2). Їх загальна кількість становить 32. Із урахуванням даних Облводресурсів та супутникових знімків виявлено, що станом на 2016р. на головній річці (р. Великий Куяльник) розміщено 13 ставків, на р. Кошківка (Кошкова) з притоками – 6, в б. Силівка (Яр Дубовий) – 9 штучних об'єктів, на р. Суха Журівка – 9 ставків; в балці Розалівська – 4 ставки. На балках без назв існує ще 21.

За складеним переліком штучних водойм побудовано діаграму розташування ставків (рис.4.3).

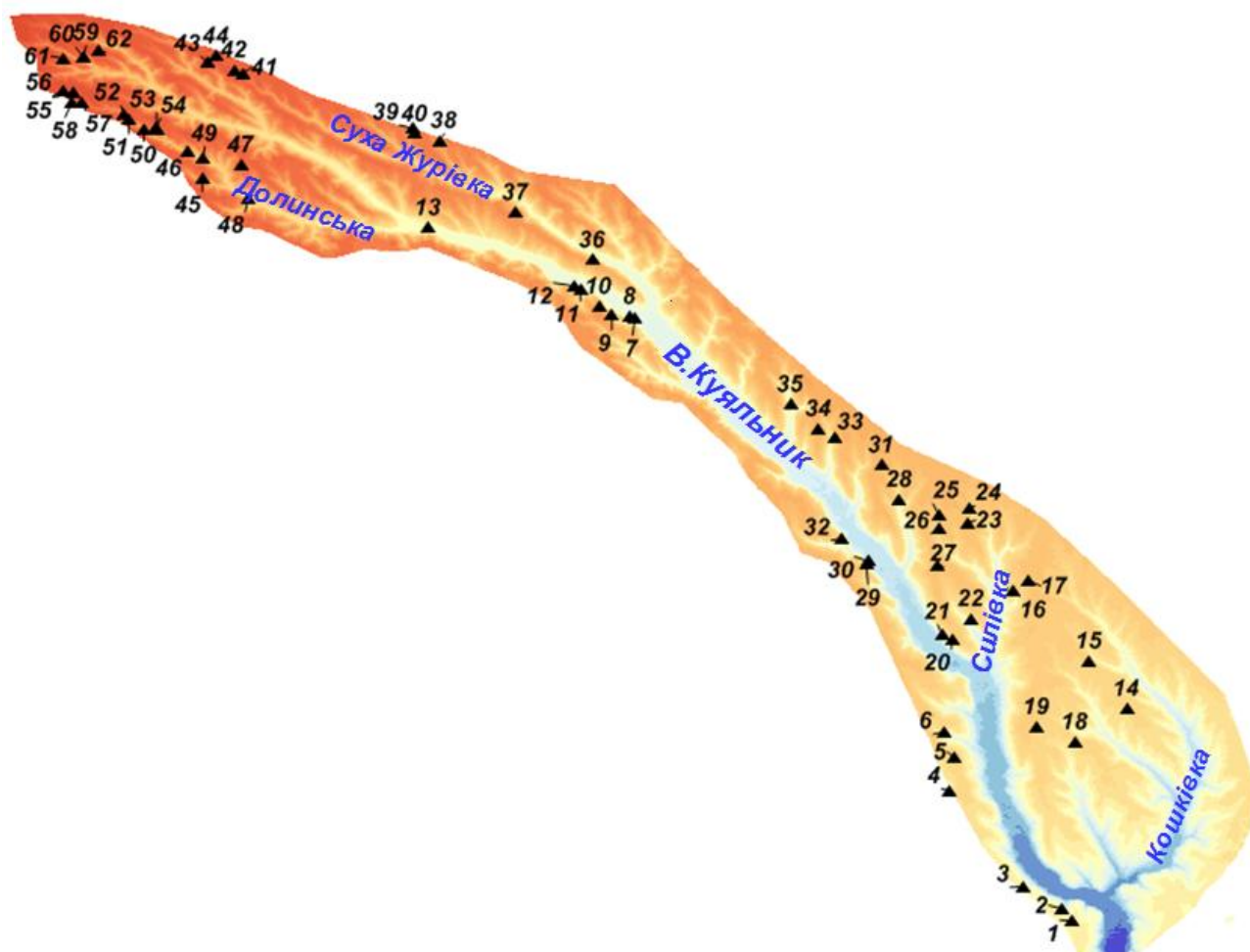


Рисунок 4.2 – Карта розташування штучних водних об'єктів в басейні р.Великий Куяльник, які не увійшли до списку Обласного управління водних ресурсів (станом на 2016 рік)

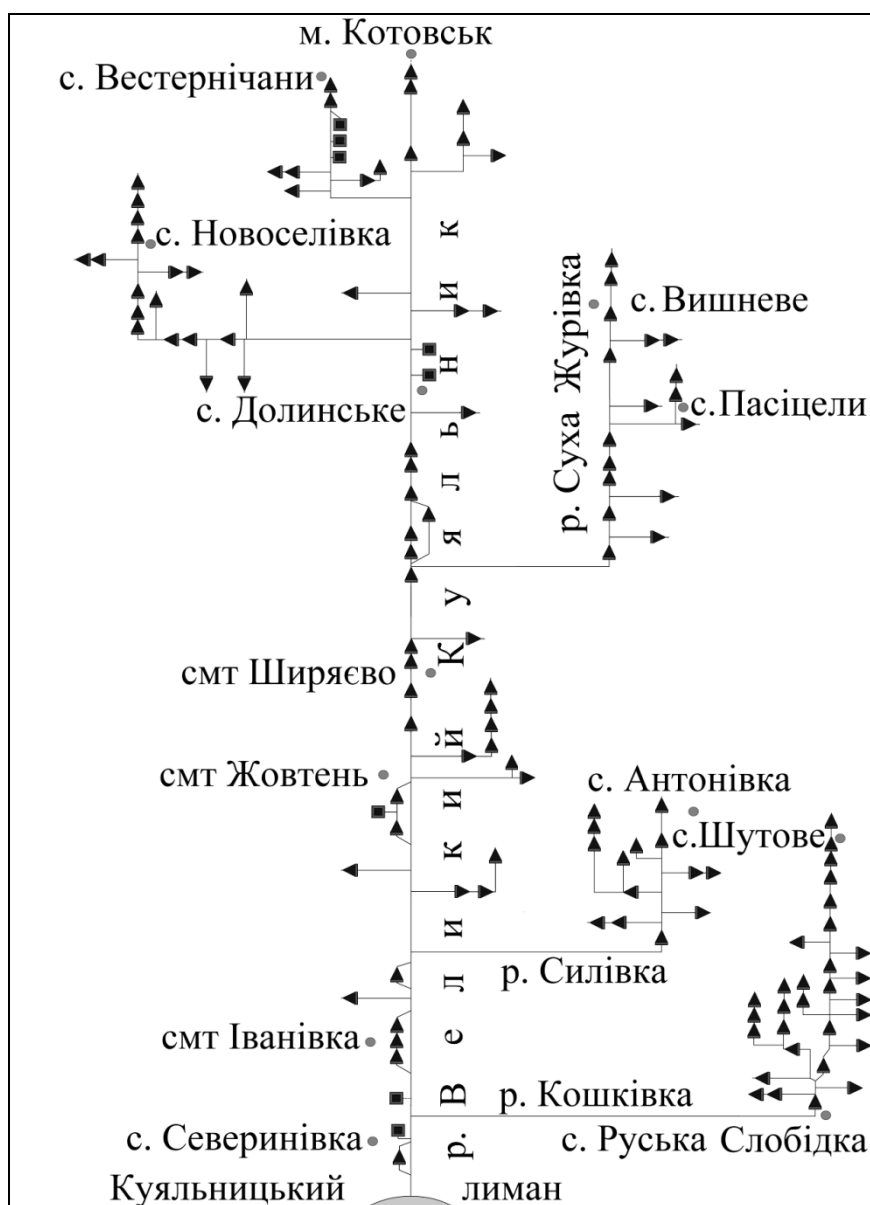


Рисунок 4.3 – Схема розташування штучних водойм і гідротехнічних споруд в басейні р. В. Куяльник

Для установлення площ водної поверхні та об'ємів тих водойм, що були виявлені за супутниковими знімками, використовувались дані Облводресурсів (додаток В, табл. В.2). Розміри площ водної поверхні та об'ємів таких водойм установлювалися на основі осереднення даних по вже дослідженим водоймам, спираючись на постулати інваріантності у морфології водойм посушливої зони [63]. Розглядаючи ставки та водосховища Причорноморської низовини як генетично однорідну групу водойм, А.І. Молдованов довів можливість визначення морфометричних характеристик не для однієї, а для групи водойм, розташованих у межах водозбору [64].

Для визначення розмірів додатково виявлених штучних водних об'єктів на водозборі р. Великий Куяльник було виділено чотири зони:

р. Кошківка, б. Силівка, верхня частина басейну р. Великий Куяльник та р. В.Куяльник (на ділянці між впадінням б.Силівка та р.Суха Журівка) - (рис. 4.4). Для кожної зони по даним Облводресурсів визначалися осереднені значення

$$W_{сер i} = W_{сум} / \kappa \quad (4.1)$$

$$F_{сер i} = F_{сум} / \kappa, \quad (4.2)$$

де $W_{сум}$, $F_{сум}$ – суми об'ємів та площ на окремих ділянках за даними Облводресурсів;

κ – кількість штучних водойм на цій ділянці.

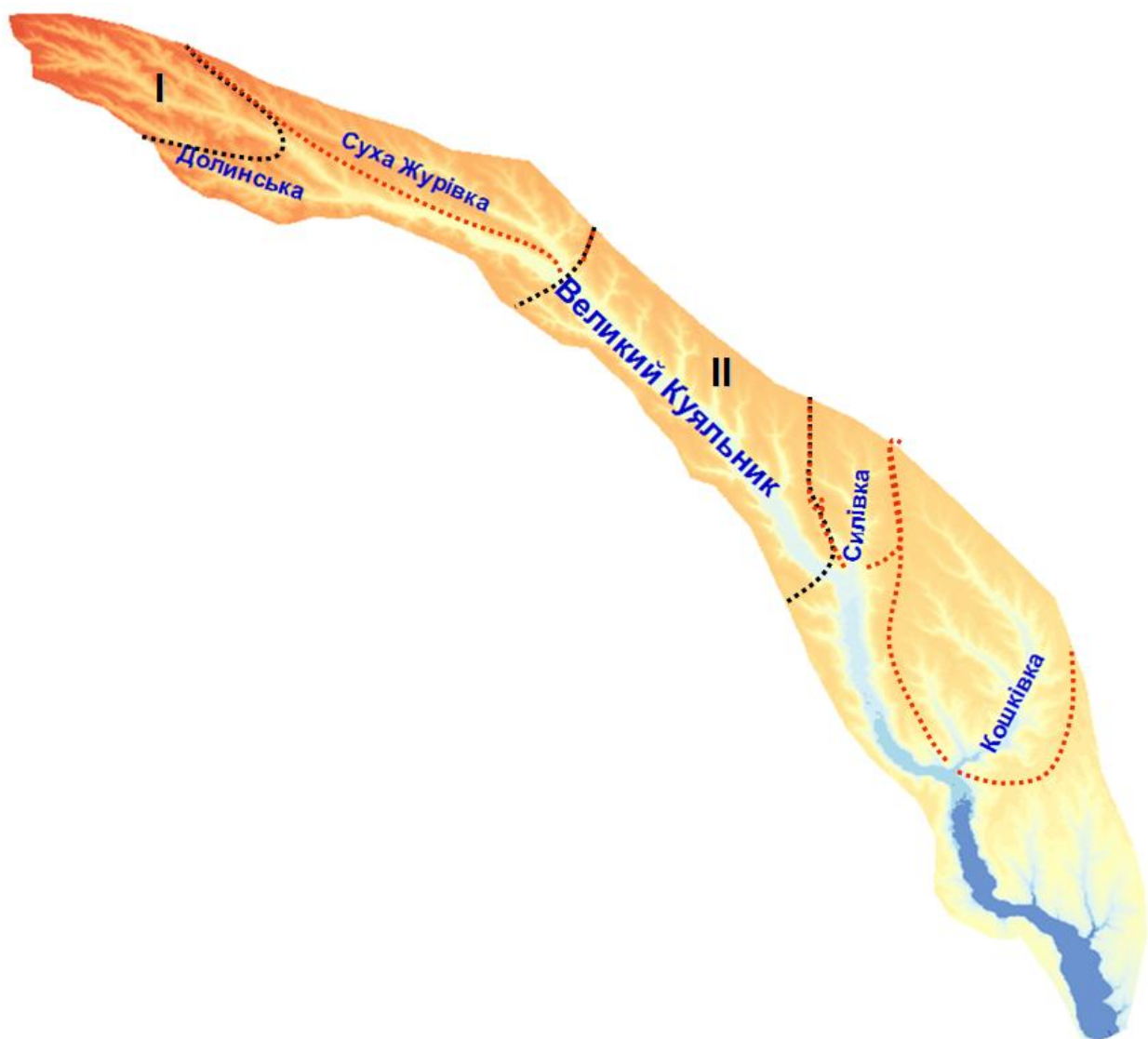


Рисунок 4.4 – Виділені зони із різною щільністю штучних водних об'єктів на водозборі Куяльницького лиману

I – верхня частина басейну Куяльницького лиману;

II – р. Великий Куяльник (р. Силівка – р. Суха Журівка)

- - - - - водозбори річок Суха Журівка, Кошківка, балки Силівка.

Визначені осереднені значення були задіяні для установлення сумарних об'ємів та площ водного дзеркала додатково виявлених водойм. Якщо відомі $W_{сер\ i}$, $F_{сер\ i}$, а також кількість додаткових штучних водних об'єктів, то для кожної виділеної зони можна встановити площі їх водного дзеркала $F_{неврахов}$ та об'єми $W_{неврахов}$:

а) верхів'я р. Великий Куяльник

$$\begin{array}{lll} W_{сум}=0,615 \text{ млн. м}^3 & W_{сер\ i}=0,036 \text{ млн. м}^3 & W_{неврахов.}=0,651 \text{ млн. м}^3 \\ F_{сум}=0,588 \text{ км}^2 & F_{сер\ i}=0.026 \text{ км}^2 & F_{неврахов}=0.460 \text{ км}^2 \end{array}$$

б) р. Кошківка

$$\begin{array}{lll} W_{сум}=3,704 \text{ млн. м}^3 & W_{сер\ i}=0,337 \text{ млн. м}^3 & W_{неврахов.}=1,350 \text{ млн. м}^3 \\ F_{сум}=0,816 \text{ км}^2 & F_{сер\ i}=0.043 \text{ км}^2 & F_{неврахов}=0.172 \text{ км}^2 \end{array}$$

в) р. Суха Журівка

$$\begin{array}{lll} W_{сум}=0,697 \text{ млн. м}^3 & W_{сер\ i}=0,174 \text{ млн. м}^3 & W_{неврахов.}=1,568 \text{ млн. м}^3 \\ F_{сум}=0,77 \text{ км}^2 & F_{сер\ i}=0.154 \text{ км}^2 & F_{неврахов}=1,386 \text{ км}^2 \end{array}$$

г) р. В.Куяльник (ділянка б.Силівка–р.Суха Журівка)

$$\begin{array}{lll} W_{сум}=1,015 \text{ млн. м}^3 & W_{сер\ i}=0,254 \text{ млн. м}^3 & W_{неврахов.}=3,302 \text{ млн. м}^3 \\ F_{сум}=0,270 \text{ км}^2 & F_{сер\ i}=0.045 \text{ км}^2 & F_{неврахов}=0.585 \text{ км}^2 \end{array}$$

4.2 Спрямлення русла та регулювання шлюзами

При довжині річки Великий Куяльник, яка дорівнює 160 км, 103 км (64%) з них являє собою спрямлене русло (рис. 4.5). Як показує вивчення невеликих річок південного заходу України, де виконувались роботи по регулюванню стоку шляхом розчищення та випрямлення їхніх русел, наслідки спрямлення можуть бути різноспрямованими [65]. У багатьох випадках, випрямлення та розчищення русел, сприяють розкриттю ґрунтового стоку, що в результаті збільшує стік річок (рр. Хаджидер і Сарата). Для р. В. Куяльник, через те, що на водозборі переважають піщаники та потужність близько розташованих до поверхні водоносних горизонтів вкрай незначна, спрямлення русла не дало ефекту збільшення стоку [61].

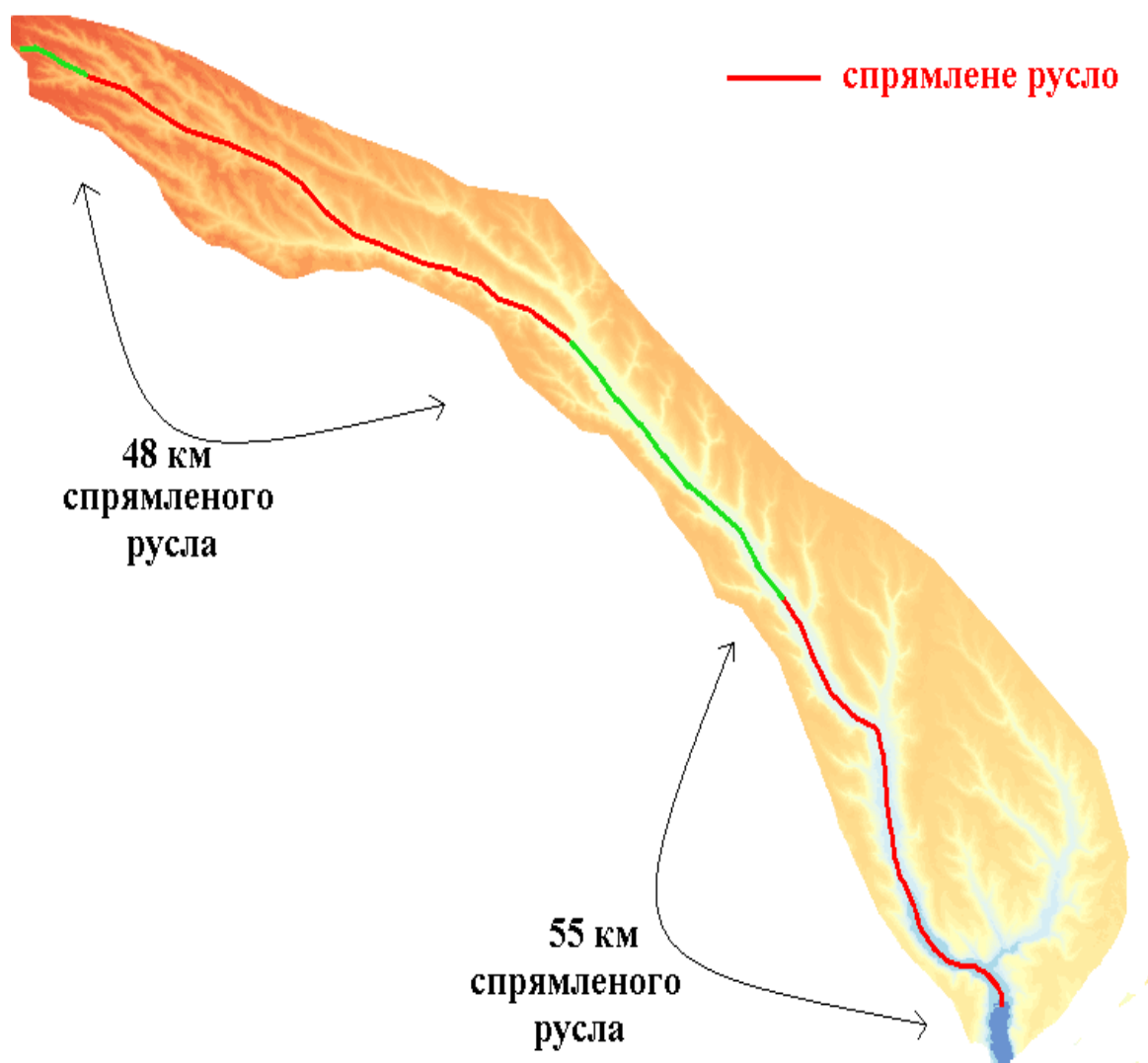


Рисунок 4.5 – Карта-схема ділянок спрямлення русла р. Великий Куяльник

Випрямлення та розчищення русла є тільки частиною заходів по створенню гідротехнічних споруд. На водозборі р.Великий Куяльник були утворені шлюзи-регулятори (рис 4.6). За даними інституту «УкрПівденДІПроводГосп», тільки в основному руслі річки їх нараховувалося близько 20 шт. Цільове призначення шлюзів є затримання води (об'ємом близько 1,5–2,0 млн. м³) у періоди водопілля та дощових паводків.

Шлюзи – регулятори здатні перекрити русло і спричинити підняття рівнів води, але швидкість течії у цей момент наблизатиметься до нуля, тобто вода буде «стоячою». Наслідки такого «регулювання» стоку р. В. Куяльник добре простежуються на суміщеному гідрографі рівнів і витрат води (рис. 4.7), коли високим рівням відповідає відсутність стоку, наприклад, у 1997-2001, 2004, 2008-2011 рр., а також графіках хронологічного ходу витрат і рівнів води при вільному руслі (рис. 4.8).



Рисунок 4.6 – Нижній б'єф одного з шлюзів-регуляторів на р. В. Куяльник (станом на 27.06.2014 р.)

Ще у 1995 р. було встановлено, що більшість шлюзів-регуляторів знаходяться в несправному стані. Це свідчить про те, що ніякого управлінського регулювання, як це передбачалося при їхньому будівництві, шлюзи-регулятори не здійснюють, а лише сприяють перехоплюванню стоку. Дані про режим функціонування (роботу) цих шлюзів-регуляторів (періоди, коли вони були закриті; витрати води або рівні води в верхньому та нижньому б'єфах, коли вони були відкриті) відсутні. Після 2000 р. затвори шлюзів (за даними опитувань мешканців прилеглих сіл) майже всі зникли, а їх функції почали виконувати стихійно створені земляні дамби.

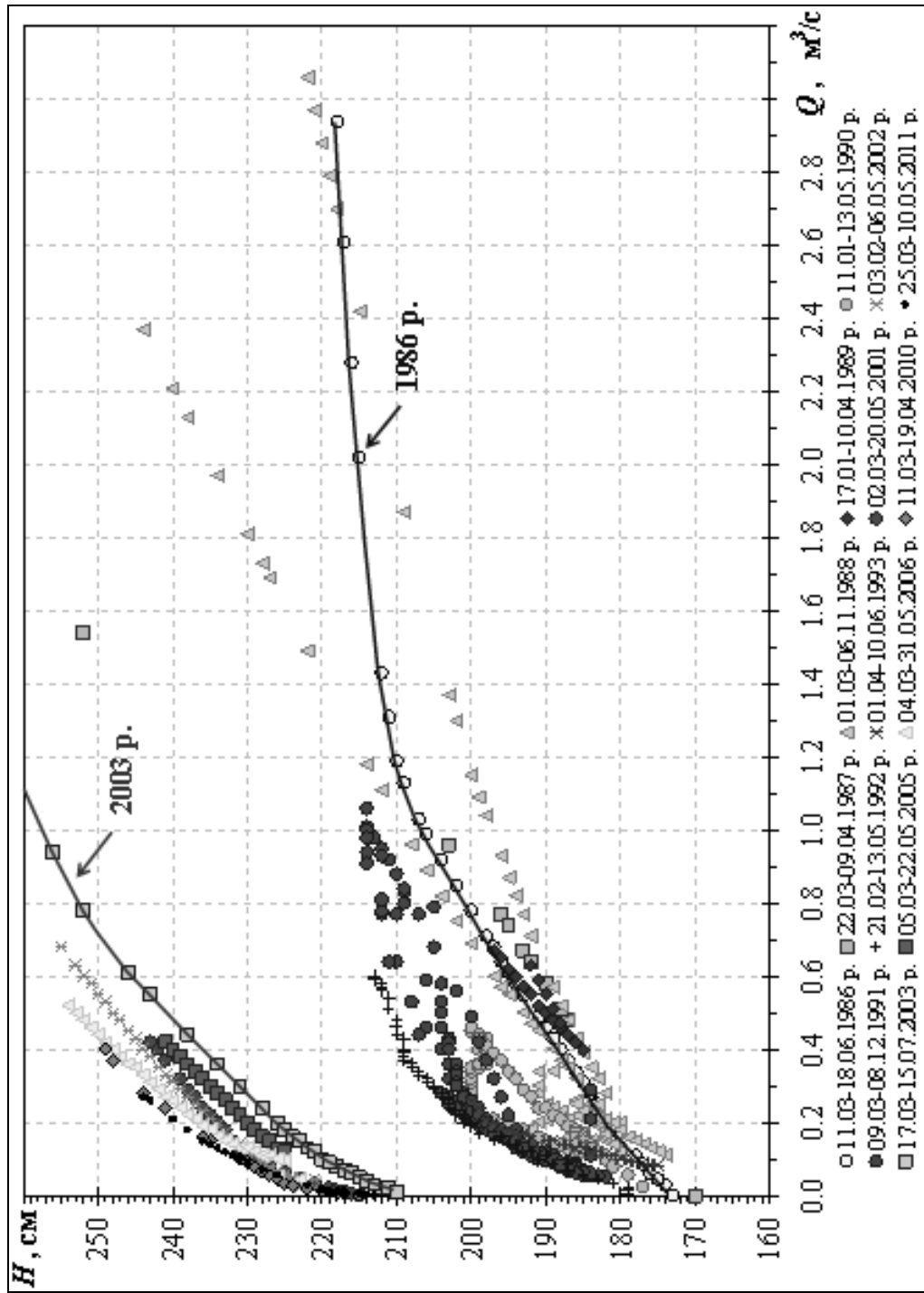


Рисунок 4.7 – Зв'язок середньодобових рівнів і витрат води при вільному руслі, р. В. Куяльник – с. Северинівка, за період 1986-2011 рр. (при $H = 160\text{--}260 \text{ cm}$)

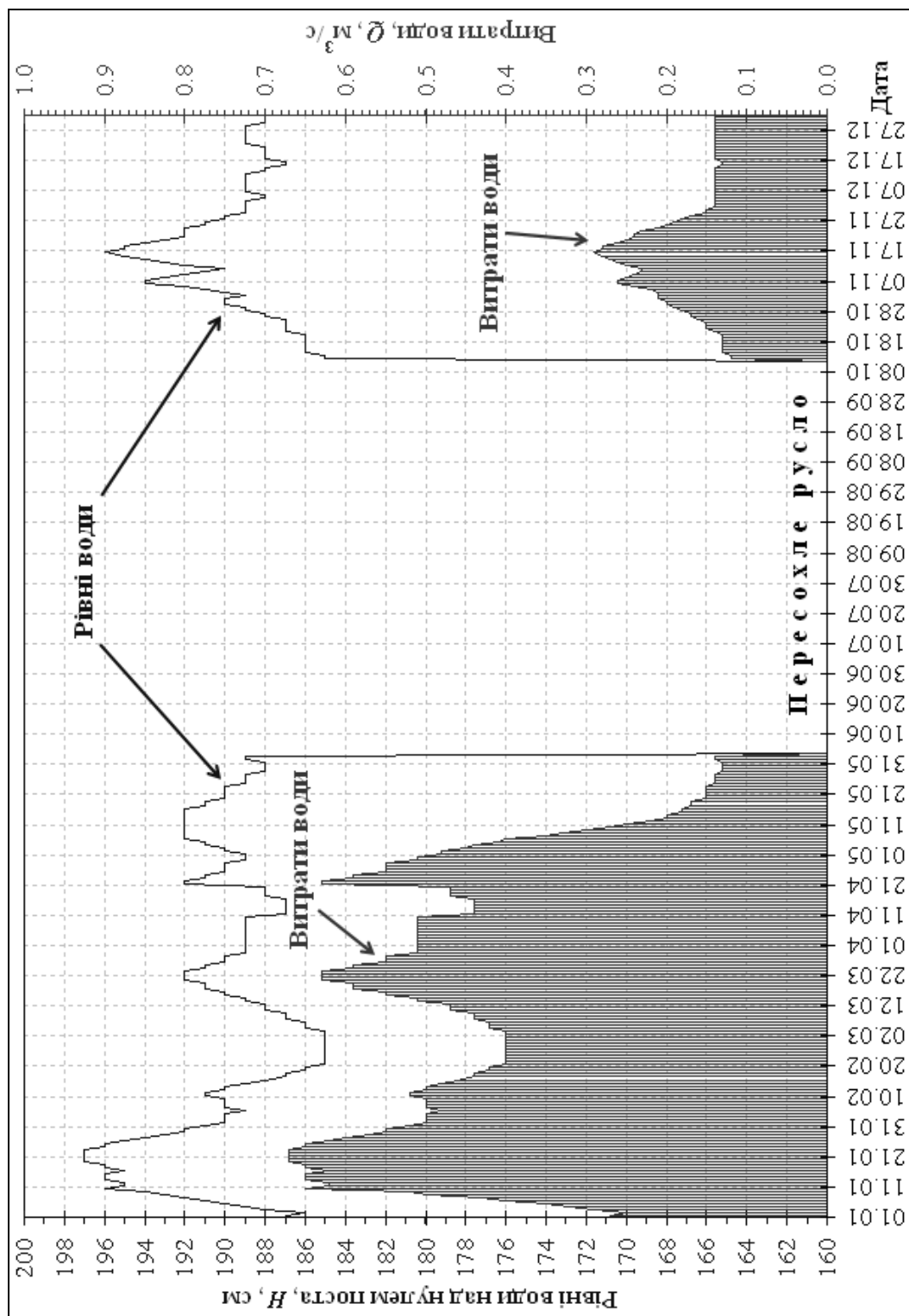


Рисунок 4.8 – Гідрограф середньодобових рівнів і витрат води, р. В. Куяльник – с. Северинівка, 1989 р.

4.3 Оцінка екологічного стану по довжині р.Великий Куяльник

Згідно із Водною Рамковою Директивою водний об'єкт, виділений за басейновим принципом (у даному випадку р.Великий Куяльник), складається з так званих “водних тіл”, як одиниць, що застосовуються для звітності і оцінки відповідності екологічним цілям [66]. Істотно змінене водне тіло є поверхневим водним тілом, яке істотно змінило свій характер (гідрологічні, морфометричні характеристики, гідроекологічні характеристики). Для устанавлення “істотно зміненого” водного тіла є важливим втрачання “доброго екологічного потенціалу” та “доброго хімічного статусу” вод. Добрий хімічний потенціал устанавлюється тоді, коли концентрації забруднюючих речовин не перевищують екологічних стандартів якості. Елементами якості, що використовуються при оцінці екологічного стану річки з хімічних та фізико-хімічних елементів виділяються такі як температурні умови, умови насичення киснем, солоність, стан окиснюваності, умови щодо поживних речовин, специфічні речовини – забруднювачі, забруднення всіма пріоритетними речовинами, ідентифікованими як такими, що скидаються у водне тіло, забруднення іншими речовинами.

На основі аналізу рисунків розміщення штучних водойм по водозбору та ділянок випрямлення русла, можна зазначити, що притоки р.Великий Куяльник (Сува Журівка, балка Силівка, р.Кошкова/Кошківка) та саме русло р. В.Куяльник являють собою “істотно змінені водні тіла”, які мають відмінні від природних морфометричні, гідрологічні характеристики. Ділянок природних водних тіл неможливо виявити. З метою устанавлення “хімічного статусу” вод у руслі р.Великий Куяльник був використаний комплексний показник екологічного стану (*КПЕС*), який розраховується за формулою [45]:

$$КПЕС_{сер} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m КПЕС_i, \quad (4.3)$$

де m – кількість блоків показників якості вод (значень $КПЕС_i$).

З m блоків показників якості вод до першого входять показники, які не мають ефекту спільної дії, до інших блоків входять показники, які мають цей ефект.

Для першого блоку комплексний показник розраховується за формулою:

$$КПЕС = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ПЕС_i, \quad (4.4)$$

де n – кількість показників у першому блоці;

$ПЕС_i$ – показник екологічного стану, розрахований для i -го показника якості.

Значення $ПЕС_i$ для i -го показника розраховуються за формулами:

$$ПЕС_i = a_i (H_i - П_i) / H_i, \quad (4.5)$$

$$ПЕС_i = a_i (П_i - H_i) / H_i, \quad (4.6)$$

де a_i – коефіцієнт вагомості i -го показника;

\check{I}_z, \acute{I}_z – значення показника (концентрація речовини) і його норматив.

Формула (4.5) використовується при обмеженні значень показника зверху. Для показників, обмежених знизу (O_2), використовується формула (9). При нормуванні показника (pH) у вигляді допустимого інтервалу $[H_{\min} < П_i < H_{\max}]$, якщо показник знаходиться в середині інтервалу, то значення $ПЕС_i$ розраховується за формулами (4.5) і (4.6), а в якості $ПЕС_i$ береться мінімальне з отриманих значень.

Коефіцієнт вагомості a_i -го показника пов'язаний з класом небезпеки. Якщо ступінь небезпеки зростає зі збільшенням номера класу ($кл$), то $a_i = кл$; якщо ступінь небезпеки зменшується зі збільшенням номера класу, то $a_i = 1/кл$. Якщо клас небезпеки не вказано, то береться клас на один розряд нижче від мінімально небезпечного класу [67].

Для блоків з показниками якості, які мають ефект спільної дії, $КПЕС$ розраховується за формулою:

$$КПЕС = 1 - \sum (П_i / H_i). \quad (4.7)$$

За санітарними нормами ефект сумарної дії мають показники 1 і 2 класів небезпеки з однаковою $ЛОШ$, за рибогосподарськими – з однаковою $ЛОШ$ без урахування класу небезпеки.

Екологічний стан водного об'єкта класифікується таким чином:

- при $КПЕС_{\min} < 0$ і $КПЕС_{\text{сер}} < 0$ – стан нестійкий;
- при $КПЕС_{\min} > 0$ і $КПЕС_{\text{сер}} > 0$ – стійкий;
- при $КПЕС_{\min} < 0$ і $КПЕС_{\text{сер}} > 0$ – стійкий з ознаками нестійкості.

Для розрахунків були використані візуальні спостереження поверхні води, вимірювання мінералізації та фізико-хімічних властивостей води виконувалися на 12 гідрохімічних станціях: 1 станція вибрана в основному руслі річки, а 11 станцій – на штучних водоймах в басейні р. В. Куяльник, з яких: 9 – ставки, 1 – кар'єр, 1 – колодязь (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 - Визначення екологічної стійкості водного об'єкту за комплексним показником екологічного стану для рибогосподарського призначення

№ станції	Прийнята назва водного об'єкту	КПЕС _{сер}	КПЕС _{мін}	Екологічний стан	Місцеположення гідрохімічної станції
1	р. В. Куяльник	-6,5	-15,36	нестійкий	с. Северинівка, міст через русло річки (в створі греблі ШВ «Куяльник-1»)
2	ШВ «Куяльник-1»	-9,93	-21,40	нестійкий	с. Северинівка, нижній ставок (в стариці річки)
3	ШВ «Куяльник-2»	-	-	-	с. Северинівка, верхній ставок (в стариці річки)
4	ШВ «Куяльник-3»	-10,9	-15,95	нестійкий	с. Адамівка, кар'єр в заплаві р. В. Куяльник
5	ШВ «Куяльник-11»	-2,15	-4,21	нестійкий	с. Яринославівка, ставок в руслі річки
6	ШВ «Куяльник-14»	-2,07	-3,83	нестійкий	сmt Ширяєво, верхній ставок в руслі річки
7	ШВ «Розалівська-10»	-1,00	-2,96	нестійкий	с. Вестернічани, перший від виток ставок в руслі б. Розалівська
8	ШВ «Розалівська-9»	-0,77	-1,74	нестійкий	с. Вестернічани, другий від виток ставок в руслі б. Розалівська
9	ШВ «Восьма-1»	-1,78	-3,29	нестійкий	с. Качурівка, нижній ставок на б. «Восьма» (л. пр. р. В. Куяльник)
10	ШВ «Журовка-6»	-4,72	-8,18	нестійкий	с. Новоолександрівка, перший ставок нижче села на б. Суха Журовка
11	ШВ «Кошкова-17»	-15,2	-22,92	нестійкий	с. Шутове, другий ставок нижче села на б. Кошкова
12	колодязь на л. березі б. Кошкова на заплаві	-0,41	-2,02	нестійкий	с. Соколове

Гідрохімічні спостереження в басейні р. В. Куяльник включали польові роботи та камеральні (лабораторні) дослідження (Додаток Г).

До польових робіт належали:

- візуальні спостереження поверхні водойми;
- вимірювання температури води;
- визначення запаху води;
- вимірювання прозорості води;
- визначення кольоровості води;
- вимірювання рН води;
- вимірювання концентрації розчиненого у воді кисню;
- визначення мінералізації води (солеміром).

Камеральні (лабораторні) дослідження спочатку включали визначення мінералізації за сухим залишком. Але, додатково, для оцінки походження значних мінералізацій води на деяких ШВ басейну р. В. Куяльник, в процесі лабораторних аналізів, було визначено такі показники її хімічного складу води:

- твердість води (загальна, карбонатна та некарбонатна);
- вміст головних катіонів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$);
- вміст головних аніонів (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-).

Результати визначення мінералізації, фізико-хімічних властивостей, твердості води (загальної, карбонатної, некарбонатної) та вмісту головних аніонів (HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-) і катіонів (Ca^{2+} , Mg^{2+} , $\text{Na}^+ + \text{K}^+$).

Згідно із показником КПЕС річка В.Куяльник характеризується “нестійким екологічним станом” по всій її довжині. За показниками $\text{КПЕС}_{\text{сер}}$ та $\text{КПЕС}_{\text{мін}}$ можна зробити висновок, що якість води погіршується в напрямку від витoku до гирла (рис.4.9). Найкраща якість відповідає колодязній воді. Отже, досліджувана річка відноситься до таких, які не відповідають “доброму хімічному статусу” і потребують відновлення свого незадовільного екологічного стану [68].

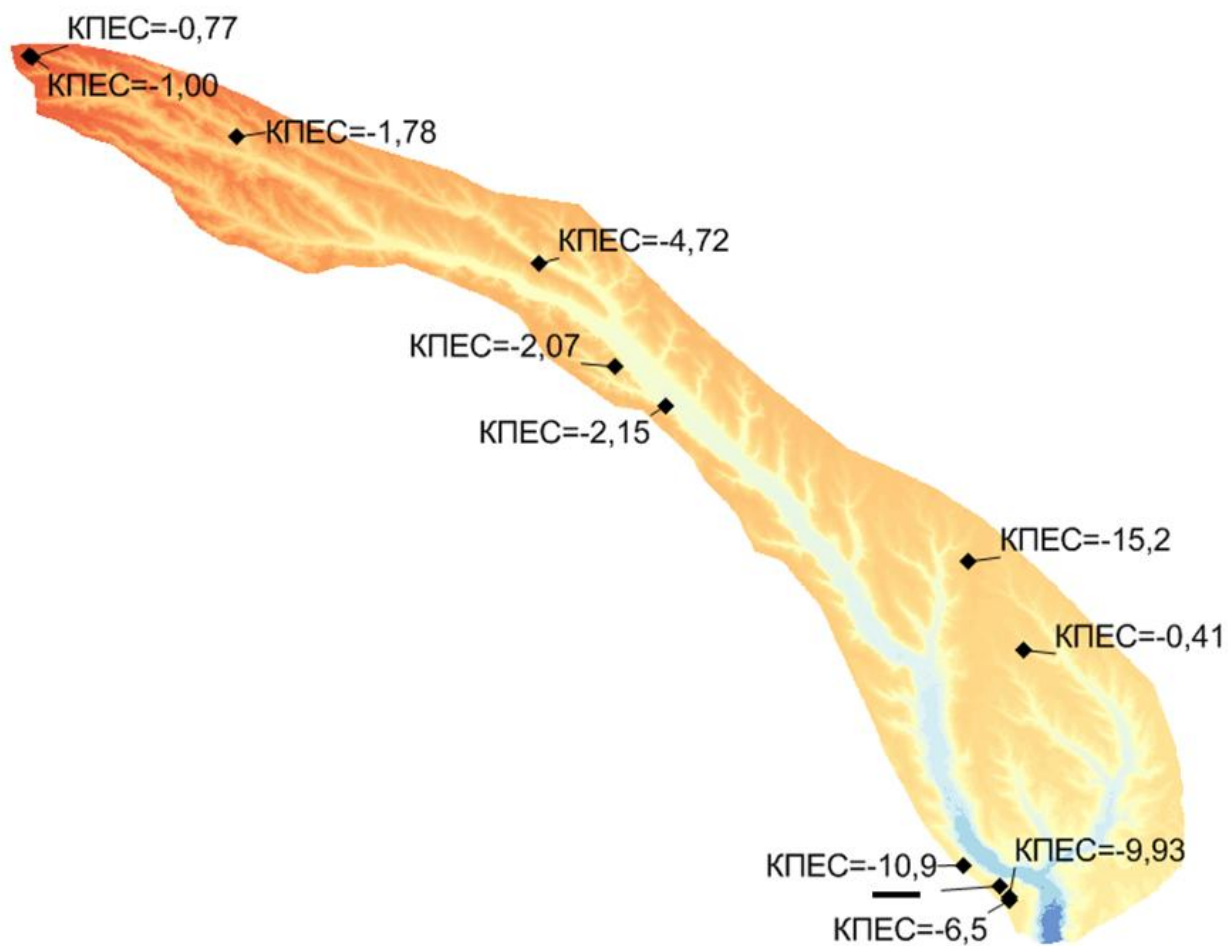


Рисунок 4.9 - Розподіл комплексних показників екологічного стану в басейні р. Великий Куяльник

5. ОЦІНКА ВПЛИВУ ШТУЧНИХ ВОДОЙМ НА СТІК Р.ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК В СУЧАСНИХ ТА СЦЕНАРНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

5.1 Антропогенні чинники формування стоку та методики визначення коефіцієнтів антропогенного впливу

Серед основних антропогенних чинників впливу на водні ресурси р.Великий Куяльник можна зазначити такі як урбанізація, розораність земель, створення штучних водойм. Оцінити вплив антропогенних чинників на формування стоку в басейні досліджуваної річки можливо на основі стохастичної моделі “клімат-стік”, де вході використовуються метеорологічні дані та відомості про масштаби водогосподарських перетворень, а на виході отримуються характеристики побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку. В результаті стохастичного моделювання [69] виявлені та узагальнені у вигляді розрахункових залежностей основні закономірності змін статистичних параметрів річного стоку в залежності від показників рівня водогосподарської діяльності на водозборах [70]. Апроксимація отриманих залежностей математичними функціями дозволила отримати узагальнені розрахункові рівняння, названі “функціями антропогенного впливу” або “функціями відгуку”. Останні були представлені через «коефіцієнти антропогенного впливу»

$$k_A = \frac{A_f}{A_0}, \quad (5.1)$$

де A_0 – значення того або іншого статистичного параметра річного стоку в природних умовах;

A_f – значення параметра побутового стоку при заданих показниках антропогенного впливу.

Оскільки на багатьох водозборах зони недостатнього зволоження розглянуті чинники водогосподарської діяльності впливають на стік річок в комплексі, було запропоновано методику їх сумісного урахування. Сумісна дія m водогосподарських чинників може бути врахована за наступним рівнянням

$$A_f = A_0[k_1 + k_2 + k_3 \dots + k_m - (m - 1)], \quad (5.2)$$

де $k_1, k_2, k_3, \dots, k_m$ – коефіцієнти, які кількісно враховують зміни статистичних параметрів річного стоку при різних водогосподарських впливах.

Методика розрахунків коефіцієнтів антропогенного впливу в залежності від виду і масштабу водогосподарських перетворень, отримана за моделлю “клімат-стік” увійшла до складу нормативних документів по розрахунках характеристик стоку України та Молдови [71]. Адекватність стохастичної моделі для визначення побутового річного стоку даним спостережень підтверджується задовільною узгодженістю характеристик побутового стоку, розрахованих за моделлю, із фактичними даними [72, 73].

У теперішній час у басейні Куяльницького лиману зрошування та забезпечення водою населення здійснюється за рахунок підземних вод сарматських водоносних горизонтів, які розташовані глибоко і не приймають участі у формуванні стоку річки. Площі зрошування є незначними, отже, немає необхідності урахування впливу зворотних вод з сільськогосподарських масивів, які зрошуються підземними водами. Таким чином, з розглянутих вище водогосподарських заходів суттєво змінювати річний стік можуть тільки штучні водойми [74].

За наявності на водозборі штучних водойм, з водної поверхні яких формуються втрати на додаткове випаровування, рівняння водогосподарського балансу набуває вигляду [7]

$$Y_{ПОВ,Р} = Y_{ПР,Р}(1 - f_B) - (E_B - X)_{100-Р} f_B, \quad (5.3)$$

де $Y_{ПОВ,Р}, Y_{ПР,Р}$ – відповідно побутовий та природний річний стік із заданою забезпеченістю $P\%$, мм;

f_B – сумарна площа водної поверхні штучних водойм, виражена в частках від загальної площі водозборів F ;

X – опади, які випали на загальну водну поверхню ставків і водосховищ;

E_B – сумарне випаровування з водної поверхні ставків і водосховищ.

Для кількісної оцінки впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм на річний стік розроблені “функції відгуку” характеристик стоку на водогосподарське втручання, які мають такий вигляд

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B}; \quad (5.4)$$

$$k'_{C_V} = e^{\alpha_{C_V} f_B}; \quad (5.5)$$

$$k'_{C_S} = e^{\alpha_{C_S} f_B}, \quad (5.6)$$

де $k'_{\bar{Y}}, k'_{C_V}, k'_{C_S}$ – коефіцієнти впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм на статистичні параметри річного стоку \bar{Y}, C_V, C_S ;

α_A – коефіцієнти інтенсивності антропогенного впливу на статистичний параметр A , які залежать від норми кліматичного стоку \bar{Y}_K .

Остання у наведених формулах виступає як інтегральний показник

зволоженості водозборів.

Визначення коефіцієнтів α_A для рівнинних територій відбувається за такими рівняннями

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767 \bar{Y}_K^{(-0.49)}; \quad (5.7)$$

$$\alpha_{C_v} = 0,247 e^{(-0.0274 \bar{Y}_K)}; \quad (5.8)$$

$$\alpha_{C_s} = 0,179 e^{(-0.0246 \bar{Y}_K)}. \quad (5.9)$$

Коефіцієнт антропогенного впливу, який характеризує втрати на заповнення штучних водойм водою, визначається як відношення

$$\frac{\bar{W}_{PP} - \bar{W}_3}{\bar{W}_{PP}} = \frac{W_{ПОВ}}{W_{PP}} = k_{\bar{Y},3}, \quad (5.10)$$

де \bar{W}_{PP} – об'єм природного стоку, який надходить до водосховищ або ставків;

\bar{W}_3 – об'єм заповнення;

$k_{\bar{Y},3}$ – коефіцієнт втрат на заповнення штучних водойм.

На формування стоку річок впливає розораність території водозбору. Значення коефіцієнту антропогенного впливу, які ураховують дію агротехнічних заходів, встановлювалися за методикою, запропонованою вченими Молдови, які сумісно з науковцями ОДЕКУ розробляли методи оцінки характеристик стоку в умовах значного антропогенного впливу [75]

$$\psi_{at} = \frac{\bar{Y}_{ПОВ}}{\bar{Y}_{PP}} = 1 - 10^{-2} \Delta_{at}, \quad (5.11)$$

де ψ_{at} - коефіцієнт впливу агролісомеліорацій;

$\bar{Y}_{ПОВ}$ - норма побутового стоку, яка утворилася під впливом агролісомеліорацій;

\bar{Y}_{PP} - норма природного річного стоку, являє собою водні ресурси незмінені антропогенними факторами, і встановлюється як добуток норми кліматичного стоку на значення антропогенного коефіцієнту;

Δ_{at} - зменшення норми природного стоку, у % (встановлюється за таблицею 5.1).

Таблиця 5.1 – Зменшення норми природного стоку під впливом розораності водозбору

Розораність водозбору, %	60-70	25-50	5-15
Зниження норми природного стоку, Δ_{at} , %	6,1	5,4	3,9

Урбанізованість територій залежить від утворення значних водонепроникних площ. За умови, що відсутні додаткові атмосферні опади над урбанізованою територією, підземне живлення та відсутність перекиду стоку з інших басейнів, зміну середньої багаторічної величини річного стоку було оцінено за такою формулою [75]

$$\Delta Y_{ur} = \bar{Y}_{ПП} \psi_{\eta} f_{ur}, \quad (5.12)$$

де ΔY_{ur} - зміни річного стоку за рахунок урбанізації;

ψ_{η} - коефіцієнт, який залежить від долі непроникних площ;

f_{ur} - доля площі урбанізованої території.

Параметри ψ_{η} , f_{ur} встановлюються за таблицею 5.2.

Таблиця 5.2 – Значення коефіцієнта ψ_{η}

f_{ur}	0	0,05	0,10	0,30	0,50
ψ_{η}	1,00	1,15	1,30	1,8	2,30

Коефіцієнт антропогенного впливу, який відображає наслідки урбанізації при формуванні стоку з водозборів, визначався наступним чином

$$k_{ur} = 1 + \psi_{ur} f_{ur}, \quad (5.13)$$

$$\text{де } k_{ur} = \frac{\bar{Y}_{ПП} + \Delta \bar{Y}_{ur}}{\bar{Y}_{ПП}};$$

ψ_{η} - коефіцієнт, який залежить від долі непроникних площ;

f_{ur} - доля площі, зайнятою урбанізованою територією.

Коефіцієнт впливу скиду забруднених вод розраховувався таким чином:

$$K_{СК} = \frac{W_{ПР} + W_{СК}}{W_{ПР}}, \quad (5.14)$$

де - $K_{СК ПР}$ - коефіцієнт впливу скиду вод на природний стік;

$W_{ПР}$ - природний річний стік, млн. м³;

$W_{СК}$ - об'єм скидів, млн. м³.

Розораність водозбору р.В.Куяльник прийнята рівною 61,27, урбанізованість – 6.97%, об'єм скиду - 0,372 млн.м³, сумарний об'єм заповнення штучних водойм – 15,6 млн.м³, відносна площа водної поверхні – 0,33%.

5.2 Оцінка впливу антропогенних чинників на стік річок

Оцінка втрат стоку на заповнення штучних водойм виконувалася на основі даних про їх сумарні об'єми для кожної річки окремо. Якщо вважати, що всі водойми щорічно повністю заповнюються водою (100% заповнення), то вийшло б, що середній багаторічний стік усіх приток р.Великий Куяльник витрачався б на заповнення ставків і мав би дорівнювати нулю (табл.5.3). У роботі [43], було показано, що найбільша відповідність розрахункових та фактичних значень побутового стоку у створі р.Великий Куяльник спостерігається при 40% наповненні штучних водойм (табл.5.4).

Таблиця 5.3 – Оцінка впливу штучних водойм на середній багаторічний об'єм природного стоку річок у басейні р. Великий Куяльник (при 100% їх заповненні)

Річка	$\bar{W}_{ПР}$, млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				наповнення $k_{\bar{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\bar{Y}}$	сумарний коефіцієнт $K_{\bar{Y}}$
р.В.Куяльник	20,4	15,6	0,33	0,24	0,93	0,27
р. Кошкова	3,50	5,05	0,36	0,00	0,94	0,00
б. Силівка	1,53	3,07	0,37	0,00	0,94	0,00
р.Суха Журівка	3,29	2,19	1,78	0,33	0,76	0,09
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	1,27	0,62	0,84	0,91	0,75
Ділянка р. В.Куяльник (Силівка–Суша Журівка)	3,41	4,32	0,87	0,00	0,87	0,00

Таблиця 5.4. Оцінка впливу штучних водойм на середній багаторічний об'єм природного стоку річок водозбору р. Великий Куяльник при їх 40%-му заповненні

Річка	\bar{W}_{IP} , млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				наповнення $k_{\bar{Y},3}$	додаткове випаровування $k'_{\bar{Y}}$	сумарний коефіцієнт $K_{\bar{Y}}$
Р.Великий Куяльник	20,4	7,8	0,33	0,70	0,93	0,63
р. Кошкова	3,50	2,02	0,36	0,42	0,94	0,36
б. Силівка	1,53	1,23	0,37	0,20	0,94	0,14
р.Суха Журівка	3,29	0,876	1,78	0,73	0,76	0,49
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	0,506	0,62	0,94	0,91	0,85
р. В.Куяльник (Силівка–Суха Журівка)	3,41	1,73	0,87	0,49	0,87	0,36

Розораність водозбору р.В.Куяльник прийнята рівною 61,27%, урбанізованість – 6.97%, об'єм скиду вод до річки - 0,372 млн.м³, сумарний об'єм заповнення штучних водойм – 15,6 млн.м³, відносна площа водної поверхні – 0,33%. Результати розрахунків коефіцієнтів антропогенного впливу за кожним видом господарської діяльності зведені до таблиці 5.5.

Сумарний коефіцієнт антропогенного впливу за виділеними чинниками встановлювався за формулою

$$Y_{ПОВ} = Y_{IP} \left\{ k_{\bar{Y},3} + k'_{\bar{Y}} + \psi_{at} + k_{ur} + k_{СК} - 4 \right\}, \quad (5.15)$$

де $k_{\bar{Y},3}$ - коефіцієнт заповнення штучних водойм;

$k'_{\bar{Y}}$ - коефіцієнти впливу втрат на додаткове випаровування з водної поверхні;

ψ_{at} - коефіцієнт впливу агролісомеліорацій (розораності);

k_{ur} - коефіцієнт впливу урбанізованості водозбору;

$k_{СК}$ - коефіцієнт скидання вод.

Сумарний коефіцієнт антропогенного впливу дорівнює 0,67. Основну його частину складає вплив штучних водойм, що визначається коефіцієнтом втрат на заповнення водойм $k_{\bar{Y},3}$ та коефіцієнтом втрат на додаткове

випаровування з їх водної поверхні $k_{\bar{Y}}^{\prime}$. Сумарна їхня дія оцінюється коефіцієнтом 0.63. Вплив урбанізованості та скиду вод перекривається наслідками розораності поверхні водозбору. Отже, основним антропогенним чинником на водозборі р.Великий Куяльник слід визнати вплив штучних водойм. Оскільки на інших водотоках водозбору Куяльницького лиману зберігається така сама водогосподарська ситуація, у подальшому при оцінках побутового стоку розглядалися саме наслідки впливу штучних водойм.

Таблиця 5.5 – Коефіцієнти антропогенного впливу

Вид антропогенної діяльності	Коефіцієнти антропогенного впливу
Втрати на заповнення штучних водойм (при 40% заповненні їх загального об'єму), $k_{\bar{Y},3}$	0,70
Втрати на додаткове випаровування з водної поверхні штучних водойм, $k_{\bar{Y}}^{\prime}$	0,93
Вплив агролісомеліорацій, ψ_{at}	0,94
Впливу урбанізованості водозбору, k_{ur}	1,08
Скидання вод, $K_{СК ПР.}$	1,02
Сумарний коефіцієнт антропогенного впливу	0,67

5.3 Оцінка впливу штучних водойм з урахуванням кліматичних змін (за сценаріями кліматичних змін)

Для визначення впливу штучних водойм на стік річки Великий Куяльник у сценарних кліматичних умовах необхідно здійснити наступні розрахунки:

- визначити середню багаторічну величину річного кліматичного стоку стоку з водозбору за моделлю “клімат-стік” з використанням даних сценарію змін клімату;
- за допомогою коефіцієнту переходу від кліматичного стоку до природного визначити середню багаторічну величину природного стоку та відповідні коефіцієнти варіації і асиметрії;
- використовуючи дані про сумарний об'єм заповнення штучних водойм та площу водного дзеркала установити коефіцієнти антропогенного впливу;

- на базі коефіцієнтів антропогенного впливу розрахувати статистичні параметри побутового (перетвореного господарською діяльністю стоку) та визначити стік у характерні роки заданої водності.

Основою для розрахунків статистичних параметрів побутового стоку для різних кліматичних періодів мають слугувати параметри природного стоку визначені для розглядуваного сценарію (табл.5.6, табл.5.7).

Якщо прийняти рівень зарегулювання річок штучними водоймами, який відповідає сьогоденню (табл.5.4), то можна побачити, що антропогенний вплив буде посилюватися протягом ХХІ сторіччя. Водність р.Великий Куяльник буде зменшуватися, а наслідки впливу штучних водойм посиляться.

Таблиця 5.6 – Розрахунок коефіцієнтів антропогенного впливу у розрахункові кліматичні періоди для р.В.Куяльник при рівні водогосподарської діяльності, який відповідає сучасним умовам (за сценарієм А1В)

Період	$\bar{W}_{ПР}$, млн.м ³	Об'єм штучних водойм, млн. м ³	f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу $K_{\bar{Y}}$ при різних чинниках водогосподарської діяльності		
				напов- нення	додаткове випаровування	сумарний коефіцієнт
1990-2030 рр.	19,0	7,8	0,33	0,59	0,92	0,51
2031-2070 рр.	15,2	7,8	0,33	0,49	0,91	0,40
2071-2098 рр.	10,7	7,8	0,33	0,27	0,90	0,17

Визначені статистичні параметри річного побутового стоку для наведених кліматичних періодів вказують на ще більше зменшення об'ємів припливу прісних вод до Куяльницького лиману, яке у період 2071-2098рр. досягне 1,8 млн.м³ (табл.5.7).

Таблиця 5.7 – Статистичні параметри річного побутового стоку р.В.Куяльник у розрахункові кліматичні періоди (сценарій А1В)

Період	Норма природного річного стоку, $\bar{W}_{ПР}$, млн.м ³	Параметри побутового річного стоку			
		$\bar{Y}_{ПОВ}$, мм	$\bar{W}_{ПОВ}$, м ³ 10 ⁶	C_V	C_S
1990-2030 рр.	19,0	5,21	9,69	2,25	3,82
2031-2070 рр.	15,2	3,28	6,11	2,99	5,09
2071-2098 рр.	10,7	0,98	1,81	6,35	10,8

5.4 Відтворення хронологічних рядів природного та побутового стоку на XXI сторіччя

Розрахунки сольового та гідрохімічного режиму Куяльницького лиману у майбутньому потребують дані про хронологічні ряди стоку. Відтворення рядів річного та середнього місячного стоку р.Великий Куяльник відбувається на основі стохастичного моделювання [76]. На вході використовуються статистичні параметри природного та побутового річного стоку та обирається закон розподілу характеристик стоку. При прогнозуванні характеристик стоку у майбутньому невідомою залишається забезпеченість (ймовірність перевищення) водності року. Її визначення відбувається за спеціально розробленою методикою з використанням метеорологічних показників, які впливають на формування водності [58]. Такими показниками слугують співвідношення ресурсів тепла та вологи $\beta_x = \frac{\bar{X}}{E_m}$, температури та

опади зимового сезону, коли формуються запаси води у сніговому покриві та інші [28].

Отриманий ряд метеорологічних показників використовувався для побудови емпіричної кривої забезпеченості та наступного визначення ймовірності перевищення (забезпеченості) водності розрахункового року.

Для кожного року з вже установленою забезпеченістю за статистичними параметрами стоку й обраним законом розподілу розраховувалося відповідне значення річного природного або побутового стоку. Як роки характерної водності бралися роки із 25,50,75 відсотковою забезпеченістю водності.

Середній місячний стік у кожному із років визначався за заданими схемами типового внутрішньорічного розподілу стоку у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах. Для побутового стоку його внутрішньорічний розподіл у характерні за водністю роки установлювався на основі даних спостережень.

При розрахунках природного середнього місячного стоку була використана карта-схема районування території України по внутрішньорічному розподілу стоку, де представлені типові схеми розподілу по сезонах та місяцях у характерні по водності роки (багатоводний, середній, маловодний, дуже маловодний), які детально описані в [41] та наведені у таблиці 5.8. Внутрішньорічний розподіл побутового стоку визначався за даними спостережень (табл.5.9).

Типові за водністю роки визначалися як роки з емпіричною забезпеченістю водності, яка дорівнює 50% і обумовлює вибір середнього за водністю року; 75% і обумовлює вибір маловодного року; 25%, яка є підставою для вибору багатоводного року.

Таблиця 5.8 – Внутрішньорічний розподіл стоку (у відсотках) природного річного стоку р.В.Куяльник

Водність року	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Середній	20,4	51,6	6,8	6,6	3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,9	2,8	6,8
Багатоводний	22,2	49,2	5,3	4,9	4,0	2,9	0,0	0,0	0,1	3,6	2,9	4,9
Маловодний	24,9	48,9	12,6	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6

Таблиця 5.9 – Внутрішньорічний розподіл стоку (у відсотках) побутового річного стоку р.В.Куяльник

Водність року	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I	II
Середній	40,3	45,5	12,1	0,7	1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Багато-водний	38,9	31,0	5,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	19,4
Маловодний	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Розподіл кліматичних показників у різні розрахункові періоди (табл.5.10) показує тенденцію до зростання температур зимового сезону $\sum_{X^{22}}^{2I} t_3$ та року, посилення посушливості клімату $\beta_{Xpичи_i}$ та зменшення річних сум для середнього та маловодного року. Розподіл стоку по типовим рокам різних кліматичних періодів показаний у додатку Г (табл.Г.1, табл.Г.2).

Таблиця 5.10 – Кліматичні показники у характерні за водністю роки, визначені у період 1990-2098 рр., р.В.Куяльник

Період	Водність	Рік	$X_{pичи_i}$, мм	$t_{pичи_i}$, °C	$\sum_{X}^{XI} X_{i-1}$, мм	$\sum_{XII}^{II} t_i$, °C	$\beta_{Xpичи_i}$	$\beta_{Xзим_i}$
1990-2030 рр.	Багатоводний	2021	589	9,3	50	-6,1	0,67	0,19
	Середній	2025	470	11,6	85	3,8	0,45	0,15
	Маловодний	2018	392	11,3	96	2,2	0,36	0,06
2031-2070 рр.	Багатоводний	2047	574	12,1	43	-0,2	0,55	0,17
	Середній	2036	466	11,1	76	3,1	0,46	0,13
	Маловодний	2031	374	13,0	54	4,2	0,32	0,12
2071-2098 рр.	Багатоводний	2093	554	13,6	146	15,6	0,50	0,15
	Середній	2078	350	15,0	87	10,5	0,31	0,08
	Маловодний	2086	320	15,5	87	10,3	0,22	0,05

5.5 Регламентування експлуатації штучних водойм

Коефіцієнти сумарного впливу штучних водойм можуть бути використані для оптимізації роботи водогосподарських систем з метою виявлення найбільш сприятливих умов їхньої роботи, або, навпаки, для визначення граничних масштабів водогосподарських перетворень. Через те, що втрати на додаткове випаровування є не дуже значними, основну увагу необхідно приділити наповненню штучних водойм. Для того, щоб річка функціонувала в «природних» умовах, коефіцієнт втрат на наповнення не повинен бути нижче 0,9, тобто на заповнення штучних водойм має виділятися не більше 10% від багаторічної норми річного стоку (табл. 5.11). Як видно з наведеної таблиці для жодного з водотоків Куяльницького лиману ця умова не виконується. Фактичні об'єми штучних водойм значно перевищують рекомендовані: для р. Кошківка – в 14 разів; для б. Силівка – в 20 разів; для р. Суха Журівка – в 6,7 разів; для р. В.Куяльник (на ділянці між впадінням б. Силівка–р. Суха Журівка) – в 12 разів. При 40% заповненні ставків в басейні р. Великий Куяльник у середньому за багаторічний період використано 6,356 млн.м³, а рекомендованим до використання є об'єм, що дорівнює 1,958 млн.м³, отже втрати на заповнення штучних водойм перебільшують допустимі більш ніж у 3 рази.

Таблиця 5.11 – Рекомендований об'єм наповнення штучних водойм у кліматичних умовах минулого сторіччя (до початку впливу змін клімату)

Річка	\overline{W}_{PP} , млн.м ³	Повний об'єм штучних водойм за даними спостережень, млн. м ³	Рекомендований об'єм штучних водойм, млн. м ³
р.В.Куяльник	20,4	15,6	2,04
р. Кошківка	3,50	5,052*	0,35
б. Силівка	1,53	3,066*	0,153
р.Суха Журівка	3,29	2,191	0,329
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	1,266	0,785
р. В.Куяльник (Силівка– Суха Журівка)	3,41	4,317*	0,341
<i>*Виділені об'єми заповнення штучних водойм, які перевищують стік річки</i>			

Дослідження впливу змін клімату на стік річки Великий Куяльник у ХХІ сторіччі показали, що за всіма сценаріями виявлена чітка тенденція до зменшення припливу прісних вод.

Порівняння величин середніх багаторічних величин стоку у ХХІ сторіччі (сценарій А1В) із існуючим на сьогоднішній повним об'ємом штучних водойм (табл.5.12) дозволило виявити, що на 2021-2050рр. забезпечити усі

водойми водою під силу лише річці Великий Куяльник. З урахуванням результатів моделювання річного стоку р. Великий Куяльник за даними сценарію A1B, середній багаторічний природний стік цієї річки у кліматичний період (2071-2098 рр.) буде становити 10,0 млн.м³. Отже, навіть ця найбільша із приток Куяльницького лиману не зможе задовольнити сучасних потреб у використанні ставків. Відповідно із зменшенням природного (обумовленого кліматичними чинниками) стоку необхідно зменшувати і допустимі об'єми наповнення ставків.

Таблиця 5.12 – Рекомендовані об'єми штучних водойм в кліматичних умовах XXI сторіччя за сценарієм A1B для періоду 2021-2050 рр.

Річка	\bar{W}_{PP} (до 1989р.), млн.м ³	\bar{W}_{PP} (2021-2050рр.), млн.м ³	Повний об'єм штучних водойм, млн.м ³	Рекомендований об'єм штучних водойм на 2021-2050рр., млн. м ³
р.В.Куяльник	20,4	12,7	15,6	1,270
р.Довбока	0,460	0,219	0,370*	0,022
р.Кубанка	0,628	0,281	0,970*	0,028
б.Гіндельфдорська	0,0518	0,0213	0,354*	0,002
р. Кошкова	3,50	1,82	5,05*	0,182
р. Силівка	1,53	0,87	3,07*	0,087
р.Суха Журівка	3,29	2,13	2,19*	0,213
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	4,90	1,266	0,490
р. В.Куяльник (Силівка–Суха Журівка)	3,41	2,13	4,32*	0,213
<i>*Виділені об'єми заповнення штучних водойм, які перевищують стік річки</i>				

Отримані за моделлю “клімат-стік” результати розрахунків природного та побутового стоку за різними кліматичними сценаріями дозволяють зробити висновок, що у XXI сторіччі збільшення стоку річок водозбору р.Великий Куяльник за рахунок кліматичних умов не відбудеться, оскільки посушливість клімату буде зростати. Через зменшення водності річок наслідки створення штучних водойм посиляться, що призведе до незворотного руйнування (зменшення стоку перевищуватиме 70%) водних ресурсів річок. Для збереження водних ресурсів р.Великий Куяльник допустимі об'єми заповнення штучних водойм мають не перевищувати 10% від установленого за розрахунками природного (непорушеного господарською діяльністю) середнього багаторічного річного стоку річок. Приплив води від р. В.Куяльник до лиману за рахунок розчищення русла річки від штучних водойм буде становити 12-13 млн.м³.

6 ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОТЕНЦІЙНО МОЖЛИВОГО ЗБІЛЬШЕННЯ СТОКУ Р. В.КУЯЛЬНИК НА ВОДНО-СОЛЬОВИЙ БАЛАНС КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ У СУЧАСНИХ ТА МАЙБУТНІХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

6.1 Математична структура моделі водно-сольового балансу лиману

Рівняння водно-сольового балансу Куяльницького лиману можна записати таким чином [3]:

– водного балансу:

$$W_{K,j} = W_{K,j-1} + (W_{P,j} + W_{r,j} + W_{m,j} - W_{E,j}) \Delta t; \quad (6.1)$$

– балансу маси солей:

$$C_{K,j} = C_{K,j-1} + (W_{P,j}S_{P,j} + W_{r,j}S_{r,j} + W_{m,j}S_{m,j}) \Delta t \quad (6.2)$$

де Δt – розрахунковий крок моделі у часі, який брався рівним 1 місяцю;

$W_{K,j-1}$ – об'єм води в лимані наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця $(j-1)$, млн. м³;

$W_{K,j}$ – об'єм води в лимані наприкінці розрахункового місяця (j) , млн.м³;

$W_{P,j}$ – об'єм атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману за розрахунковий період (місяць (j)), млн. м³;

$W_{r,j}$ – об'єм припливу води (поверхневого, схилового, підземного стоку) з водозбірної басейну до лиману за місяць (j) , млн. м³;

$W_{m,j}$ – об'єм припливу води з моря трубопроводом «море-лиман» за місяць (j) , млн. м³;

$W_{E,j}$ – об'єм води, що випарився з водної поверхні лиману за місяць (j) , млн. м³;

$C_{K,j-1} = 0,001 W_{K,j-1} S_{K,j-1}$ – маса солей в лимані наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця $(j-1)$, млн. т;

$C_{K,j} = 0,001 W_{K,j} S_{K,j}$ – маса солей в лимані наприкінці місяця (j) , за який виконується розрахунок, млн. т;

$S_{K,j-1}$ – мінералізація води в лимані наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця $(j-1)$, г/дм³;

$S_{K,j}$ – мінералізація води в лимані наприкінці місяця (j), який розраховується, г/дм³;

$S_{P,j}$ – середня мінералізація атмосферних опадів, що випали на водну поверхню лиману за розрахунковий період (місяць (j)), г/дм³;

$S_{r,j}$ – середня за місяць (j) мінералізація припливних вод (поверхневих, схилових, підземних), що надійшли до лиману з його басейну, г/дм³;

$S_{m,j}$ – мінералізація води, що надходить до лиману трубопроводом «море-лимани» за місяць (j), г/дм³.

На кожному розрахунковому кроці за часом визначається об'єм води в лимані наприкінці розрахункового місяця (j) $W_{K,j} = W_{K,j-1} + \Delta W_{K,j}$. Надалі, із застосуванням функціональних залежностей $\zeta_{K,j} = f(W_{K,j})$ та $F_{K,j} = f(\zeta_{K,j})$ (рис. 6.1 та 6.2), визначаються площа водної поверхні $F_{K,j}$ (млн. м²) і рівень води у лимані $\zeta_{K,j}$ (м БС) наприкінці місяця (j).

Мінералізація води в лимані наприкінці місяця (j) розраховується таким чином

$$S_{K,j} = \frac{C_{K,j}}{W_{K,j}}. \quad (6.3)$$

У приходній частині рівнянь моделі водно-сольового балансу Куяльницького лиману (6.1) та (6.2), використаних для розрахунку рівнів і мінералізації води лиману, відсутні такі складові як фільтрація морських вод через пересип між лиманом і морем та приплив підземних вод через дно чаші водойми. Це пов'язано з тим, що об'єми вказаних вод є дуже незначними по відношенню до інших складових водно-сольового балансу лиману і становлять десяті та соті частки відсотків або, інколи, 1-2% його приходної частини [11]. Найбільш ґрунтовні дослідження фільтрації морських вод через пересип та припливу підземних вод через дно чаші водойми виконані в 1995 р. під керівництвом проф. Г.І. Швєбса та представлені в роботі [60], де наведено узагальнення результатів всіх попередніх досліджень цих складових водного балансу лиману та зроблений такий висновок: *«Таким образом, доля подземного водообмена лимана, скорее всего, несопоставимо мала по сравнению с его объёмом»*.

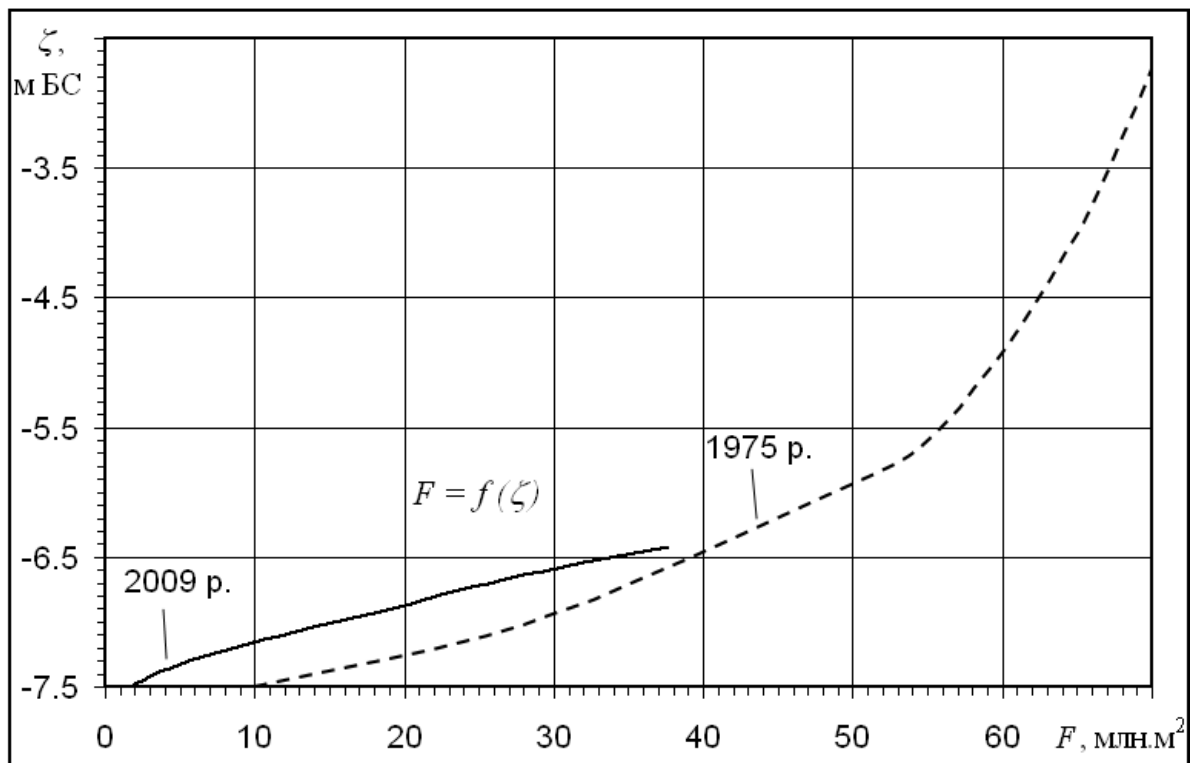


Рисунок 6.1 – Криві площ водної поверхні $F = f(\zeta)$ Куяльницького лиману [11]

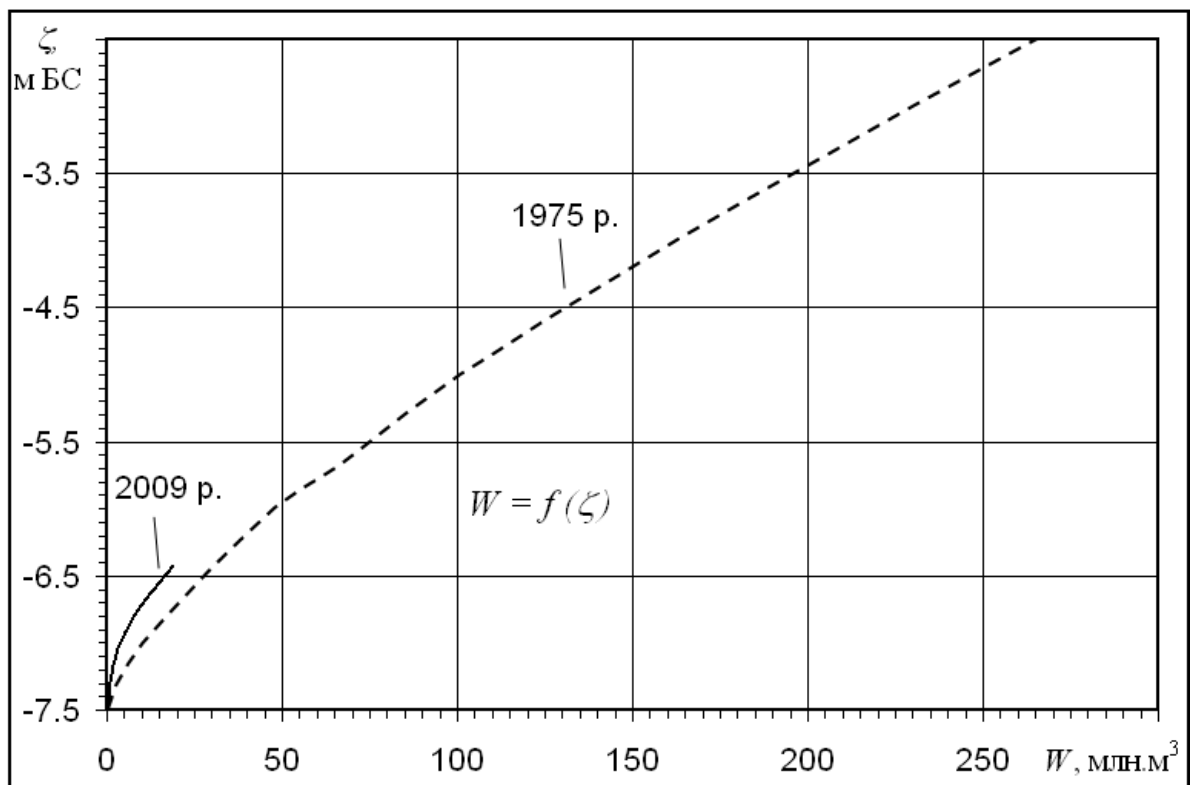


Рисунок 6.2 – Криві об'ємів води $W = f(\zeta)$ Куяльницького лиману [11]

6.2 Визначення об'єму та мінералізації атмосферних опадів

Об'єм атмосферних опадів $W_{P,j}$, млн. м³, що випали на водну поверхню Куяльницького лиману за j -й місяць, визначався за формулою

$$W_{P,j} = P_j F_{j-1}, \quad (6.4)$$

де P_j – шар атмосферних опадів за розрахунковий місяць (j), м;

F_{j-1} – площа водної поверхні лиману наприкінці попереднього (відносно розрахункового) місяця, млн. м².

Для обчислення $W_{P,j}$ використовуються щомісячні шари атмосферних опадів, визначені за даними вимірювань на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» $P_{K,j}$ (мм).

Виявлено, що мінералізація води атмосферних опадів в районі м. Одеса пов'язана із кількістю опадів і змінюється в межах 0,025-0,383 г/дм³ [77], (рис. 6.3).

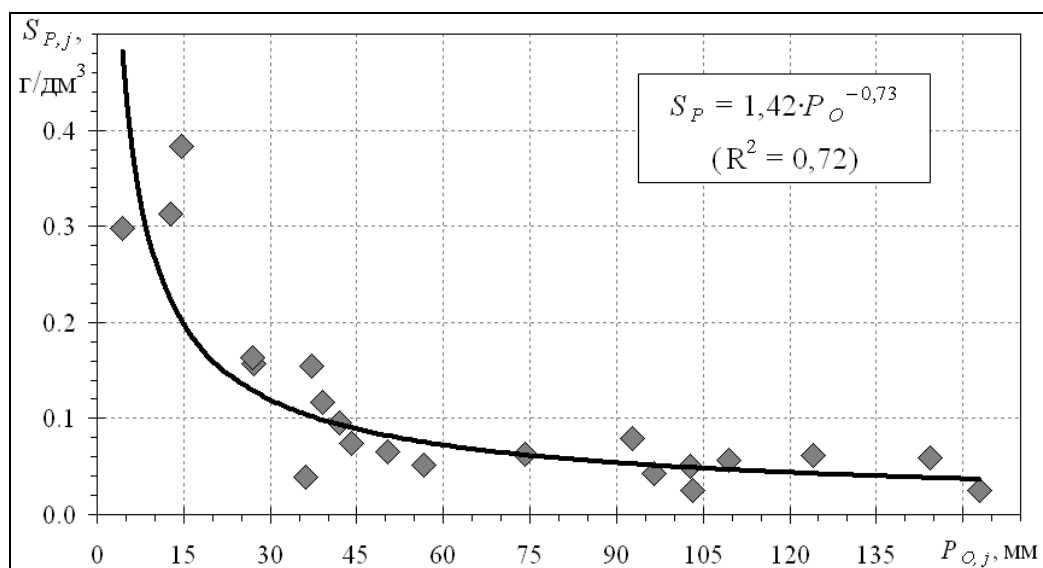


Рисунок 6.3 – Зв'язок середньомісячних значень мінералізації атмосферних опадів ($S_{P,j}$, мг/дм³) зі щомісячними сумами опадів ($P_{O,j}$, мм) в районі м. Одеси за період з 2013 по 2015 рр. ($P_{O,j}$ – дані метеостанції «Одеса-Обсерваторія»; $S_{P,j}$ – дані ОДЕКУ [78]; R^2 – детермінант кореляції)

6.3 Визначення об'єму та мінералізації припливних вод до лиману

Об'єм припливу вод $W_{r,j}$ (поверхневих, схилових, підземних), млн. м³, з водозбірної басейну до Куяльницького лиману за розрахунковий період визначався за формулою

$$W_{r,j} = W_{p.B.K.,j} + W_{p.D.,j} + W_{p.K.,j} + W_{б.Г.,j} + W_{б.K.,j} + W_{с.л.ВНС5,j} + W_{с.л.с.п.,j}, \quad (6.5)$$

де $W_{p.B.K.,j}$, $W_{p.D.,j}$, $W_{p.K.,j}$, $W_{б.Г.,j}$, $W_{б.K.,j}$, $W_{с.л.ВНС5,j}$, $W_{с.л.с.п.,j}$ – об'єми надходження вод до лиману за розрахункові місяці (j), відповідно, від рр. В. Куяльник, Довбока, Кубанка, бб. Гільдендорфська, Корсунцівська, скидних лотків водо-насосної станції (ВНС) № 5 та ставків пересипу.

Для математичного моделювання змін водно-сольового балансу Куяльницького лиману у майбутньому використовувалися наведені у попередньому розділі результати прогнозів стоку р. Великий Куяльник (за сценарними метеорологічними даними з використанням моделі “клімат-стік”) як основного водотоку, який живить лиман. Мінералізація води р. Великий Куяльник визначалась за середніми багаторічними значеннями (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Середні багаторічні значення мінералізації води р. Великий Куяльник $S_{p.B.K.,j}$ (мг/дм³) за місяці та сезони року при наявності стоку води в руслі річки за період з 1986 по 2011 рр.

Місяць	$S_{p.B.K.,j}$, г/дм ³	Сезон	$S_{p.B.K.}$, г/дм ³
ХІІ	1,575	Зима	1,858
І	2,486		
ІІ	1,513		
ІІІ	1,370	Весна	1,602
ІV	1,807		
V	1,630		
VI	Немає даних вимірювань	Літо	1,590
VII	1,300		
VIII	1,880		
IX	3,160	Осінь	2,171
X	2,060		
XI	1,292		

6.4 Визначення випаровування з водної поверхні лиману

Об'єми випаровування з водної поверхні Куяльницького лиману $W_{E,j,i}$ розраховувалися таким чином:

$$W_{E,j} = E_{S,j} F_{j-1}, \quad (6.6)$$

$$E_{S,j} = k_{S,j} E_j, \quad (6.7)$$

$$k_{S,j} = 1 - 0,002 S_{j-1}, \quad (6.8)$$

де $E_{S,j}$ – шар випаровування з водної поверхні лиману за розрахунковий місяць (j), м;

E_j – розрахунковий шар води, який випарився за місяць (j) з водної поверхні прісної водойми в районі лиману, м;

$k_{S,j}$ – безрозмірний коефіцієнт, що враховує вплив мінералізації води на зменшення випаровування з водної поверхні лиману [79].

У зв'язку з тим, що на Куяльницькому лимані випаровування з водної поверхні не вимірюється, шар випареної за місяць води визначався з використанням зв'язку щомісячних шарів випаровування із значеннями середньомісячної температури та відносної вологості повітря (рис. 6.4).

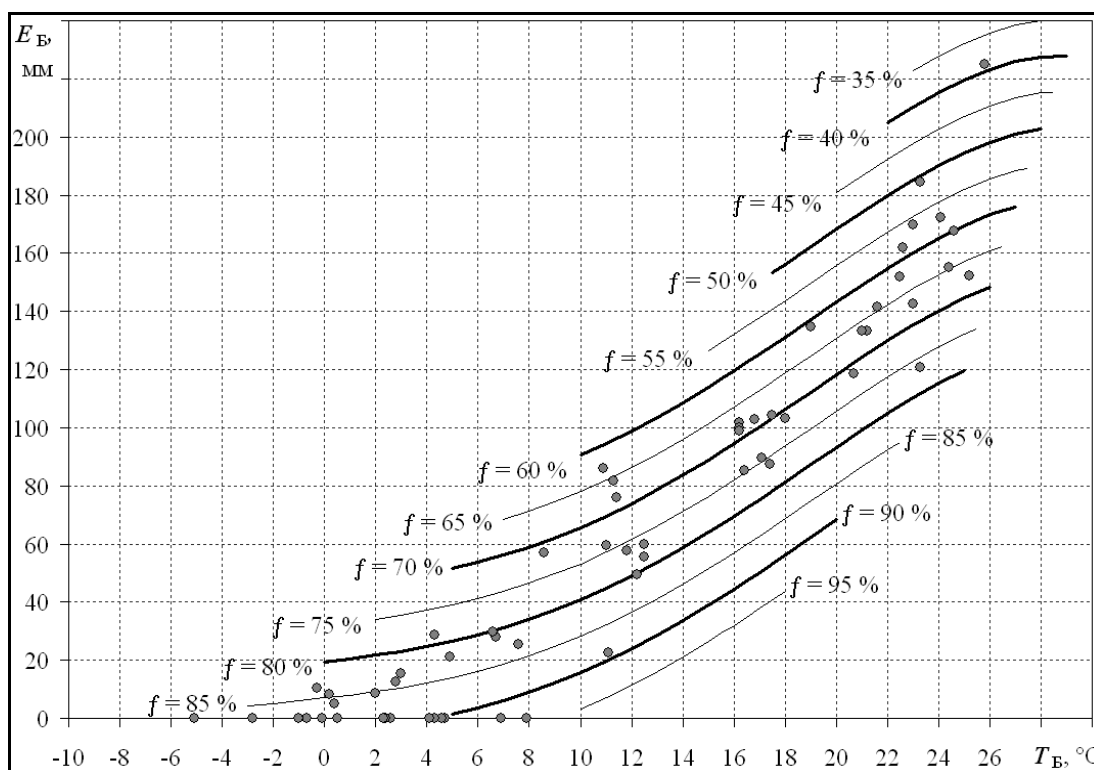


Рисунок 6.4 – Зв'язок шарів випаровування з водної поверхні за місяць $E_{\text{Б}}$, мм, з середньомісячними температурами повітря $T_{\text{Б}}$, °C, та значеннями відносної вологості повітря $f_{\text{Б}}$, %, за даними метеостанції «Болград» [80]

В 1968 р. О.Р. Константиновим [81] вони були рекомендовані для розрахунків, як найбільш зручні для практичного використання при визначенні випаровування з водної поверхні, оскільки не потребують введення додаткових поправок.

З рис. 6.4 видно, що при збільшенні температури та зменшенні відносної вологості повітря шар випаровування збільшується, а при зменшенні температури та збільшенні відносної вологості повітря – зменшується. При 0 °С або від’ємних температурах повітря та відносній вологості повітря більшій ніж 85-90 %, випаровування з поверхні немає.

Для розрахунку випаровування в районі лиману відносна вологість повітря бралась за сценарними даними метеостанції «Одеса-Обсерваторія», а температура повітря визначалась з використанням зв’язків між її значеннями на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» та на метеостанції «Одеса-Обсерваторія», які визначались для кожного місяця року (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Рівняння зв’язків між середньомісячними температурами повітря (°С) на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник» T_K і метеостанції «Одеса-Обсерваторія» T_O й коефіцієнти кореляції r між ними

Місяць	Рівняння зв’язку	r	Місяць	Рівняння зв’язку	r
I	$T_{K,I} = 1,17 \cdot T_{O,I} + 0,4$	0,995	VII	$T_{K,VII} = 1,34 \cdot T_{O,VII} - 5,7$	0,818
II	$T_{K,II} = 1,15 \cdot T_{O,II} + 0,7$	0,970	VIII	$T_{K,VIII} = 1,08 \cdot T_{O,VIII} + 0,1$	0,970
III	$T_{K,III} = 1,12 \cdot T_{O,III} + 0,9$	0,993	IX	$T_{K,IX} = 0,97 \cdot T_{O,IX} + 2,1$	0,980
IV	$T_{K,IV} = 1,10 \cdot T_{O,IV} + 0,8$	0,958	X	$T_{K,X} = 1,58 \cdot T_{O,X} - 5,6$	0,991
V	$T_{K,V} = 0,98 \cdot T_{O,V} + 2,7$	0,964	XI	$T_{K,XI} = 1,25 \cdot T_{O,XI} - 0,9$	0,982
VI	$T_{K,VI} = 1,60 \cdot T_{O,VI} - 9,8$	0,818	XII	$T_{K,XII} = 0,99 \cdot T_{O,XII} + 0,2$	0,988

6.5 Визначення об’ємів припливу морських вод через трубопровід «море-лиман» та їх мінералізації

Об’єми припливу морських вод через трубопровід «море-лиман» $W_{м,j}$, млн. м³, за розрахунковий місяць (j) визначались за формулою

$$W_{м,j} = 86400 N_j Q_{м,j} 10^{-6}, \quad (6.9)$$

де N_j – кількість діб, коли надходила морська вода в j -ому місяці;

$Q_{м,j}$ – середні за місяць витрати води в на виході з трубопроводу, м³/с;

86400 – кількість секунд в одній добі, с;

10^{-6} – коефіцієнт розмірності, який переводить розраховані дані з м³ в млн. м³.

Для імітаційного моделювання рівнів і мінералізації води Куяльницького лиману в умовах поповнення водойми морськими водами з Одеської затоки бралися середні багаторічні місячні значення мінералізації морської води $S_{m,j}$, визначені за даними гідрологічного поста «Порт-Одеса» (рис. 6.5).

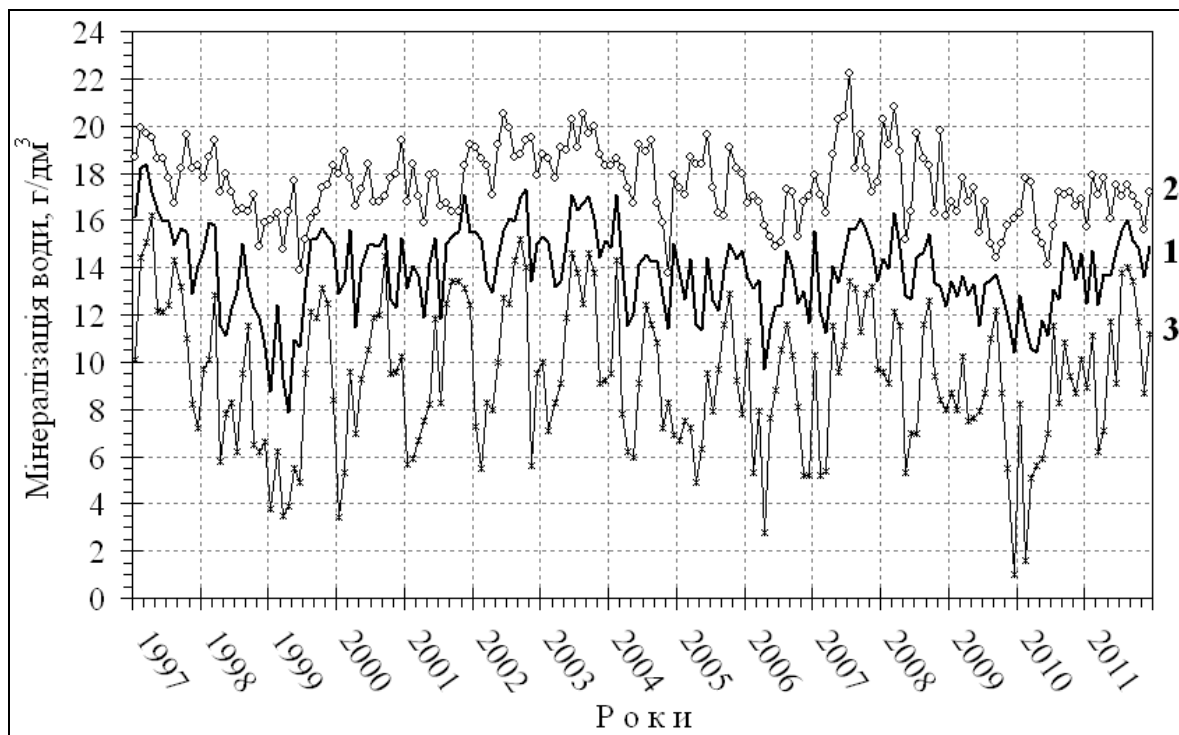


Рисунок 6.5 – Мінливість середньомісячних (1), максимальних (2) і мінімальних (3) значень мінералізації води Одеської затоки Чорного моря, визначених за даними гідрологічного поста «Порт-Одеса» [43], за період з 01.1997 р. по 12.2011 р.

6.6 Результати моделювання мінливості рівня та солоності води в Куяльницькому лимані на основі моделі водно-сольового балансу з урахуванням змін клімату у XXI сторіччі

В розділі наведені результати моделювання водно-сольового балансу Куяльницького лиману (багаторічна мінливість рівня та мінералізації води) з урахуванням змін клімату у XXI ст. за період з 2015 по 2098 рр., в умовах природного та побутового стоку з басейну р. В. Куяльник, як без подачі морської води, так і при періодичному надходженні до водойми морської води з Одеської затоки через трубопровід «море-лимани». Розрахунки виконувалися з використанням моделі водно-сольового балансу лиману, результати калібрування та верифікація якої наведені в роботі [43].

Для моделювання використані такі вихідні дані: середньомісячні значення температури та відносної вологості повітря, що у подальшому були застосовані для визначення щомісячних шарів випаровування з водної поверхні лиману; щомісячні шари та мінералізація води атмосферних опадів; середньомісячні витрати та мінералізація води р. В. Куяльник.

В розрахунках водно-сольового балансу лиману при періодичному надходженні до водойми морської води з Одеської затоки приймалось, що приплив морської води через трубопровід «море-лиман» відбувається самоплином з витратою $1,00 \text{ м}^3/\text{с}$ [82]. Також, вважалось, що функціонування трубопроводу «море-лиман» реалізується згідно з **варіантом 3** [83], який враховує такі граничні умови подачі морської води до лиману:

– подача морської води до лиману починається, якщо:

а) середньодобова температура води в Одеській затоці є меншою або дорівнює 8°C ;

б) середньомісячна мінералізація води в лимані є більша за 40 г/дм^3 , а позначка рівня води в лимані є меншою від мінус 4,35 м БС;

– подача морської води до лиману припиняється, якщо:

а) значення рівня води в лимані перед початком водопілля є більшим від позначки мінус 4,35 м БС;

б) середньомісячна мінералізації води в лимані менша за 40 г/дм^3 ;

в) середньодобова температура води в Одеській затоці вища ніж 8°C .

Крім того, вважалося, що якість морської води відповідає всім необхідним вимогам для її подачі в лиман, а її подача відбувається в період з 1 грудня по 10 квітня.

Результати моделювання рівнів і мінералізації води Куяльницького лиману для різних умов функціонування водойми у ХХІ ст. за період з 2015 по 2098 рр. показані на рисунках: 6.6-6.13 – в умовах надходження природного та побутового стоку з басейну р. В. Куяльник, але без подачі до водойми морської води з Одеської затоки, 6.14-6.16 – в умовах надходження природного та побутового стоку з басейну р. В. Куяльник та при періодичній подачі до водойми морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лиман».

З рис. 6.6 та 6.7 видно, що середньомісячні рівні води в лимані, при відсутності припливу морської води з Одеської затоки, в умовах природного стоку з басейну р. В. Куяльник суттєво перевищують середньомісячні рівні води в лимані в умовах побутового стоку (в середньому на 0,41 м, з максимумом 1,44 м – у травні-червні 2071 р.). В умовах природного стоку середнє за період з 2015 по 2098 рр. значення середньомісячних рівнів води в лимані може дорівнювати мінус 5,41 м БС, найбільше – мінус 3,26 м БС (у травні 2069 р.), найменше – мінус 6,35 м БС (у жовтні 2032 р.). За умов припливу до лиману побутового стоку середнє значення рівнів води у водоймі дорівнюватиме мінус 5,82 м БС, найбільше – мінус 4,51 м БС (у травні 2064 р.), найменше – мінус 6,38 м БС (у жовтні 2032 р.).

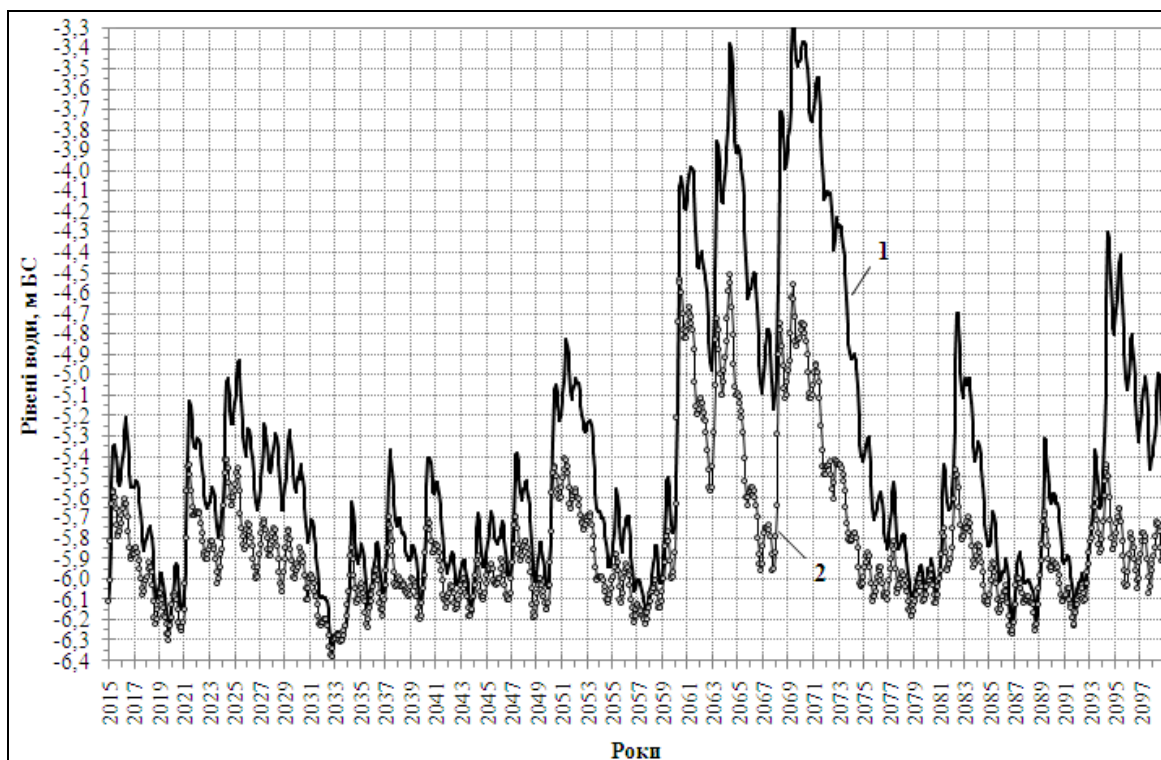


Рисунок 6.6 – Мінливість середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману в умовах природного (1) та побутового (2) стоку р. В. Куяльник за період з 2015 по 2098 рр.

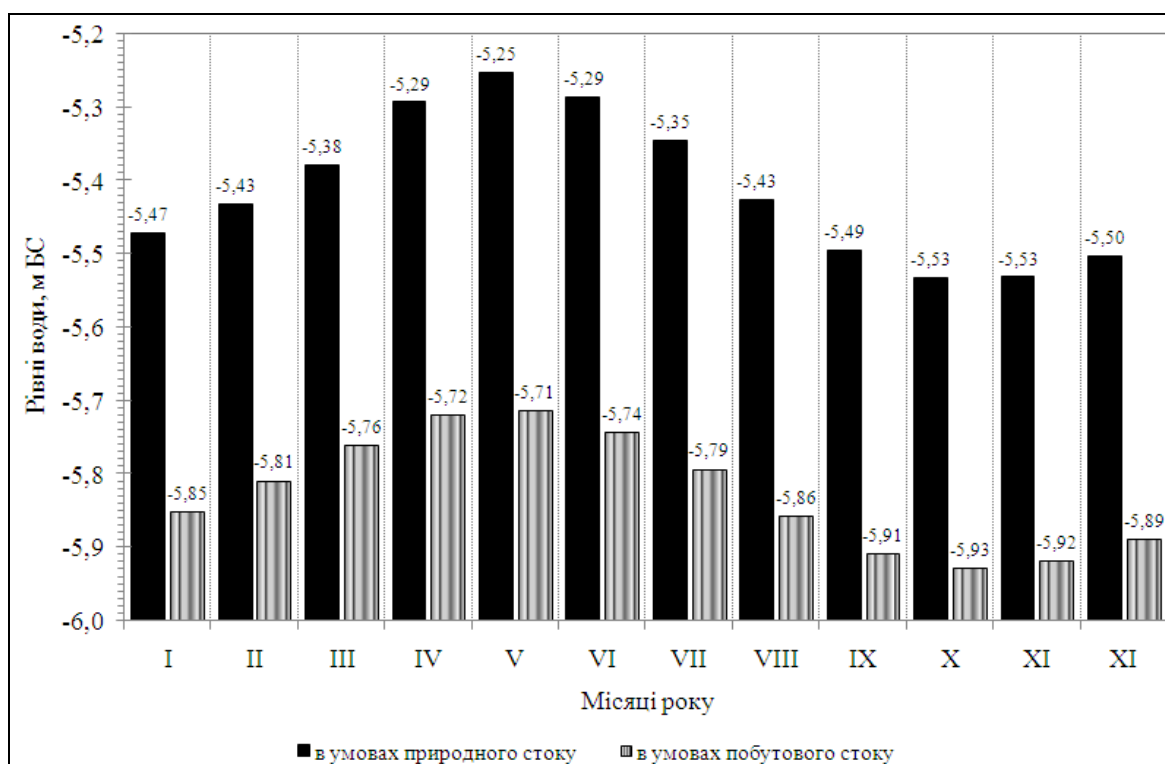


Рисунок 6.7 – Внутрішньорічний розподіл середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману в умовах природного та побутового стоку р. В. Куяльник за період з 2015 по 2098 рр.

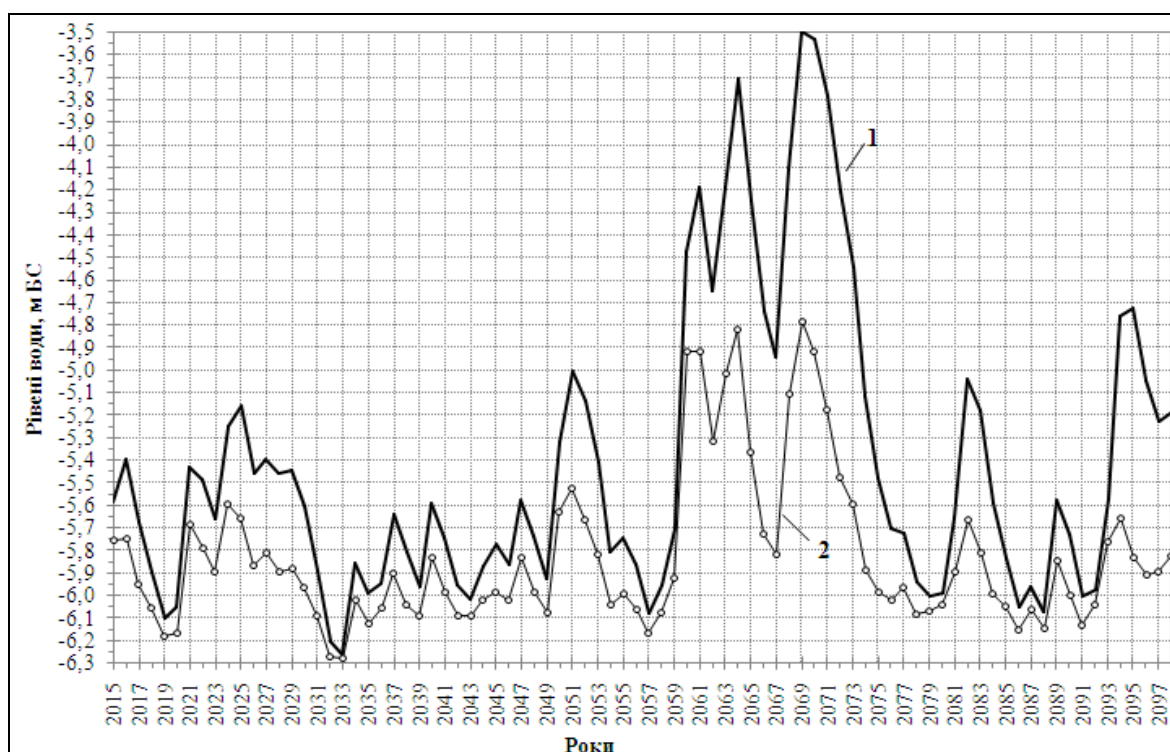


Рисунок 6.8 – Мінливість середньорічних рівнів води Куяльницького лиману в умовах природного (1) та побутового (2) стоку р. В. Куяльник за період з 2015 по 2098 рр.

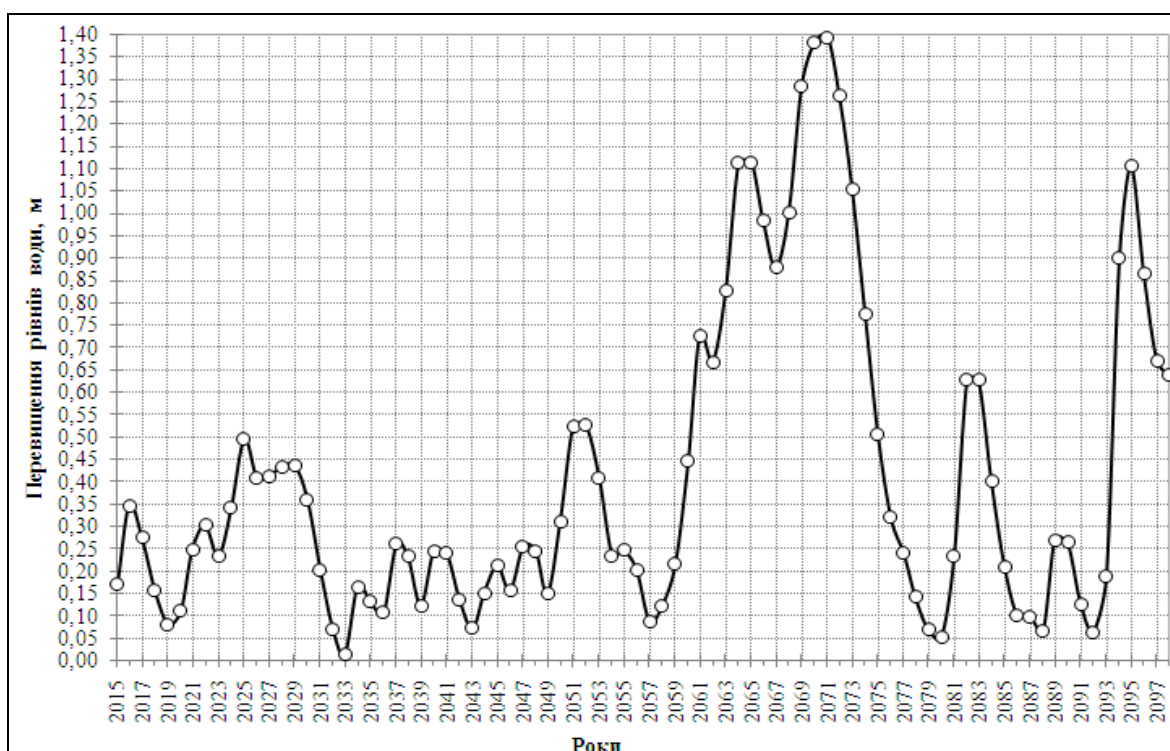


Рисунок 6.9 – Перевищення середньорічних значень рівня води Куяльницького лиману в умовах природного стоку р. В. Куяльник над значеннями рівня води в умовах побутового стоку за період з 2015 по 2098 рр.

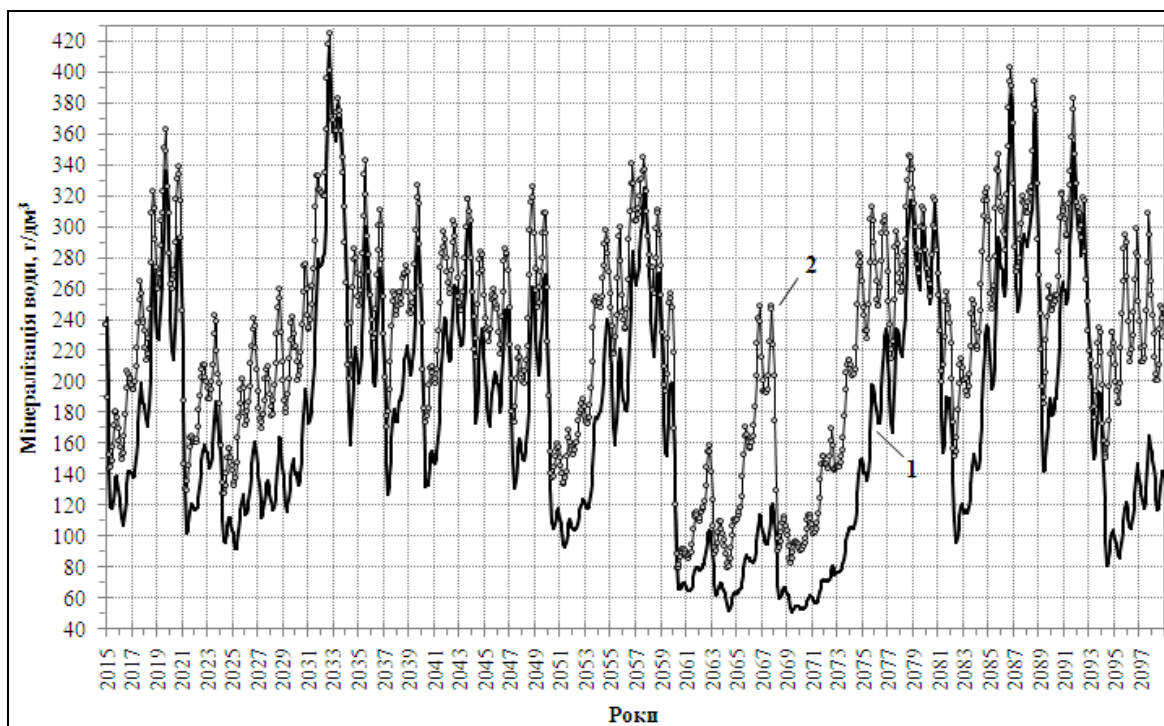


Рисунок 6.10 – Мінливість середньомісячних значень мінералізації води Куяльницького лиману в умовах природного (1) та побутового (2) стоку р. В. Куяльник за період з 2015 по 2098 рр.

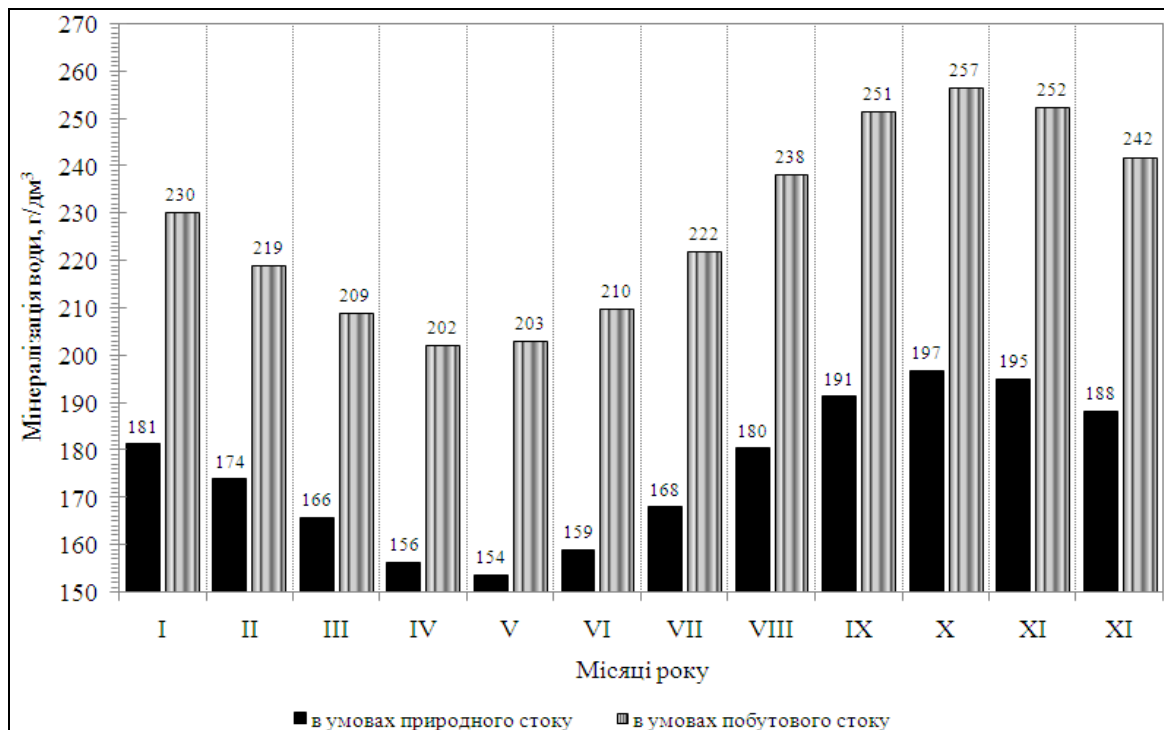


Рисунок 6.11 – Внутрішньорічний розподіл середньомісячних значень мінералізації води Куяльницького лиману в умовах природного та побутового стоку з басейну р. В. Куяльник за період з 2015 по 2098 рр.

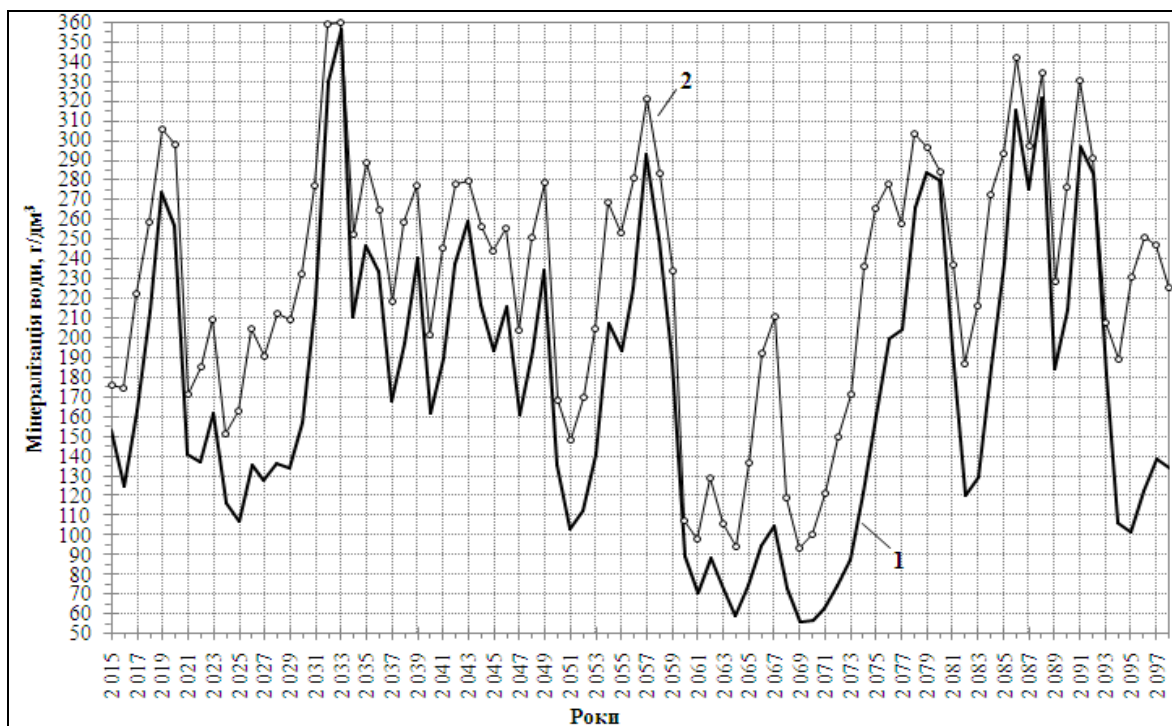


Рисунок 6.12 – Мінливість середньорічних значень мінералізації води Куяльницького лиману в умовах природного (1) та побутового (2) стоку р. В. Куяльник за період з 2015 по 2098 рр.

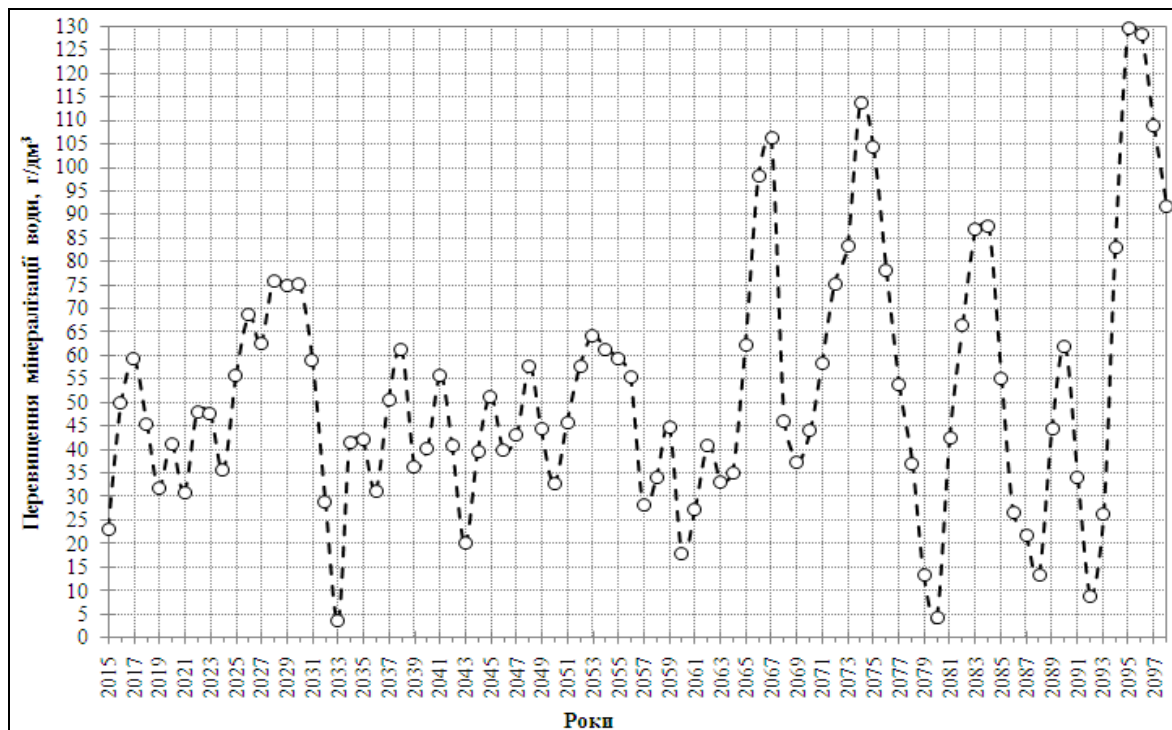


Рисунок 6.13 – Перевищення середньорічних значень мінералізації води Куяльницького лиману в умовах побутового стоку р. В. Куяльник над її значеннями в умовах природного стоку за період з 2015 по 2098 рр.

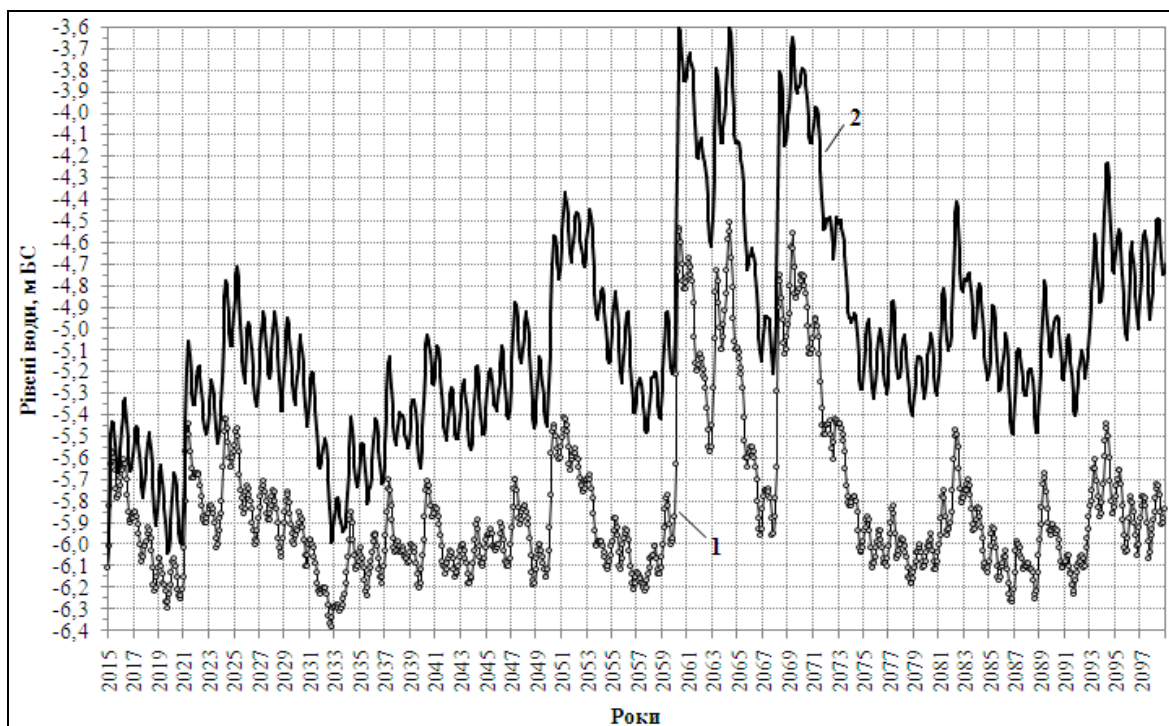


Рисунок 6.14 – Мінливість середньомісячних рівнів води Куяльницького лиману в умовах побутового стоку р. В. Куяльник без подачі морської води до водойми (1) та при її подачі з Одеської затоки (2) за період з 2015 по 2098 рр.

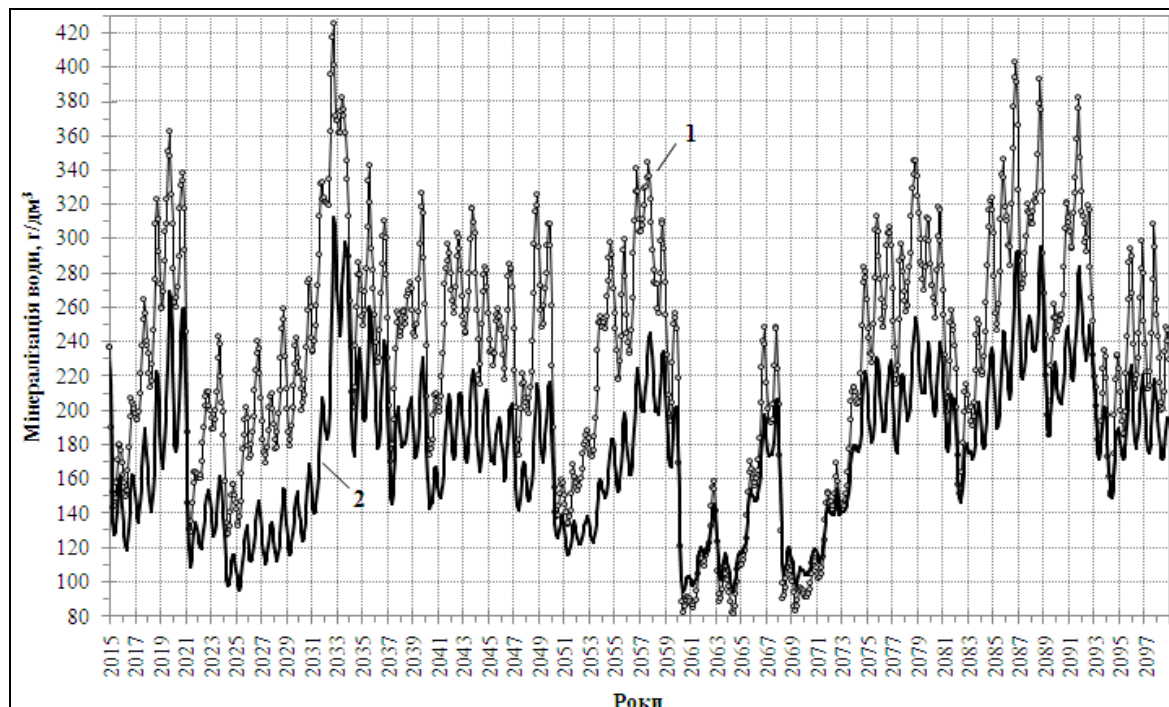


Рисунок 6.15 – Мінливість середньомісячних значень мінералізації води Куяльницького лиману в умовах побутового стоку р. В. Куяльник без подачі морської води до водойми (1) та при її подачі з Одеської затоки (2) за період з 2015 по 2098 рр.

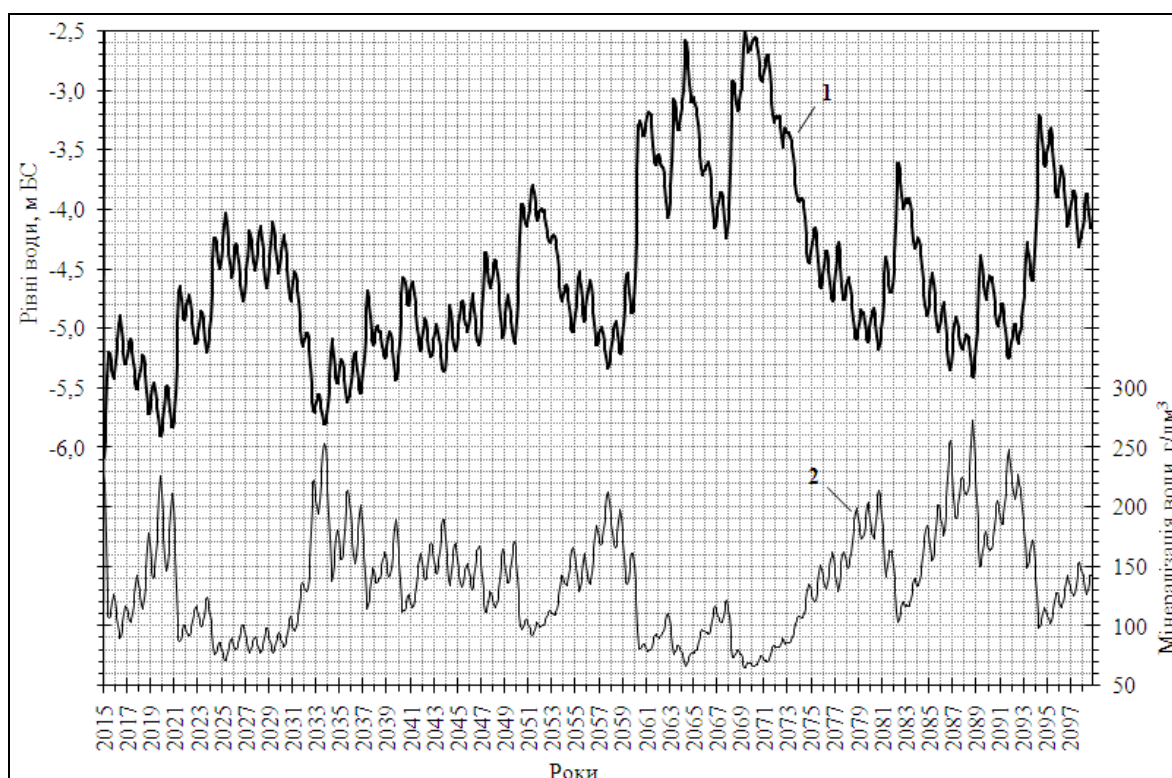


Рисунок 6.16 – Мінливість середньомісячних рівнів (1) і мінералізації (2) води в Куяльницькому лимані в умовах природного стоку з басейну р. В. Куяльник та при подачі морських вод з Одеської затоки за період з 2015 по 2098 рр.

З результатів аналізу середньорічних значень рівнів води в лимані (рис. 6.8 та 6.9) витікає, що їх мінливість в умовах природного та побутового стоку буде синхронною, але в умовах природного стоку рівні води в лимані будуть на 0,01-1,39 м вищі ніж в умовах побутового стоку, з розмахом коливань від мінус 6,26 м БС – у 2033 р. (наприкінці маловодного періоду 2030-2033 рр.), до мінус 3,50 м БС – у 2069 р. (під час багатоводного періоду 2066-2071 рр.).

З порівняння середньомісячних значень мінералізації води в лимані, при відсутності припливу морської води з Одеської затоки, в умовах природного та побутового стоку з басейну водойми (рис. 6.10 та 6.11) видно, що при останній умові вона буде вище в середньому на $52,19 \text{ г/дм}^3$. Найбільше середньомісячне значення мінералізації води в лимані буде дорівнювати $424,88 \text{ г/дм}^3$ – у жовтні 2032 р. (в умовах побутового стоку), а найменше – $50,76 \text{ г/дм}^3$ – у травні 2069 р. (в умовах природного стоку). Найбільше перевищення між середньомісячними значеннями мінералізації води в умовах природного та побутового стоку складе $171,88 \text{ г/дм}^3$ – у листопаді 2095 р. З результатів порівняння середньорічних значень мінералізації води в лимані (рис. 6.12 та 6.13) за період з 2015 по 2098 рр. в цілому витікає, що в умовах побутового стоку мінералізація води в лимані буде вища ніж в умовах природного стоку (від $3,75 \text{ г/дм}^3$ – у 2033 р., до $129,37 \text{ г/дм}^3$ – у 2095 р.).

При імітаційному моделюванні водно-сольового балансу лиману в умовах природного та побутового стоку з басейну р. В. Куяльник та при періодичному надходженні до водойми морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лиман» за **варіантом 3** (рис. 6.14-6.15) визначено, що рівні води в лимані значно підвищаться, а мінералізація води – зменшиться.

За період з 2015 по 2098 рр. при періодичній подачі морської води до лиману в умовах побутового стоку середньомісячні рівні води у водоймі збільшаться в середньому на 0,79 м, з найбільшим перевищенням 1,24 м – у квітні 2094 р. (рис. 6.14). За таких умов середньомісячні значення мінералізації води в лимані в середньому зменшаться на 52,35 г/дм³ (в окремі місяці аж на 137,69 г/дм³ – у липні 2032 р.), а найбільша мінералізація води буде дорівнювати лише 312,14 г/дм³ – у жовтні 2032 р. (рис. 6.15).

В умовах природного стоку при періодичній подачі морської води до лиману за **варіантом 3** (рис. 6.16) середньомісячні рівні води у водоймі збільшаться в середньому на 0,88 м, з найбільшим перевищенням 1,26 м – у квітні 2077 р. Слід зазначити, що зменшення середньомісячних значень мінералізації води в лимані в середньому складе лише 0,26 г/дм³, однак в окремі місяці ця різниця становитиме аж на 114,12 г/дм³ – у серпні 2032 р. Крім того, середньомісячні значення мінералізації води в лимані будуть в цілому менші 250 г/дм³ за виключенням 9 місяців (у жовтні-грудні 2033 р., жовтні-листопаді 2086 р. та серпні-листопаді 2088 р.), в які мінералізація води може короткочасно збільшитись до 251-273 г/дм³ (рис. 6.15).

В цілому, за період з 2015 по 2098 рр., при періодичному надходженні до Куяльницького лиману морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лиман» за **варіантом 3**, середньомісячні рівні води у водоймі в умовах природного стоку з басейну р. В. Куяльник (рис. 6.16) в середньому є на 0,51 м вищими ніж в умовах побутового стоку (рис. 6.14), з найбільшим перевищенням 1,31 м – у квітні-травні 2071 р., а мінералізація води є майже на 40 г/дм³ меншою, з найбільшою різницею 98,85 г/дм³ – у листопаді 2095 р.

Таким чином, з результатів аналізу рис. 6.6-6.16 витікає, що в умовах майбутнього клімату (за період з 2015 по 2098 рр., сценарій А1В), як без подачі до Куяльницького лиману морської води, так і при періодичному надходженні до водойми морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лиман», існування природного стоку з басейну р. В. Куяльник до лиману має більші переваги над побутовим стоком. Насамперед, це пов'язано зі значно меншими величинами мінералізації води та більш високими значеннями позначок рівнів води в лимані.

Слід також зазначити, що навіть в умовах побутового стоку у ХХІ ст., при періодичному надходженні до лиману морської води з Одеської затоки трубопроводом «море-лиман» за **варіантом 3**, в лимані можна очікувати поступове підвищення рівнів води та зменшення її мінералізації, величина якої не буде перевищувати 315 г/дм³, в середньому дорівнюючи 175,67 г/дм³.

7 ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МІНЛИВОСТІ ГІДРОЛОГІЧНИХ ТА ГІДРОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КУЯЛЬНИЦЬКОГО ЛИМАНУ ЗА РІЗНИХ ОБСЯГІВ СТОКУ РІЧКИ ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК

Розпочате наприкінці 2014 р. поповнення Куяльницького лиману морською водою за допомогою спеціально прокладеного трубопроводу дозволило запобігти повному висиханню лиману у наступні роки. Хоча поповнення Куяльницького лиману морською водою в сучасних умовах є необхідним і виправданим кроком для збереження його природних ресурсів, але в довгостроковій перспективі воно буде призводити до накопичення солей в лимані. Тому наступним кроком, передбаченим Регіональною програмою збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2018 рр. є відновлення припливу прісних вод з водозбірної басейну лиману, насамперед, стоку річки В.Куяльник шляхом регулювання водогосподарської діяльності на її водозборі. Однак, зважаючи на зменшення стоку річки у XXI ст. внаслідок зміни кліматичних умов, необхідно визначити доцільність та ефективність цього заходу відносно можливого впливу на гідроекологічний режим Куяльницького лиману.

Для оцінки впливу потенційно можливого у сучасних кліматичних умовах збільшення стоку р. В.Куяльник на внутрішньорічну просторово-часову мінливість гідрологічних та гідрофізичних характеристик Куяльницького лиману, які обумовлюють хімічні та біологічні процеси в ньому, і таким чином, впливають на властивості рапи та лікувальних грязей, використовувалась тривимірна гідротермодинамічна модель Delft3D-FLOW [9, 10].

Переваги застосування гідротермодинамічної моделі Delft3D-FLOW з пакету для 3-D моделювання Delft3D 4.01 Suite, який розроблений науково-дослідним інститутом «Делтарес» (Нідерланди), полягають в тому, що вона включає до себе блок розрахунку інтенсивності випаровування з водної поверхні, дозволяє забезпечити високу роздільну здатність у просторі та точність розрахунків, широко використовується науковцями Європейського Союзу для вирішення подібних задач на різних водних об'єктах Європи.

7.1 Опис гідротермодинамічної моделі, результатів її адаптації та верифікації

Модель Delft3D-FLOW базується на чисельному рішенні рівняння Нав'є-Стокса для нестисливої рідини на мілкій воді у наближенні Бусінеска. Система диференціальних прогностичних рівнянь моделі складається з рівнянь руху у горизонтальній площині, рівняння нерозривності, рівнянь переносу тепла і солей, а також з двопараметричної k - ϵ -моделі турбулентності [84], яка замикає ці рівняння. Вертикальні компоненти векторів швидкості течій розраховуються через рівняння нерозривності. Для рівняння швидкості

вертикального руху береться гідростатичне наближення. Рівняння стану морської води визначається за формулою ЮНЕСКО [85].

Вітрова напруга тертя на верхній вільній поверхні $\vec{\tau}_s = (\tau_{sx}, \tau_{sy})$, визначається як

$$|\vec{\tau}_s| = \rho_a c_d U_{10}^2, \quad (7.1)$$

де ρ_a – густина повітря;

$U_{10} = (U_x, U_y)$ – швидкість вітру на висоті 10 м;

c_d – коефіцієнт поверхневого вітрового тертя, який задавався у відповідності з наступним співвідношенням

$$c_d(U_{10}) = \begin{cases} c_d^A, & U_{10} < U_{10}^A \\ c_d^A + \frac{c_d^B - c_d^A}{U_{10}^B - U_{10}^A} (U_{10} - U_{10}^A), & U_{10}^A \leq U_{10} \leq U_{10}^B \\ c_d^B, & U_{10} \geq U_{10}^B \end{cases}, \quad (7.2)$$

де $c_d^A = 1,255 \times 10^{-3}$, $c_d^B = 2,425 \times 10^{-3}$ – значення коефіцієнтів вітрового тертя;

$U_{10}^A = 7$ м/с,

$U_{10}^B = 25$ м/с – швидкість вітру на висоті 10 м.

Придонна напруга тертя на дні визначається через швидкість придонної течії. Передбачається, що вектор придонної напруги тертя $\vec{\tau}_b = (\tau_{bx}, \tau_{by})$ співпадає по напрямку з вектором швидкості придонної течії $\vec{u}_b = (u_b, v_b)$, а його величина визначається квадратичним законом

$$\vec{\tau}_b = \frac{g \rho_0 \vec{u}_b |\vec{u}_b|}{c_{3D}^2}, \quad (7.3)$$

де $g = 9,81$ м/с² – прискорення вільного падіння;

ρ_0 – початкова густина води;

c_{3D} – тривимірний коефіцієнт донного тертя Шезі, який розраховується за формулою

$$c_{3D} = \frac{\sqrt{g}}{\kappa} \ln \left(1 + \frac{\Delta z_b}{2z_0} \right), \quad (7.4)$$

де $\kappa \approx 0,41$ – стала фон Кармана;

Δz_b – відстань від дна до точки, в якій визначається коефіцієнт;

z_0 – параметр шорсткості дна.

При виконанні модельних розрахунків параметр шорсткості дна z_0 розраховувався через двовимірний коефіцієнт донного тертя Шезі c_{2D} , відповідно до наступного відношення

$$z_0 = \frac{H}{e^{1 + \frac{\kappa c_{2D}}{\sqrt{g}}} - e}, \quad (7.5)$$

де H – повна локальна глибина;

c_{2D} – двовимірний коефіцієнт Шезі, який визначається відповідно до рівняння Маннінга

$$c_{2D} = \frac{\sqrt[6]{H}}{n}, \quad (7.6)$$

де n – коефіцієнт Маннінга.

Напруги Рейнольдса моделюються з використанням концепції турбулентної в'язкості. Вертикальна турбулентна в'язкість розраховується на основі k - ε моделі [85], в якій вирішується система двох нелінійних дифузійних рівнянь – для масової густини турбулентної енергії k та швидкості дисипації турбулентної енергії ε . Коефіцієнти турбулентної в'язкості в горизонтальному ν_H та вертикальному напрямках ν_V визначаються наступним чином

$$\nu_H = \nu_{3D} + \nu_H^{back}, \quad (7.7)$$

$$\nu_V = \nu_{mol} + \max(\nu_{3D}, \nu_V^{back}) \quad (7.8)$$

де ν_{3D} – в'язкість, що розраховується в k - ε моделі;

ν_H^{back} , ν_V^{back} – порогові значення коефіцієнтів турбулентної в'язкості в горизонтальному та вертикальному напрямках, відповідно;

ν_{mol} – коефіцієнт молекулярної в'язкості.

Перенос речовин та тепла у 3-D системі координат моделюється через рівняння адвекції-дифузії, до якого включені члени джерел-стоків тепла та солей. Коефіцієнти горизонтальної та вертикальної дифузії визначаються відповідно як

$$D_H = D_{3D} + D_H^{back}, \quad (7.9)$$

$$D_V = \frac{v_{mol}}{\sigma_{mol}} + \max(D_{3D}, D_V^{back}), \quad (7.10)$$

$$D_{3D} = \max\left(D_{3D}, 0,2 L_{oz}^2 \sqrt{-\frac{g}{\rho} \frac{\delta\rho}{\delta z}}\right), \quad (7.11)$$

де D_{3D} – дифузія, що розраховується в $k-\varepsilon$ моделі;

D_H^{back} , D_V^{back} – порогові значення коефіцієнтів дифузії в горизонтальному та вертикальному напрямках, відповідно;

L_{oz} – масштаб довжини Озмідова;

σ_{mol} – число Прандтля-Шмідта для молекулярного перемішування;

z – глибина.

Порогові значення коефіцієнтів горизонтальної турбулентної в'язкості та дифузії визначались за допомогою «закону чотирьох третин», встановленого Річардсоном (1926), з урахуванням горизонтального шагу розрахункової сітки

$$v_H^{back}, D_H^{back} = \gamma \Delta^{4/3}, \quad (7.12)$$

де Δ – горизонтальний шаг розрахункової сітки;

$\gamma = 0,03$ – безрозмірний емпіричний коефіцієнт [86].

Тепло- та масообмін з атмосферою розраховується в моделі з використанням напівемпіричних формул [87, 88].

Випаровування з водної поверхні E розраховується в моделі як сума випаровування під дією вимушеної конвекції E_{FORCED} та випаровування при вільній конвекції E_{FREE} .

Випаровування під дією вимушеної конвекції визначається наступним чином

$$E_{FORCED} = \rho_a f(U_{10}) \{q_s(T_s) - q_a(T_a)\}, \quad (7.13)$$

де ρ_a – густина повітря;

q_s – питома вологість насиченого водяного пару;

q_a – питома вологість повітря на висоті 10 м.

$$q_s(T_s) = \frac{0,62 e_s}{P_{atm} - 0,38 e_s}, \quad (7.14)$$

$$q_a(T_a) = \frac{0,62 e_a}{P_{atm} - 0,38 e_a}, \quad (7.15)$$

де P_{atm} – атмосферний тиск;

e_s – пружність насиченого водяного пару;
 e_a – дійсна пружність пару, які розраховуються відповідно до наступних відношень

$$e_s = 10^{\frac{0,7859+0,03477 T_s}{1+0,00412 T_s}}, \quad (7.16)$$

$$e_a = r_{hum} 10^{\frac{0,7859+0,03477 T_a}{1+0,00412 T_a}}, \quad (7.17)$$

де r_{hum} – відносна вологість повітря;
 T_s – температура води у поверхневому шарі;
 T_a – температура повітря.
 Функція швидкості повітря на висоті 10 м $f(U_{10})$ у формулі (7.13) визначається як

$$f(U_{10}) = c_e U_{10}, \quad (7.18)$$

де c_e – число Дальтона (калібрувальний коефіцієнт);
 U_{10} – швидкість вітру на висоті 10 м, м/с.
 Випаровування при вільній конвекції розраховується наступним чином

$$E_{FREE} = k_S \bar{\rho}_a \{q_s(T_s) - q_a(T_a)\}, \quad (7.19)$$

де $\bar{\rho}_a$ – середня густина повітря;
 k_S – коефіцієнт теплопередачі, який розраховується за наступною залежністю

$$k_S = \begin{cases} 0, & \rho_{a10} - \rho_{a0} \leq 0 \\ c_{fr.conv} \left\{ \frac{g \alpha^2}{v_{air} \bar{\rho}_a} (\rho_{a10} - \rho_{a0}) \right\}^{1/3}, & \rho_{a10} - \rho_{a0} > 0 \end{cases} \quad (7.20)$$

де $c_{fr.conv}$ – коефіцієнт вільної конвекції, який калібрується;
 ρ_{a0} – густина насиченої водяної пари (біля водної поверхні), кг/м³;
 ρ_{a10} – густина повітря на висоті 10 м, кг/м³;
 v_{air} – в'язкість повітря, яка береться рівною константі $16,0 \times 10^{-6}$ м²/с;
 α – молекулярна дифузія повітря, яка визначається наступним чином

$$\alpha = \frac{v_{air}}{\sigma}, \quad (7.21)$$

де $\sigma = 0,7$ – число Прандтля (для газів).

Густина насиченої водяної пари ρ_{a0} та густина повітря на висоті 10 м ρ_{a10} у залежності (7.20) розраховуються відповідно як

$$\rho_{a0} = \frac{\frac{100P_{atm} - 100e_s}{R_{dry}} + \frac{100e_s}{R_{vap}}}{T_s + 273,15}, \quad (7.22)$$

$$\rho_{a10} = \frac{\frac{100P_{atm} - 100e_a}{R_{dry}} + \frac{100e_a}{R_{vap}}}{T_a + 273,15}, \quad (7.23)$$

де $R_{dry} = 287,05$ Дж/(кг К) – газова стала для сухого повітря;

$R_{vap} = 461,495$ Дж/(кг К) – газова стала для пари.

Для врахування залежності інтенсивності випаровування з водної поверхні від солоності води лиману, розраховане в моделі випаровування помножувалось на корегувальний коефіцієнт відповідно до емпіричної залежності, наведеної в [89]

$$E_S = E \times (0,75 + 0,25 e^{-0,065 \cdot S}) \quad (7.24)$$

де S – солоність води у поверхневому шарі, ‰.

Ступінь прозорості води, яка впливає на інтенсивність поглинання короткохвильової радіації у водному стовпі, задається в моделі як константа.

Кінцево-різницева апроксимація рівнянь моделі виконана на криволінійній розрахунковій сітці С-типу за класифікацією Аракави: скалярні величини задаються в центрах елементарних розрахункових осередків, а нормальні компоненти швидкості течій – на їх відповідних гранях. Часовий крок рішення рівнянь обмежується умовою стабільності Куранта-Фрідрікса-Леві.

Для дискретизації гідродинамічних рівнянь у 3-D просторі використовувалась структурована криволінійна система координат в горизонтальній площині та σ -система координат – по вертикалі. Криволінійна розрахункова сітка, яка була згенерована та пристосована до меж акваторії лиману, складалась з 37×268 розрахункових осередків у горизонтальній площині (рис. 7.1в, г). Осередки сітки мають змінні розміри по горизонталі, які плавно змінюються в межах 60-210 м вздовж повздовжньої вісі лиману та 40-280 м – у поперечному напрямку. По вертикалі задавались 3 розрахункових рівня рівної товщини, реалізовані у криволінійній σ -системі координат. Глибини в лимані, приведені до позначки рівня води мінус 4,8 м БС (рис. 7.1а, б), задавались на основі векторизованих карт Одеської області масштабів 1:25000 та 1:100000 та плану Куяльницького лиману в ізобатах, побудованого за результатами батиметричної зйомки 2009 р.

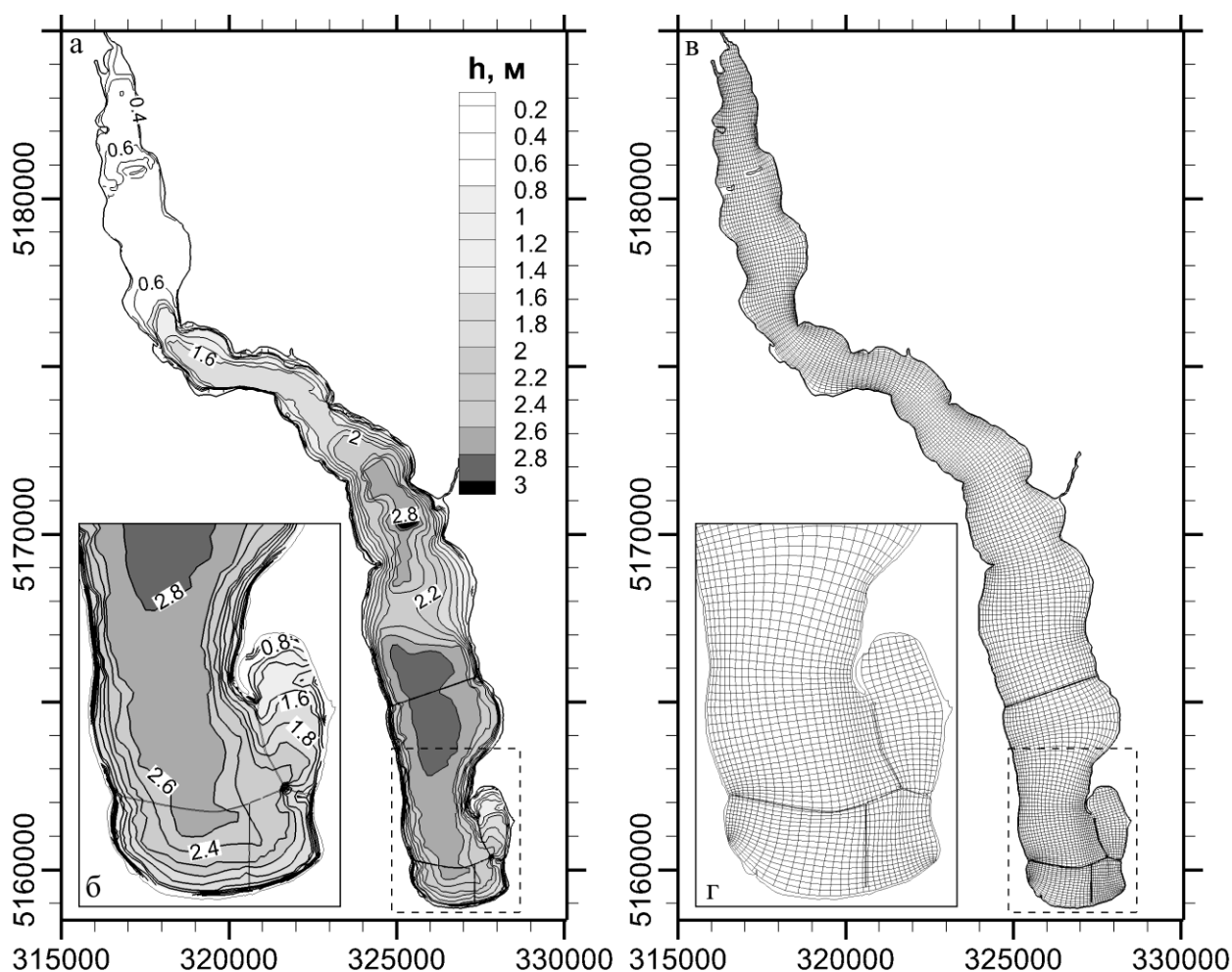


Рисунок 7.1 – Батиметрична карта акваторії Куяльницького лиману (а, б). Криволінійна розрахункова сітка (в, г)*

* Глибини на карті відповідають відмітці рівня моря мінус 4,8 м БС. На осях координат – відмітки сітки Універсальної поперечної проєкції Меркатора (UTM) з кроком 1000 м, зона 36N

Програмна реалізація чисельних рівнянь моделі дозволяє враховувати під час проведення модельних розрахунків всихання-затоплення окремих мілководних ділянок ложа лиману при змінах рівня води у ньому.

Часовий крок рішення рівнянь моделі приймався рівним 30 с. Початкові умови для модельних розрахунків (відмітка рівня води у лимані, температура, солоність води) задавались на основі даних спостережень та приймалися однорідними у просторі.

Адаптація моделі до умов Куяльницького лиману та її верифікація були виконані в [90] із використанням архівних гідрометеорологічних даних для двох обраних екстремальних років: 1987 р. та 2003 р. У 1987 р. стік р. Великий Куяльник в лиман був майже відсутній; невеликий стік (із витратами до $1,54 \text{ м}^3/\text{с}$) спостерігався лише наприкінці березня – на початку квітня. У 2003 р., навпаки, мала місце найбільша за останні десятиріччя повинь: витрати річки В. Куяльник досягали $34,5 \text{ м}^3/\text{с}$ наприкінці березня. В

процесі адаптації моделі було виконано калібрування значень найбільш значущих коефіцієнтів рівнянь моделі (табл. 7.1), які використовувались у подальшому при розрахунках. Валідація моделі проводилась за умов 2015 р.

Таблиця 7.1 – Значення основних коефіцієнтів моделі, визначені під час її калібрування

№ з/п	Назва параметру	Значення, що використовувалось	Джерело
1.	Глибина Секкі, м	0,1	[91]
2.	Коефіцієнт поверхневого вітрового тертя, c_d	Лінійна функція зі значеннями $1,255 \times 10^{-3}$ та $2,425 \times 10^{-3}$ при швидкостях вітру 7 та 25 м/с відповідно	[92]
3.	Коефіцієнт Маннінга n , $\text{м}^{-1/3}\text{с}$	$1,8 \times 10^{-2}$	[93]
2.	Пороговий коефіцієнт горизонтальної турбулентної в'язкості, ν_H^{back} , $\text{м}^2/\text{с}$	10,0	[10, 86]
3.	Пороговий коефіцієнт горизонтальної турбулентної дифузії, D_H^{back} , $\text{м}^2/\text{с}$	10,0	[10, 86]
4.	Пороговий коефіцієнт вертикальної турбулентної в'язкості, ν_V^{back} , $\text{м}^2/\text{с}$	1×10^{-6}	[10]
5.	Пороговий коефіцієнт вертикальної турбулентної дифузії, D_V^{back} , $\text{м}^2/\text{с}$	0	[10]
6.	Число Дальтона, c_e	$1,6 \times 10^{-3}$	[94]
7.	Число Стентона, c_h	$2,0 \times 10^{-2}$	[94]
8.	Коефіцієнт вільної конвекції, $c_{fr.conv}$	0,4	[94]

7.2 Моделювання мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману за умов 2015 р.

7.2.1 Умови фактичного надходження стоку річки Великий Куяльник до лиману

Моделювалась мінливість гідрологічних характеристик в лимані на відрізок часу з 22.12.2014 р. по 01.11.2015 р. Початок періоду моделювання відповідав моменту відкриття водопропускної гідротехнічної системи, що дозволяє поповнювати Куяльницький лиман морською водою з Одеської затоки.

При моделюванні враховувались наступні припливні складові водного балансу лиману: обсяги надходження морських вод в лиман через гідротехнічну споруду (водопропускна споруда), стік річок В. Куяльник, Довбока, Кубанка; стік з Корсунцівської, Гільдендорфської балок та через лотки з ВНС № 5 і ставків пересипу (рис. 7.2), добові суми опадів на акваторію лиману (рис. 7.3). Витрати прісних вод через водотоки, які впадають в лиман, морських вод через водопропускну споруду, солоність морських вод задавались на підставі даних вимірювань фахівців Одеського державного екологічного університету (ОДЕКУ). З рис. 7.4 видно, що у 2015 р. надходження прісних вод до лиману зі стоком р. В.Куяльник було значно меншим, ніж зі стоком інших водотоків. В певній мірі це пов'язано з тим, що гирло р. В.Куяльник влітку і до жовтня 2015 р. було перекрито штучною дамбою, створеною протиправно.

Часова мінливість напряду та швидкості вітру, температури та вологості повітря, балу хмарності у період моделювання задавались з дискретністю 3 години за даними спостережень на ГМС «Одеса-ГМО» (рис. 7.3).

Для верифікації результатів модельних розрахунків використовувались дані систематичних безперервних спостережень за мінливістю рівня води в лимані на водомірному посту «Одеса-Куяльник», а також епізодичних спостережень за рівнем, температурою та солоністю води в лимані, виконані фахівцями ОДЕКУ при проведенні моніторингу протягом 2015 р.

В [90, 91, 95], було встановлено, що виключно важливу роль у формуванні внутрішньорічної мінливості рівня та солоності вод в лимані відіграють зливові опади. Точність завдання їх інтенсивності та повторюваності при імітаційному моделюванні визначає систематичну похибку діагностичних та прогностичних розрахунків. Використання при моделюванні даних щодо атмосферних опадів виміряних на ГМС «Одеса-ГМО», «Любашівка» та «Одеса-порт» призводило до стрибкоподібного підвищення рівня води після злив на початку квітня та на початку липня 2015 р., що не узгоджувалось з даними спостережень за рівнем води у лимані. Тому до моделювання були залучені дані спостережень за атмосферними опадами на метеорологічному посту «Одеса-Куяльник», розташованому у м. Одеса, пров. Лиманний (рис. 7.3з), що дозволило отримати добре узгодження внутрішньорічної мінливості спостережених та розрахованих значень рівня води у лимані (рис. 7.5а).

Результати модельних розрахунків мінливості температури води в лимані, яка впливає на інтенсивність випаровування з його водної поверхні і, таким чином, зумовлює зменшення рівня води, також добре узгоджуються з даними спостережень (рис. 7.5б). Річна мінливість місячних шарів випаровування, розрахована при моделюванні, наведена на рис. 7.5в.

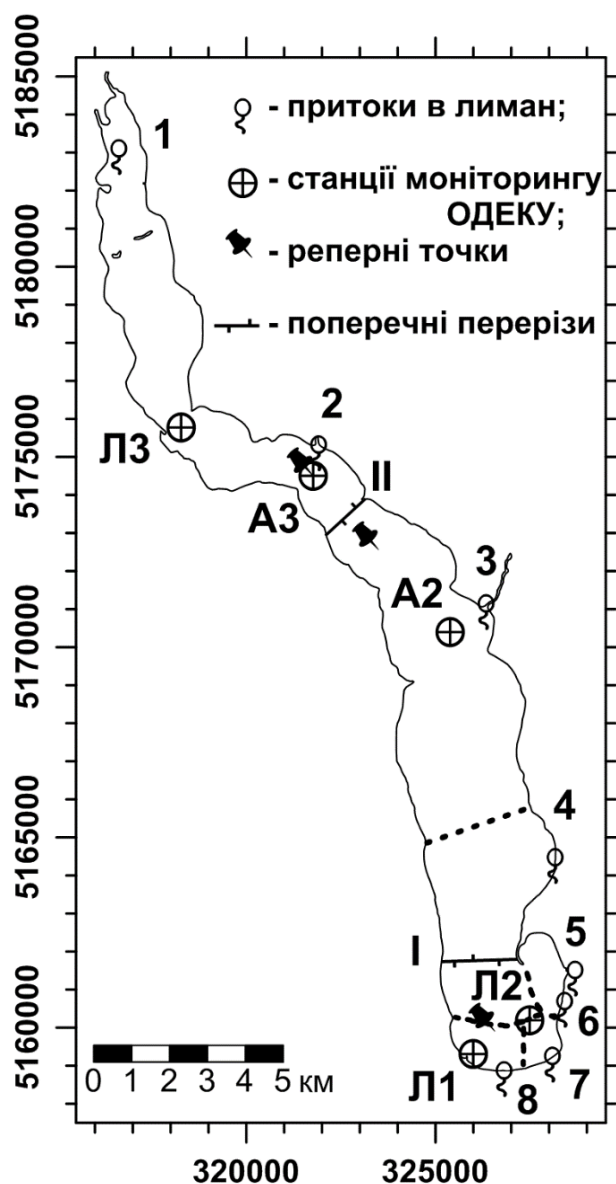


Рисунок 7.2 – Схема розташування станцій моніторингу ОДЕКУ на акваторії Куяльницького лиману (позначені А2, А3, Л1, Л2, Л3), реперних точок та поперечних перерізів (позначені І та ІІ) для аналізу результатів моделювання, та приток в лиман: 1 – р. В. Куяльник; 2 – р. Довбока; 3 – р. Кубанка; 4 – б. Гільдендорфська; 5 – б. Корсунцівська; 6 – лоток з ВНС № 5; 7 – водопропуск «лиман-море»; 8 – лоток зі ставків пересипу

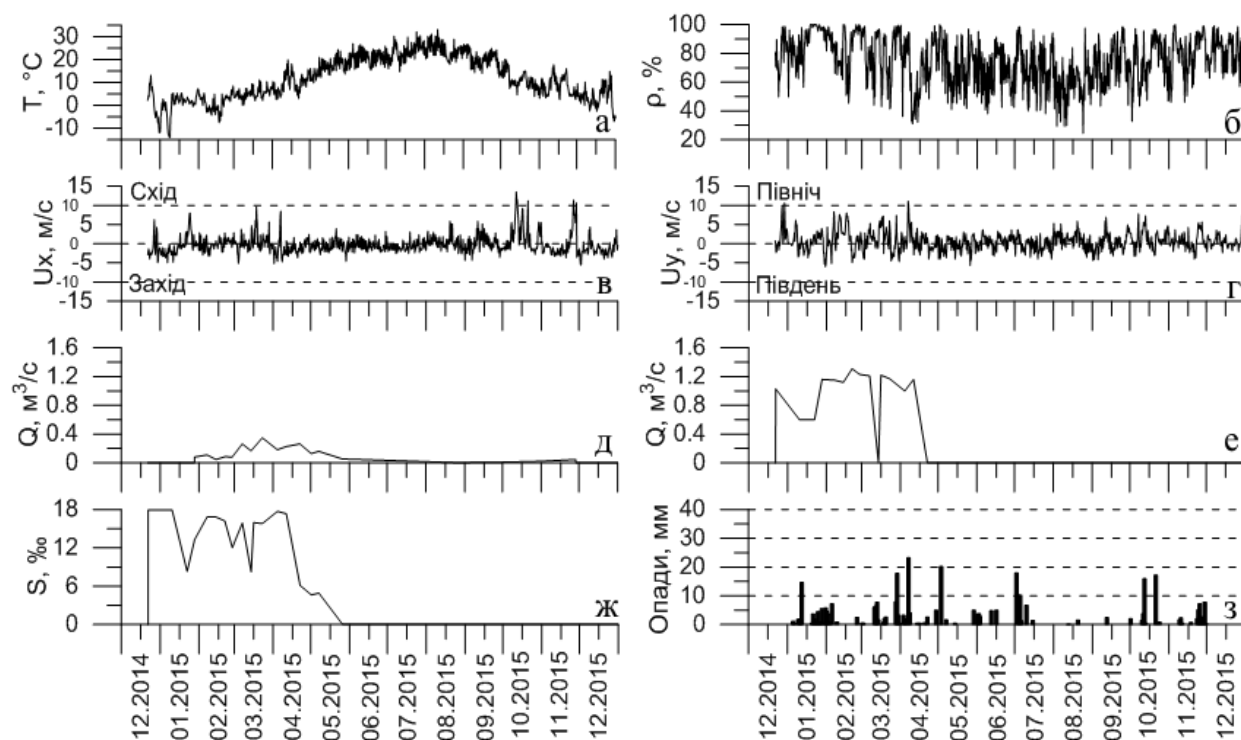


Рисунок 7.3 – Вихідні дані, що використовувались під час валідації моделі за гідрометеорологічних умов 2015 р.: часова мінливість температури, °С (а), вологості повітря, % (б); компоненти вектору швидкості вітру, м/с, у напрямках «схід-захід» (в) та «північ-південь» (г) (за даними спостережень на ГМС «Одеса-ГМО»); сумарні витрати річок, балок, лотків з ВНС № 5 та пересипу у лиман, м³/с (д); витрати, м³/с, (е) та солоність, ‰, (ж) морської води у водопропуску «лиман-море»; добовий шар атмосферних опадів, мм, виміряних на метеопосту «Одеса-Куяльник» (з)

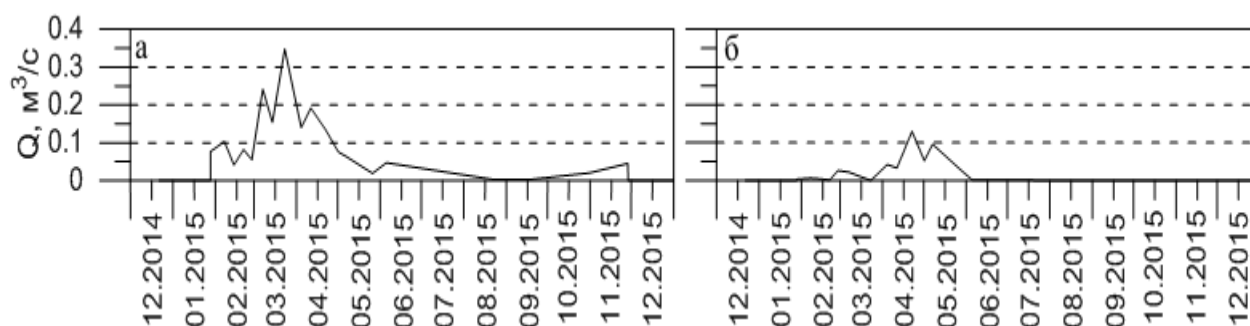
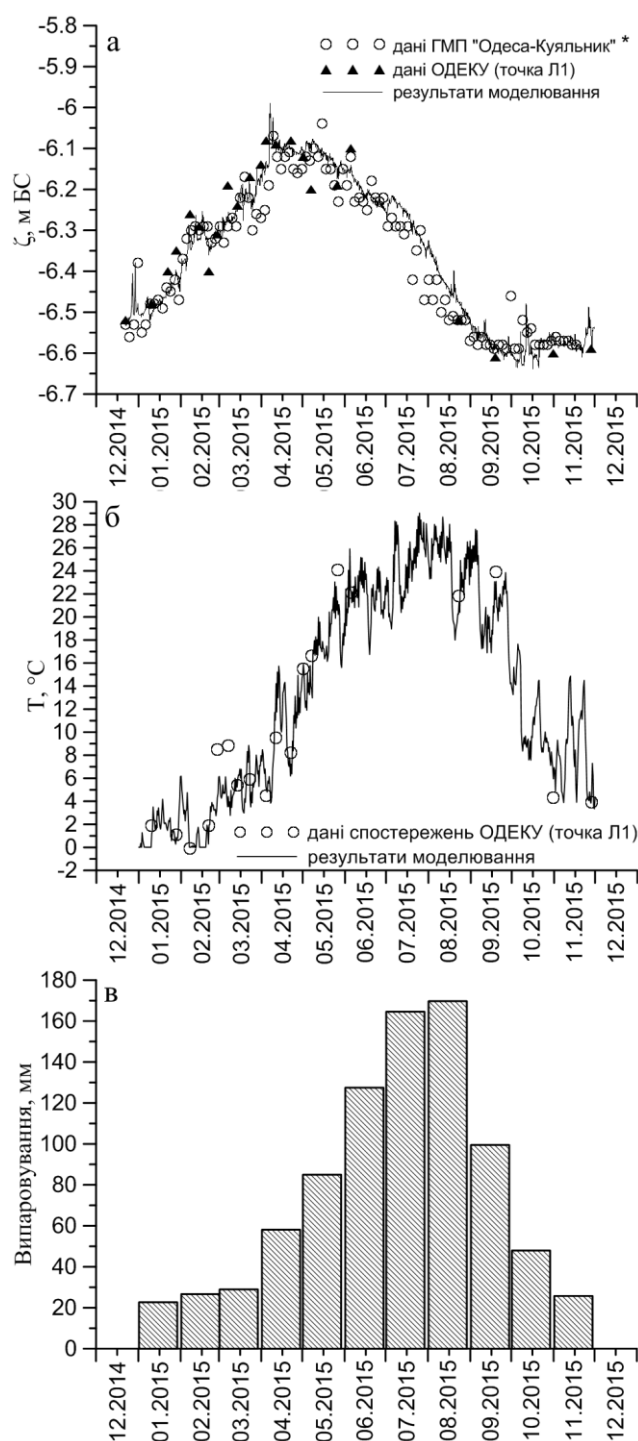


Рисунок 7.4 – Мінливість сумарних витрат води, м³/с, по тимчасовим водотокам (р. Довбока, р. Кубанка, б. Гільдендорфська, б. Корсунцівська, лотки з ВНС №5 та зі ставків пересипу) (а) та витрат води р. В. Куяльник (б) у 2015 р.



* дані проріджені через кожні 3 значення для зручності читання

Рисунок 7.5 – Часова мінливість рівня, м БС, (а) та температури води, °C, (б) в Куяльницькому лимані протягом 2015 р.: за даними натурних спостережень (точки) та отримана при моделюванні (криві) з використанням даних спостережень за атмосферними опадами на метеопосту «Одеса-Куяльник». Місячні шари випаровування з водної поверхні лиману (точка Л1) (в), розраховані за моделлю

З більшими похибками, ніж температура води, відтворюється моделлю просторово-часова мінливість солоності води в лимані (рис. 7.6), особливо у його північній частині (рис. 7.6в). З огляду на значну мілководність північної частини лиману при відмітках рівня води, які спостерігались у 2015 р., зниження розрахованих для неї значень солоності води може бути наслідком впливу декількох чинників: завищення припливу до неї прісних вод від водотоків, неврахування в моделі розчинення частки накопичених в лимані сольових відкладень, похибок при завданні глибин в цій частині лиману.

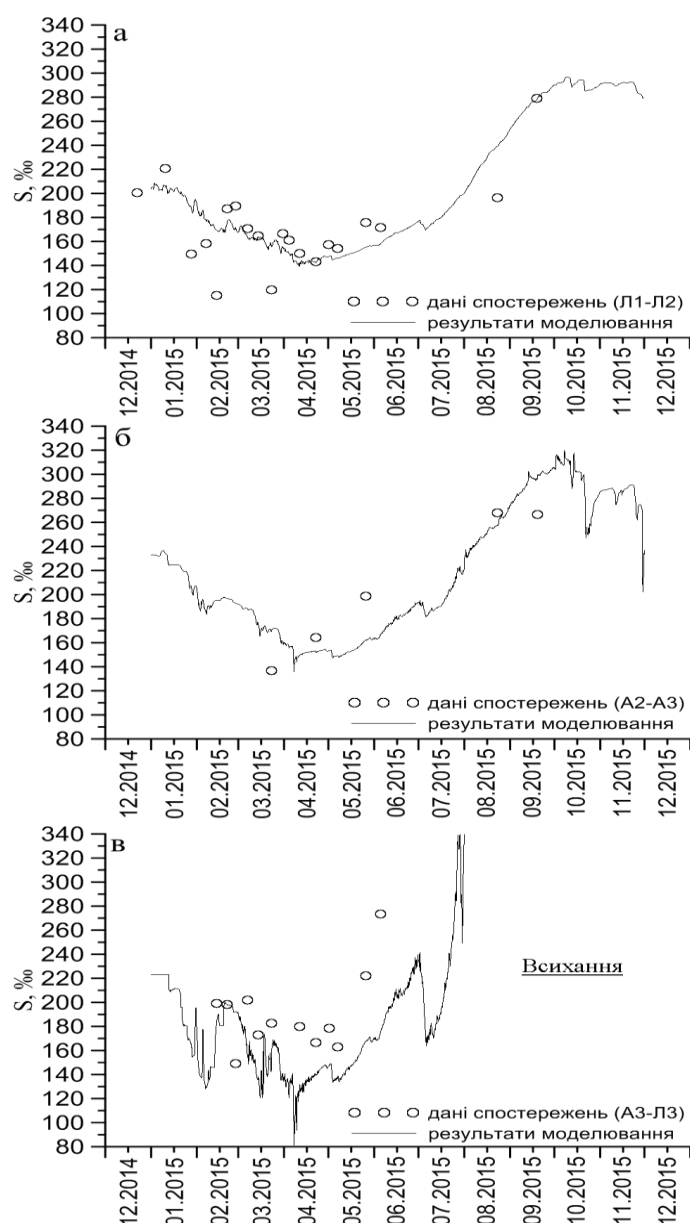


Рисунок 7.6 – Часова мінливість солоності води, ‰, в Куяльницькому лимані протягом 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання (криві) в різних частинах акваторії лиману: а – середні значення між реперними точками Л1 та Л2; б – середні значення між реперними точками А2 та А3; в – середні значення між реперними точками А3 та Л3

7.2.2 Аналіз результатів сценарних розрахунків збільшення надходження стоку річки В.Куяльник в лиман

Оскільки умови формування мінливості характеристик гідроекологічного режиму Куяльницького лиману протягом 2015 р. (обсяги надходження морських вод, стік річок малих водотоків в лиман, добові суми опадів на поверхню лиману) точно визначені за даними спостережень, то безсумнівний інтерес представляє кількісна оцінка змін, які відбулися б за умови попередньої реалізації різних водогосподарських заходів щодо збільшення стоку р.В.Куяльник.

Оцінки середньомісячних витрат природного та побутового стоку р.В.Куяльник в лиман за умов 2015 р., які були отримані із застосуванням моделі «клімат-стік», наведені в табл. 7.2. Зауважимо, що спостережені витрати річки значно менші за розраховані значення її побутового стоку (рис. 7.7), що є наслідком впливу різних перешкод для стоку у руслі річки, зокрема, заростання її русла рослинністю, наявності штучної дамби, створеної протиправно.

Таблиця 7.2 – Розраховані за моделлю «клімат-стік» середньомісячні витрати природного та побутового стоку р. В. Куяльник за умов 2015 р.

№ з/п	Місяць року	Витрати води Q, м ³ /с	
		Природний стік	Побутовий стік
1.	Січень	0.102	0,0131
2.	Лютий	0.247	0,0318
3.	Березень	0.742	0,0955
4.	Квітень	1.88	0,242
5.	Травень	0.247	0,0318
6.	Червень	0.24	0,0309
7.	Липень	0.113	0,0145
8.	Серпень	0	0
9.	Вересень	0	0
10.	Жовтень	0	0
11.	Листопад	0	0
12.	Грудень	0.069	0,0131
	Середні за рік:	0.303	0,039

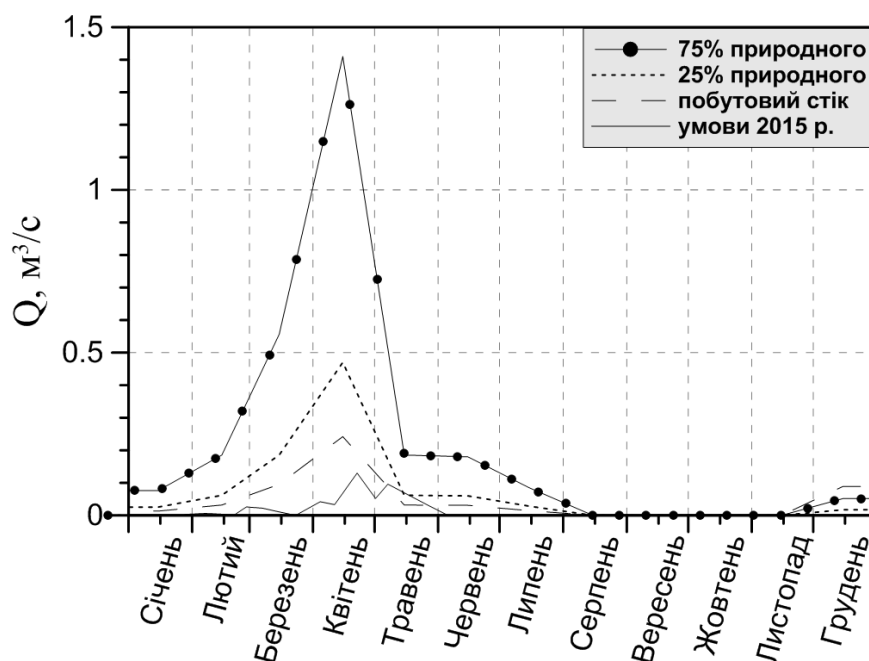


Рисунок 7.7 – Середньомісячні витрати р.В.Куяльник у 2015 р., які задавались при моделюванні

Для оцінки змін показників гідроекологічного режиму Куяльницького лиману на підставі результатів гідротермодинамічного моделювання, розглядались наступні сценарії надходження стоку р.В.Куяльник в лиман:

- спостережені у 2015 р. середньомісячні витрати річки;
- розраховані за моделлю «клімат-стік» середньомісячні витрати побутового стоку;
- середньомісячні витрати, які становлять 25% природного стоку, розрахованого за моделлю «клімат-стік»;
- середньомісячні витрати, які дорівнюють 75% природного стоку, розрахованого за моделлю «клімат-стік».

Річна мінливість середньомісячних витрат стоку р. Великий Куяльник, використана при моделюванні вказаних сценаріїв, наведена на рис. 7.7. При визначенні можливих обсягів збільшення надходження до лиману стоку р.В.Куяльник вважалось, що впровадження водного менеджменту на водозборі не дозволить на 100% відновити природний стік річки.

Результати моделювання аналізувались в 4-х обраних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману (рис. 7.8).

На рис. 7.9-7.10 наведені результати моделювання мінливості відміток рівня води в лимані протягом 2015 р. за різними сценаріями збільшення стоку річки В.Куяльник. Видно, що лише при надходженні до лиману 75% від обсягів природного стоку річки можливе суттєвого підвищення рівня води в ньому. Це підвищення на 0,08-0,1 м формується протягом квітня-травня і зберігається до кінця розрахункового періоду.

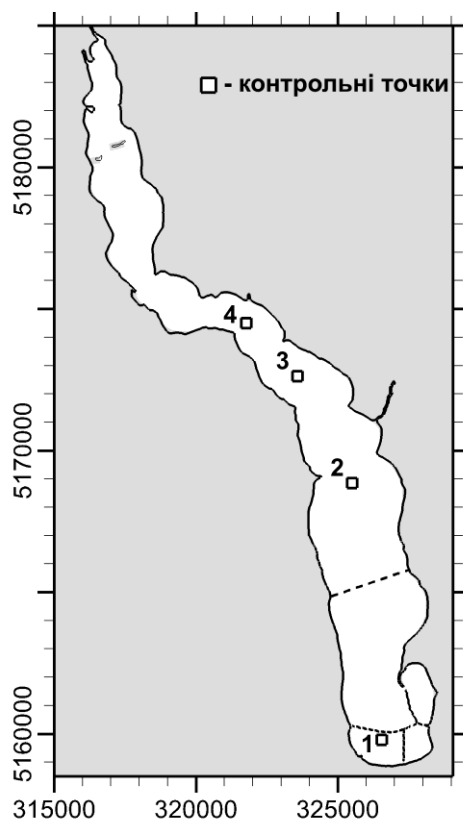


Рисунок 7.8 – Схема розташування контрольних точок для аналізу результатів моделювання на акваторії Куяльницького лиману

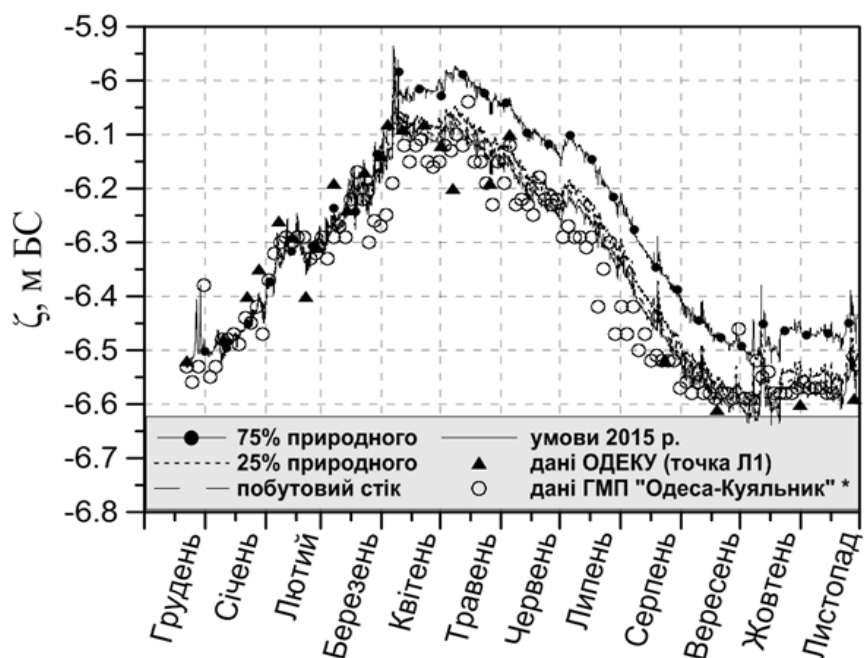


Рисунок 7.9 – Внутрішньорічна мінливість відміток рівня води, м БС, у Куяльницькому лимані за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання за різними сценаріями стоку р. В. Куяльник у 2015 р. – контрольна точка №1

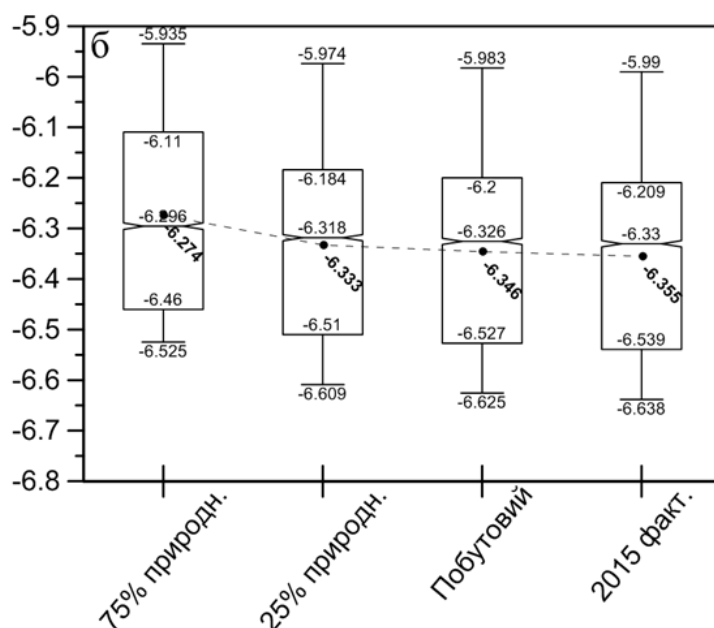


Рисунок 7.10 – Характеристики річної мінливості відмітки рівня води в лимані, м БС, за різними сценаріями стоку р. В. Куяльник у 2015 р. Приведені значення 0,25 та 0,75-квантилей; медіанні (риски) та середні (точки) значення; мінімальні (нижні вуса) та максимальні (верхні вуса) значення

Результати розрахунків просторово-часової мінливості солоності вод на акваторії Куяльницького лиману за різними сценаріями збільшення стоку річки В.Куяльник при гідрометеорологічних умовах 2015 р. наведені на рис. 7.11-7.14.

З рис. 7.14 видно, що підчас надходження в лиман 75% від природного стоку річки В.Куяльник відбудеться відповідне зменшення середньорічних значень солоності води: на 21‰ – в південній частині (точка 1) і 24-28 ‰ – в центральній і північній частинах, порівняно з базовим (фактичним) сценарієм для 2015 р. У разі забезпечення надходження в лиман лише 25% природного стоку, середньорічні значення солоності води зменшилися би лише на 7-9‰ – на основній глибокій частині акваторії лиману (точки 1-3) і на 2,4 ‰ – на мілководній ділянці північної частини (точка 4).

Збільшення надходження стоку р.В.Куяльник в лиман слабо впливає на його термічний режим (рис. 7.15). Помітним є лише деяке зменшення максимальних значень температури води при забезпеченні надходження в лиман 75% обсягів природного стоку річки, внаслідок збільшення товщини водного шару. В той же час слід відзначити, що вода в північній частині лиману прогрівається більше, ніж в південній, через меншу товщину водного шару, що впливає на інтенсивність випаровування з водної поверхні.

Тому зміни товщини водного шару в цій частині лиману найбільш сильно впливають на інтенсивність випаровування з її водної поверхні.

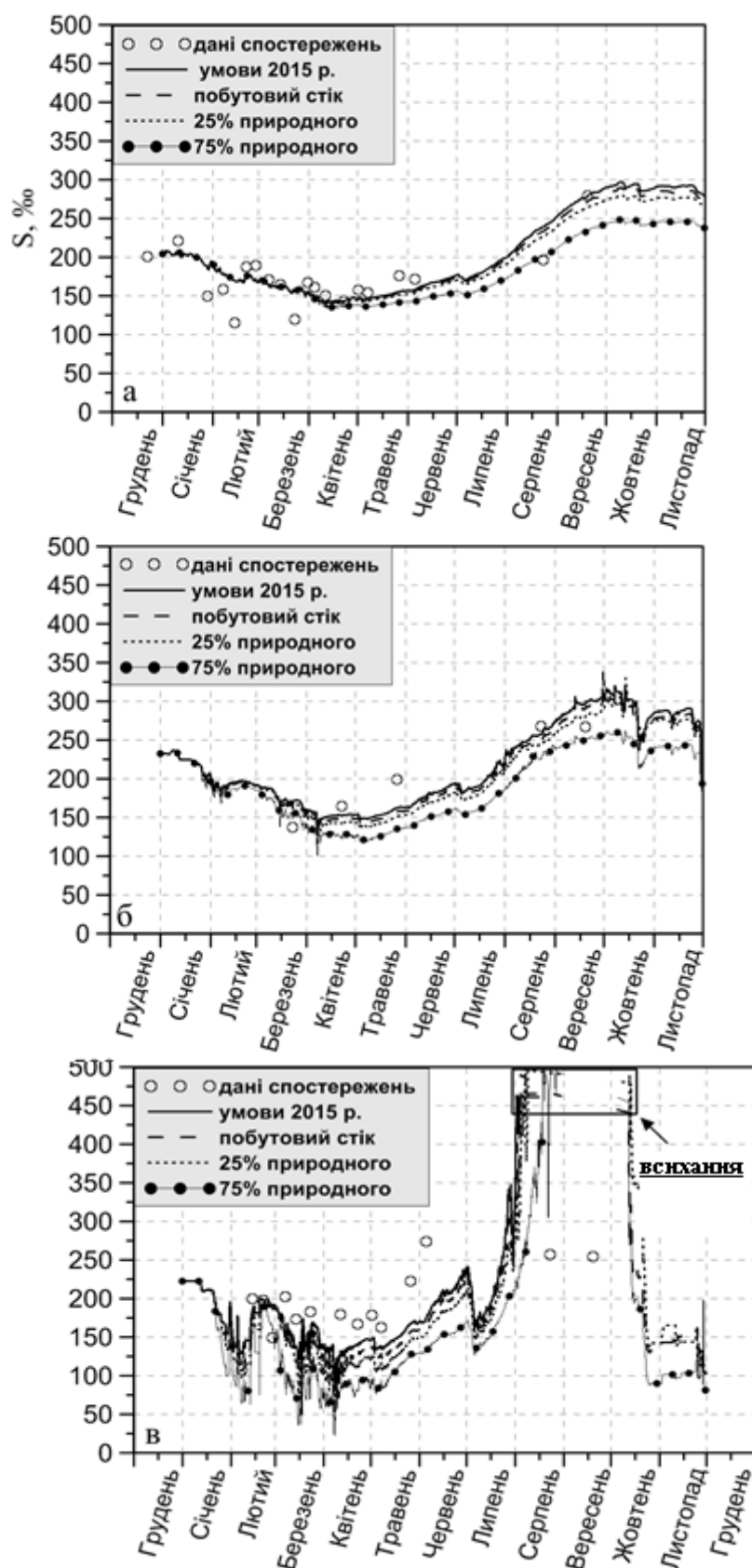


Рисунок 7.11 – Часова мінливість солоності води в Куяльницькому лимані протягом 2015 р. за даними натурних спостережень (точки) та отримана в результаті моделювання за різними сценаріями стоку р. В. Куяльник у 2015 р.: а – контрольна точка №1; б – №3; в – №4

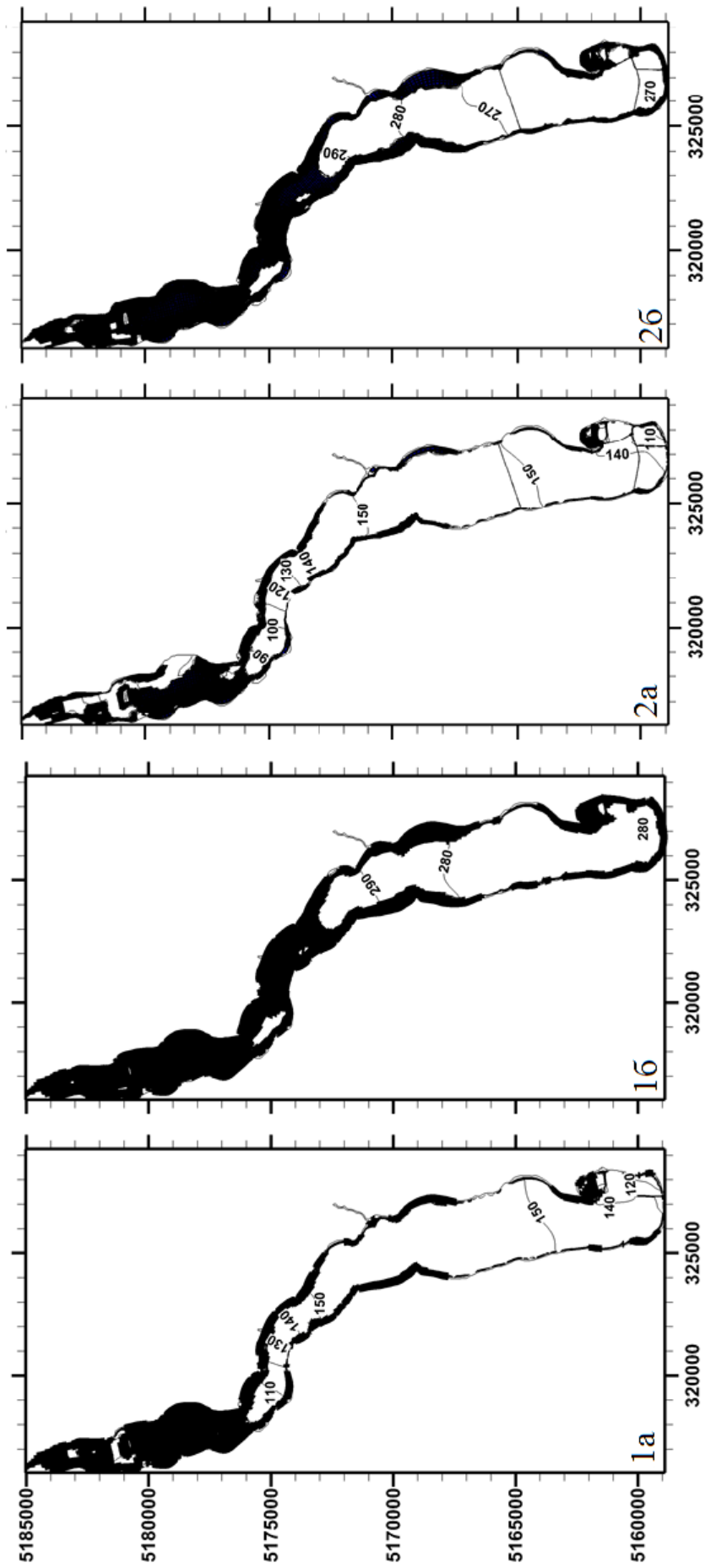


Рисунок 7.12 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод, ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за умов спостереженого (1) та розрахованого побутового (2) стоку річки Великий Куяльник у 2015 р.: а – 15.04.2015 р.; б – 15.09.2015 р.

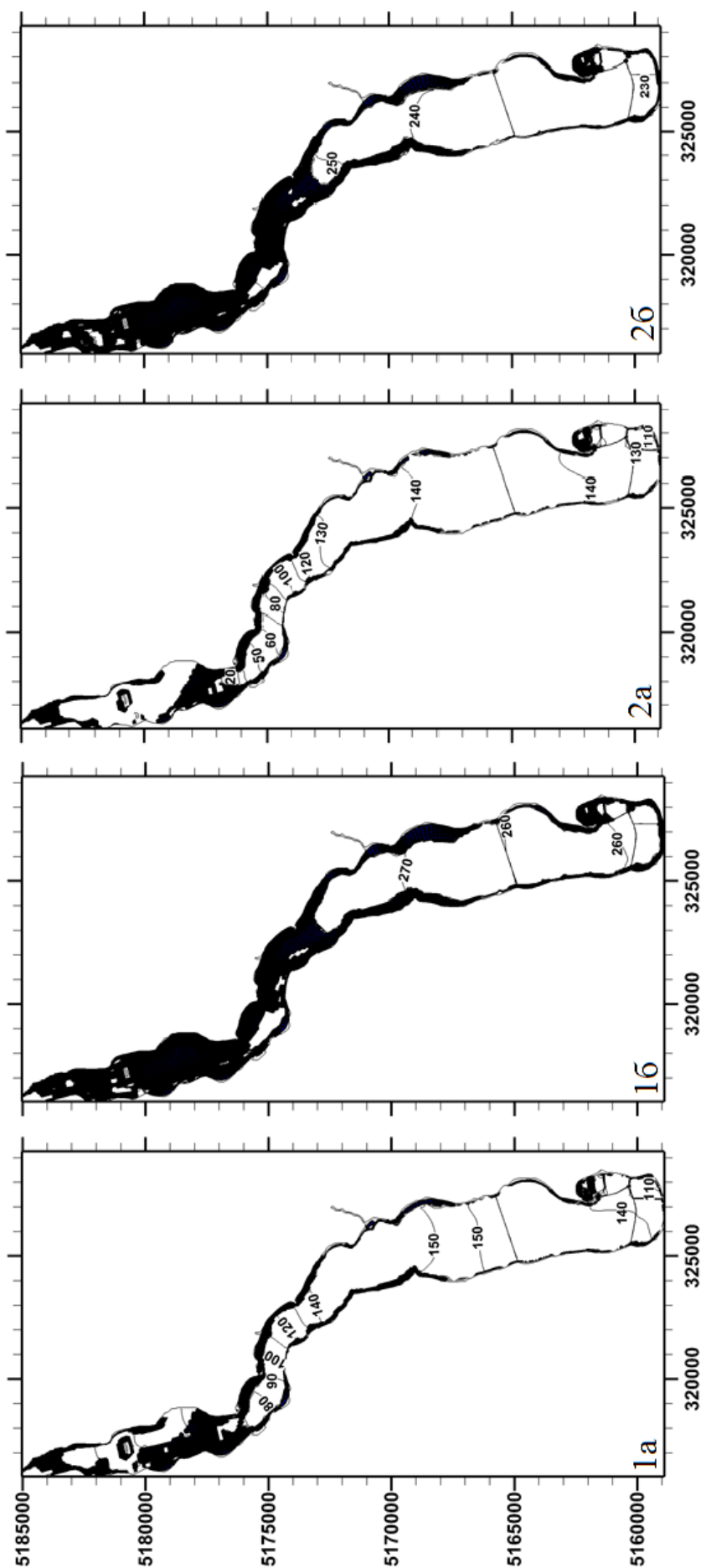


Рисунок 7.13 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод, ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за умов надходження до лиману 25% (1) та 75% (2) обсягів розрахованого природного стоку річки Великий Куяльник у 2015 р.: а – 15.04.2015 р.; б – 15.09.2015 р.

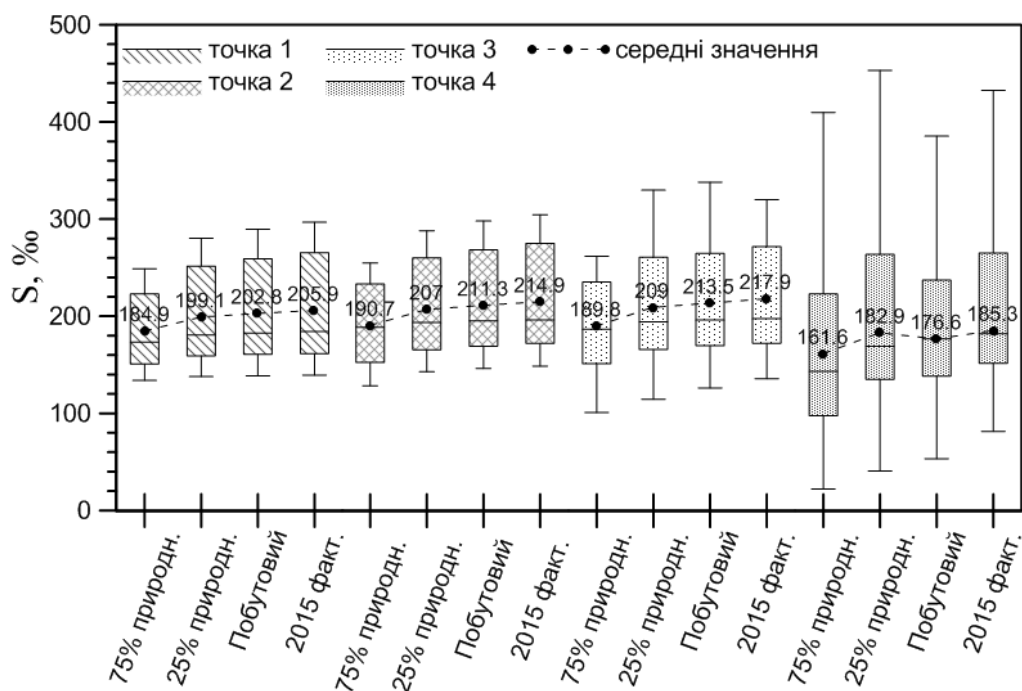


Рисунок 7.14 – Характеристики просторово-часової мінливості солоності вод лиману, ‰, отримані в результаті моделювання за різними варіантами стоку р. В. Куяльник у 2015 р. Приведені значення 0,25 та 0,75-квантилей; медіанні та середні (точки) значення; мінімальні (нижні вуса) та максимальні (верхні вуса) значення

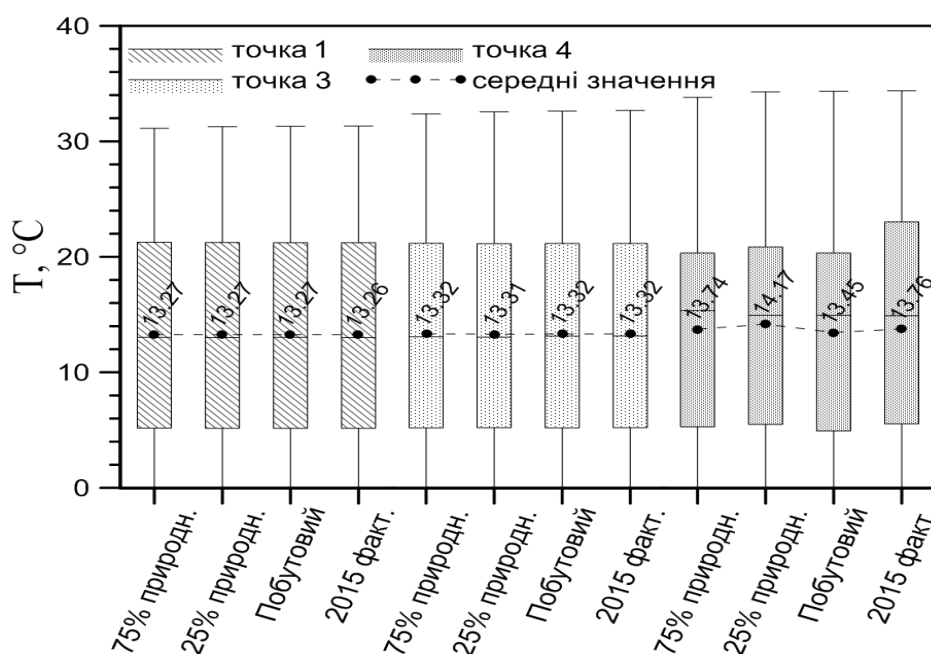


Рисунок 7.15 – Характеристики просторово-часової мінливості температури поверхневого шару вод, °C, отримані в результаті моделювання при різних варіантах стоку р. В. Куяльник у 2015 р.

На рис. 7.16 наведені місячні шари випаровування в різних точках акваторії з поверхні лиману протягом 2015 р., отримані в результаті моделювання за різними сценаріями стоку р. В. Куяльник. Видно, що збільшення надходження до лиману прісного стоку р. В. Куяльник сприяє зменшенню інтенсивності випаровування в північній частині лиману протягом квітня-липня і, навпаки, збільшенню випаровування у серпні-жовтні.

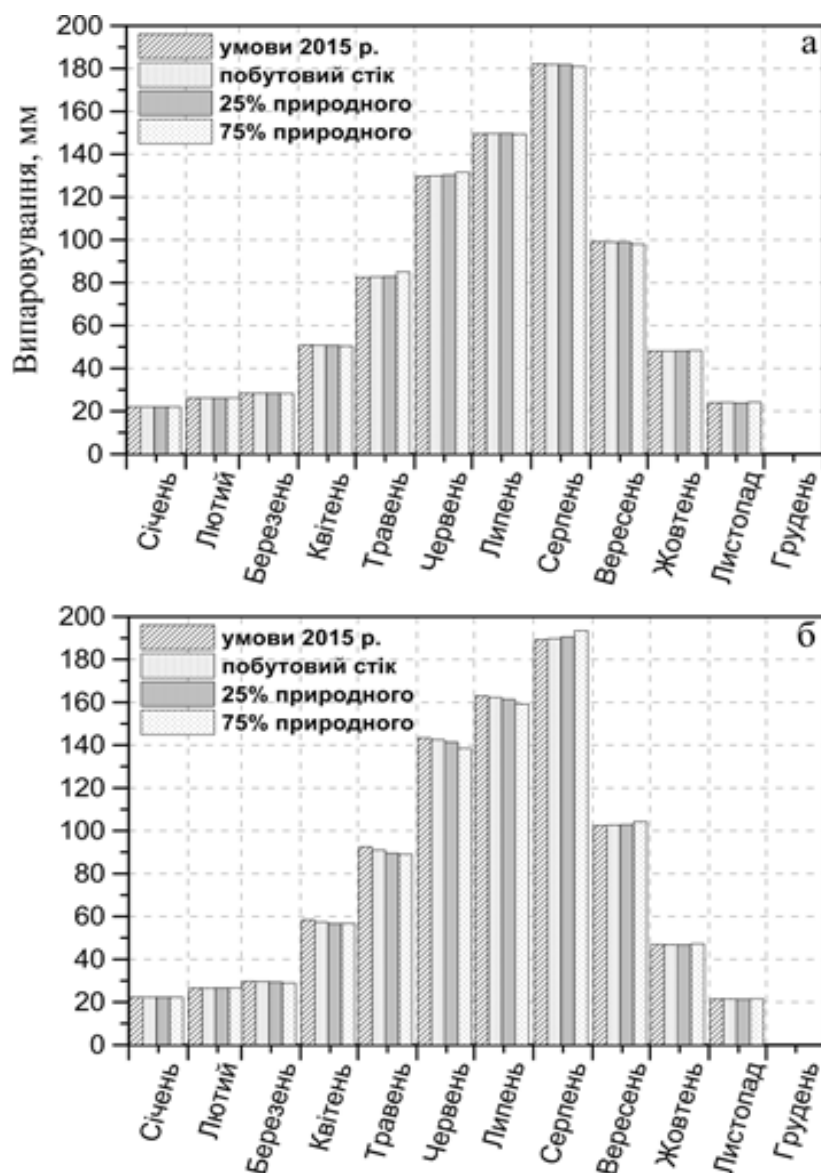


Рисунок 7.16 – Місячні шари випаровування з поверхні лиману протягом 2015 р., отримані в результаті моделювання за різними сценаріями стоку р. В. Куяльник у 2015 р.: а – контрольна точка №1; б – №3

7.3 Моделювання мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду

В даному розділі представлені результати моделювання внутрішньорічної мінливості гідрологічних характеристик лиману, отримані для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду XXI ст. (1990-2030 рр.), визначених за найбільш виправданим для регіону Куяльницького лиману кліматичним сценарієм з бази даних ENSEMBLES, який відповідає глобальному сценарію A1B розрахованому за моделлю MPI-REMO (M10) Інститута метеорології ім. Макса Планка (Гамбург, Німеччина). Як типові за гідрометеорологічними умовами були обрані: 2018 р. – маловодний; 2025 – середньоводний, 2021 – багатоводний рік. Ряди середньодобових значень температури, відносної вологості повітря, швидкості та напрямку вітру, балу загальної хмарності та атмосферних опадів, отримані з бази даних ENSEMBLES (сценарій A1B моделі MPI-REMO) для кожного з обраних типових років, використовувались для завдання граничних умов на верхній (з атмосферою) границі розрахункової області моделі.

Моделювання виконувалось за наступних умов: надходження до лиману морських вод та стік малих водотоків в лиман протягом року вважались відсутніми; стік річки Великий Куяльник дорівнював 25% та 75% від щомісячних витрат при природному стоці (табл. 7.3), який був розрахований за стохастичною моделлю «клімат-стік».

Наведені на рис. 7.17-7.18 результати моделювання внутрішньорічної мінливості відміток рівня води в лимані в різні за водністю роки сучасного кліматичного періоду свідчать, що при забезпеченні надходження в лиман 25% обсягів розрахованого для них природного стоку р.В.Куяльник стабілізація рівня відбуватиметься лише за умов багатоводного року, у маловодний рік відмітка рівня води в лимані буде на 0,4 м нижча за початкову, а в середній за водністю рік – нижча на 0,25 м. У разі забезпечення надходження в лиман 75% обсягів розрахованого для років різної водності природного стоку р.В.Куяльник, у маловодний рік відмітка рівня води в лимані також буде на 0,4 м нижча за початкову, в середній за водністю рік – нижча на 0,15 м, а у багатоводний рік, навпаки підвищиться на 0,3 м порівняно з початковою.

Результати розрахунків внутрішньорічної мінливості солоності води в Куяльницькому лимані в різні за водністю роки сучасного кліматичного періоду наведені на рис. 7.19-7.24. В цілому, вони свідчать про те, що збільшення стоку р.В.Куяльник навіть до 75% від обсягів природного стоку здатне забезпечити стабілізацію річного циклу мінливості солоності води в лимані лише в багатоводні роки. У всіх інших розглянутих випадках солоність води в лимані наприкінці року буде значно більшою ніж початкова. Виникне міжрічна тенденція значного підвищення солоності вод лиману. У маловодні роки, коли навіть природний стік р.В.Куяльник майже відсутній, у вересні відбудеться розділення основного ложа лиману на дві відокремлені водойми (рис 7.23.1б).

Таблиця 7.3 – Середньомісячні витрати річки В. Куяльник при забезпеченні надходження до Куяльницького лиману 25% та 75% від обсягів її природного стоку, розрахованого за моделлю «клімат-стік» для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду

№ з/п	Місяць року	Витрати води Q, м ³ /с, у віссотках розрахованого природного стоку в роки різної водності					
		Маловодний		Середньоводний		Багатоводний	
		75%	25%	75%	25%	75%	25%
1	Січень	0	0	0.119	0.040	0.371	0.124
2	Лютий	0.001	0	0.289	0.096	0.626	0.209
3	Березень	0.002	0.001	0.866	0.289	2.834	0.945
4	Квітень	0.004	0.002	2.191	0.730	6.281	2.094
5	Травень	0.002	0.001	0.289	0.096	0.676	0.226
6	Червень	0.001	0	0.280	0.094	0.626	0.208
7	Липень	0	0	0.131	0.044	0.511	0.170
8	Серпень	0	0	0	0	0.371	0.124
9	Вересень	0	0	0	0	0	0
10	Жовтень	0	0	0	0	0	0
11	Листопад	0	0	0	0	0.013	0.004
12	Грудень	0	0	0.081	0.027	0.460	0.153
13	За рік:	0.001	0	0.354	0.118	1.064	0.354

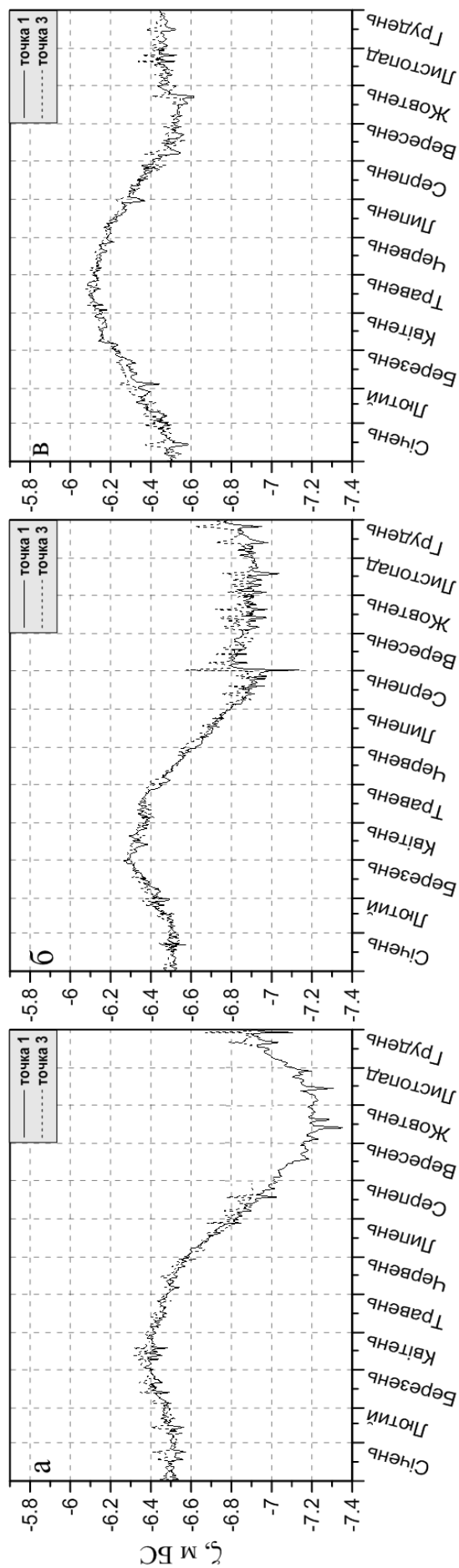


Рисунок 7.17 – Змодельована внутрішньорічна мінливість відмітки рівня води, м БС, у Куяльницькому лимані в контрольних точках 1 та 3 для маловодного (2018) (а), середнього за водністю (2025) (б) та багатоводного (2021) (в) типового року сучасного кліматичного періоду ХХІ ст. (1990-2030 pp.) за умови надходження до лиману 25% від обсягів природного річкового стоку

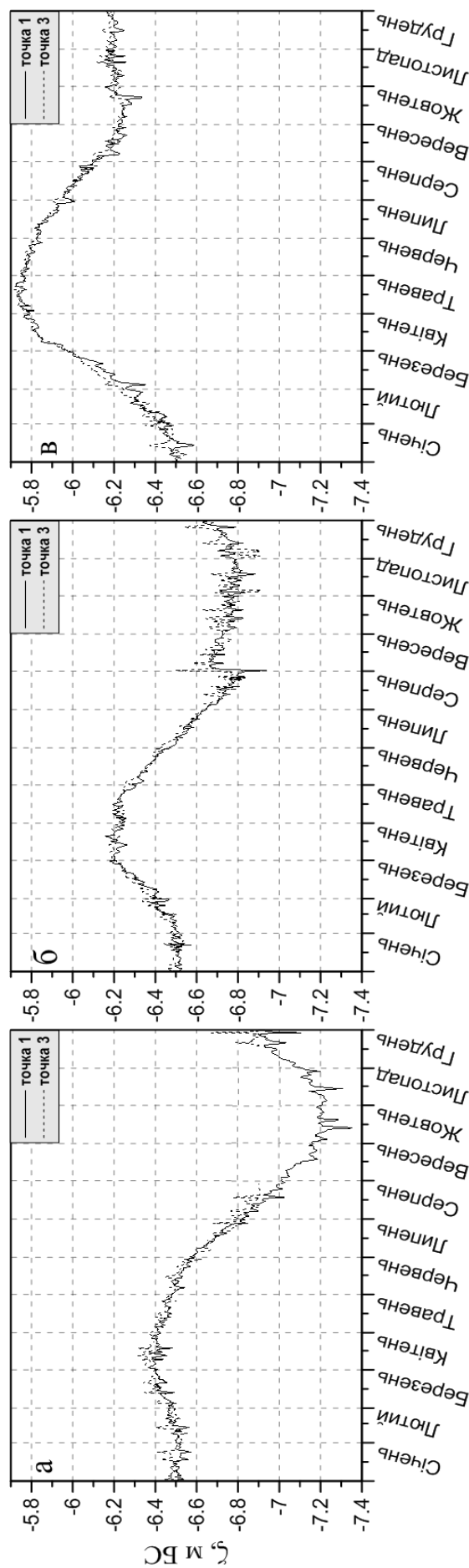


Рисунок 7.18 – Змодельована внутрішньорічна мінливість відмітки рівня води, м БС, у Куяльницькому лимані в контрольних точках 1 та 3 для маловодного (2018) (а), середнього за водністю (2025) (б) та багатоводного (2021) (в) типового року сучасного кліматичного періоду ХХІ ст. (1990-2030 pp.) за умови надходження до лиману 75% від обсягів природного річкового стоку

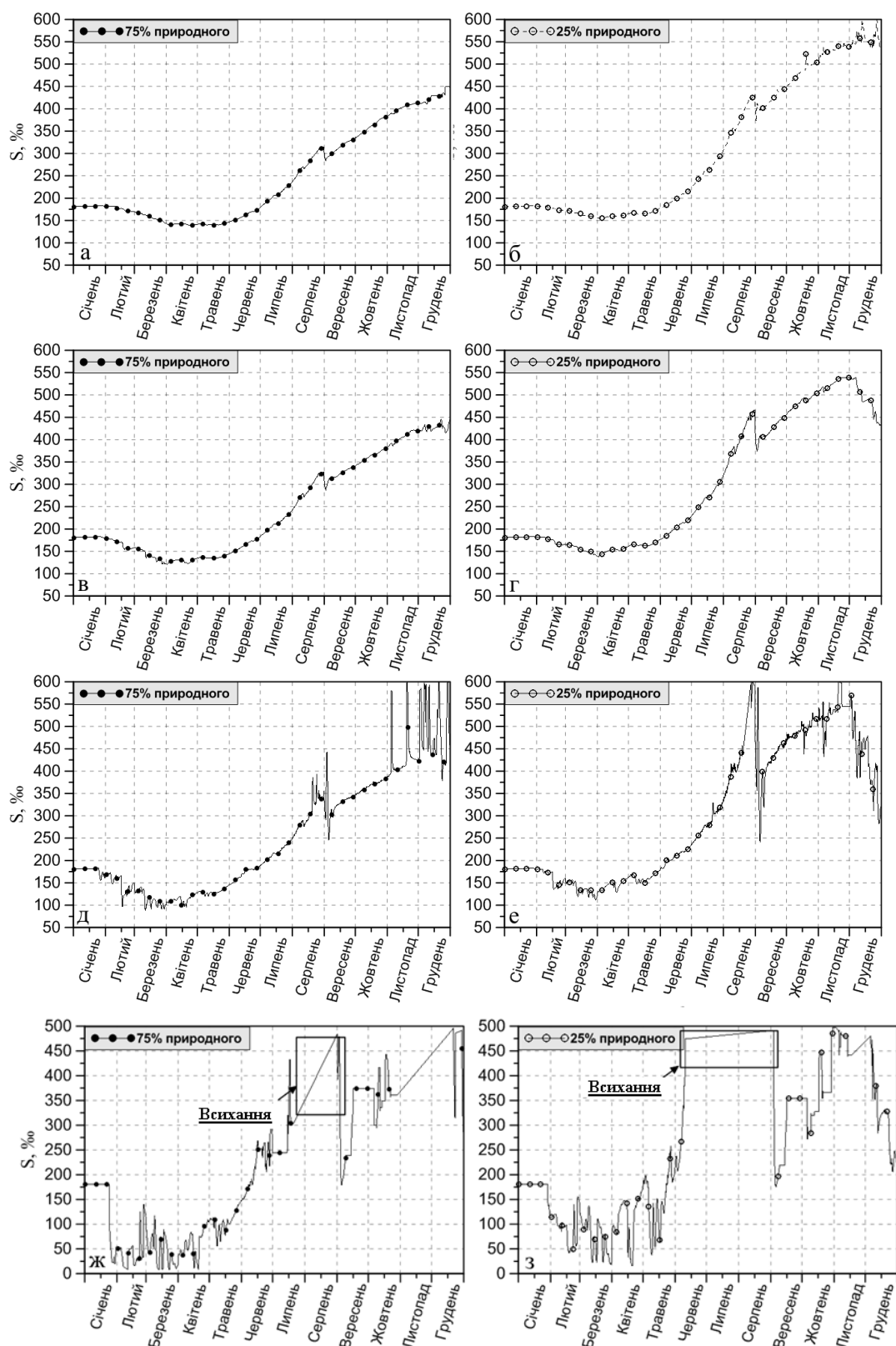


Рисунок 7.19 – Отримана в результаті моделювання часова мінливість солоності поверхневого шару вод Куяльницького лиману протягом середнього за водністю 2025 року (75% та 25% природного стоку): а, б– контрольна точка №1; в, г– контрольна точка №2; д, е – контрольна точка №3; ж, з – контрольна точка №4.

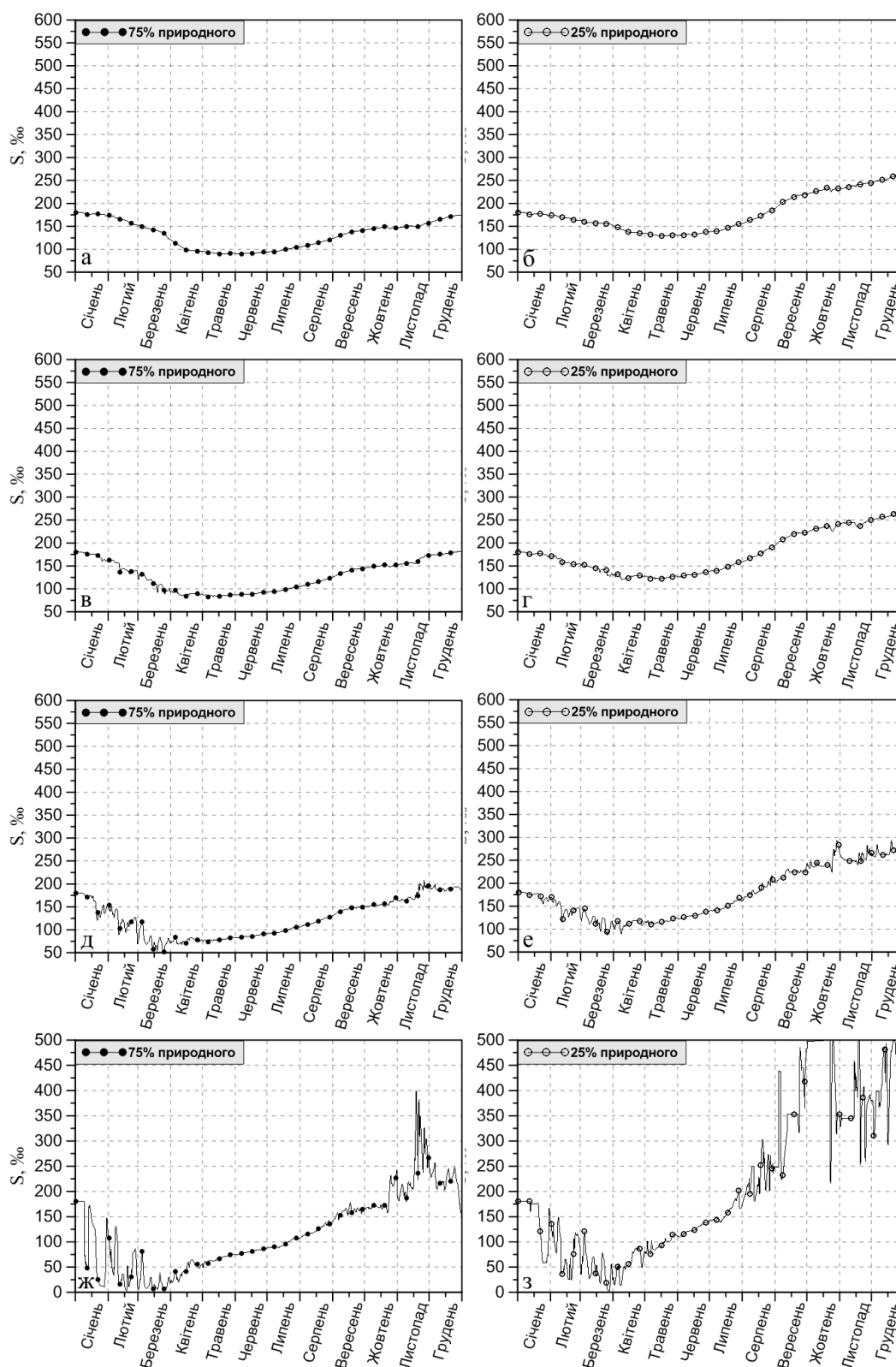


Рисунок 7.20 – Отримана в результаті моделювання часова мінливість солоності поверхневого шару вод Куяльницького лиману протягом багатоводного 2021 року (75% та 25% природного стоку): а, б– контрольна точка №1; в, г – контрольна точка №2; д, е – контрольна точка №3; ж, з – контрольна точка №4.

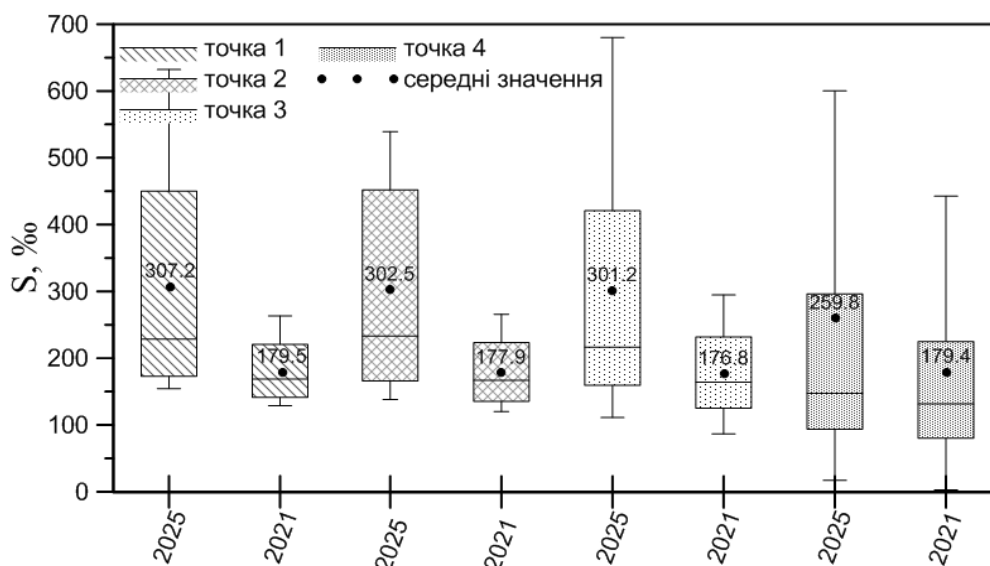


Рисунок 7.21 – Характеристики мінливості солоності вод, ‰, в різних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману для середнього за водністю (2025) та багатоводного (2021) типового року сучасного кліматичного періоду XXI ст. за умови надходження до нього 25% обсягів розрахованого природного стоку р.В.Куяльник. Приведені значення 0,25 та 0,75-квантилей; медіанні (риски) та середні (точки) значення; мінімальні (нижні вуса) та максимальні (верхні вуса) значення

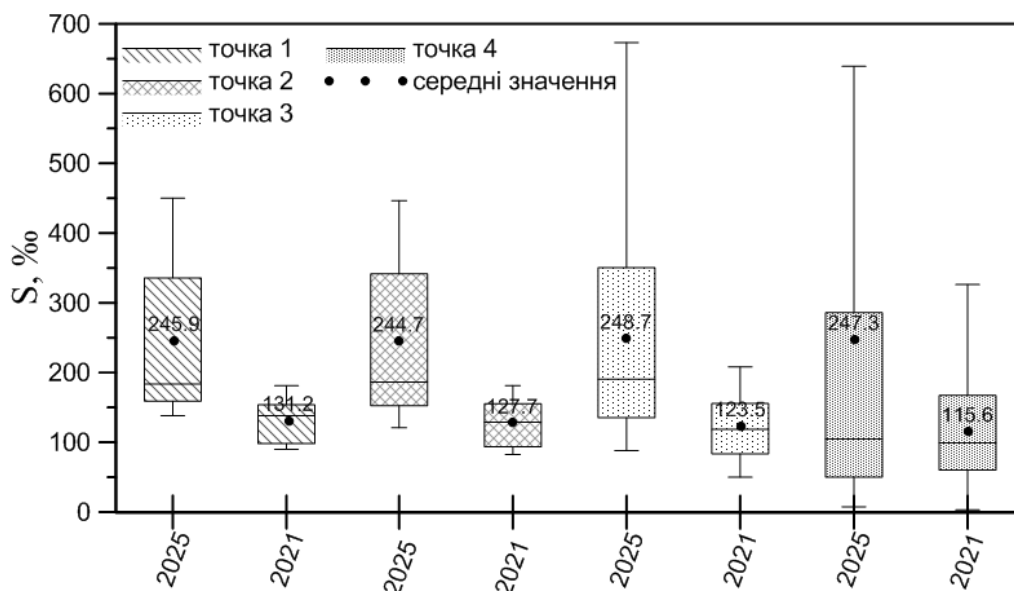


Рисунок 7.22 – Характеристики мінливості солоності вод, ‰, в різних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману для середнього за водністю (2025) та багатоводного (2021) типового року сучасного кліматичного періоду XXI ст. за умови надходження до нього 75% обсягів розрахованого природного стоку р.В.Куяльник.

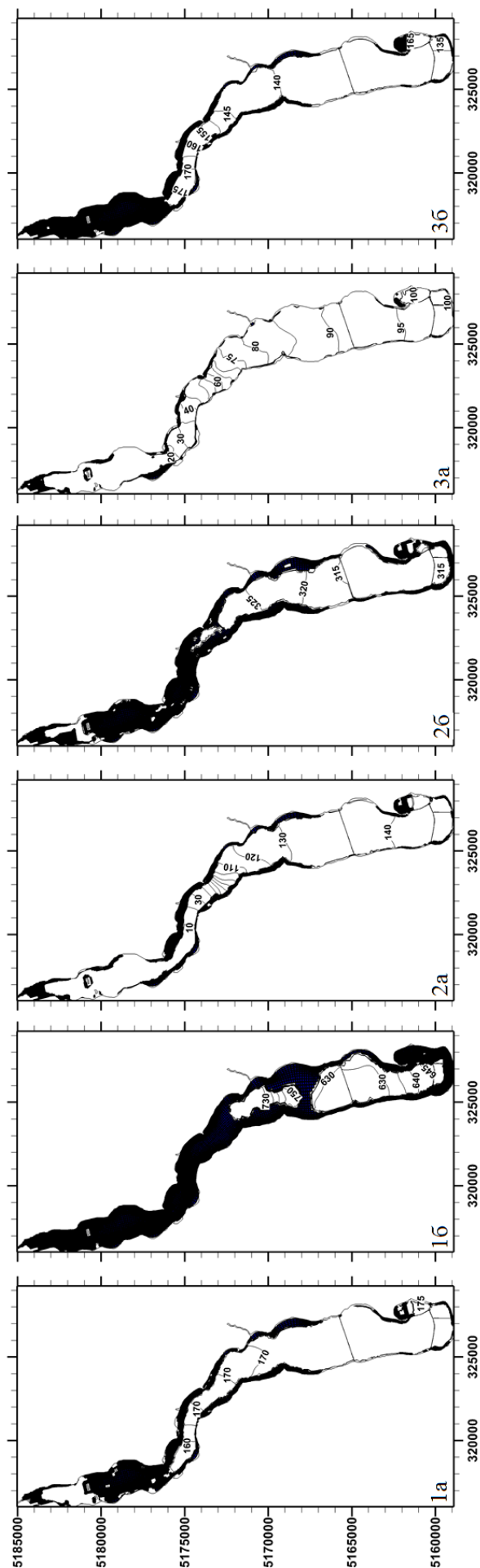


Рисунок 7.23 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод, ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за умов надходження до лиману 75% обсягів розрахованого природного стоку річки Великий Куяльник у різні за водністю типові роки сучасного кліматичного періоду XXI ст.: 1 – маловодний 2018 р.; 2 – середній за водністю 2025 р.; 3 – багатоводний 2021 р.; а) 15 квітня; б) 15 вересня

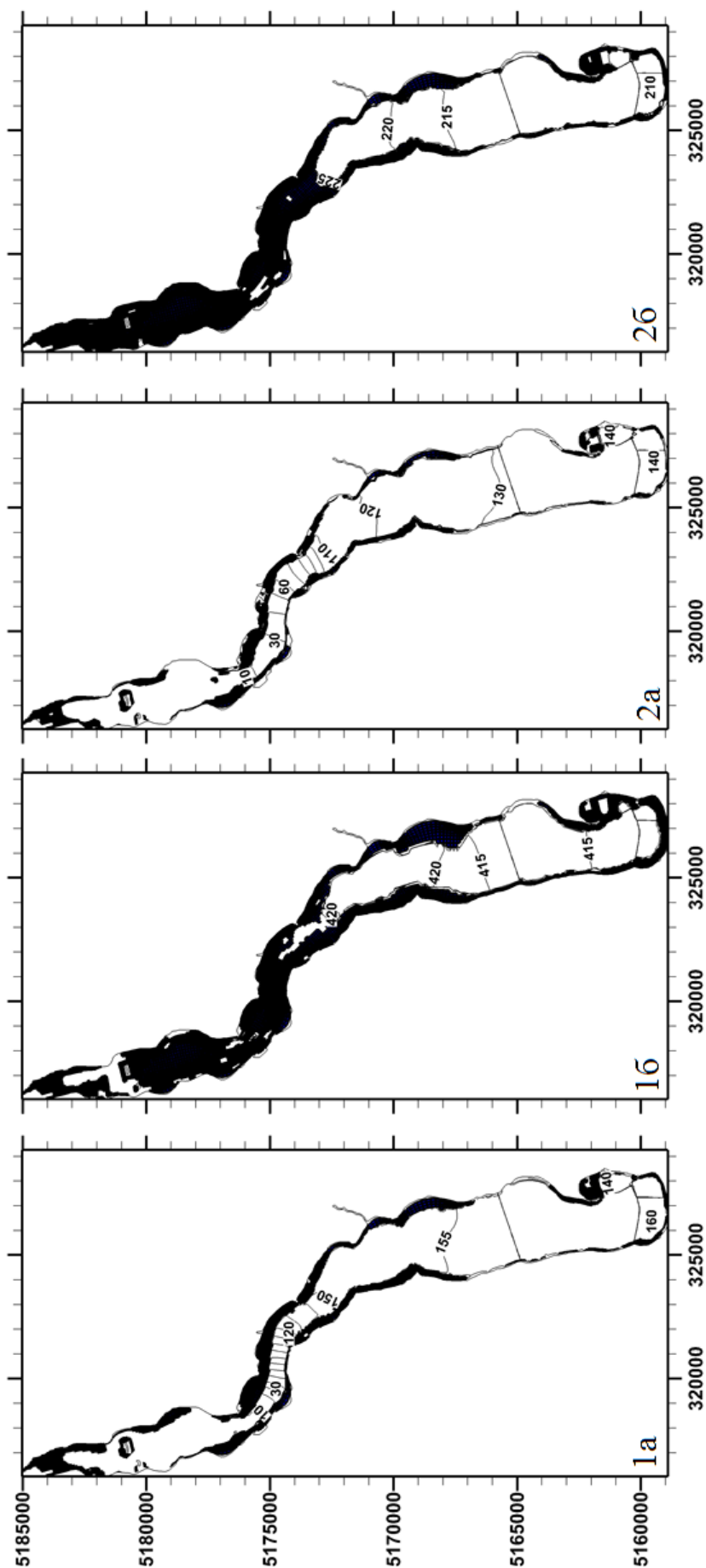


Рисунок 7.24 – Змодельована мінливість просторового розподілу солоності вод, ‰, Куяльницького лиману та меж його водного дзеркала за умов надходження до лиману 25% обсягів розрахованого природного стоку річки Великий Куяльник у різні за водністю типові роки сучасного кліматичного періоду XXI ст.: 1 – середній за водністю 2025 р.; 2 – багатоводний 2021 р.; а) 15 квітня; б) 15 вересня

Характеристики річної мінливості температури води в різних точках на акваторії Куяльницького лиману наведені на рис. 7.25-7.26. Звертає увагу, що у багатоводні роки температура води завжди нижча, ніж в середньоводні та маловодні. Води мілководної північної ділянки лиману (точка 4 на рис. 7.8) завжди прогріваються більше, ніж на більш глибоких ділянках лиману. Збільшення стоку р.В.Куяльник впливає на температурний режим лиману, хоча і незначно.

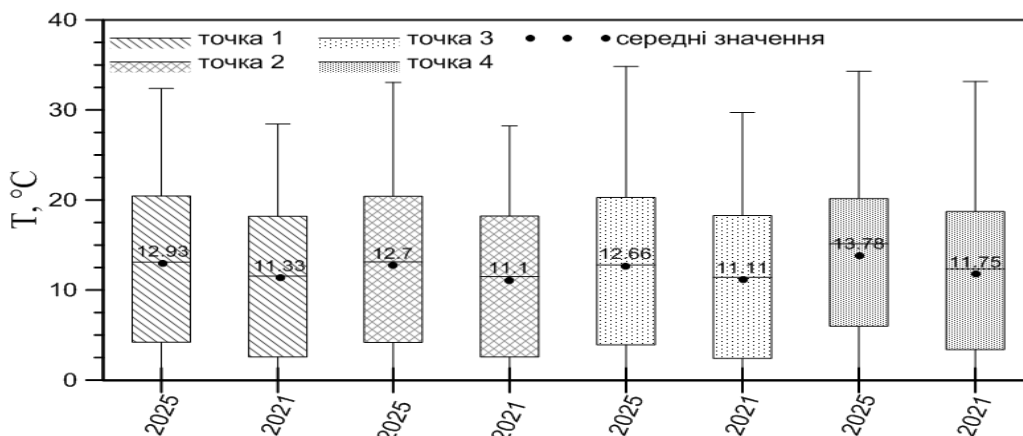


Рисунок 7.25 – Характеристики мінливості температури поверхневого шару вод, °C, в різних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману для середнього за водністю (2025) та багатоводного (2021) типового року сучасного кліматичного періоду XXI ст. за умови надходження до нього 25% обсягів розрахованого природного стоку р.В.Куяльник

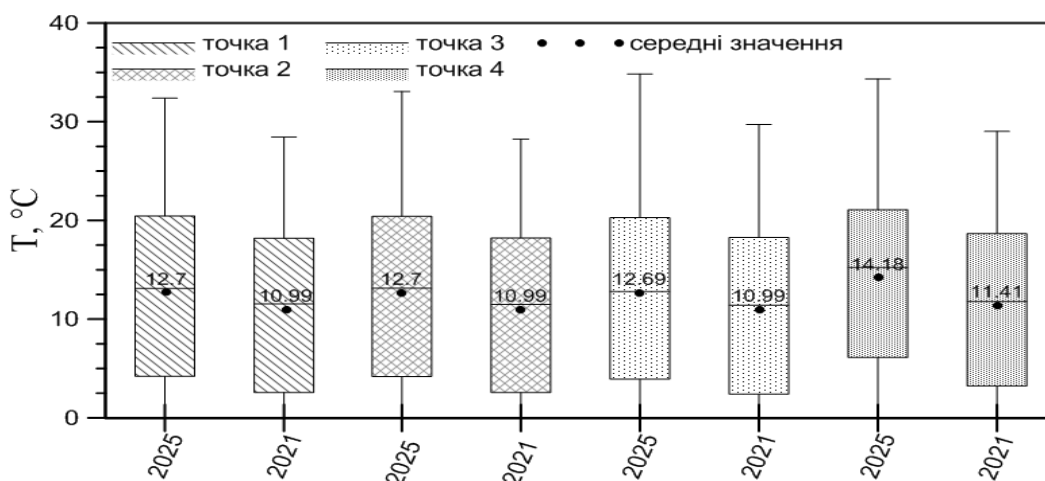


Рисунок 7.26 – Характеристики мінливості температури поверхневого шару вод, °C, в різних контрольних точках на акваторії Куяльницького лиману для середнього за водністю (2025) та багатоводного (2021) типового року сучасного кліматичного періоду XXI ст. за умови надходження до нього 75% обсягів розрахованого природного стоку р.В.Куяльник.

Отримані результати моделювання мінливості рівня і солоності води в Куяльницькому лимані для різних за водністю типових років сучасного кліматичного періоду свідчать про те, що збільшення природного стоку р.В.Куяльник не здатне самотійно забезпечити стабілізацію гідроекологічного режиму лиману без періодичного поповнення його морською водою Одеської затоки та здійснення заходів щодо стабілізації та збільшення надходження вод від інших водотоків, які впадають в лиман: малих річок Довбока, Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська.

ВИСНОВКИ

1. Використання Куяльницького лиману має медичну спрямованість. Його рекреаційна та бальнеологічна цінність визначається наявністю пелоїдів та ропи, а також специфічним кліматом Куяльницької балки, який поєднує у собі властивості морського та степового типу. Порушення водного балансу лиману впливає на процеси утворення лікувальної грязі та ропи. Одночасно із цим всихання лиману відкриває значні поверхні його дна, що створює умови для забруднення та супроводжується вітровим перенесення соляного пилу, активуючи процеси опустелювання на прилеглий території. Різке зменшення припливу прісних вод від водотоків до Куяльницького лиману, яке спостерігається на початку XXI сторіччя, викликало необхідність дослідження причин цього явища та розроблення заходів по упередженню занепаду лиману. “Спасіння” лиману може відбуватися декількома шляхами, серед яких на теперішній час обрані такі: збільшення стоку водотоків, які живлять лиман, та періодичне наповнення лиману морською водою через трубопровід “море-лиман”. Як можливі джерела для збільшення стоку річок розглядаються наслідки змін клімату та оптимізація водогосподарської діяльності на річках.

2. Річка Великий Куяльник є найбільшою річкою, яка впадає у Куяльницький лиман. Вона знаходиться в зоні недостатньої водності і є недостатньо вивченою з гідрологічної точки зору. На річці діє з 1985 року гідрологічна станція у створі р. Великий Куяльник – с. Северинівка. Установлено, що через зростання посушливості клімату та значний вплив водогосподарської діяльності ряд річного стоку є статистично неоднорідним із добре вираженим трендом, що показує тенденцію до зменшення стоку у часі. У межах водозбору знаходяться численні ставки, які затримують поверхневий стік та відіграють роль штучних випарників. Сезонного регулювання стоку практично немає: шлюзи у останні роки не працюють, а побудовані несанкціоновані глухі дамби передбачають скидання стоку через отвори у вигляді бетонних труб, розташованих так високо, щоб скид води до нижнього б’єфу відбувався лише при водопіллях та паводках рідкої повторюваності. У роки середньої та низької водності більша частина стоку залишається в ставках.

3. Для відтворення ряду річного стоку у створі р.В.Куяльник – с.Северинівка за минулі роки (1953-1985) був використаний ряд річного стоку річки-аналога Тилігул у створі с.Березівка. Отримано, що у період з 1953-2011 рр. середній багаторічний стік р.Великий Куяльник становив 9,75 млн.м³. З 1953до1988 рр.включно (період до початку значущих змін клімату на території України) ця величина досягала 13,8 млн.м³, а з 1989р. по 2011 рр. об’єм припливу прісних вод від річки до Куяльницького лиману зменшився до 3,86 млн.м³.

4. У гідрологічних спостереженнях виділяються часові відрізки, коли стік на посту буває відсутнім ($Q = 0 \text{ м}^3/\text{с}$), коли річка пересихає (перевищення дна русла над нулем поста 1,59 м) та коли у створі спостерігається “стояча вода”. Відсутність стоку установлена у 78% від загального часу з 9496 діб (з 01.01.1986 р. по 31.12.2011 р.). Пересихання займає 60,8 % з того періоду, коли стік був відсутнім. Стояча вода (середнє значення максимальної глибини в створі поста дорівнює 0,45 м, найбільше – 1,64 м, найменше – 0,01 м) спостерігається у 37,4 % від тривалості періоду, коли стік був відсутнім. Показано, що наявність “стоячої води” пов’язана із роботою шлюзів.

5. Відомості про стік р. В. Куяльник, отримані за даними спостережень, відображають умови формування стоку у порушених водогосподарською діяльністю умовах, коли формується побутовий стік або стік перетворений водогосподарською діяльністю. З метою оцінки та прогнозування природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) стоку була використана модель “клімат-стік”, розроблена в ОДЕКУ. Модель дозволяє оцінювати природні водні ресурси території при відсутності даних гідрологічних спостережень, спираючись на метеорологічну інформацію. Структура моделі така, що при використанні метеорологічних даних сценаріїв змін клімату можливо прогнозувати стан водних ресурсів. Стік, розрахований за метеорологічними даними, отримав назву “кліматичного”. Середня багаторічна величина річного кліматичного стоку ототожнюється із зональним природним стоком і представляється у вигляді карти ізоліній. Норми річного кліматичного стоку не враховують вплив підстильної поверхні, включаючи водогосподарські перетворення. На річках із нестійким підземним живленням середня багаторічна величина зонального (кліматичного) стоку відрізняється від місцевого природного стоку через вплив чинників підстильної поверхні. Для переходу від норми зонального (кліматичного) річного стоку до місцевого використовують спеціальні перехідні коефіцієнти. За моделлю “клімат-стік” отримано, що у природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах формування стоку минулого сторіччя на водозборі Куяльницького лиману приплив прісних вод від водотоків лиману становив 22,2 млн.м³. Від річки Великий Куяльник надходило 20,4 млн.м³, що складало 91% від усього об’єму припливу вод. Таким чином, досліджувана річка є основним джерелом надходження прісних вод від водотоків водозбору Куяльницького лиману. Серед приток р.В.Куяльник найбільшу водність мають річки р. Кошківка (3,50 млн. м³) та Суха Журівка (3,29 млн. м³).

6. Оскільки у гирловій частині річки спостерігаються різні часові відрізки із стоячею водою та при наявності стоку (течії) був проведений порівняльний аналіз якості води за багаторічний період (1986-2016 рр.), що виконувалась за різними гідрохімічними показниками (ІЗВ, КІЗ), методикою НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерисмана та методики екологічної оцінки якості вод.

Результати визначення класу якості та забрудненості води за різними показниками якості дозволяють зробити висновок, що у цілому за хімічним складом води річки Великий Куяльник не можуть безпечно використовуватися для господарсько-питних і рибогосподарських потреб.

Також слід зазначити, що рівень забруднення води річки Великий Куяльник в цілому є високим, але не виявлено речовин ЛОЗ, що свідчить про відсутність якогось чітко вираженого (пріоритетного) джерела забруднення води. Тому погіршення якості води і екологічного стану р.Великий Куяльник можна розглядати як наслідок дії комплексу антропогенних чинників.

Аналіз повторюваності різних класів забрудненості води р. Великий Куяльник за індексом ІЗВ виявив, що при наявності водного стоку в річці переважаючим за частотою появи є II клас якості («чиста»). В період відсутності водного стоку якість води зазнає помітного погіршення: з'являються випадки «дуже брудної» та «надзвичайно брудної» води, що відповідає якості вод VI-VII класу.

При оцінці якості води за комбінаторним індексом забруднення (КІЗ) згідно господарсько-питних нормативів встановлено, що комплексність забруднення *за наявності стоку* складає 50%, показник КІЗ дорівнює 50 балам, ПКІЗ – 2,27 балів, клас якості води III (розряд а) – «брудна». Речовин ЛОЗ не виявлено. *За умов відсутності стоку* отримано, що комплексність забруднення складає 68%, показник КІЗ дорівнює 57 балам, ПКІЗ – 2,59 балам, клас якості води III (розряд а) – «брудна». Речовин ЛОЗ не виявлено.

За рибогосподарськими нормативами комплексність забруднення *проточної води* складає 82%, показник КІЗ складає 83 бали, ПКІЗ – 3,77 балів, клас якості води III (розряд б) – «брудна». Речовин ЛОЗ не виявлено. *За умов стоячої води* комплексність забруднення складає 91%, показник КІЗ дорівнює 100 балам, ПКІЗ – 4,55 балам, клас якості води IV (розряд а) – «дуже брудна». Речовин ЛОЗ не виявлено.

За методикою НДІ гігієни ім. Ф.Ф. Ерисмана з використанням господарсько-питних нормативів ГДК у створі р.Куяльник –с. Северинівка встановлено, що переважає *помірний* рівень забруднення за органолептичним, санітарним та санітарно-токсикологічним критеріями. Але для стоячої води характерна поява *високого* та *дуже високого* рівнів забруднення. Якість вод річки Великий Куяльник в найбільшій мірі погіршується за рахунок високих концентрацій органічних речовин за показниками БСК₅ та біхроматна окиснюваність, а також високих концентрацій натрію і калію.

При застосуванні методики екологічної оцінки якості вод було встановлено, що води р. Великий Куяльник за критерієм мінералізації є солонуватими β-мезогалинними. В період відсутності течії за найгіршими показниками мінералізація в річці збільшується до категорії α-мезогалинної. За критеріями іонного складу води річки належать до хлоридного класу, групи магнію, тип III, за відсутності стоку за найгіршими значеннями – до

хлоридного класу, групи натрію, II типу. Проведена оцінка якості води за критеріями забруднення іонного складу показала, що за середніми показниками при відсутності стоку якісний стан річки Великий Куяльник погіршується на цілу категорію порівняно зі станом при наявності стоку.

Аналіз даних спостережень за гідрохімічним режимом річки Великий Куяльник за багаторічний період 1986-2012 рр. виявив, що в періоди наявності стоку води середня багаторічна мінералізація води річки в створі с.Северинівка становить 1,61 г/дм³, в періоди відсутності стоку в руслі мінералізація вод в багаторічному вимірі зростає на 65% і складає 2,47 г/дм³. Оцінка розподілу виміряних значень мінералізації вод р.В.Куяльник по різних категоріям класифікації якості поверхневих вод суші та естуаріїв за критерієм мінералізації (один з етапів екологічної оцінки якості води) показує, що вода річки за наявності та відсутності стоку в її руслі переважно є солонуватою β -мезогалінною (91,7 та 75,6 % випадків відповідно). Можна побачити, що при припиненні стоку зростає повторюваність кількості випадків переходу вод р.В.Куяльник до вищих категорій (від прісної до солонуватої), що свідчить про структурну перебудову гідрохімічного режиму річки і погіршення її гідроекологічного стану в несприятливі періоди припинення стоку води в її руслі.

Екологічна оцінка якості води в межах блоку специфічних речовин токсичної дії показала, що відповідний блоковий індекс ІЗ за середніми значеннями показників при наявності водного стоку складає 2,56 балів, при відсутності стоку зменшується до 2,44 балів. В той же час по найгіршим значенням показників, розглядуваний блоковий індекс зростає до 3,89 і 4,11 балів відповідно. Серед окремих гідрохімічних показників в межах блоку слід відзначити невисокі концентрації у водах р. Великий Куяльник нікелю, марганцю, фенолів. Водночас, якість води та екологічний стан річки погіршують високі значення концентрацій міді, хрому, заліза, нафтопродуктів, СПАР. Це вказує на те, що річка забруднюється господарсько-побутовими стічними водами з боку населених пунктів, та зазнає змивів з сільгоспугідь залишків мінеральних добрив, засобів захисту рослин.

В підсумку за інтегральним екологічним індексом Іе за середніми значеннями показників вода річки Великий Куяльник біля с.Северинівка при наявності та відсутності стоку відповідає II класу (3 категорія), тобто за станом оцінюється як «добра», за чистотою «досить чиста», за трофністю – «мезоевтрофна», за сапробністю « β '-мезосапробна». При наявності стоку значення Іе складає 2,85 балів, при відсутності стоку – зростає до 3,31 бала. За найгіршими значеннями показників екологічний стан річки Великий Куяльник відповідає IV класу (6 категорія), тобто, за станом вода характеризується як «погана», за чистотою – «брудна», за трофністю – «політропна», за сапробністю – « α ''-мезосапробні». Індекс Іе при наявності стоку набуває значення 5,62 бали, при відсутності стоку – зростає до 5,94 балів.

При порівнянні отриманих результатів за наявності і відсутності стоку по господарсько-питним і рибогосподарським нормативам ГДК виявлено, що екологічний стан річки Великий Куяльник погіршується в умовах припинення течії та формування стану “стоячих” вод.

В умовах відсутності течії відбувається накопичення забруднюючих речовин, що надходять до ділянки із стоком зі схилів. Ситуація ще більше погіршується у теплий період року, коли вода добре прогрівається і витрачається на випаровування, що сприяє збільшенню мінералізації та концентрацій забруднюючих речовин. У період стоячої води зростає надлишкова концентрація головних іонів, біогенних речовин, створюється дефіцит розчиненого у воді кисню, що призводить до деградації р.Великий Куяльник як водної екосистеми.

Поліпшити ситуацію можливо шляхом уникнення перешкоджання вільному стоку води. Отже, стає необхідним розчищення русла від надмірної кількості штучних водойм, які фактично перехоплюють стік, та заважають процесам самоочищення.

7. З метою виявлення перспектив збільшення стоку р.В. Куяльник за рахунок змін клімату надавалися оцінки змін характеристик клімату і стоку у сучасності та за кліматичними сценаріями. На метеорологічних станціях, розташованих поблизу водозбірної басейну р. Великий Куяльник, встановлена тенденція до зростання річних температур повітря від 0,8 °C до 1,1 °C. Причому з 1989 р. інтенсивність зростання збільшується. Так само зростають температури холодного (0,7 – 1,0 °C) та теплого (1,0 – 2,0 °C) періодів. Характерною рисою холодного періоду є перехід середніх температур повітря (після 1989 р.) від від’ємних значень до додатних. На водозборі р.Великий Куяльник та прилеглих до нього територіях статистично значущих тенденцій щодо змін опадів не виявлено. Встановлені тенденції змін кліматичних чинників (зростання температур повітря на фоні незмінних опадів) на водозборі р. Великий Куяльник обумовлюють несприятливі умови формування стоку на початку XXI сторіччя: зростання кількості відлиг, зменшення глибини промерзання ґрунту, зменшення запасів води у сніговому покриві перед початком весняного водопілля, а отже, і відповідне зменшення максимальних витрат води і об’ємів весняного водопілля. Зростання температур повітря у теплий період обумовлює збільшення витрат на додаткове випаровування з водної поверхні штучних водойм, що за умови незмінних опадів, також зменшує стік річки.

Прогноз змін середнього багаторічного кліматичного (зонального) річного стоку р. Великий Куяльник за метеорологічними даними сценаріїв змін клімату у XXI сторіччі наданий на базі моделі “клімат-стік”. Розрахунки виконувались для 12 точок-вузлів координатної сітки, розташованих на водозборі Куяльницького лиману, з кроком 15 хвилин або 25 км. П’ять з 12 точок знаходяться у межах водозбору р.Великий Куяльник. Точка 10 відповідає центру тяжіння водозбору. Розглядалися сценарії A1B, A2, RCP4.5

та RCP8.5. Сценарій A1B визнаний як такий, що найкращим чином описує фактичні зміни кліматичних чинників формування стоку на території Північно-Західного Причорномор'я. Розрахунки виконувались для різних періодів: 30-ти річних 1990-2020, 1921-2050, 2051-2080рр. та установлених за закономірностями коливань метеорологічних характеристик (1990-2030рр., 2031-2070рр. та 2071-2100рр.). В усіх випадках та за всіма сценаріями установлені тенденції до зменшення середніх багаторічних величин природного річного стоку р.Великий Куяльник на протязі сторіччя. Згідно із сценарієм A1B норма природного річного стоку р.В.Куяльник до 1989р. становила 12мм, то у період 1990-2030 рр. вона становитиме 10мм, у 2031-2070 рр. – 8мм, у 2071-2098 рр. – 5,8 мм. Для 30-річного періоду 2021-2050рр. середня багаторічна величина природного річного стоку р. Великий Куяльник складатиме 6,81мм або 12.7 млн.м³. Із зменшенням водності річки зростають мінливість та асиметрія стоку, а разом із ними кількість років із відсутністю стоку.

8. Розрахунки характеристик побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку виконувались за моделлю “клімат-стік” (другий блок), у тій її частині, де на базі імітаційного стохастичного моделювання отримуються функції антропогенного впливу або функції відгуку. На базі функцій відгуку, представлених у вигляді математичних рівнянь, розраховуються в залежності від характеристик природного стоку та масштабів антропогенної діяльності так звані коефіцієнти антропогенного впливу. Дослідження наслідків дії різних антропогенних чинників (розораності, урбанізованості, додаткового випаровування з поверхні штучних водойм, втрати на заповнення штучних водойм) на природний стік р. В.Куяльник показало, що найбільш дієвим є вплив штучних водойм.

9. Для визначення ефективності “очищення” водозбору р.Великий Куяльник від штучних водойм необхідно було установити найбільш наближені до реальності характеристики цих водойм. Складання переліку штучних водойм на водозборі Куяльницького лиману виконано на базі даних обласного управління водних ресурсів та даних супутникових знімків, наведених в Google Earth та Google Maps. Установлено, що загальна кількість штучних водойм станом на 2016р. становить 121 із загальним об'ємом наповнення 15.98 млн. м³. За даними експедиційних досліджень ОДЕКУ на 2010р. на річці Великий Куяльник сумарний об'єм штучних водойм становив 15,6 млн. м³, тобто відмінності знаходяться у межах 2%, що вказує на майже постійний рівень цього виду водогосподарської діяльності на протязі років.

9. Обстеження річки В.Куяльник показало, що 64% русла річки спрямлено, але цей захід не сприяв збільшенню стоку річки через глибоке залягання потужних водоносних горизонтів підземних вод у сарматських відкладеннях та виснаження запасів підземних вод розташованих ближче до поверхні. Визначення комплексного показника екологічного стану (КПЕС) по довжині річки В.Куяльник на основі даних гідрохімічних вимірювань

показало, що річка В.Куяльник характеризується “нестійким екологічним станом” по всій її довжині. Згідно із Водною Рамковою Директивою досліджувана річка через значні морфологічні, гідрографічні та гідрологічні перетворення і “незадовільний хімічний статус” має бути цілком віднесена до “істотно змінених водних об’єктів” і потребує відновлення.

10. Оцінки можливого побутового річного стоку р.В.Куяльник у майбутньому надавалися за моделлю “клімат-стік” з використанням сценарних метеорологічних даних (сценарій A1B) та при теперішніх масштабах регулювання штучними водоймами (за умови 40% наповнення штучних водойм). Згідно із даними сценарію A1B як такого, що найбільш точно описує зміну метеорологічних характеристик у майбутньому, були визначені можливі об’єми припливу прісних вод від р. В.Куяльник до лиману. У природних (непорушених водогосподарською діяльністю) кліматичних умовах формування стоку середній багаторічний об’єм припливу становив **20,4 млн.м³ (до 1989р.)**; на період 1990-2030 рр. він становитиме **19,0 млн.м³**; на період 2031-2070 рр. – **15,2 млн.м³**; на період 2071-2098 рр.- **9,7 млн.м³**. До 2030р. (1990-2030рр.) зменшення стоку р.Великий Куяльник лише за рахунок змін кліматичних умов досягне 6.8% , а у період 2031-2070рр. – 25% у порівнянні із станом до 1989р. При 40% наповненні штучних водойм, які існують на сьогодні, середній багаторічний об’єм побутового (порушеного водогосподарською діяльністю) стоку буде змінюватись від **12,8 млн.м³ (до 1989р.)** до **9,69 млн.м³ (за період 1990-2030 рр.)** ; до **6,11 млн.м³ (за період 2031-2070 рр.)**. Це означає, що у кліматичних умовах сценарію A1B, для періоду 1990-2030 рр. середня багаторічна величина річного стоку р.Великий Куяльник за рахунок впливу штучних водойм зменшиться на 50% у порівнянні із природним стоком цього кліматичного періоду, що дорівнював **19,0 млн.м³**. Отримані результати показують, що до 2030р. за умови відтворення природного стоку на водозборі шляхом очищення русла від штучних водойм можливо суттєво збільшити об’єми надходження прісних річкових вод до Куяльницького лиману. Навіть у маловодну фазу коливань водності (2021-2050рр. за сценарієм A1B) від р.В.Куяльник буде надходити до Куяльницького лиману стік 12-13 млн.м³ у рік.

11. Виходячи із того, що повне знищення штучних водойм неможливе, рекомендується призначати допустимий об’єм наповнення ставків, який має становити не більше 10% від прогнозованого середнього багаторічного об’єму природних вод за обраний розрахунковий період.

12. З метою оцінки наслідків змін стоку р.В.Куяльник на водний, сольовий баланс Куяльницького лиману та для прогнозів змін його гідрофізичних характеристик, на базі стохастичного підходу були виконані оцінки середнього місячного побутового та природного стоку у межах кожного розрахункового кліматичного періоду в залежності від визначеної забезпеченості водності року та виділені характерні за водністю роки.

13. Моделювання рівнів і мінералізації води у лимані виконувалось за моделлю “водно-сольового” балансу лиману з розрахунковим кроком один

місяць каліброваної та верифікованої на базі архівних даних за період з 1986 по 2016 рр. Сценарне моделювання виконувалось за умов надходження природного та побутового стоку на базі спрогнозованих за даними кліматичних сценаріїв складових водного балансу лиману за період з 2015 по 2098 рр. Робота трубопроводу «море-лиман» у моделі урахувалась за варіантом 3, який передбачає поповнення лиману морською водою щорічно в періоди з температурою морської води в Одеській затоці $\leq 8^{\circ}\text{C}$; морська вода подається в лиман до того моменту, поки значення середньомісячної мінералізації води в лимані не зменшиться до 40 г/дм^3 (нижня межа мінералізації води для існування специфічних водних організмів лиману або так званої «бальнеологічної біоти»), а позначка рівня води в лимані перед початком водопілля менша за мінус 4,35 м БС (рівень, при якому після проходження водопілля або паводка забезпеченістю $P=1\%$, а також при їх накладанні, не відбудеться затоплення розташованих на узбережжі лиману та території пересипу між лиманом і морем населених пунктів, санаторно-курортних закладів, Об'їзної дороги та інших господарських об'єктів).

В результаті розрахунків визначене наступне:

- середньомісячні рівні води в лимані, при відсутності припливу морської води з Одеської затоки, в умовах природного стоку з басейну лиману будуть перевищувати рівні води в лимані в умовах побутового стоку в середньому на 0,41 м (в окремі місяці на 1,44 м);
- в умовах природного стоку середнє багаторічне значення рівнів води в лимані дорівнюватиме мінус 5,41 м БС (найбільше – мінус 3,26 м БС), а в умовах побутового стоку – мінус 5,82 м БС (найбільше – мінус 4,51 м БС);
- середньомісячні значення мінералізації води в лимані, при відсутності припливу морської води з Одеської затоки та в умовах побутового стоку з басейну водойми, будуть на $4\text{--}129 \text{ г/дм}^3$ (в середньому на $52,19 \text{ г/дм}^3$) вищі ніж в умовах природного стоку;
- найбільше середньомісячне значення мінералізації води в лимані буде становити в умовах побутового стоку майже 425 г/дм^3 , а найменше – в умовах природного стоку (лише 51 г/дм^3).

14.3 урахуванням того, що в умовах як побутового стоку з басейну лиману, так і в умовах природного стоку, рівні води в лимані у маловодні періоди (наприклад, 2018-2020, 2031-2034 рр. й інші) будуть нижчими за позначку НПР (мінус 5,5 м БС), а мінералізація води буде вище гранично допустимого значення (200 г/дм^3), зроблено висновок про необхідність поповнення об'єму лиману морською водою з Одеської затоки згідно з обраним варіантом роботи трубопроводу.

На основі порівняння значень рівнів і мінералізації води в лимані за період з 2015 по 2098 рр., розрахованих для умов, коли трубопровід працює і коли не працює, встановлено, що в умовах побутового стоку та при роботі трубопроводу «море-лиман» середньомісячні рівні води у лимані в середньому майже на 0,8 м перевищуватимуть їх значення, визначені за умов відсутності припливу морської води, а мінералізація води в лимані – зменшиться в середньому на $52,4 \text{ г/дм}^3$. Крім того, визначено, що в умовах

природного стоку з басейну лиману та при роботі трубопроводу «море-лимани», середньомісячні рівні води в лимані будуть вищими ніж в умовах побутового стоку (в середньому на 0,5 м, в окремі місяці – на 1,3 м), а мінералізація води стане зменшиться (в середньому на 40 г/дм³, в окремі місяці – майже на 100 г/дм³).

15. За результатами розрахунків з використанням прогностичної тривимірної гідротермодинамічної моделі Delft3D-FLOW отримані оцінки змін внутрішньорічної просторово-часової мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману, зокрема, відміток рівня, температури та солоності води в лимані, інтенсивності випаровування з водної поверхні лиману за різних обсягів надходження до нього стоку річки Великий Куяльник. Встановлено, що :

- впровадження водного менеджменту на водозборі річки Великий Куяльник, реалізація різних інженерно-технічних заходів, спрямованих на збільшення стоку річки в Куяльницький лиман будуть суттєво впливати на його гідроекологічний режим лише у разі забезпечення надходження до лиману не менш 75% від обсягів природного стоку річки;
- за гідрометеорологічних умов 2015 р., збільшення стоку річки В.Куяльник до 75% від обсягів її природного стоку призвело б до підвищення рівня води в лимані на 0,08-0,1 м, зменшення середньорічних значень солоності води: на 21‰ – в південній частині (точка 1) і 24-28 ‰ – в центральній і північній частинах, порівняно з фактично спостереженими у 2015 р. значеннями;
- збільшення природного стоку річки Великий Куяльник не здатне самотійно забезпечити стабілізацію гідроекологічного режиму Куяльницького лиману без періодичного поповнення його морською водою Одеської затоки та здійснення заходів щодо стабілізації та збільшення надходження вод від інших водотоків, які впадають в лиман: малих річок Довбока, Кубанка, балок Гільдендорфська та Корсунцівська;
- за відсутності поповнення лиману морськими водами та стоком інших малих водотоків, які впадають в лиман, збільшення стоку р.В.Куяльник навіть до 75% від обсягів природного стоку здатне забезпечити стабілізацію річного циклу мінливості рівня та солоності води в лимані лише в багатоводні роки;
- в багатоводні роки температура води в лимані завжди нижча, ніж в середньоводні та маловодні; води мілководної північної ділянки лиману завжди прогріваються сильніше, ніж на більш глибоких ділянках лиману; збільшення стоку р.В.Куяльник впливає на температурний режим лиману, хоча і незначно;
- збільшення надходження до лиману прісного стоку р. В.Куяльник сприяє зменшенню інтенсивності випаровування в північній частині лиману протягом квітня-липня і, навпаки, збільшенню випаровування у серпні-жовтні.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лобода Н.С., Гриб О.Н., Гопченко Е.Д., Килимник А.Н., Тучковенко Ю.С., Белов В.В. Современное состояние и рекомендации по реабилитации водной экосистемы Куяльницкого лимана на основе интегрированного управления природопользованием в его бассейне // матер. третьей междунар. науч. конф. "Современные проблемы гидроэкологии, перспективы, пути и методы решений". Херсонс. гидробиол. станция НАН Украины. Херсон ПП Вишемирский В.С., 2012. С.354-357.
2. Регіональна програма збереження та відновлення водних ресурсів у басейні Куяльницького лиману на 2012-2016 роки, затверджена рішенням Одеської обласної ради № 270-VI від 28.10.2011 р. (з усіма змінами та доповненнями).
3. Гопченко Є.Д., Гриб О.М. Оцінка складових водного балансу Куяльницького лиману та визначення причин сучасного обміління водойми // Метеорологія, кліматологія та гідрологія / Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2010. Вип. 51. С. 200-215.
4. Природа Одесской области: Ресурсы, их рациональное использование и охрана. / под ред. Г.И. Швобса, Ю.А. Амброза. Киев: Вища школа, 1979. 144с.
5. Степаненко С.Н. Причины обмеления Куяльницкого лимана и пути его спасения / Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2013. 35 с.
6. Черкез Е.А., Кадурич В.Н., Чепижко А.В., Мединец С.В., Светличный С.В. Особенности минералогии донных осадков Куяльницкого лимана после пополнения морской водой // матер. Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития». Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С.126-130.
7. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: моногр. / Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2005. 208 с.
8. Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: моногр. / За ред. Лободи Н.С., Гопченка Є.Д. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.
9. Deltares, 2014. Delft3D-FLOW, вихідний код // Співка користувачів відкритого програмного забезпечення Delft3D. URL: <http://oss.deltares.nl/web/delft3d/> (дата звернення: 19.11.2014).
10. Deltares, 2013. Delft3D-FLOW Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments /

- User Manual, version 3.15. Deltares systems, Delft, the Netherlands, 2014. 702 p.
11. Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья: моногр. / за ред. Ю.С.Тучковенко, Є.Д. Гопченко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЭС, 2012. 224 с.
 12. Coastal Lagoons in Europe: Integrated Water Resource Strategies / editor(s) Ana I. Lillebø, Per Stalnacke, Geoffrey D. Gooch. London: IWA Publishing, 2015. 256 p.
 13. Иванов. В.А. , Миньковская Р.Я. Морские устья рек Украины и устьевые процессы: учебник в 2-х частях / НАН України, Морськ. гідрофіз. ін-т. Севастополь, 2008. Ч. I. 446 с.
 14. Heather A. The world of an estuary / Faber and Faber, Salem, N.H. London, 1974. 128p.
 15. Зайцев Ю.П., Александров Б.Г., Демченко В.А., Адобовский В.В., Дятлов С.Е., Соколов Е.В. Решение проблемы борьбы с опустыниванием на примере Куяльницкого лимана и других приморских водоемов Украины // матер. Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития». Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С.146-150.
 16. Нефедова Н.Є. Територіальна організація санаторно-курортного господарства Одеси // матер. наук.-практ. конф. з міжнарод. участю «Регіон-2013: стратегія оптимального розвитку». ХНУ ім. В.Н. Каразіна. Харків, 2013. С. 317-319.
 17. Полетаєва Л.М. Рекреаційно-туристичний потенціал території Куяльницько-Хаджибейського міжлимання // матер. Всеукр. науч.-практ. конф. «Природно-ресурсный потенциал Куяльницкого и Хаджибейского лиманов, территории межлиманья: современное состояние, перспективы развития». Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЭС, 2015. С.92-95.
 18. Эннан А.А., Шихалеева Г.Н. , Адобовский В.В., Герасимюк В.П., Шихалеев И.И., Кирюшкина А.Н. Деградация водной экосистемы Куяльницкого лимана и пути ее восстановления // Причорноморський екологічний бюлетень / за ред. В.О. Примака. Одеськ. інновац.-інформ. центр “ІНВАЦ”. Одеса, 2012. Вип. 1 (43). С.75-85.
 19. Швебс Г.І., Ігошин М.І. Каталог річок і водойм України: Навчально-довідковий посібник / за ред. докт. геогр. наук Є.Д. Гопченка. Одесь. нац. ун-т ім. І.І. Мечникова. Одеса: Астропринт, 2003. 392 с.
 20. Коротун І.М., Коротун Л.К., Коротун С.І. Природні ресурси України: навч. посібн. для студ. еколог. спеціальн. вищ. навч. заклад. Рівненськ. держ. техн. ун-т. Рівне, 2000. 192 с.

- 21.Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз): моногр. Київ: Ніка-центр, 2010. 316 с.
- 22.Климат Украины / под ред. Г.Ф. Прихотько, А.В. Ткаченко, В.Н. Бабиченко. Укр. науч.-исслед. гидрометеорол. ин-т. Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. 413 с.
- 23.Атлас Одеської області: До 70-річчя заснування / О. Е. Орлова та ін. Одеса: Хорс, 2002. 80 с.
- 24.Сорокин В.Г. Средний многолетний сток орошаемых районов юга Европейской территории Советского Союза // респ. межвед. науч. сб. «Метеорология, климатология и гидрология», ред. кол.: Гопченко Е.Д.(отв. ред.). Одес. гидрометеорол. ин-т. Одесса, 1974. С.121-129.
- 25.Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / под ред. А.В. Рождественского, А.Г. Лобанова. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. Ч. I. 447 с.
- 26.Шерешевский А.И., Вишневский П.Ф. Норма и изменчивость годового стока рек Украины / міжнарод наук. період. вид. «Гидробиологический журнал», відпов. ред. В.Д. Романенко. Інститут гідробіології НАН України. Київ, 1997. Т.3. С. 81- 91.
- 27.Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України / Держ. гідрометеорол. служба. Київ: Ніка-Центр, 2003. 324 с.
- 28.Loboda N. Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region / N. Loboda, Y. Bozhok // International Journal of Research In Earth and Enviornmental Sciences. 2015. Vol 02. No. 9. P. 1-6.
- 29.Лобода Н.С., Гриб О.М., Сіренко А.М. Оцінка припливу прісних вод до Куяльницького лиману // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / за ред. докт. геогр. наук В.К. Хільчевського. Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ: ВГЛ «Обрії», 2011. Т. 1 (22). С. 51-59.
- 30.Справочник по водным ресурсам / под ред. Б.И. Стрельца. Киев: Урожай, 1987. С. 102-103.
- 31.Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Романчук М.Є. Кічук Н.С. Уточнення розрахункових модулів паводкового стоку на річках півдня України // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса. 2013. Вип. 13. С. 92-98.
- 32.Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Кічук Н.С., Романчук М.Є. Удосконалення нормативної бази для визначення розрахункових характеристик максимального стоку річок у межах Причорноморської низовини // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса. 2014. Вип. 14. С. 193-203.
- 33.Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия: моногр. / под ред. К. Михайловой; Глав. управ. гидрометеор. служ. при сов. мин. СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. Т.6. вып.2. 884 с.

- 34.Гопченко Є.Д., Лобода Н.С. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплогового балансу // Наук. пр. укр. наук.-досл. гідромет. ін-ту. Київ, 2001. Вип.249. С.106-120.
- 35.Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 75с.
- 36.Режимы влагообеспеченности и условия гидромелиораций степного края / под. ред. проф. В.С. Мезенцева. Москва: Колос, 1974. 240 с.
- 37.Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. Зб. наук. пр. Україн. географ. товариство, 2004. С.144-146.
- 38.Лобода Н.С., Гопченко Е.Д. Нормування характеристик природного річного стоку України / Н.С. Лобода, Е.Д. Гопченко // Наук. пр. укр. наук.-досл. гідромет. ін-ту. Київ, 2003. Вип.252. С. 5-10.
- 39.Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях) / Київ: КНТ, 2005. 188 с.
- 40.Лобода Н.С., Тучковенко Ю.С. Дослідження впливу змін річкового стоку за кліматичними сценаріями на гідроекологічний стан північно-західної частини Чорного моря // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. Володимира Гнатюка. Серія:біологія. Спеціальний випуск: гідроекологія / ред. М.М. Барна. Тернопіль, 2010. №3(44). С. 143-145.
- 41.Справочник по климату СССР. Украинская ССР / Глав. управ. гидрометеор. служ. при сов. мин. СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1967. Вып.10.,ч.II. 607 с.
- 42.Справочник по климату СССР. Украинская ССР / Глав. управ. гидрометеор. служ. при сов. мин. СССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. Вып.10.,ч.IV. 696 с.
- 43.Водний режим та гідро екологічні характеристики Куяльницького лиману: моногр. / За ред. Лободи Н.С., Гопченка Є.Д. Одеськ. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.
- 44.Сніжко С.І. Оцінка та прогнозування якості природних вод: підруч. для студ. геогр., геол., біол. та гідрометеорол. ф-тів вищ. закл. освіти / Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ: Ніка-Центр, 2001. 262 с.
- 45.Юрасов С.М., Сафранов Т.А., Чугай А.В. Оцінка якості природних вод: навчальний посібник / Одеськ. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2012. 168 с.
- 46.Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями / В. Д. Романенко та ін.; за ред. докт. екон. наук В.Я. Шевчука. Київ: Символ-Т, 1998. 28 с.
- 47.Гребінь В.В. Регіональний ландшафтно-гідрологічний аналіз сучасного водного режиму річок України: Дис...доктора геогр.наук. 11.00.07 /

- Київський національний університет імені Тараса Шевченка. Київ. 2010. 440с.
48. Даус М.Є., Лобода Н.С. Основні тенденції змін кліматичних чинників у межах водозбору Куяльницького лиману // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д.фіз.-мат.н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2015. №16. С. 149-155.
 49. IPCC, 2000. Special Report In Emissions Scenarios (SRES) / Nebojsa Nakicenovic and Rob Swart (Eds.) University Press. Cambridge, United Kingdom, 2000. 570 p.
 50. IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (Eds.). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
 51. Степаненко С.М. Динаміка моделювання клімату: піручник для студентів ВНЗ / Одеськ. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2013. 204с.
 52. Отченаш Н. Д. Обґрунтування вибору регіональної кліматичної моделі для аналізу кліматичних змін та водних ресурсів в межах водозбору Куяльницького лиману // Вісник Одеського державного екологічного університету. 2015. Вип. 19. С. 120-125.
 53. Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Вплив змін клімату на водні ресурси України у сучасних та майбутніх умовах (за сценарієм глобального потепління А1В // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2014. №15. С. 149-159.
 54. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Вплив кліматичних змін на водні ресурси Північно-Західного Причорномор'я у сценарних умовах (RCP8.5 та RCP4.5) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / за ред. докт. геогр. наук В.К. Хільчевського. Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ: ВГЛ «Обрії», 2016. Т.2 (41). С.48-58.
 55. Лобода Н.С., Божок Ю.В. Вплив змін клімату на водні ресурси водозбору Куяльницького лиману у сценарних кліматичних умовах // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2015. №16. С.189-195.
 56. Лобода Н., Божок Ю. Зміни клімату та водних ресурсів України за сценаріями глобального потепління RCP4.5 та RCP8.5 // Українська географія: сучасні виклики. Зб.наук. праць. Київ: Прінт-Сервіс, 2016. Т.ІІІ. С.89-91.

- 57.Лобода Н.С., Сербова З.Ф., Божок Ю.В. Оцінка впливу змін клімату на водні ресурси України на основі моделі “клімат-стік” за сценарієм глобального потепління // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія / за ред. докт. геогр. наук В.К. Хільчевського. Київ. нац. ун-т ім. Т.Шевченка. Київ: ВГЛ «Обрії», 2015. Т.1(36). С. 32-40.
- 58.Моделювання зміни гідроекологічних умов в лиманах Північно-Західного Причорномор'я в контексті змін клімату у ХХІ столітті на прикладі Тилігульського лиману: звіт з НДР / № держреєстрації 0116U002607, наук. керів. Ю.С. Тучковенко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2016. 151с.
- 59.Стан гідрографічної мережі річки Великий Куяльник в умовах водогосподарських перетворень на її водозбірному басейні: звіт з НДР / № держреєстрації 0110U008222, наук. керів.Є.Д. Гопченко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2011. 165 с.
- 60.Геоэкологический анализ ситуации и разработка схем мероприятий по улучшению водно-солевого режима Куяльницкого лимана: отчёт о НИР / руков. работы Г.И. Швебс. Одес. гос. ун-т им. И.И. Мечникова. Одесса, 1995. 190 с.
- 61.Паспорт реки Большой Куяльник / Гос. комит. водн. хоз. Украины. Одесса, 1992. 130 с.
- 62.Оцінка можливих змін гідроекологічного режиму Куяльницького лиману під впливом глобальних кліматичних змін: звіт з НДР / № держреєстрації 0112U007606, наук. керів. Н.С. Лобода. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2012. 147 с.
- 63.Молдованов А.И. Постулаты инвариантности в морфологии водоемов и их практическое применение. // Метеорология, климатология и гидрология. Киев, 1965. Вып. I. С. 164-190.
- 64.Молдаванов А.И. Заиление прудов и водохранилищ в степных районах: науч. издание / ред. О.Н. Потапов. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978, 128с.
- 65.Игошин Н.И. Проблемы восстановления и охраны малых рек и водоёмов. Гидроэкологические аспекты: учебное пособие / науч. консультант Г.И. Швебс ; рец. Е.Д. Гопченко, А.Г. Иваненко, Л.А. Миченко; М-во образования и науки Украины, Одес. нац. ун-т им. И.И. Мечникова. Харьков: Бурун Книга, 2009. 240 с.
- 66.WFD CIS Guidance № 10 (April 2003). Rivers and Lakes – Typology, Reference Conditions and Classification Systems. ISBN №92-894-5614-0,ISSN №1725-1087 Pubished by Directorate General Environment of European Commission, Brussels. 107 p.
- 67.Тимченко З.В. Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма. Симферополь: Доля, 2002. 152 с.

68. Керівний документ №2 Спільної Стратегії Впровадження ВРД. Ідентифікація /визначення водних тіл. ISBN 92-894- 5122- X, ISSN 1725-1087. Європейське співтовариство, 2003. 27с.
69. Лобода Н.С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах: навч. посіб. / Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія. 2010. 184 с.
70. Лобода Н.С. Системный подход и функции отклика гидрологической системы на антропогенные воздействия при математическом моделировании бытового стока // Метеорологія, кліматологія та гідрологія / Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2004. Вип. 48. С. 416–424.
71. ДБН України. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик. ДБН В.2.4 / Держ. наук.-дослід. ін-т будів. конструкцій» (НДІБК). Київ, 2014. 137с.
72. Лобода Н.С. Оцінка припливу прісних вод до північно-західної частини Чорного моря. Постановка проблеми та шляхи вирішення. // Причорноморський екологічний бюлетень. / за ред. В.О. Примака. Одес. інновац.-інформ. центр "ІНВАЦ". Одеса, 2010. №2 (36). С.63-67.
73. Лобода Н.С. Оценка притока пресных вод в Тилигульский лиман: розділ колек. моногр. «Актуальные проблемы лиманов северо-западного Причерноморья» / під ред. Ю.С. Тучковенко, Е.Д. Гопченко // Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЭС, 2012. С.140-148.
74. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. Зб. наук. пр. Українське географічне товариство, Київ: Обрії, 2004. С.144-146.
75. Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. СР D.01.05-2012. (Н.С. Лобода у співавторстві) / Ministerul Dezvoltării Regionale și Construcțiilor al Republicii Moldova. Chișinău, Молдова, 2012. 180с.
76. Лобода Н.С., Гопченко Є.Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках: навч. посібник для студ. вищих навч. закл. / Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: Екологія, 2006. 200 с.
77. Гриб О. М., Нікітін П. С., Сімон Г. М., Гриб К. О. Оцінка хімічного складу атмосферних опадів в районі Сухого лиману в 2014-2015 роках / Сучасні соціально-екологічні проблеми Сухого лиману та шляхи їх вирішення : зб. наук. ст. за матер. Всеукр. наук.-практ. конф. // за заг. ред. М.Г. Сербова, О.М. Гриба. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: Букаєв В.В., 2015. С. 81-84.
78. Гриб О. М., Гриб К. О. Характеристика хімічного складу атмосферних опадів в районі Куяльницького лиману (м. Одеса) / Екологічні проблеми природокористування та охорона навколишнього середовища: Зб. наук. пр. Другої Всеукр. наук.-практ. конф. за міжнар.

- уч. / Рівненський держ. гуманітарний ун-т; за ред. проф. Д.Л. Лико [та ін.]. Рівне: РДГУ, 2015. С.38-39.
- 79.Гриб О.М. Оцінка випаровування з водної поверхні в районі Тилігульського лиману // Вісник Одеського державного екологічного університету.Одеса, 2014. № 17. С. 173-184.
 - 80.Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: Монографія / за ред. Ю.С. Тучковенко, Н.С. Лободи. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса: ТЕС, 2014. 278 с.
 - 81.Константинов А.Р. Испарение в природе: моногр. Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. 532 с.
 - 82.Оцінка можливого альтернативного наповнення Куяльницького лиману водами Чорного моря, річки Дністер й інших лиманів і водних об'єктів: звіт про НДР (заключний) / ДР № 0112U007605, керів. роботи Ю.С. Тучковенко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2012. 238 с.
 - 83.Правила експлуатації гідротехнічної споруди зі з'єднання Куяльницького лиману та Одеської затоки / Укрпівдендінпроводгосп, Одеса, 2015. 36 с.
 - 84.Burchard H., Baumert H. On the performance of a mixed layer model based on the k-ε turbulence closure. *Journal of Geophysical Research (C5)*, 1995. No. 100. P. 8523-8540.
 - 85.Millero Frank J., Poisson Alain, Chen Chen Tung, Bradshaw Alvin L., Schleicher K. Background papers and supporting data on the International Equation of State of Seawater. *Unesco technical papers in marine science*, 38, 1980, Publ: 1981; 192 p.
 - 86.Окубо А., Озмидов Р.В. Эмпирическая зависимость коэффициента горизонтальной диффузии в океане от масштаба явления // Изв, АН СССР, Физика атмосферы и океана. 1970, т.VI, №5. С. 534-536.
 - 87.Gill, A.E. *Atmosphere-Ocean Dynamics*. International Geophysics Series. Academic Press. New York, London, 1982, vol.30. 680 p.
 - 88.Lane, A., 1989. The heat balance of the North Sea. *Tech. Rep. 8*, Proudman Oceanographic Laboratory. 243, 254.
 - 89.Panin, G.N., Brezgunov, V.S. Influence of the salinity of water on its evaporation. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 2007. Vol. 43. No.5. P. 663–665.
 - 90.Комплексне управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману та його гідроекологічним станом в умовах господарської діяльності і кліматичних змін: звіт з НДР (проміжний) / ДР № 0115U000631, наук. кер. Н.С. Лобода, Од. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2015. С. 282-300 с.
 - 91.Тучковенко Ю.С., Кушнір Д.В. Результати чисельного моделювання внутрішньорічної мінливості характеристик гідрологічного режиму Куяльницького лиману // Український гідрометеорологічний журнал /

головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2016. № 17. С.137-139.

- 92.Адобовский В.В., Богатова Ю.И. Особенности современного гидролого-гидрохимического режима Куяльницкого лимана и прогнозная оценка его составляющих в условиях возможного пополнения водоема морскими и пресными водами // Український гідрометеорологічний журнал / головн. ред. д. фіз.-мат. н. С.М. Степаненко. Одес. держ. еколог. ун-т, 2013. № 13. С.127-137.
- 93.Wu, Jin. The sea surface is aerodynamically rough even under light winds. Boundary layer Meteorology. 1994. № 69. P. 149-58.
- 94.Chow, Ven Te Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill College, U.S.A: New York, 1959. 680 p.
- 95.Simon, A.J., Kent, E.C., Taylor, P.K. The Southampton Oceanography Centre (SOC) Ocean-Atmosphere Heat, Momentum and Freshwater Flux Atlas. Tech. rept. Southampton Oceanography Centre. Southampton, U.K, 1999. 59 p.

ДОДАТКИ

Додаток А

Картосхеми виїздів з обстеження басейну річки Великий Куяльник

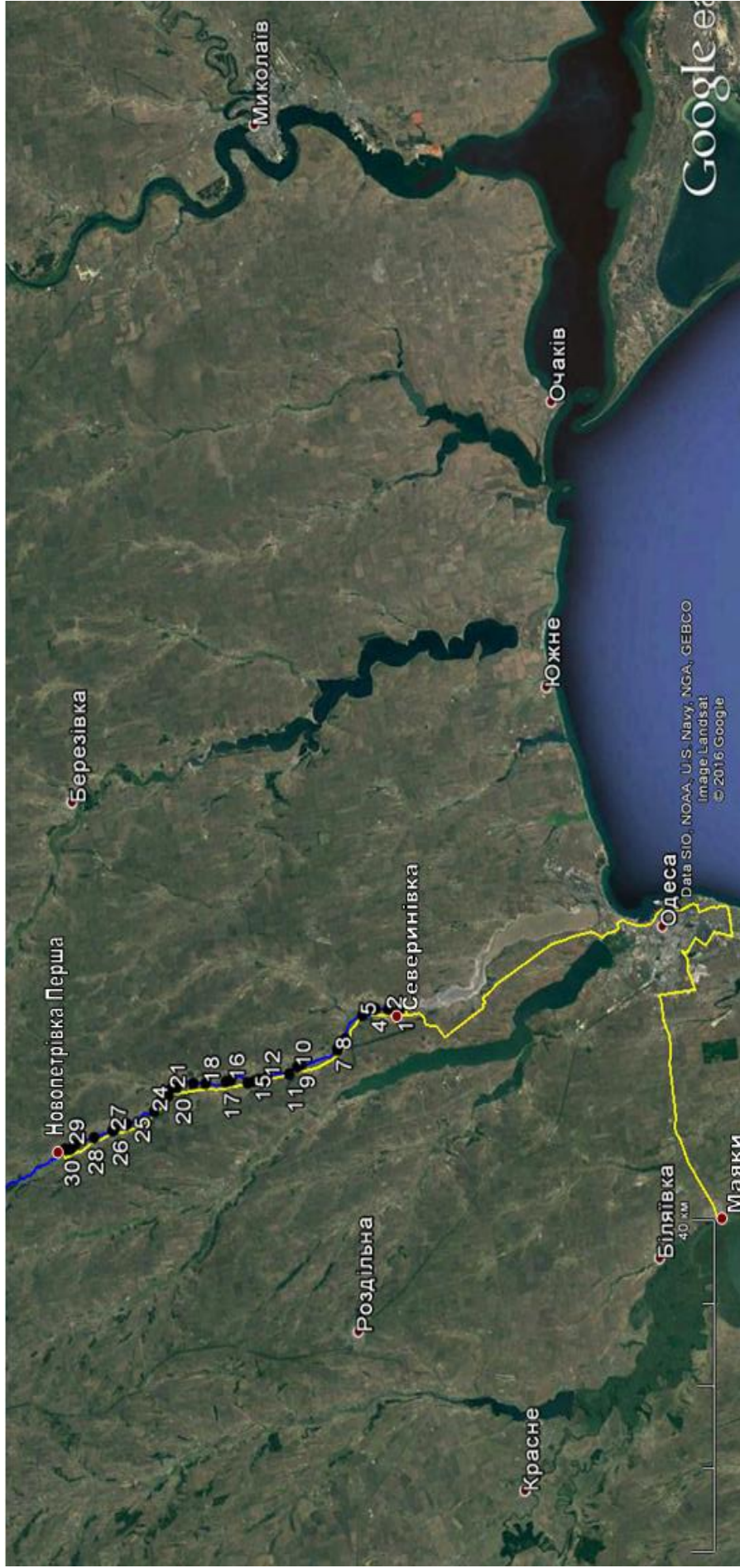


Рисунок А.1 – Картосхема виїзду № 1 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 31.10.2016 р. (нижня течія) за маршрутом: Річкова гідроecологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – гирло річки Великий Куяльник – с. Новопетрівка Перша та в зворотному напрямку (**загальна протяжність шляху складає 357 км, кількість точок обстеження – 31 шт.**)

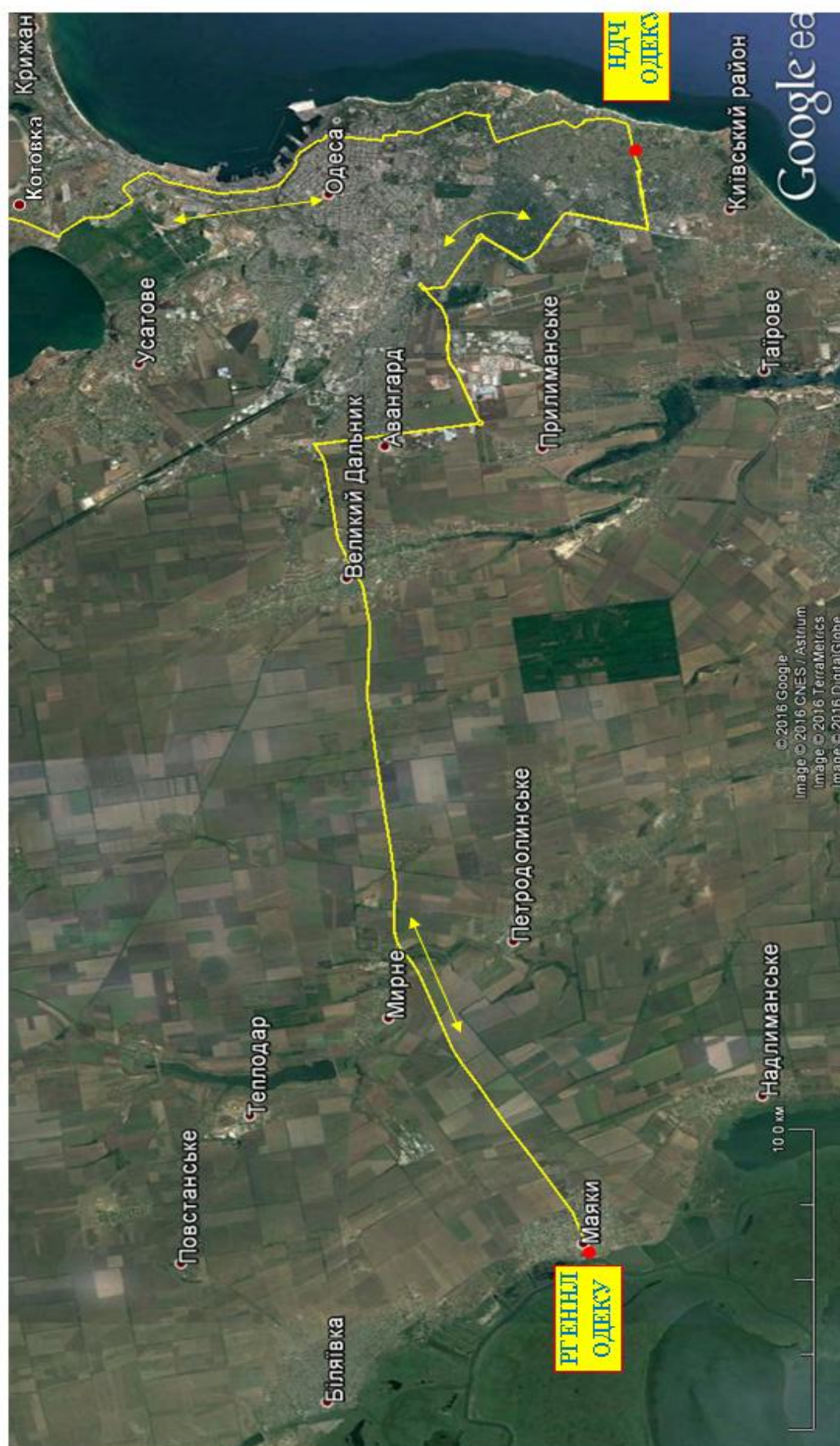


Рисунок А.2 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 1 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

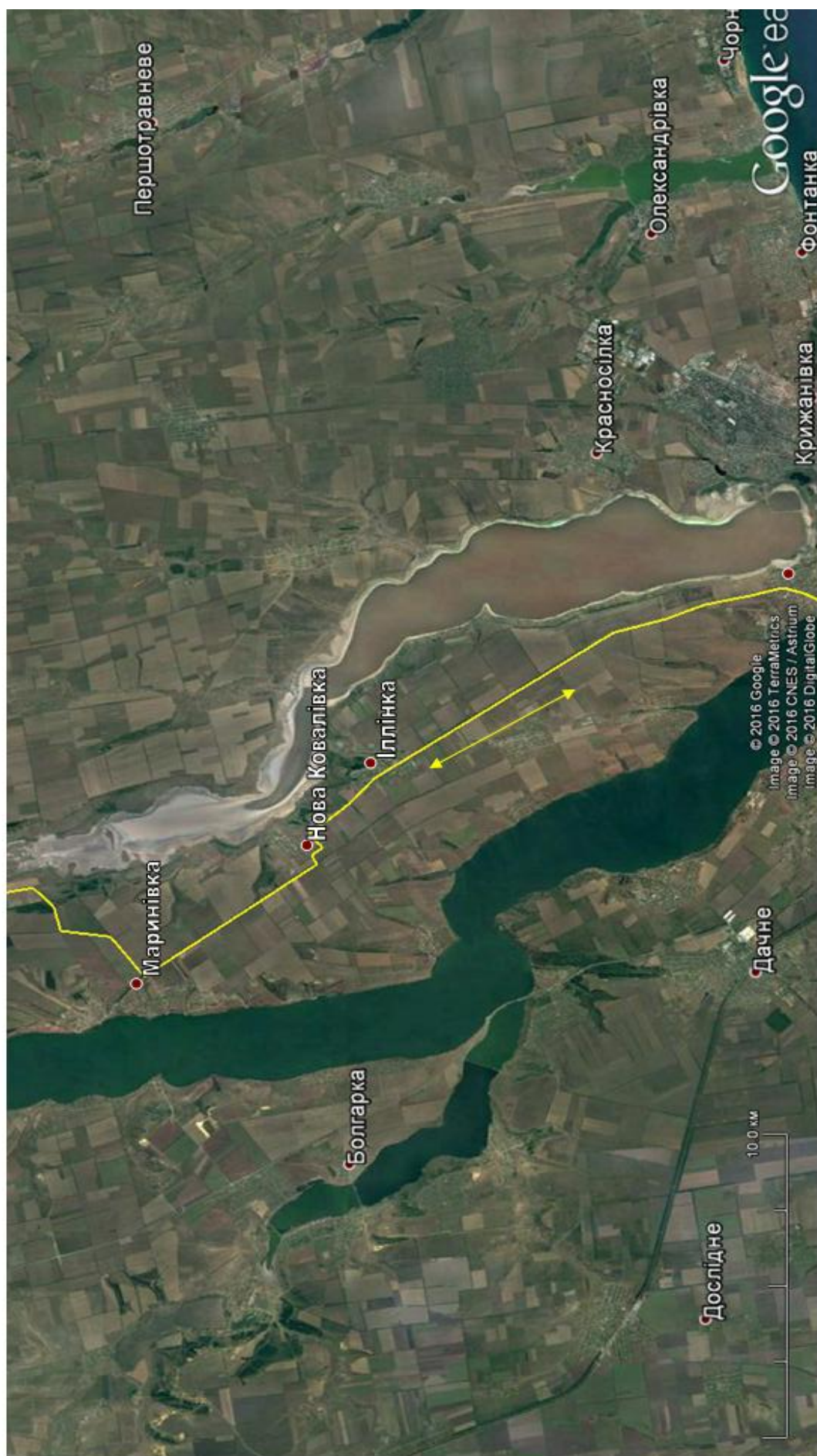


Рисунок А.3 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 1 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)



Рисунок А.4 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 1 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)

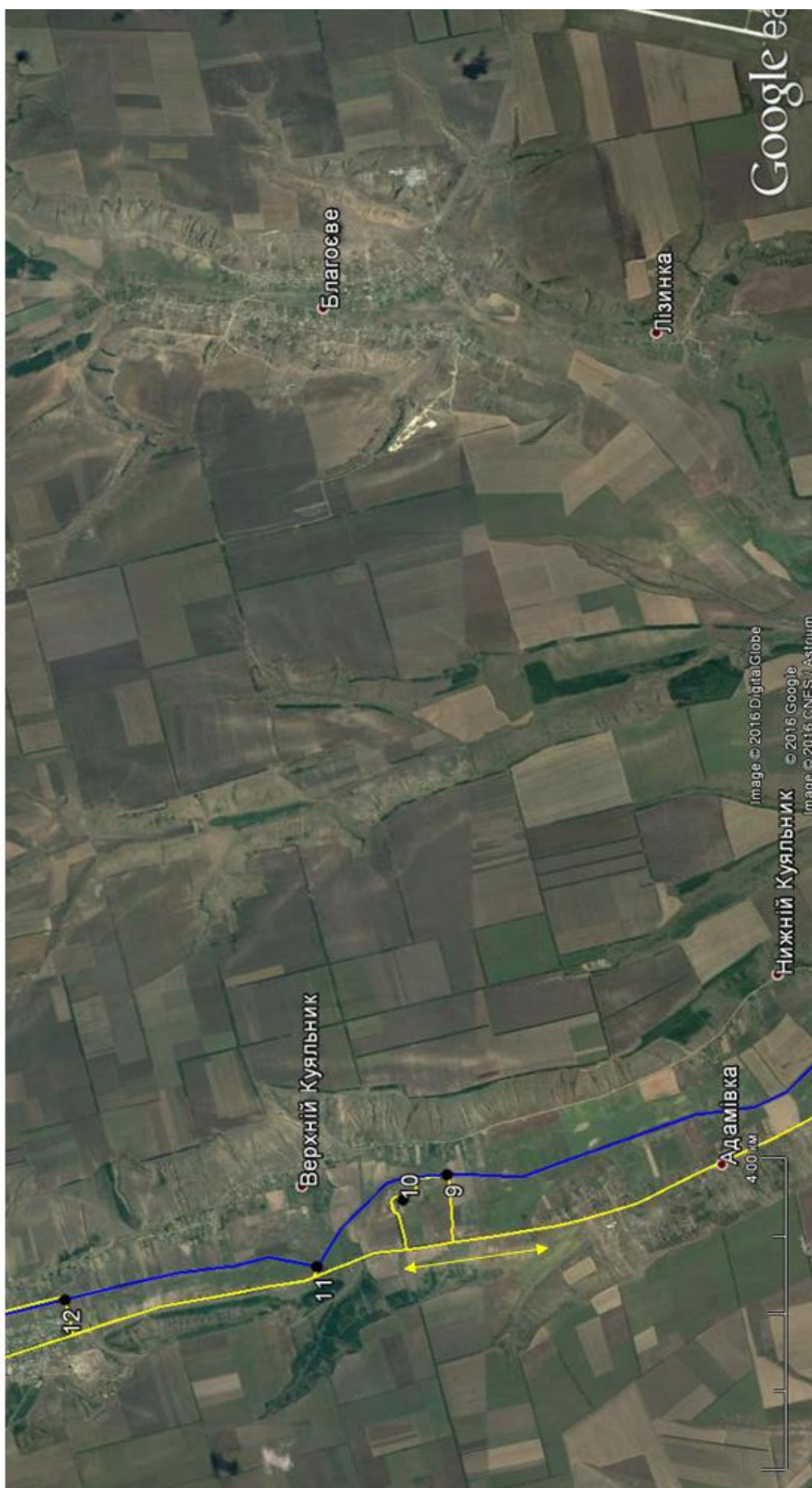


Рисунок А.5 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 1 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 4)

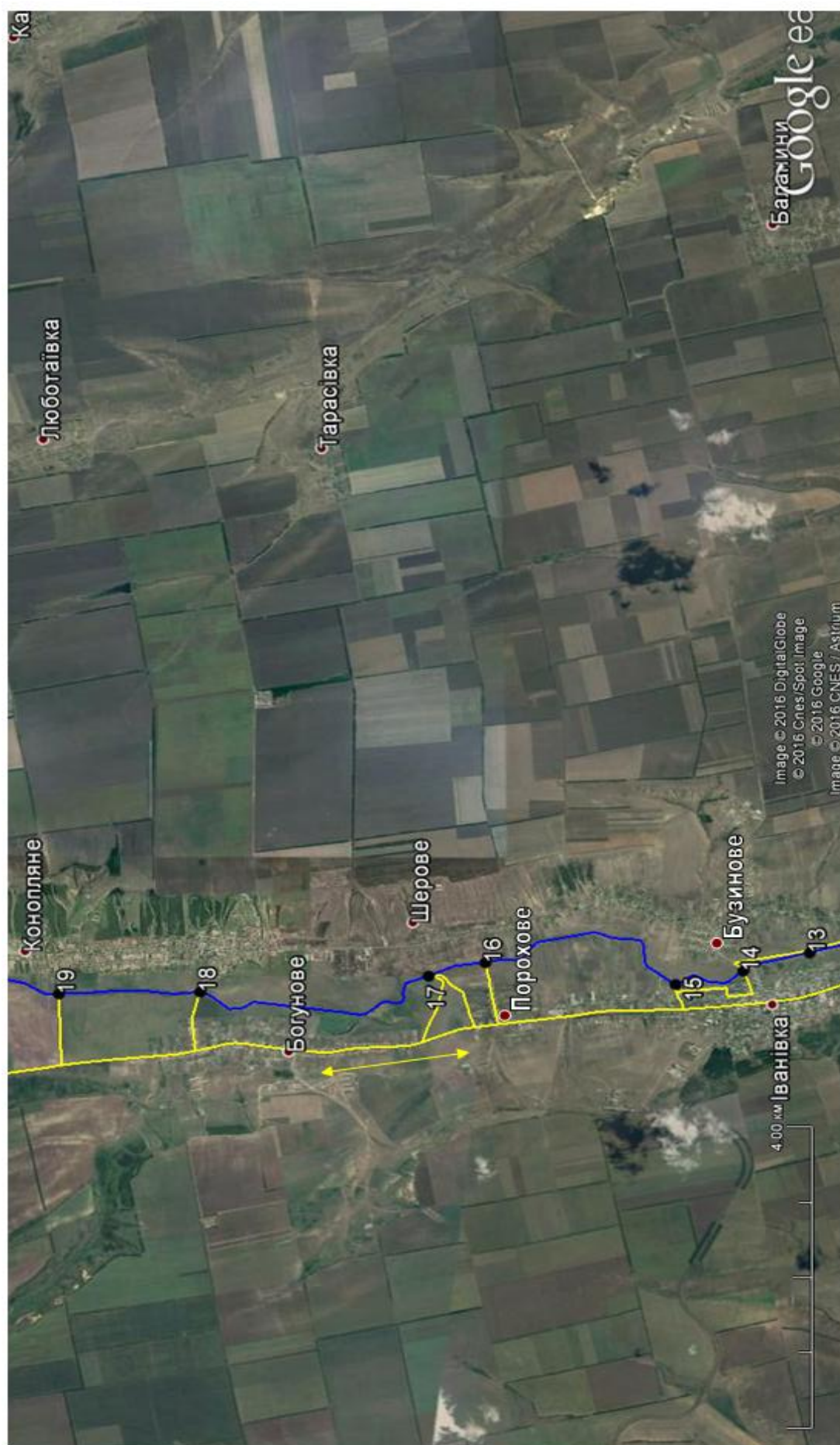


Рисунок А.6 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 1 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 5)

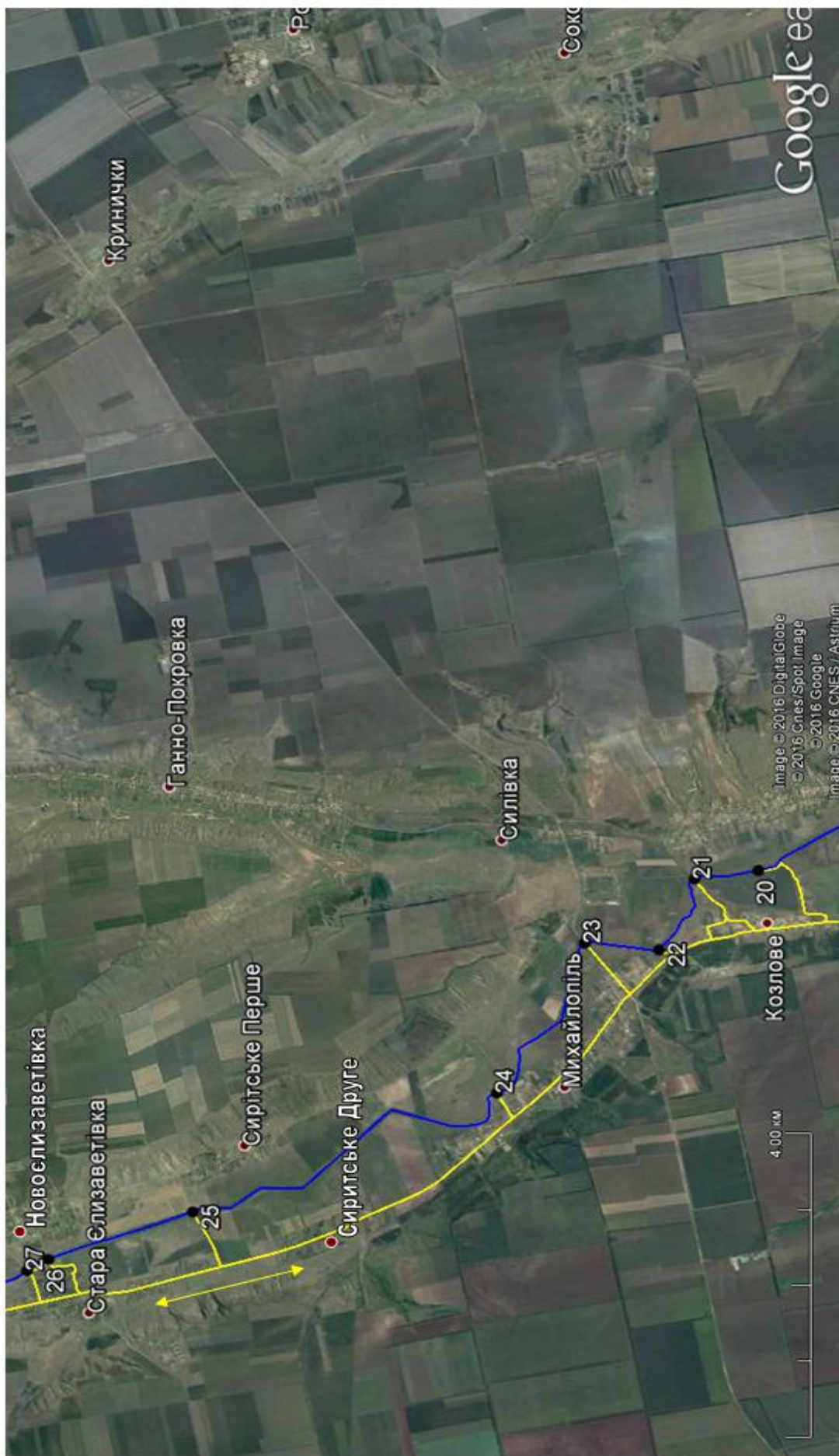


Рисунок А.7 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 1 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина б)

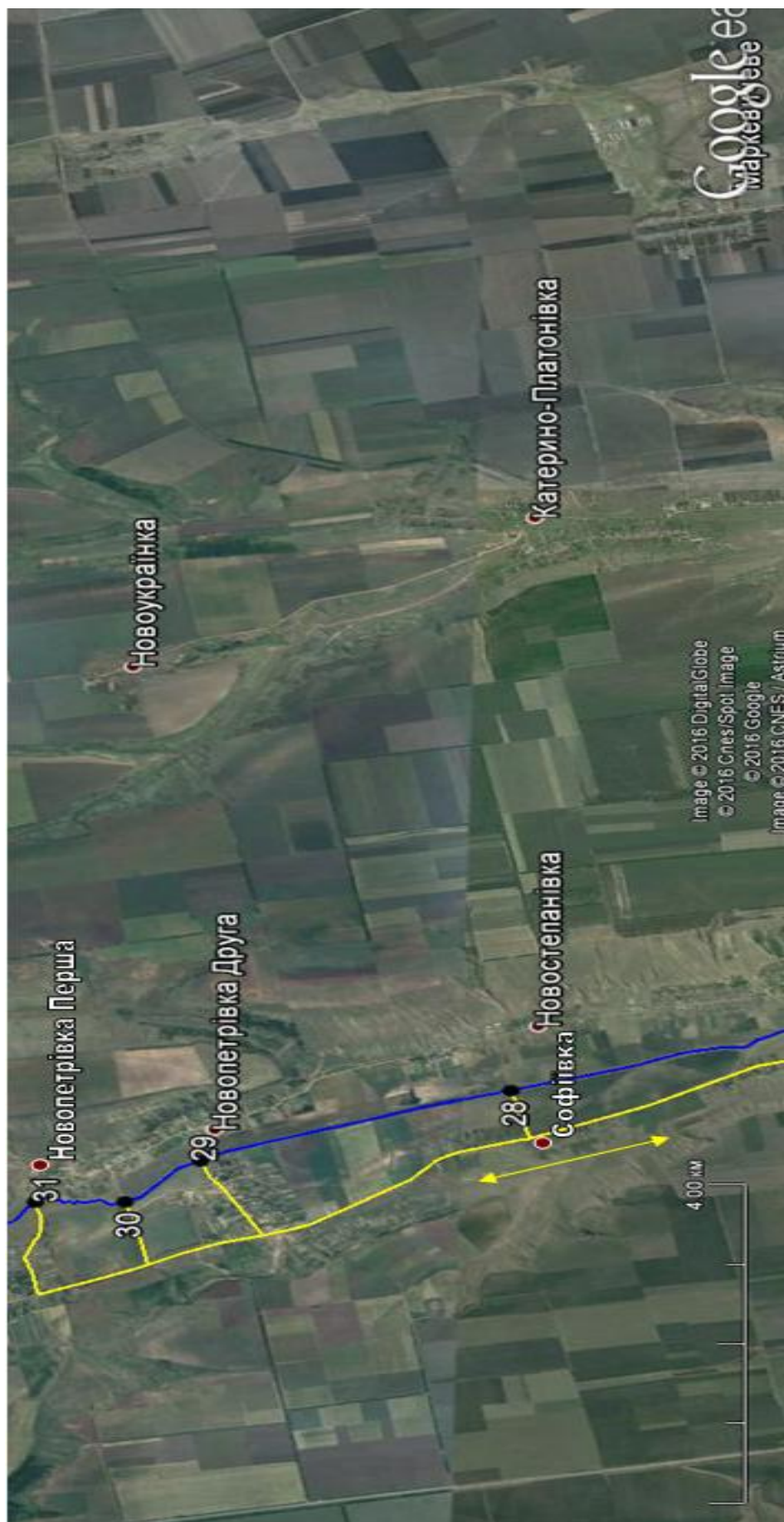


Рисунок А.8 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 1 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 7)

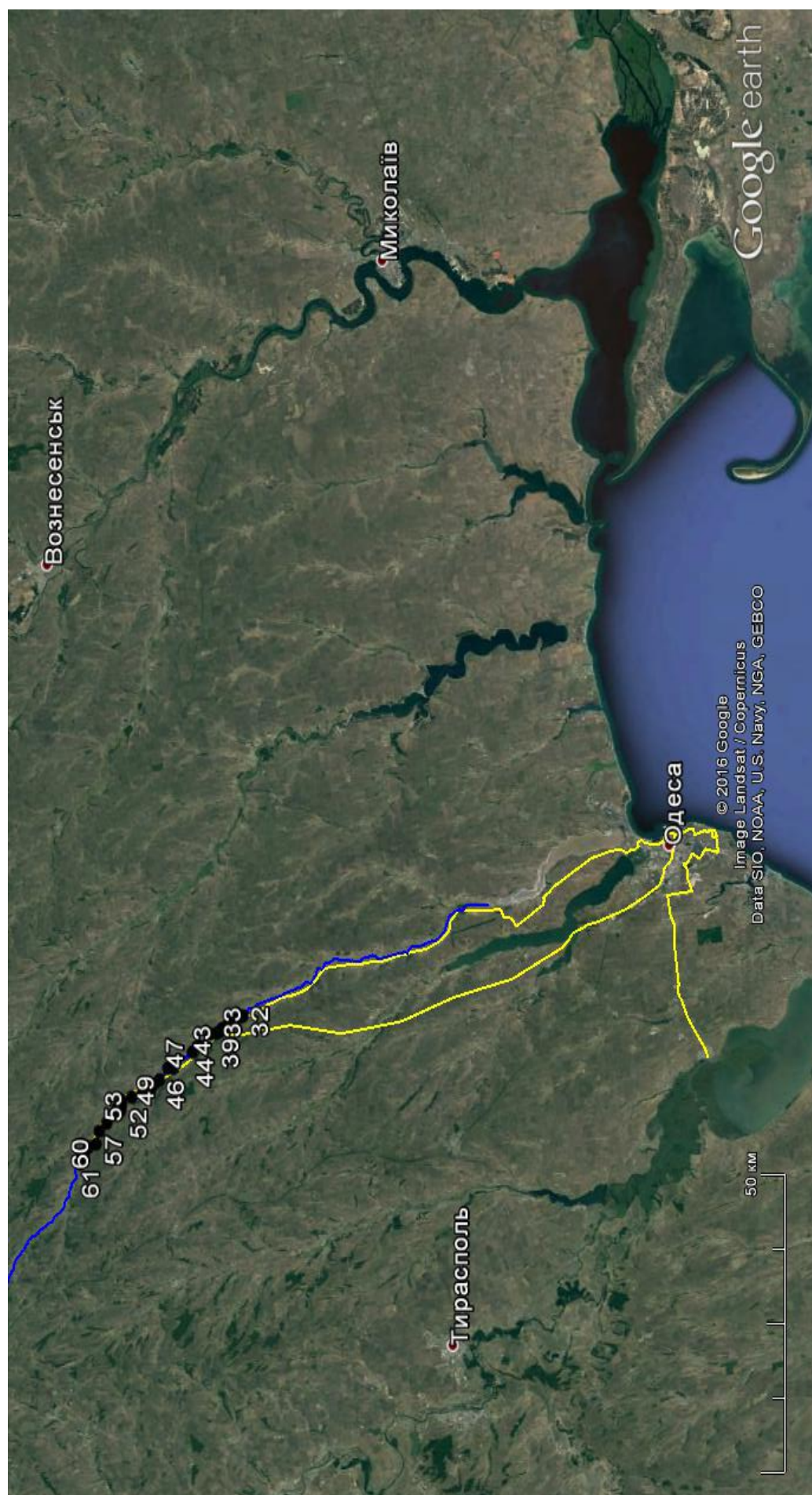


Рисунок А.9 – Картосхема виїзду № 2 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 17.11.2016 р. (середня течія) за маршрутом: Річкова гідроекологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – с. Новопетрівка Перша – с. Флоринське та в зворотному напрямку
(загальна протяжність шляху складає **434 км, кількість точок обстеження – 32 шт.**)

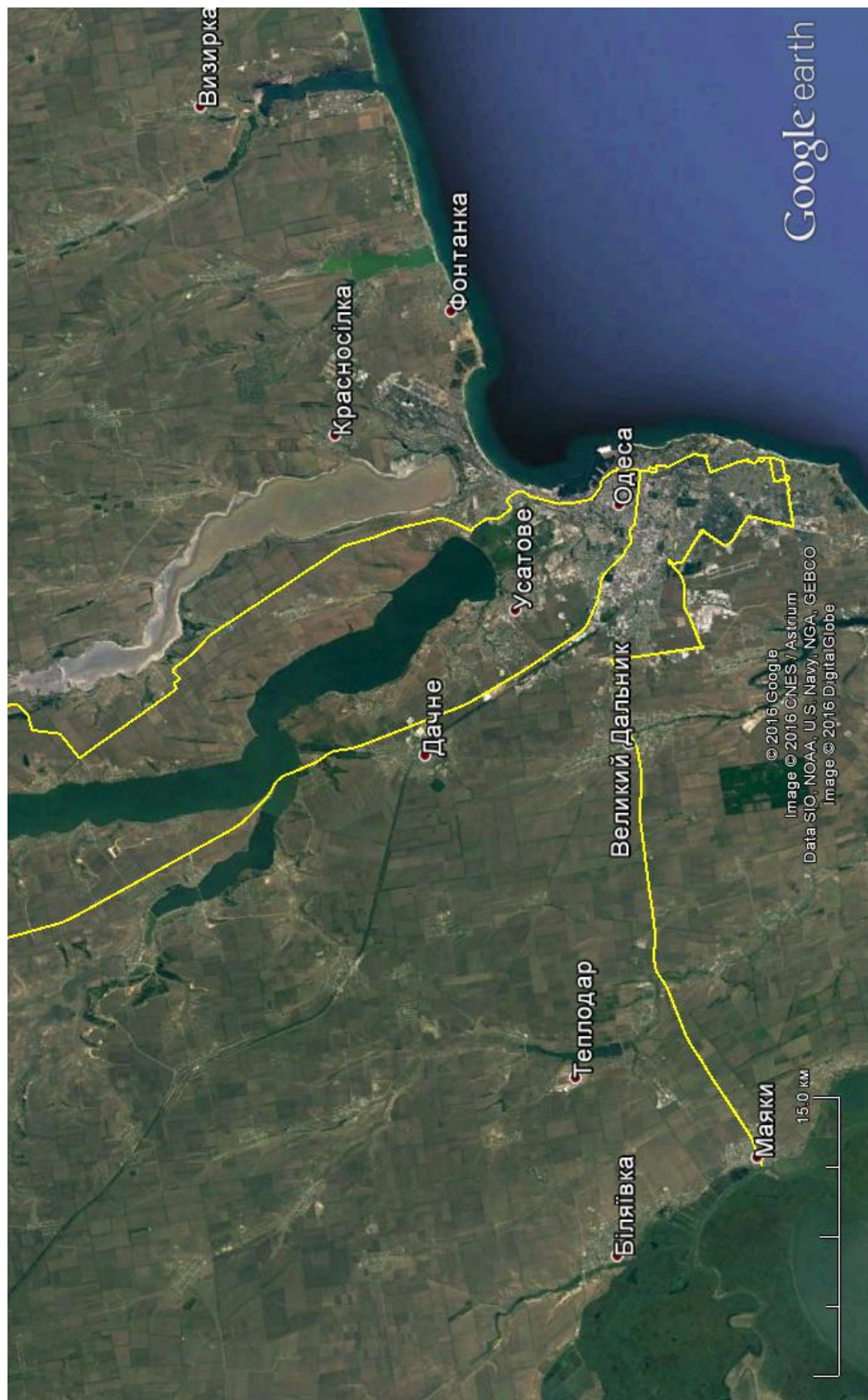


Рисунок А.10 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 2 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

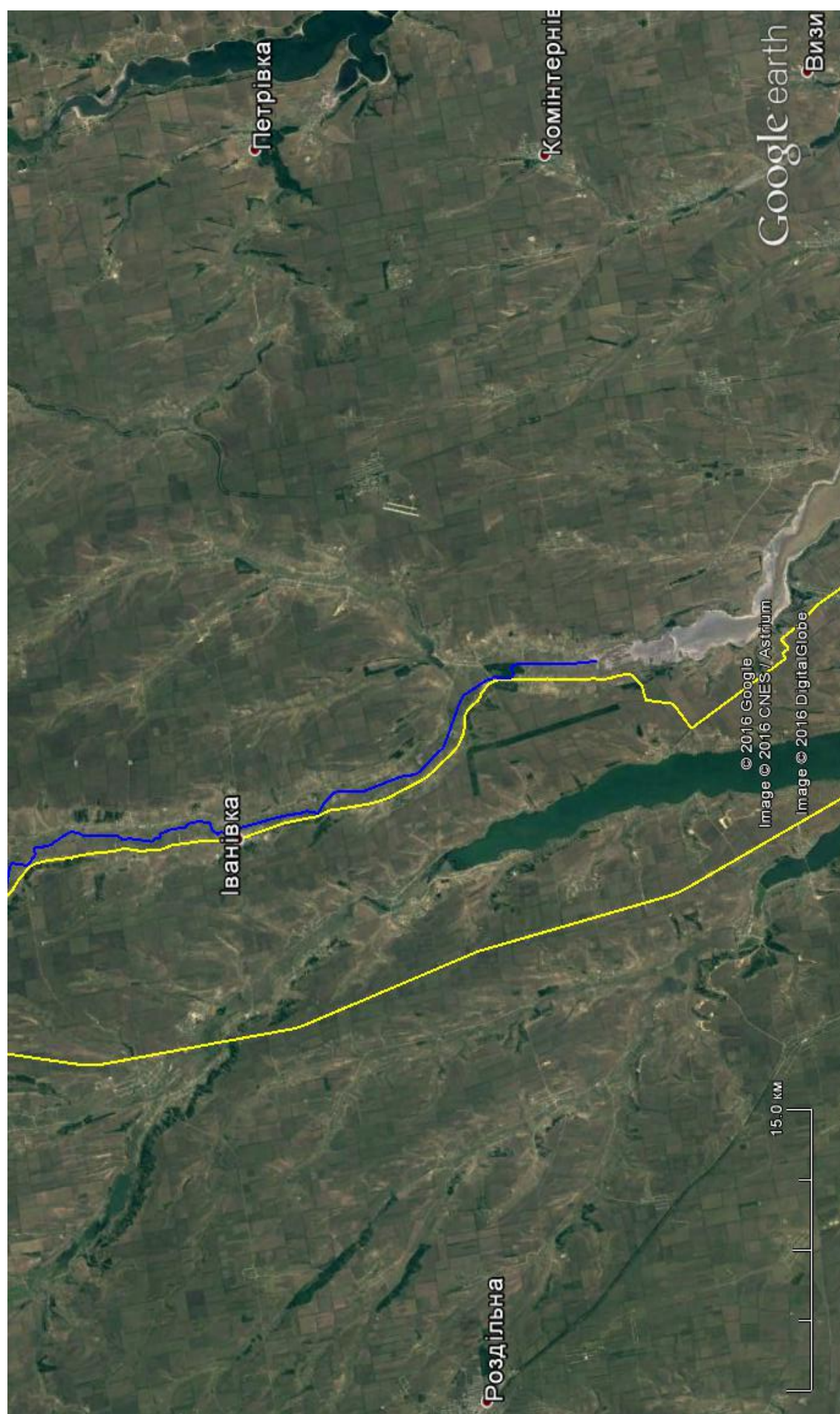


Рисунок А.11 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 2 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)

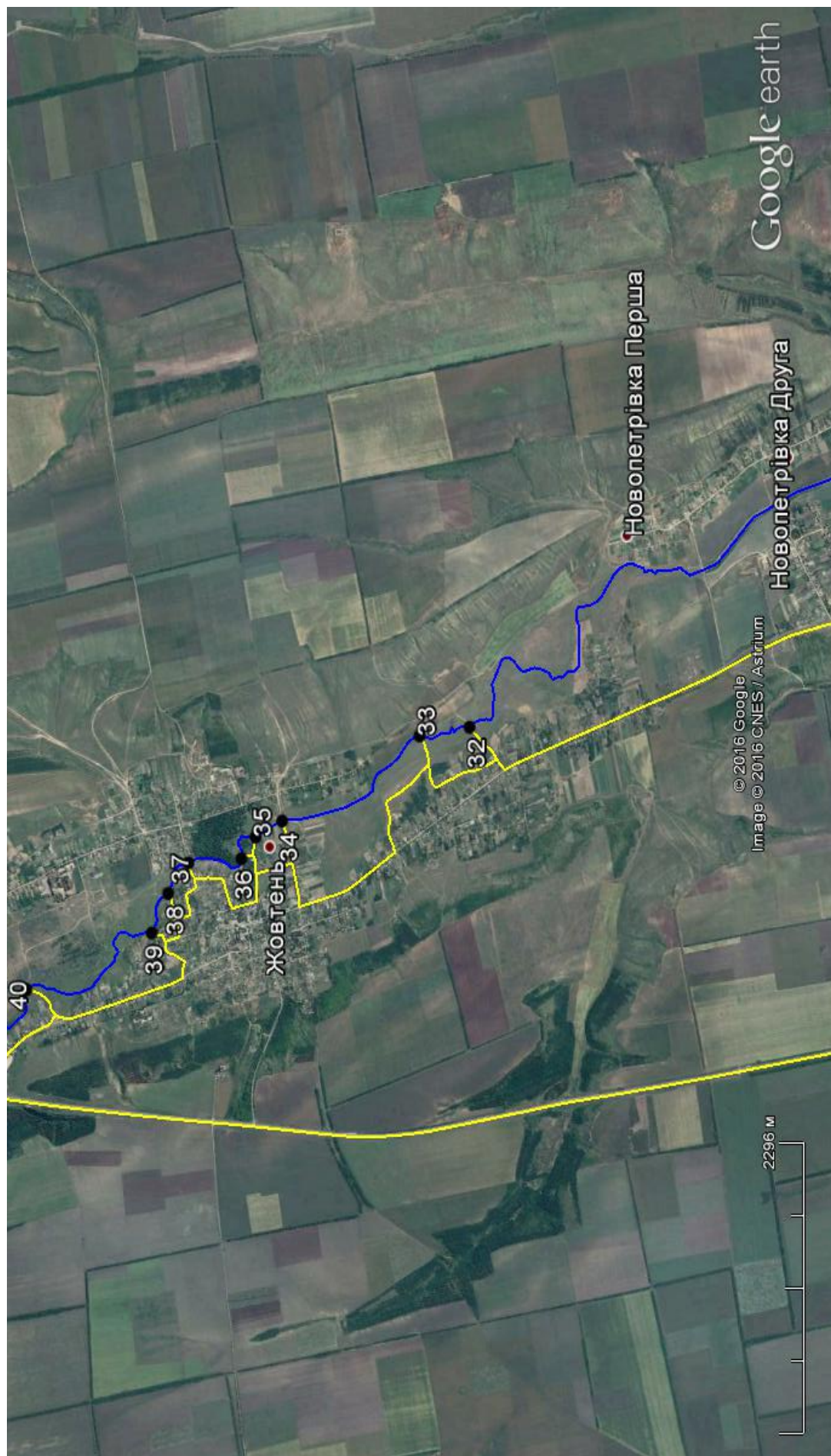


Рисунок А.12 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 2 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)

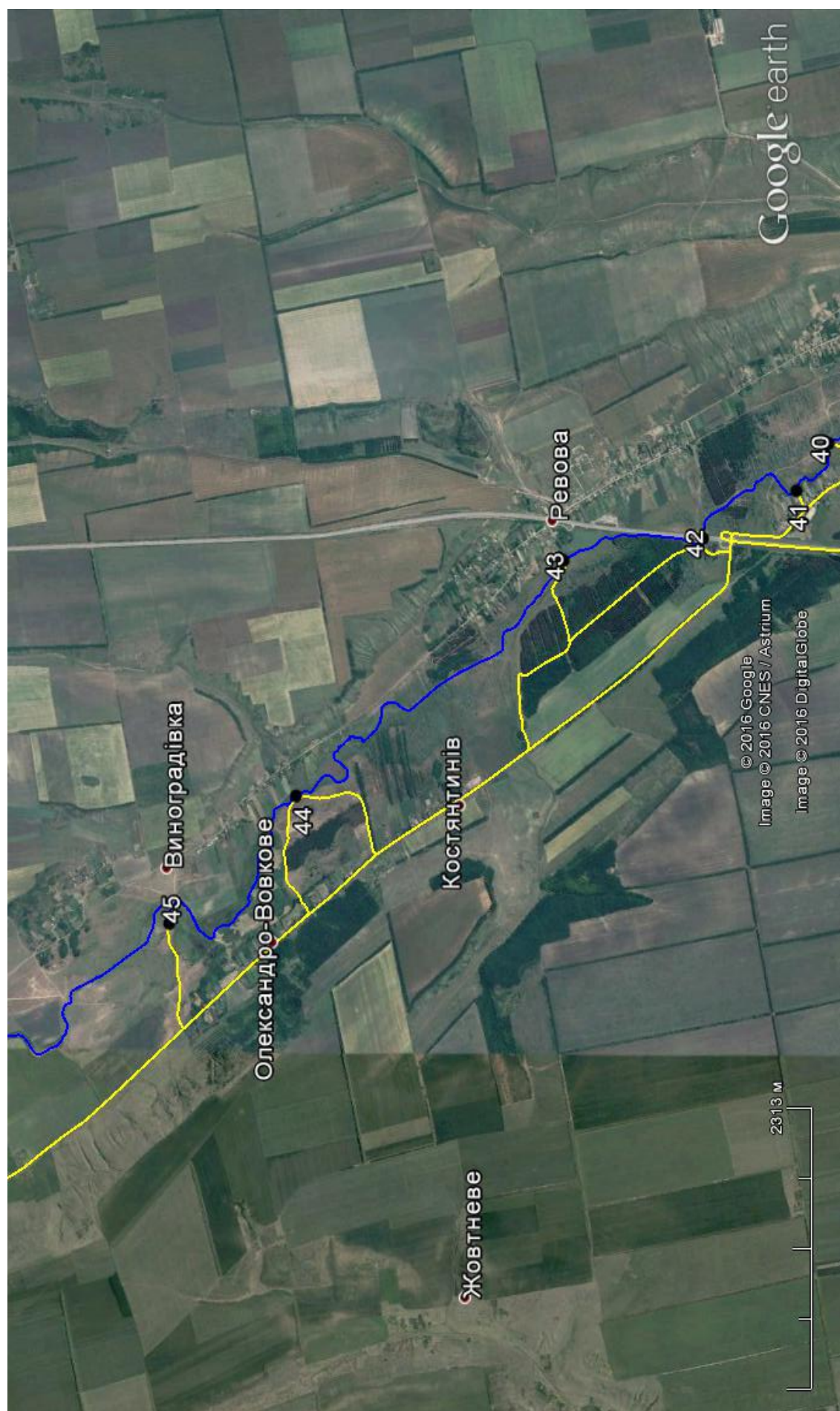


Рисунок А.13 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 2 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 4)

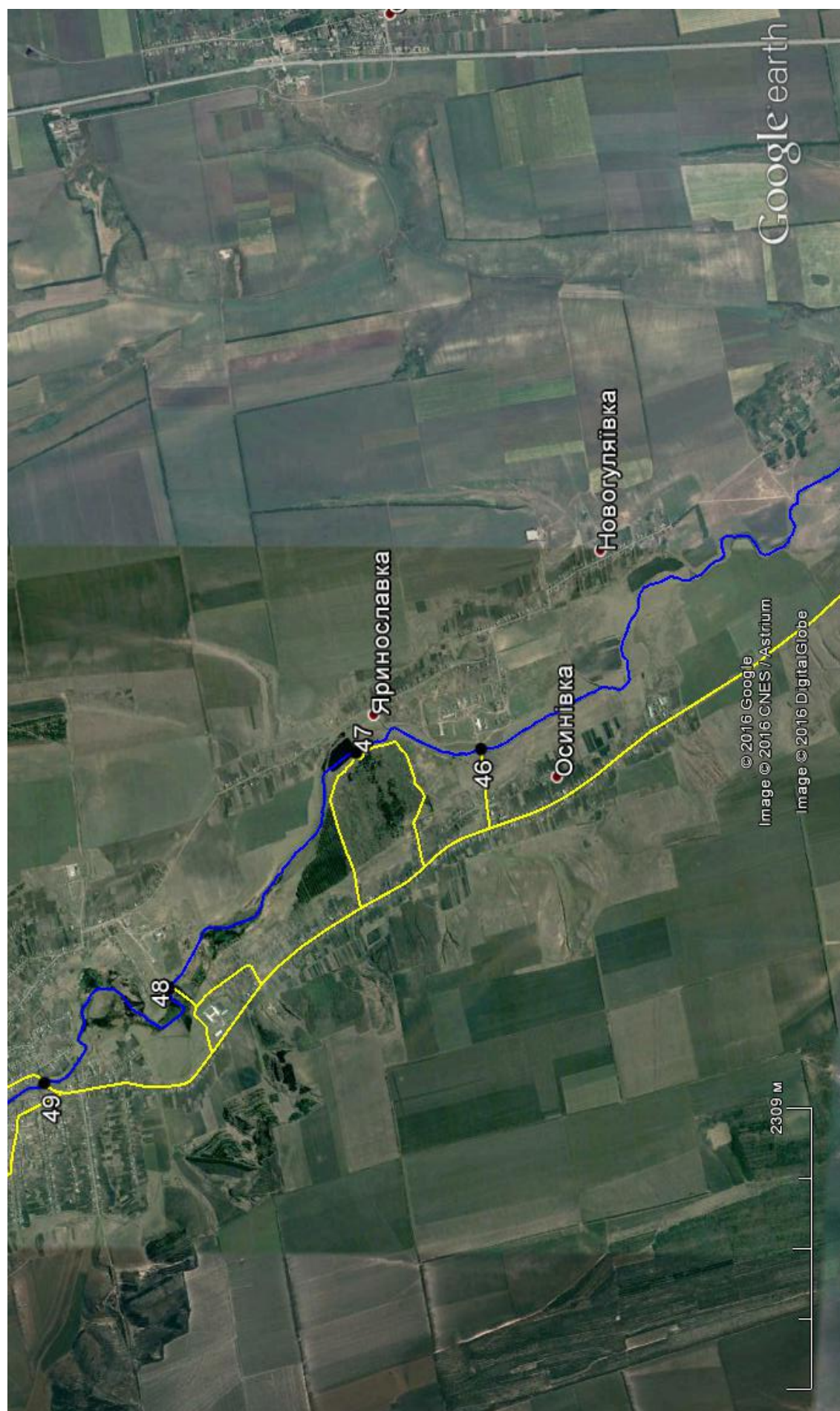


Рисунок А.14 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 2 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 5)

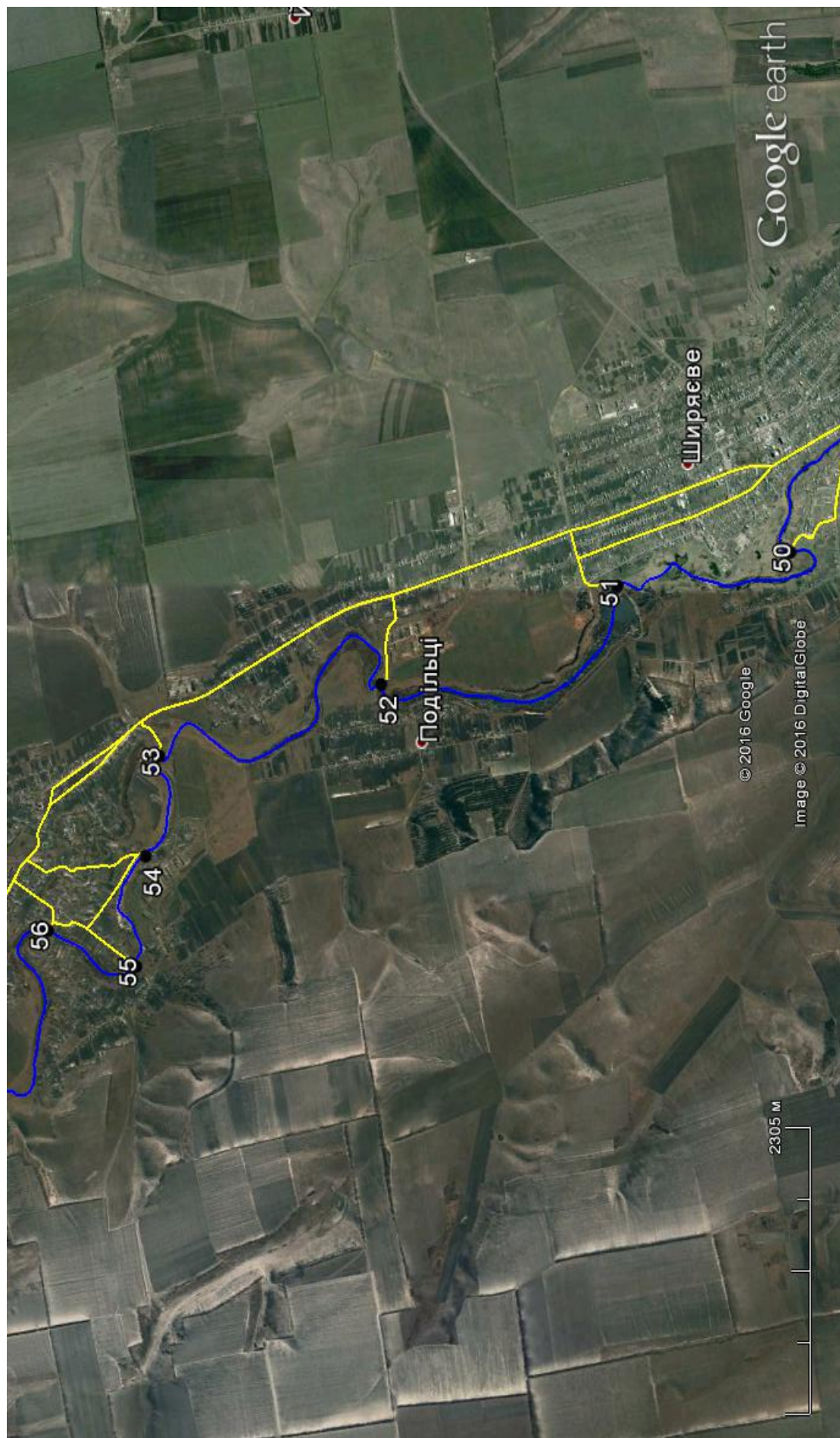


Рисунок А.15 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 2 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 6)



Рисунок А.16 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 2 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 7)

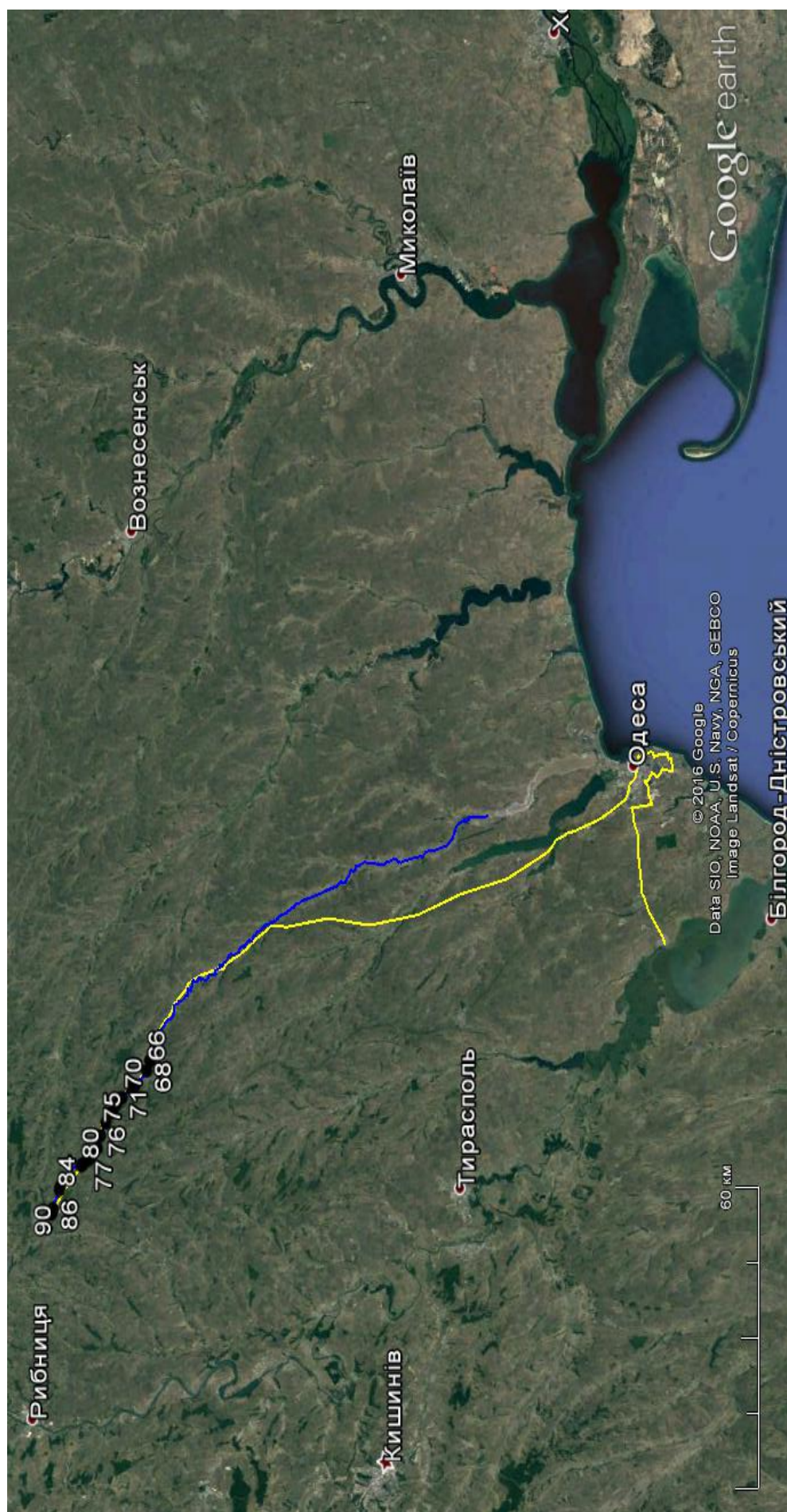


Рисунок А.17 – Картосхема виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 18.11.2016 р. (верхня течія) за маршрутом: Річкова гідроекологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – с. Флоринське –м. Подільськ (Котовськ) по руслу Г. Куяльник та в зворотному напрямку
(загальна протяжність шляху складає 501 км, кількість точок обстеження – 27 шт.)

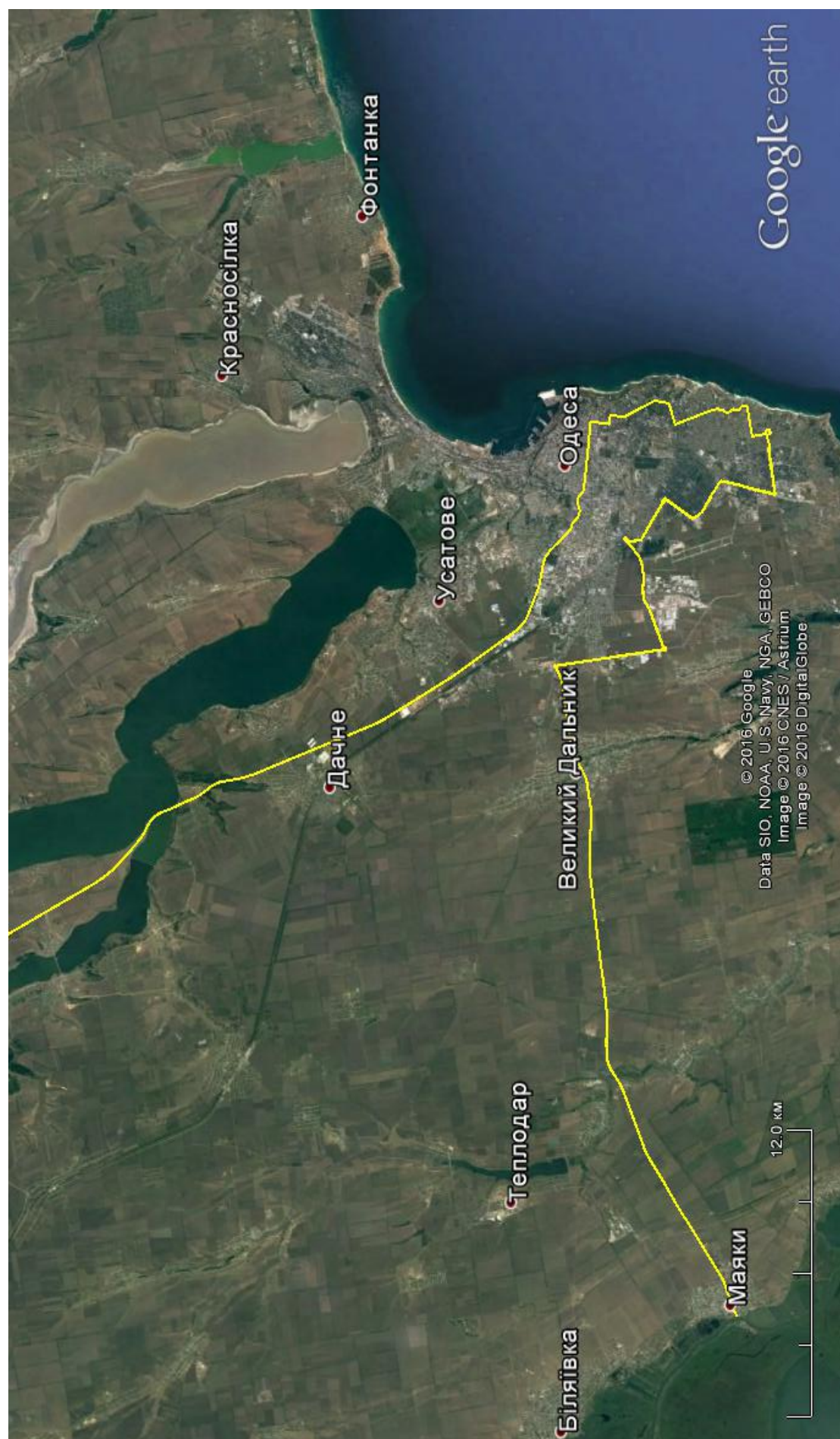


Рисунок А.18 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

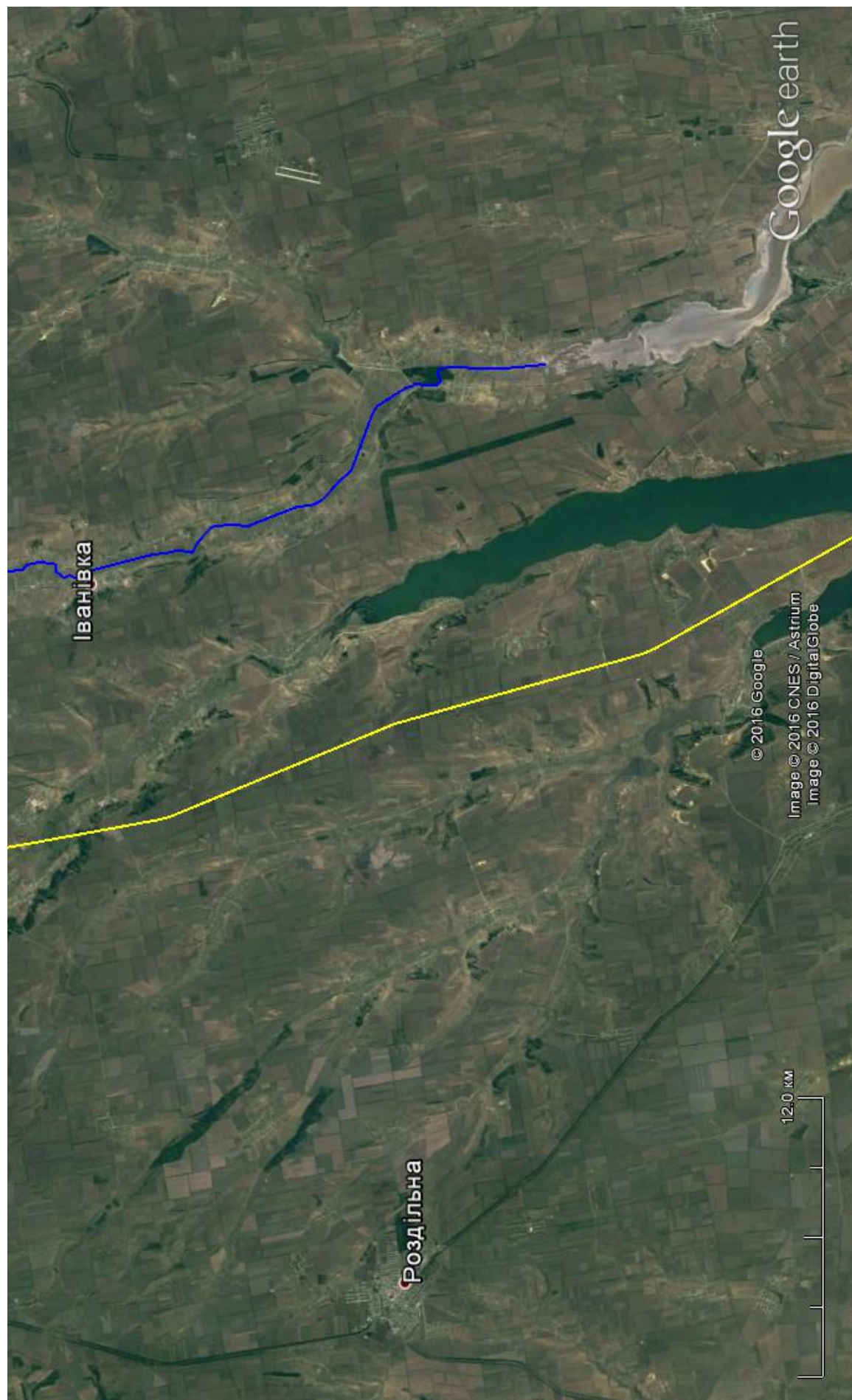


Рисунок А.19 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)

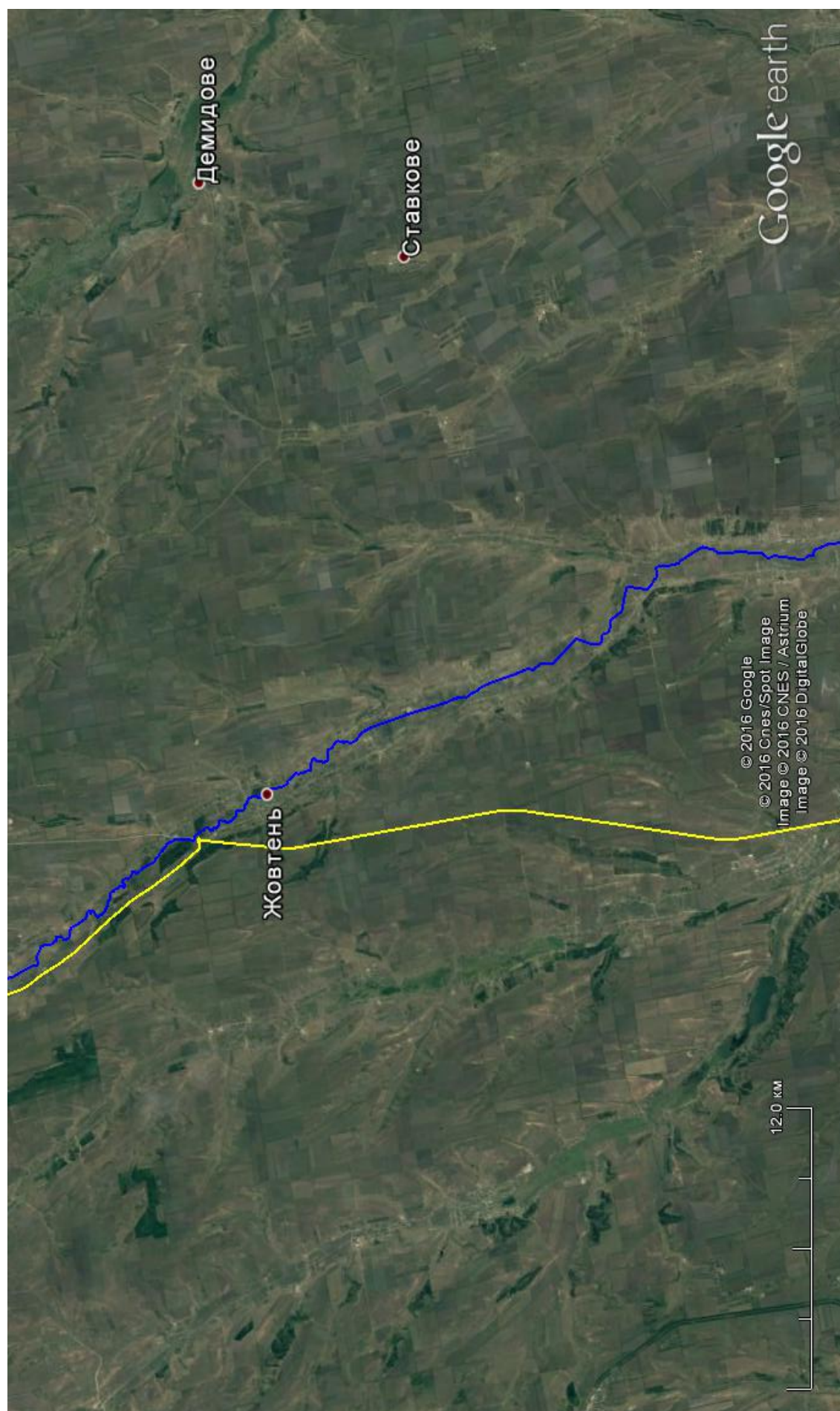


Рисунок А.20 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)

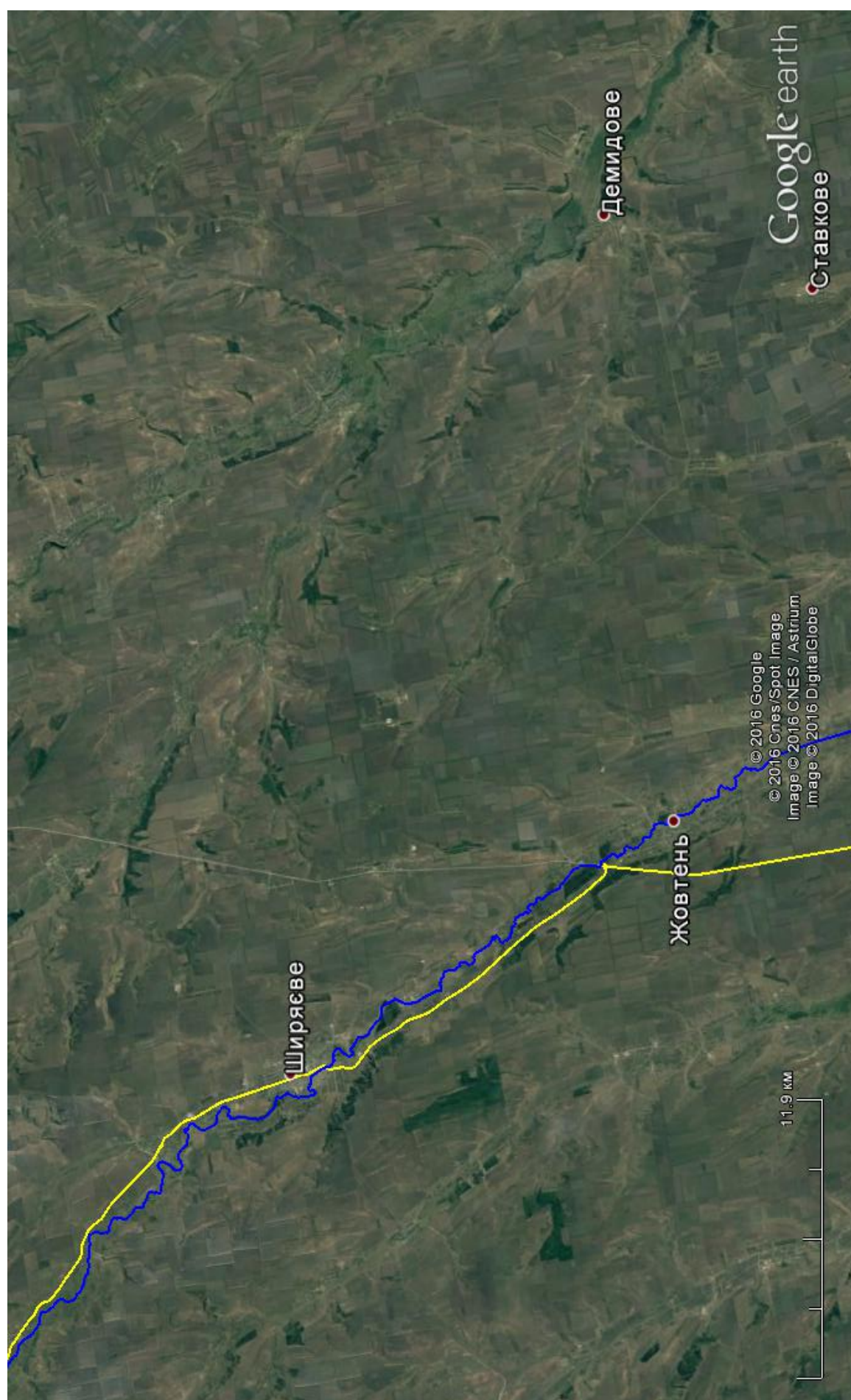


Рисунок А.21 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 4)

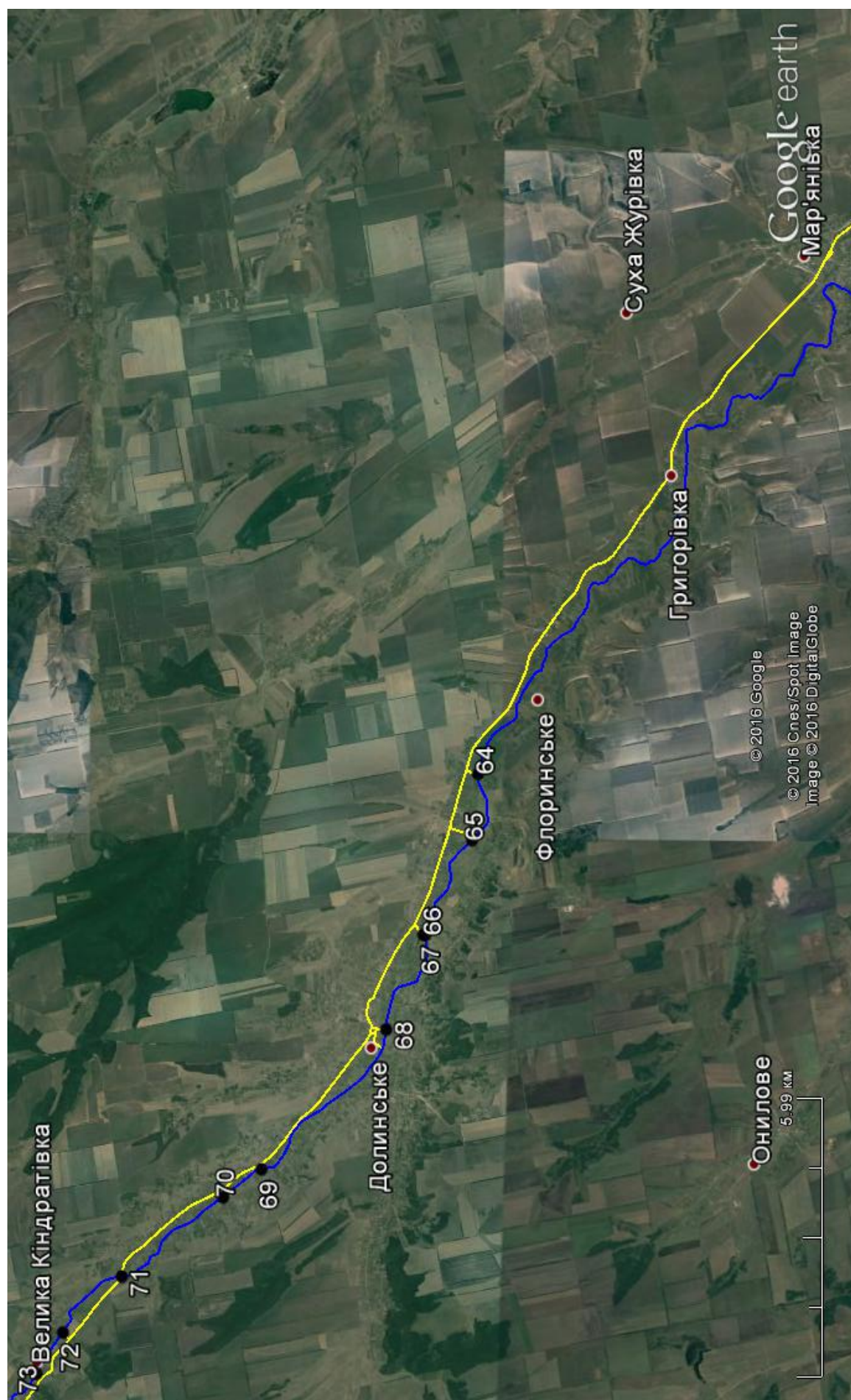


Рисунок А.22 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 5)

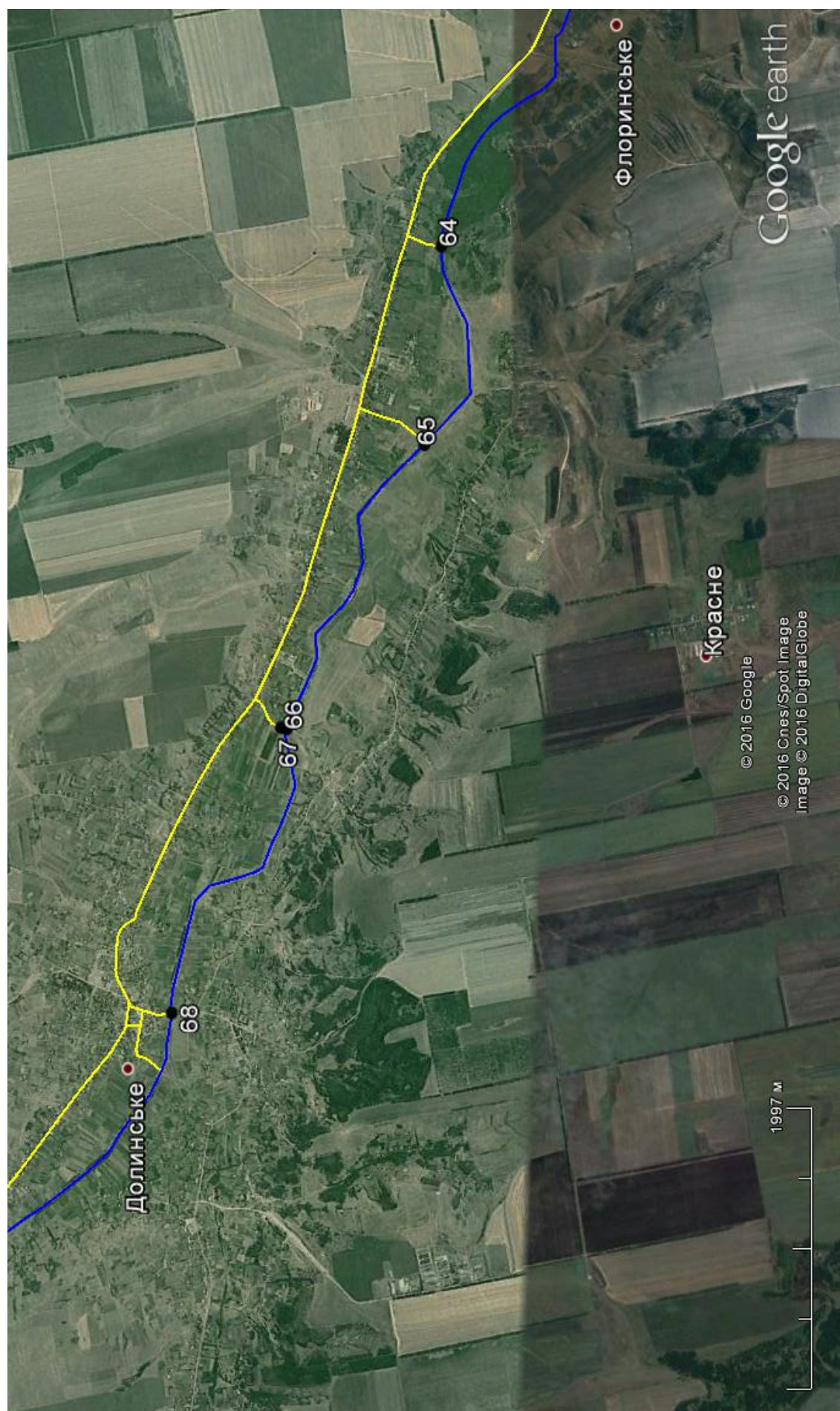


Рисунок А.23 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина б)



Рисунок А.24 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 7)

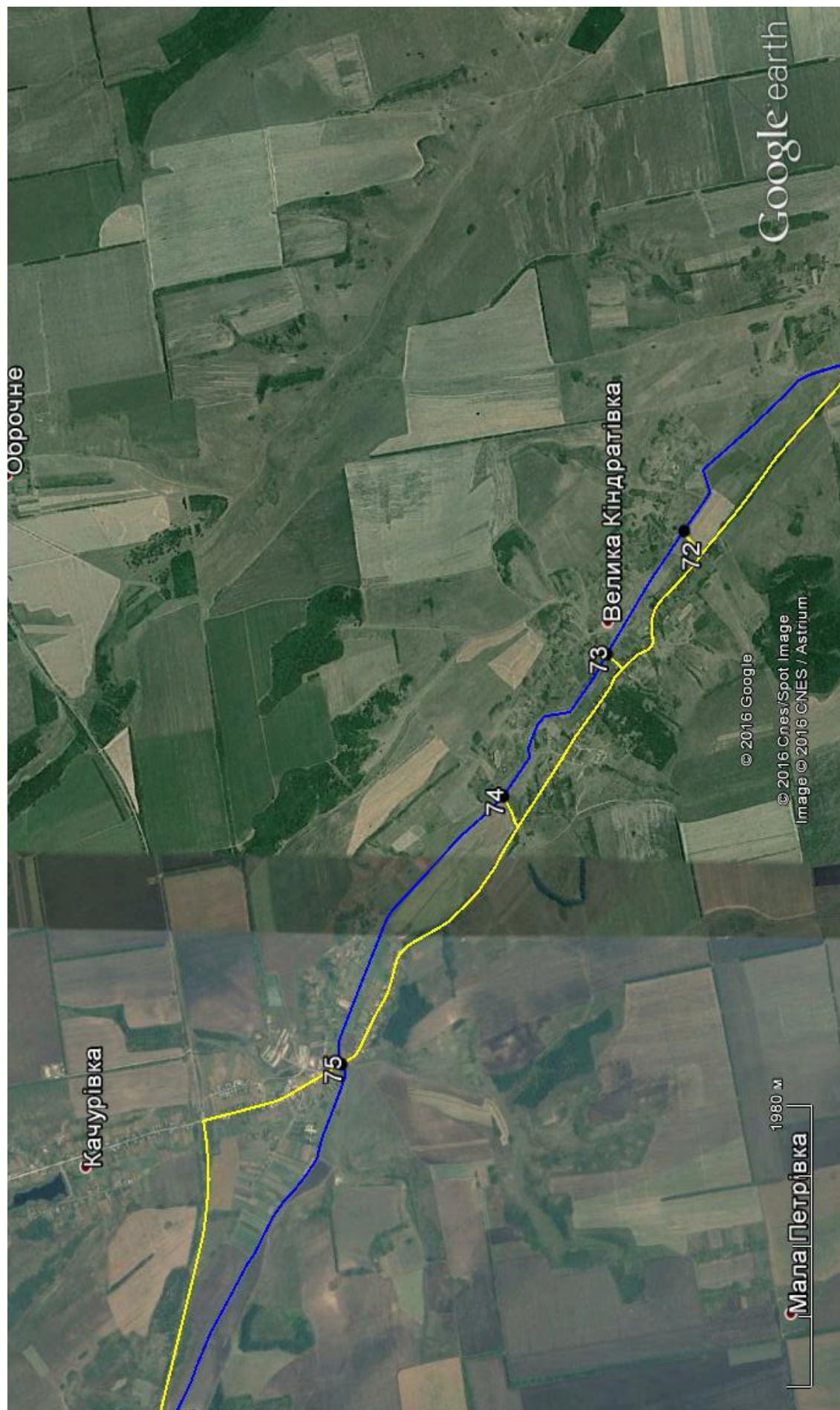


Рисунок А.25 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 8)

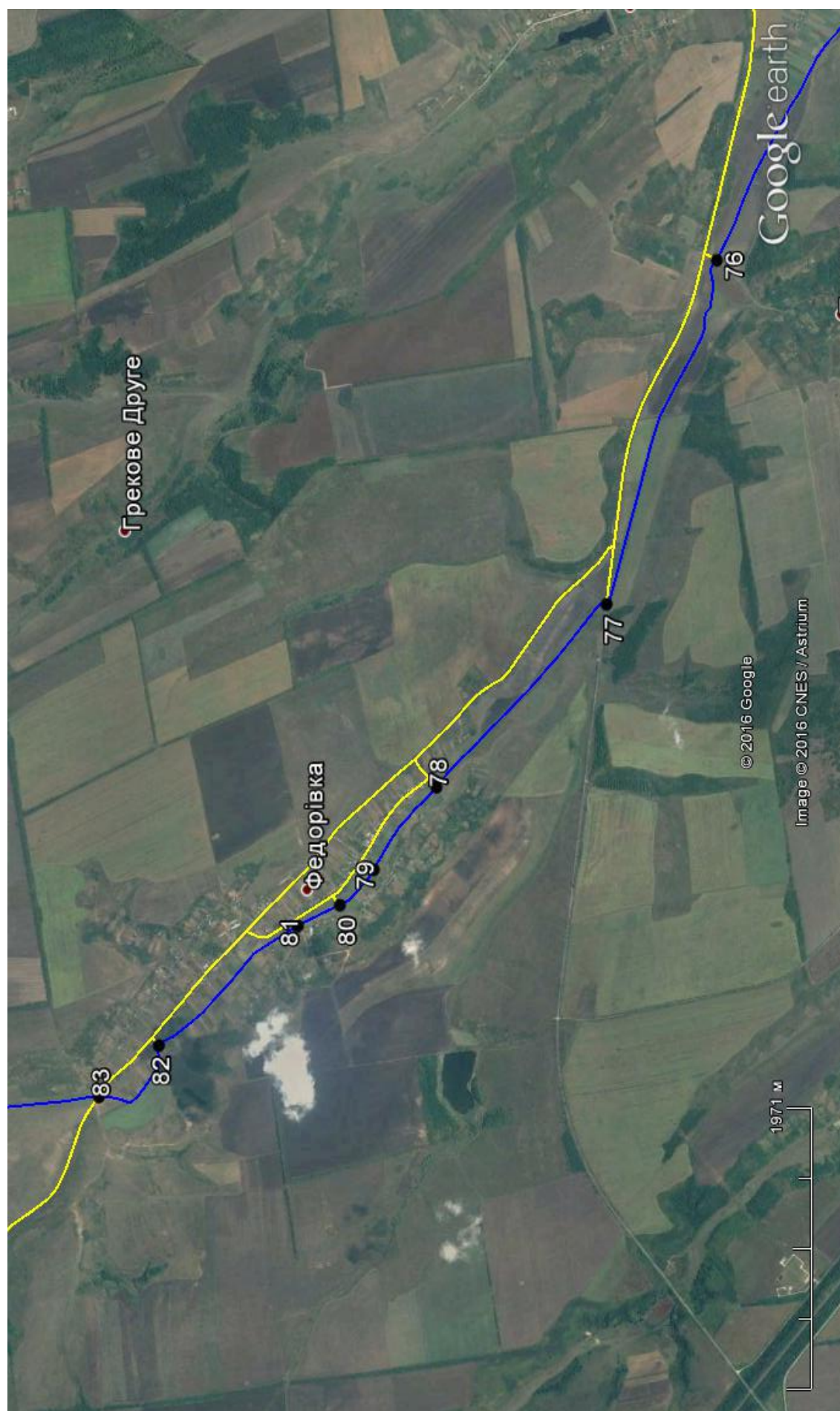


Рисунок А.26 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 9)



Рисунок А.27 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 10)

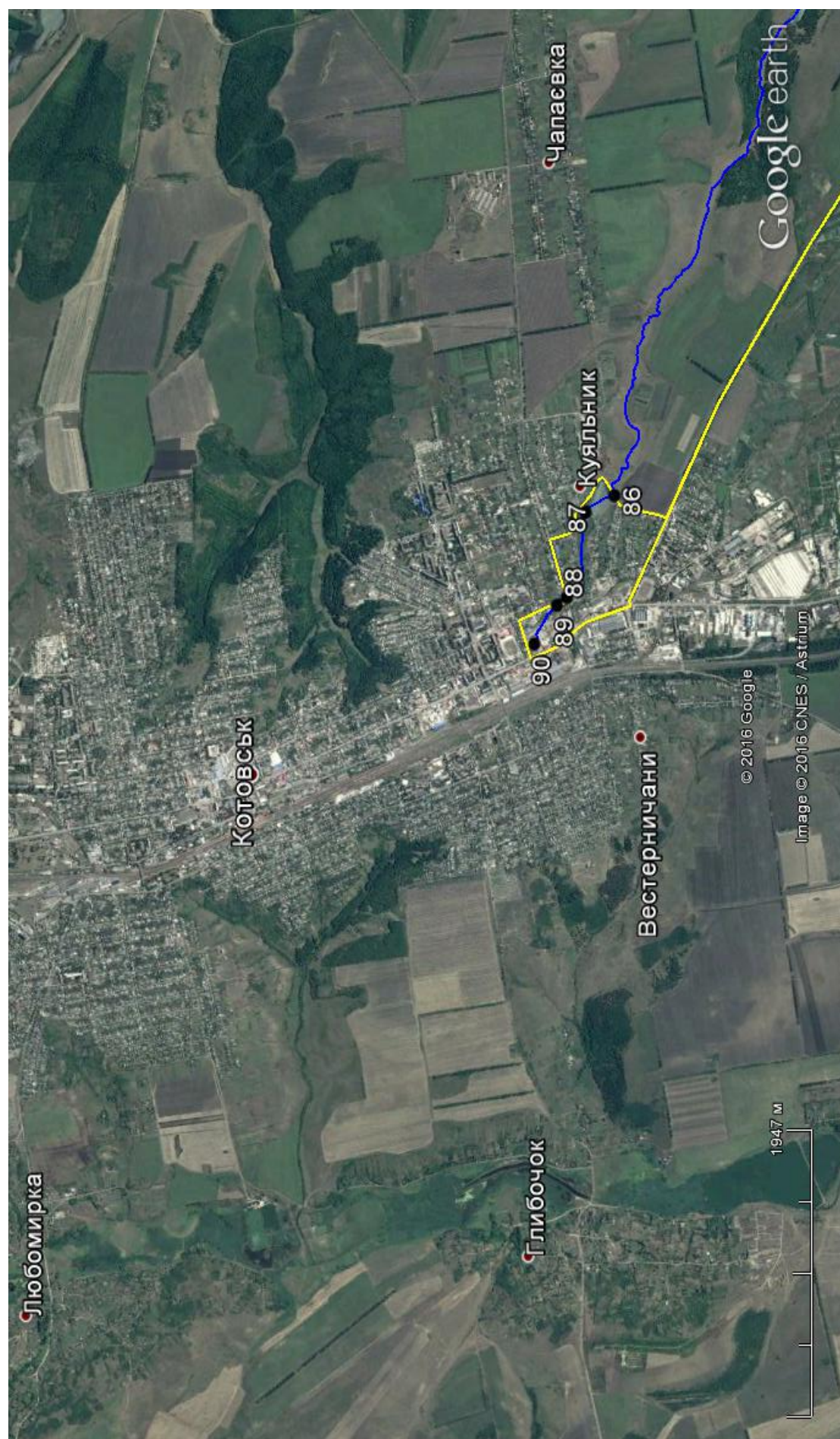


Рисунок А.28 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 3 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 11)

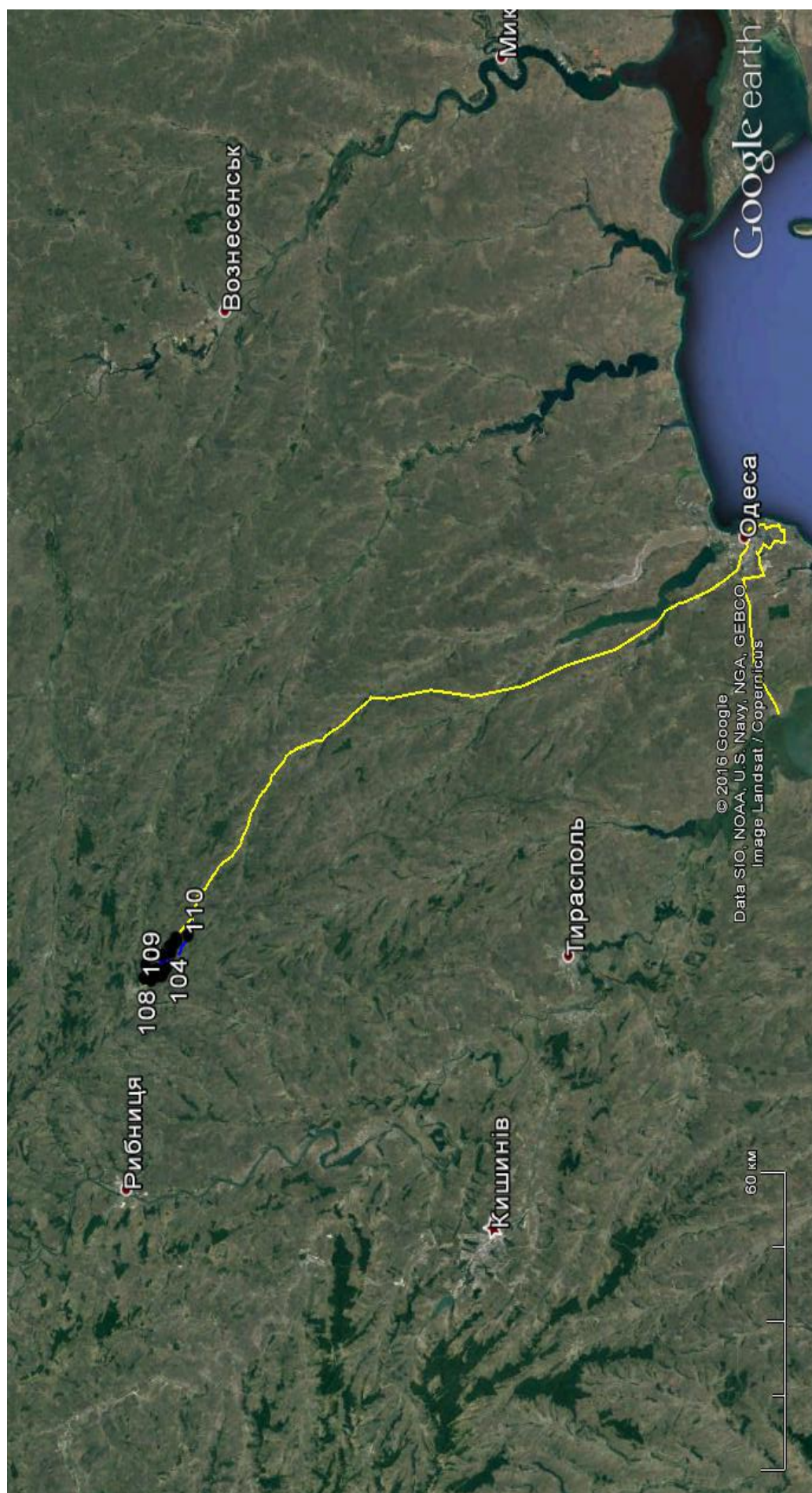


Рисунок А.29 – Картосхема виїзду № 4 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 19.11.2016 р. (балки у верхів'ї річки) за маршрутом: Річкова гідроекологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – с. Рєвоє – с. Долинське – поворот на с. Федорівка – об'їзд точок та в зворотному напрямку
(загальна протяжність шляху складає 505 км, кількість точок обстеження – 20 шт.)

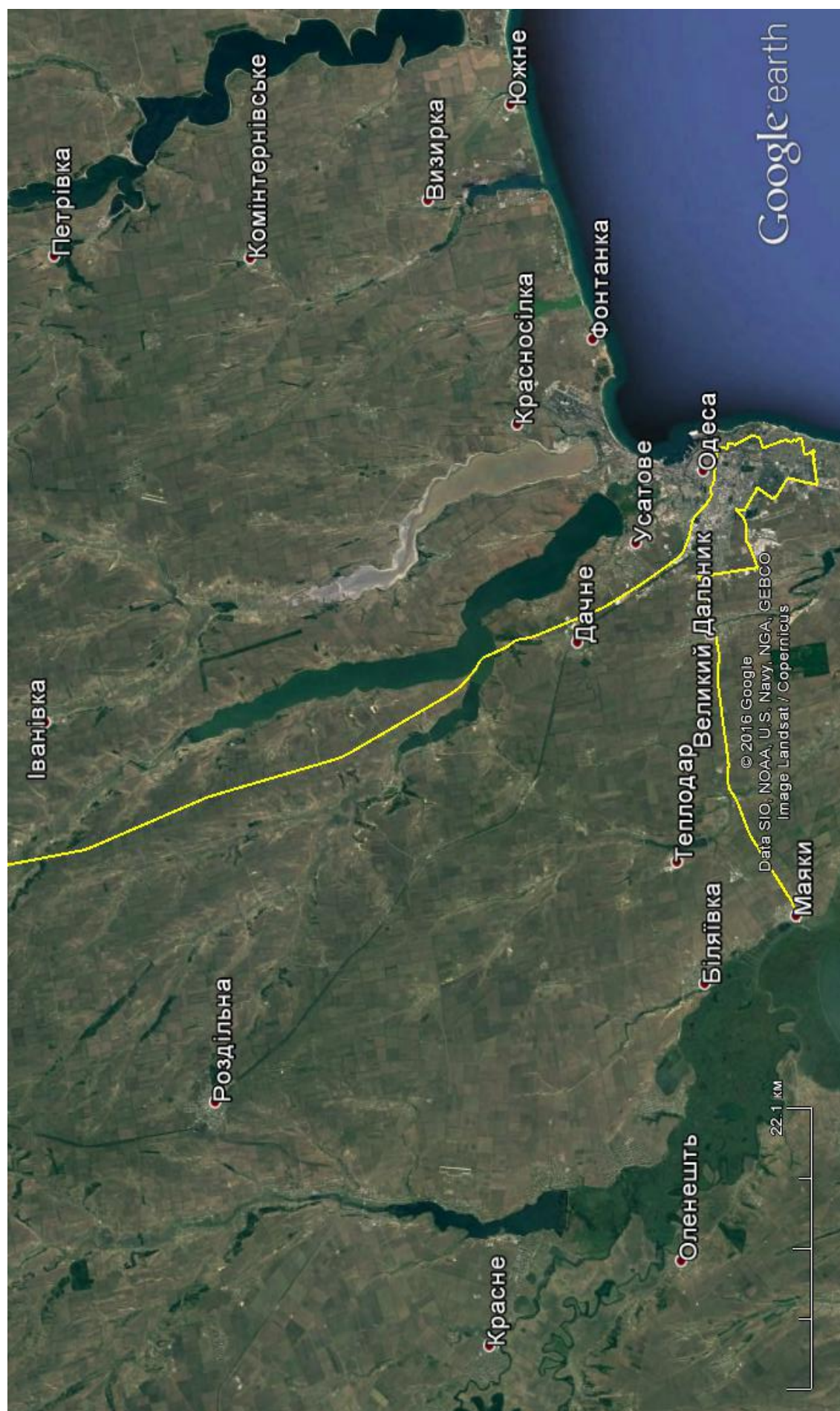


Рисунок А.30 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 4 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

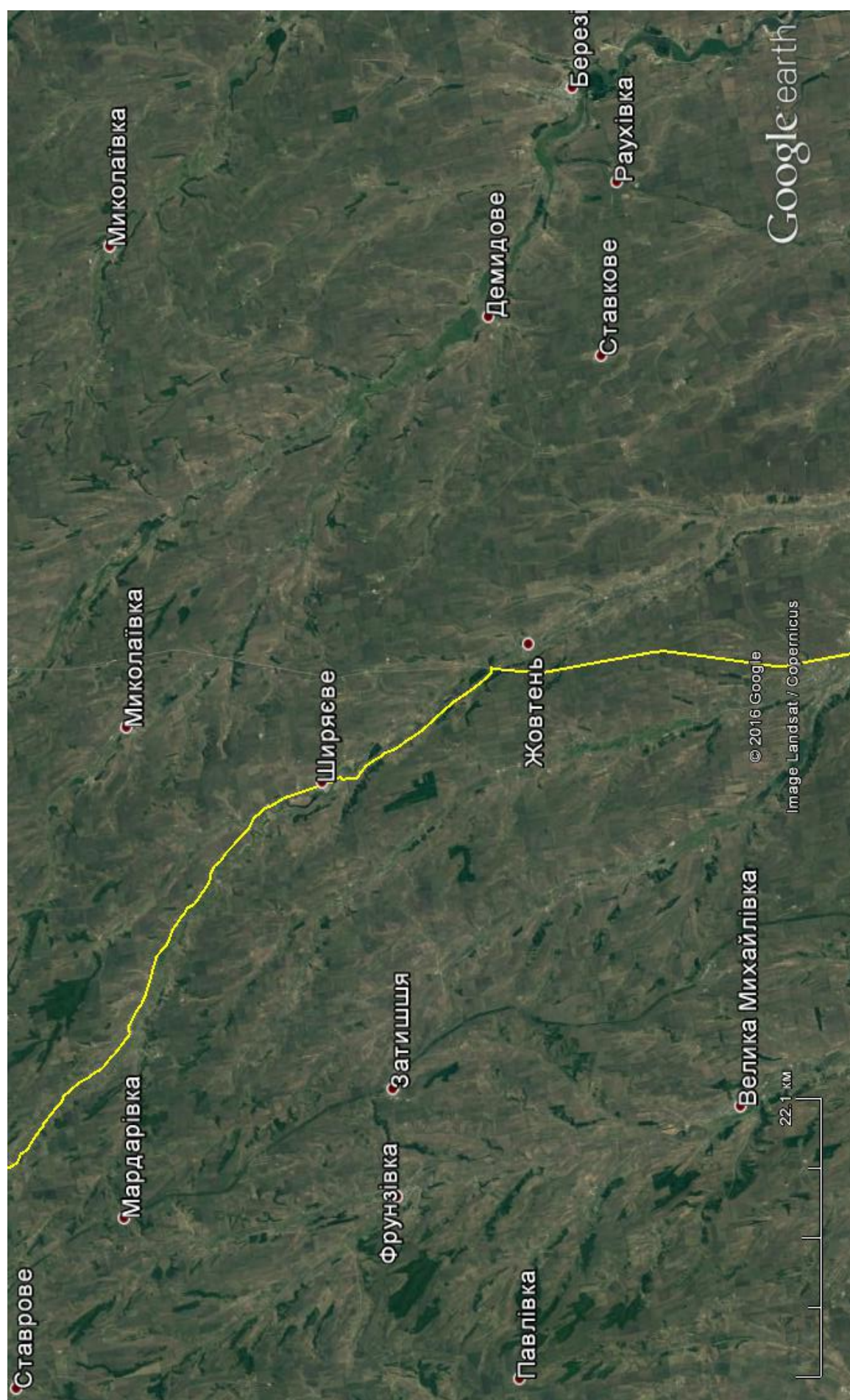


Рисунок А.31 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 4 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)

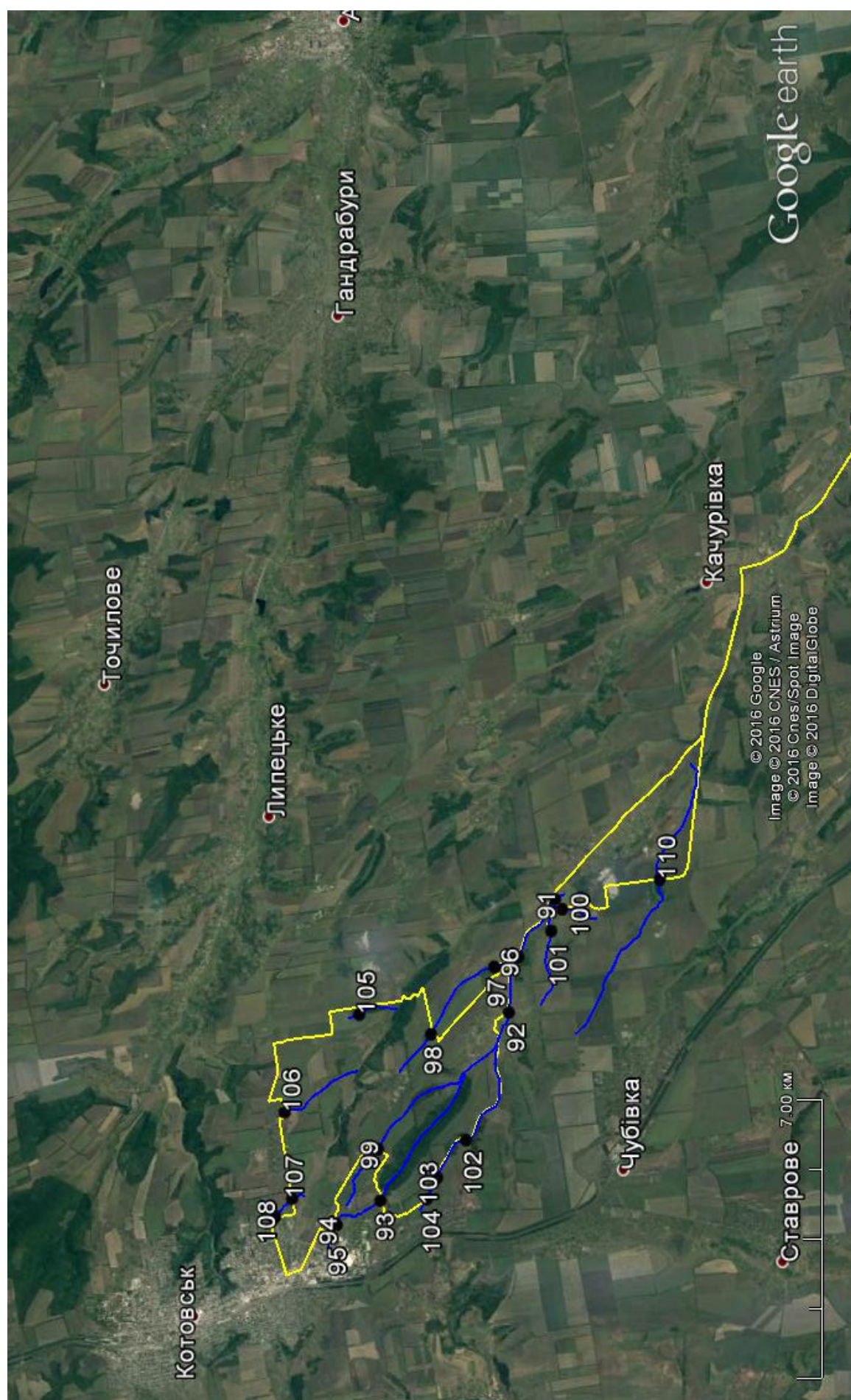


Рисунок А.32 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 4 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)



Рисунок А.33 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 4 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 4)

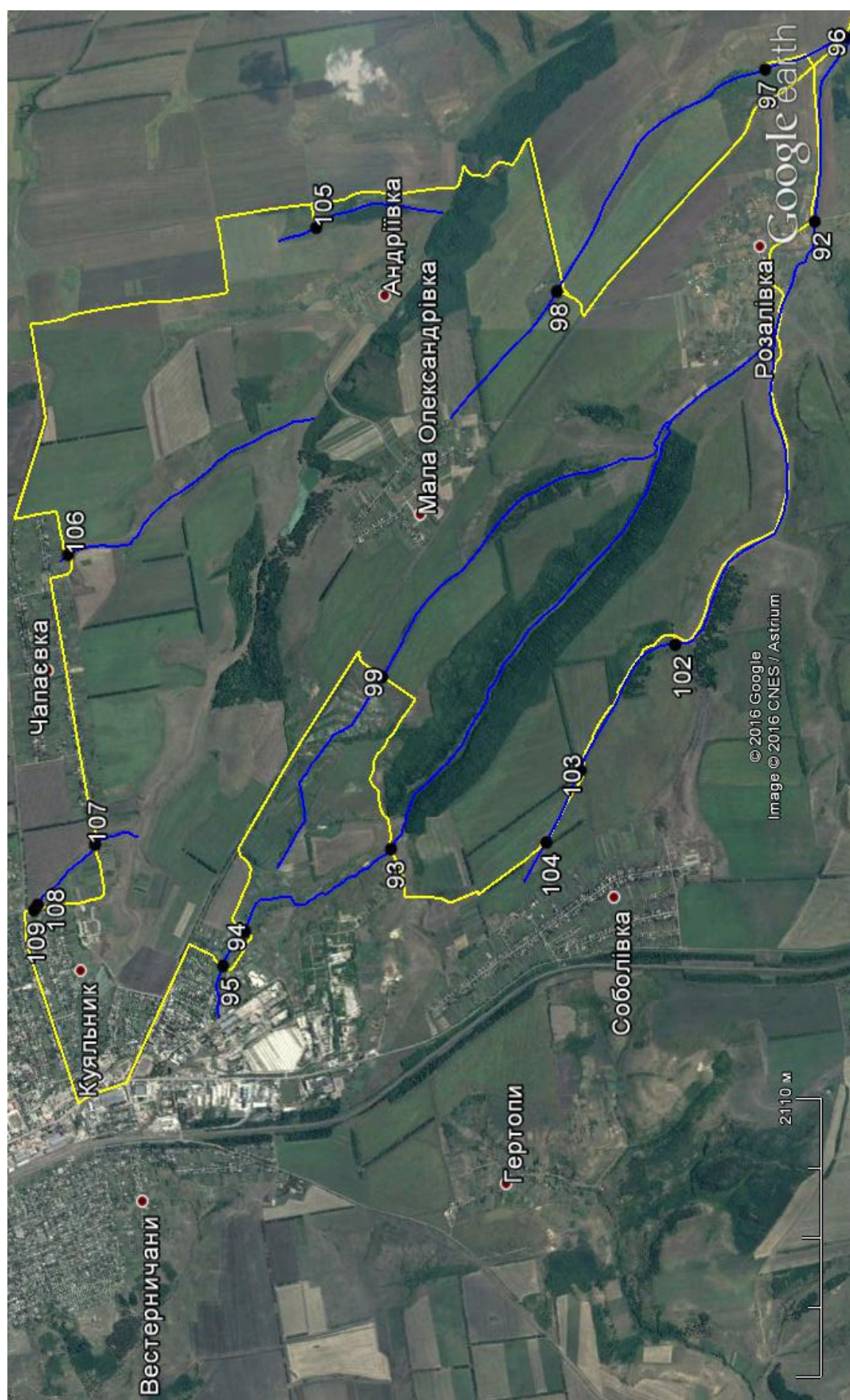


Рисунок А.34 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 4 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 5)

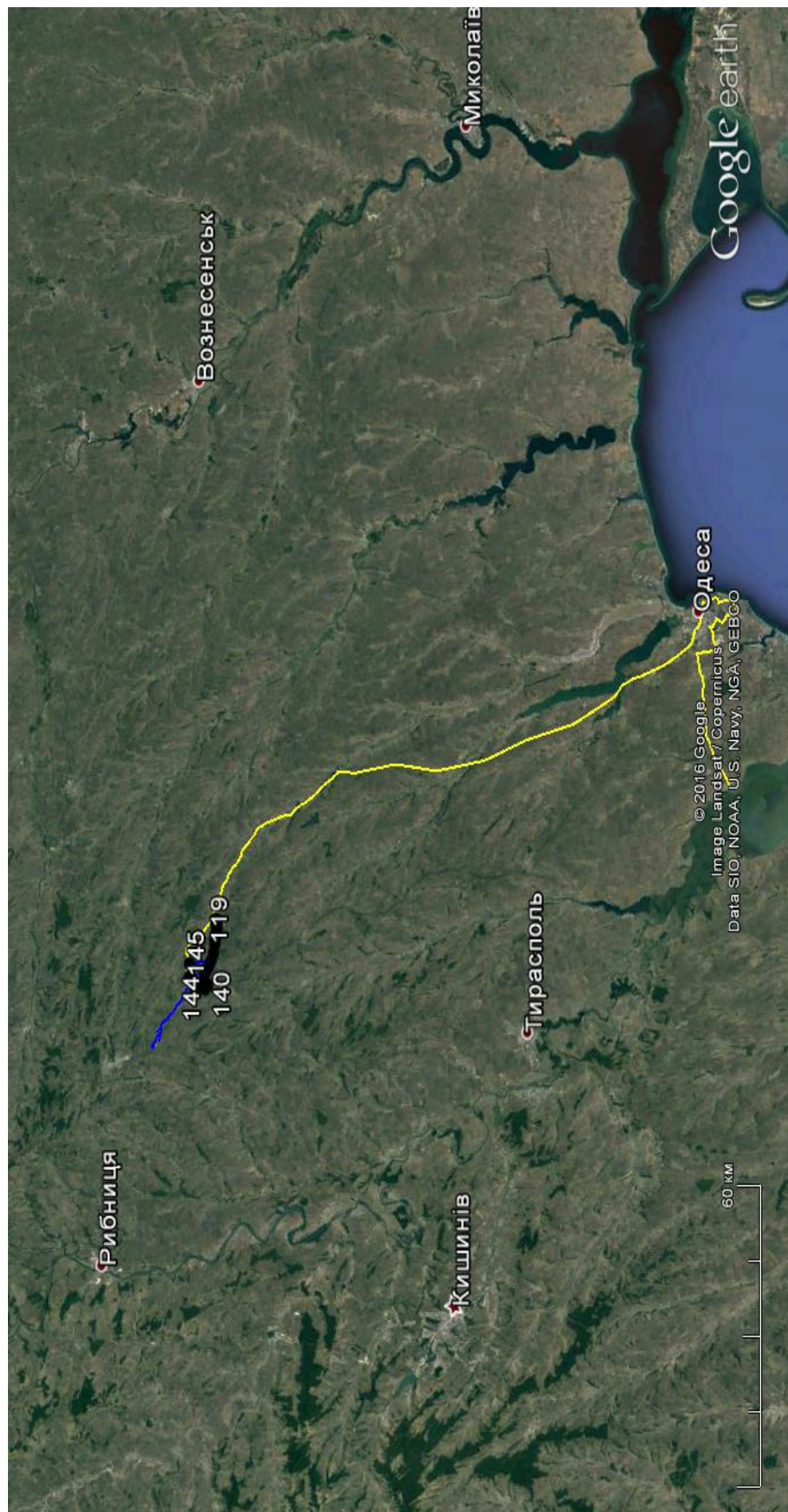


Рисунок А.35 – Картосхема виїзду № 5 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 20.11.2016 р. (нижня частина р. Долинська) за маршрутом: Річкова гідроecологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – с. Рєвоє – с. Долинське – с. Плоське – с. Мардарівка – с. Мала Петрівка – с. Велика Кіндратівка та в зворотному напрямку
(загальна протяжність шляху складає 405 км, кількість точок обстеження – 21 шт.)

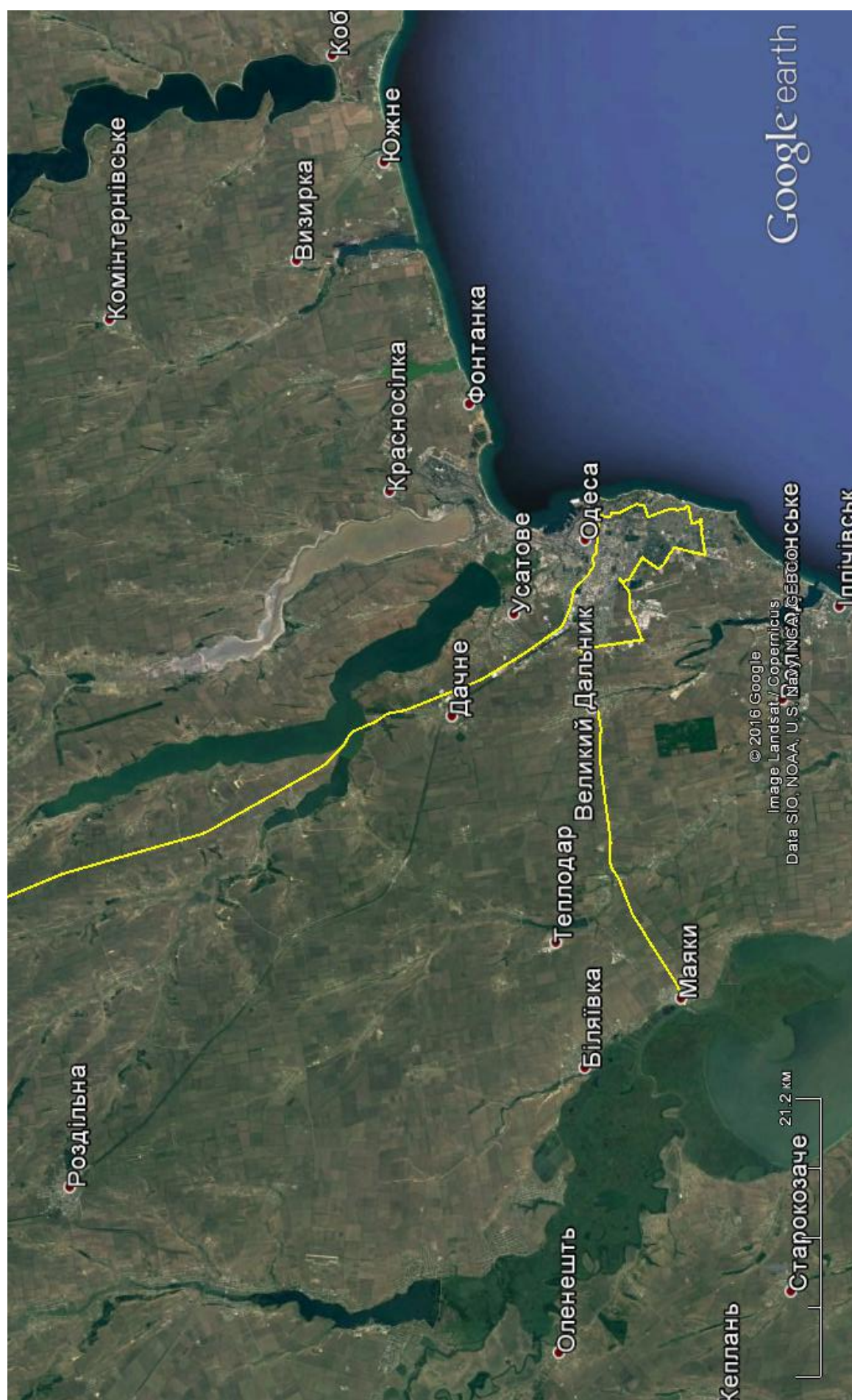


Рисунок А.36 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 5 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

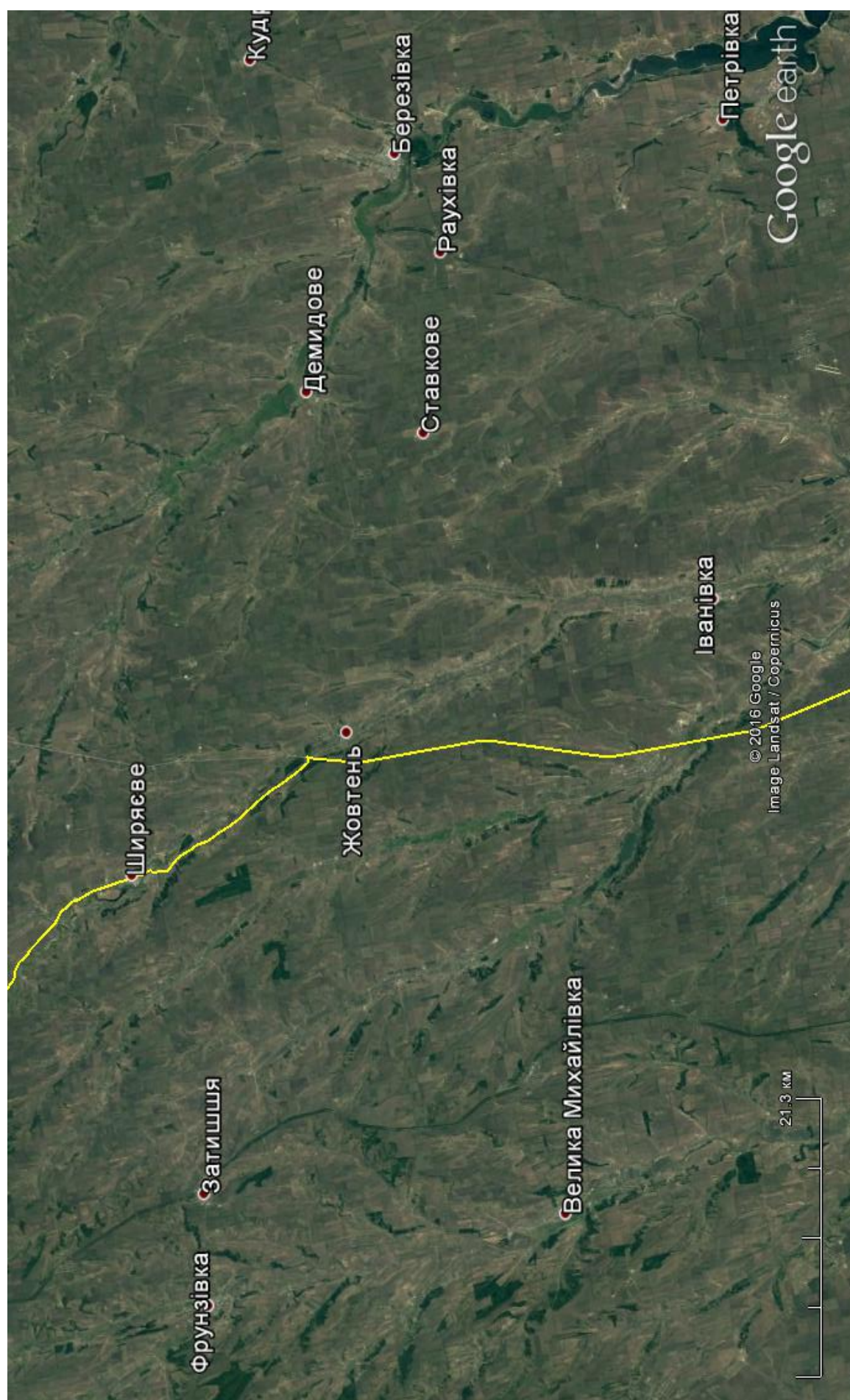


Рисунок А.37 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 5 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)

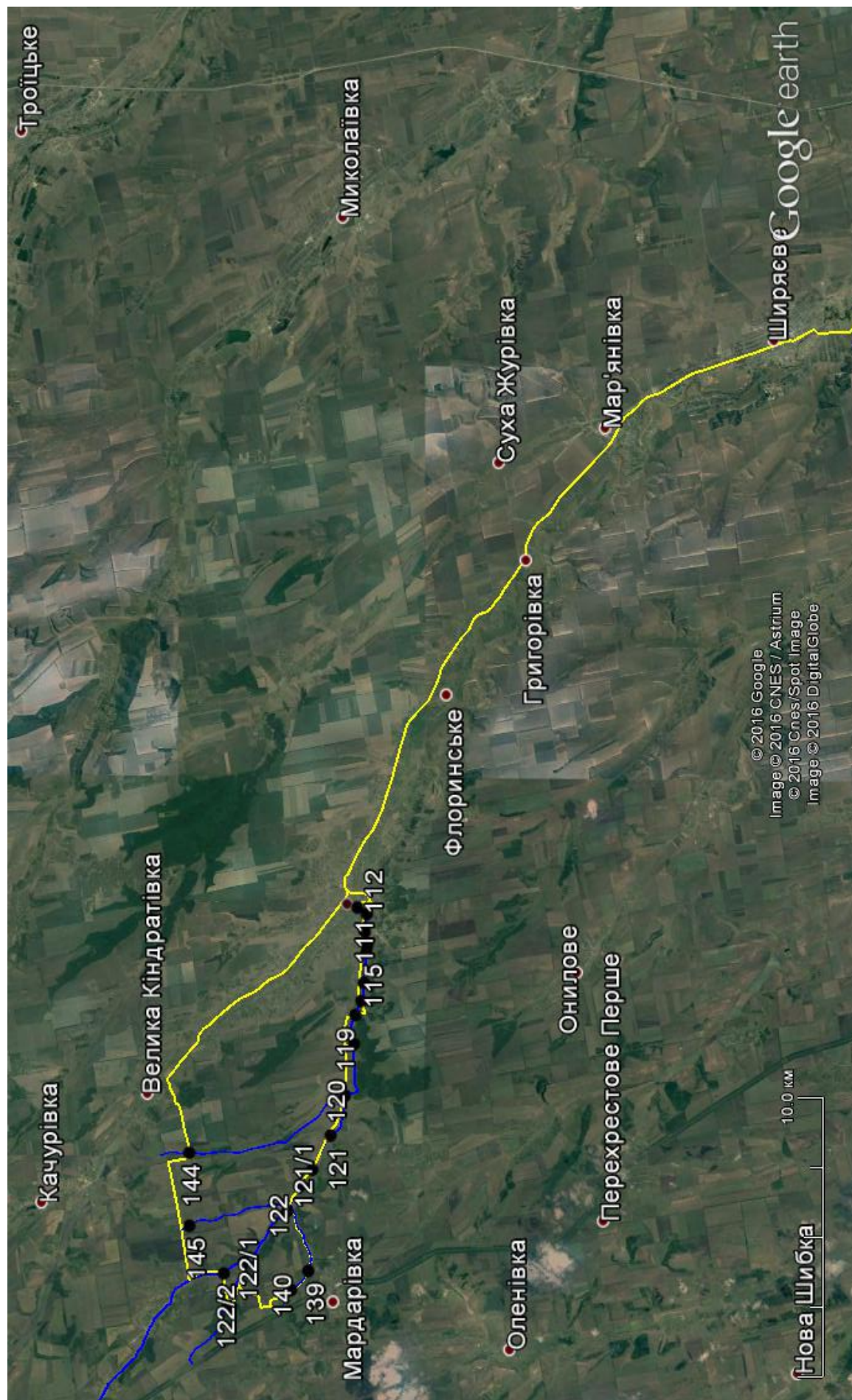


Рисунок А.38 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 5 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)

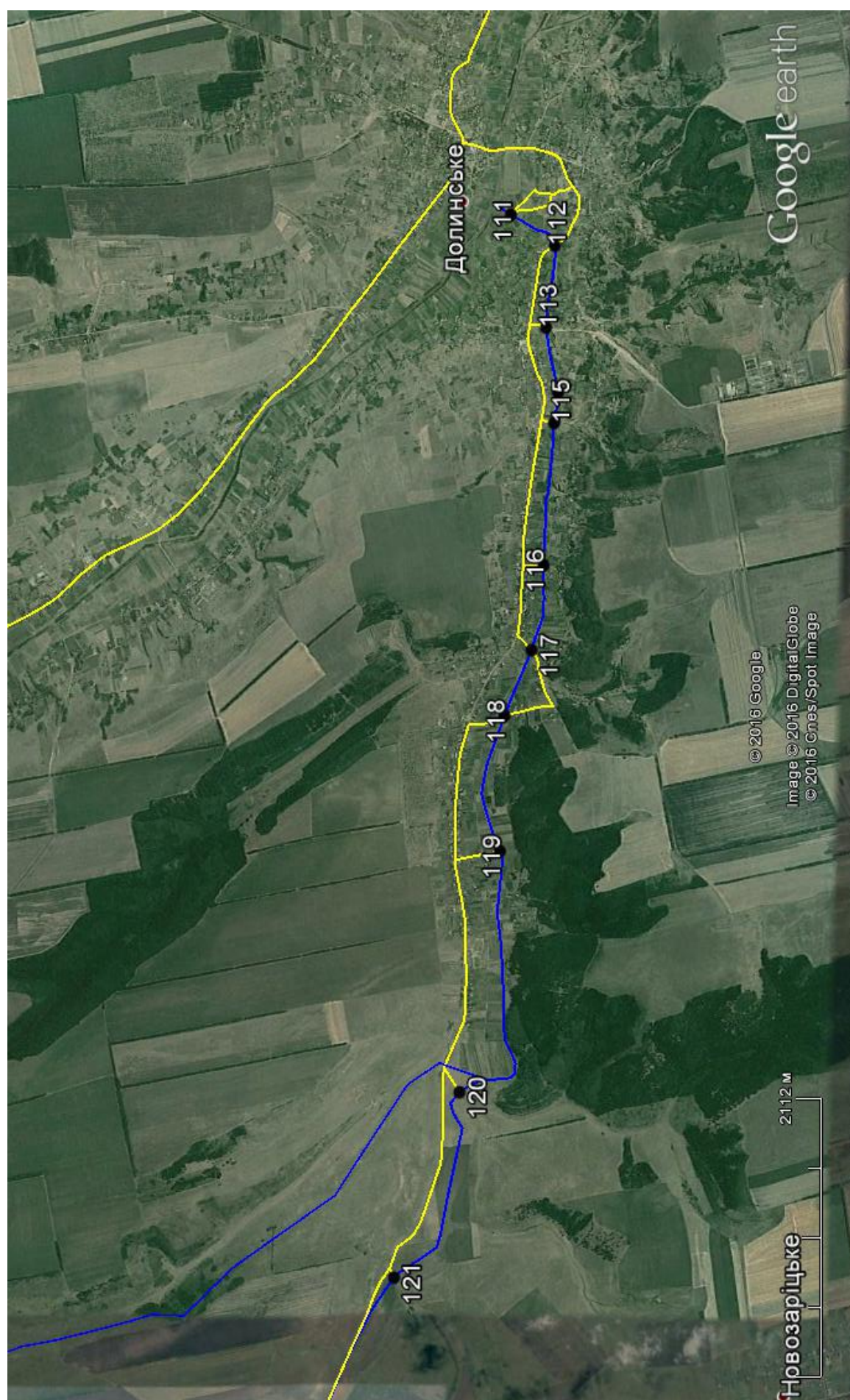


Рисунок А.39 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 5 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 4)

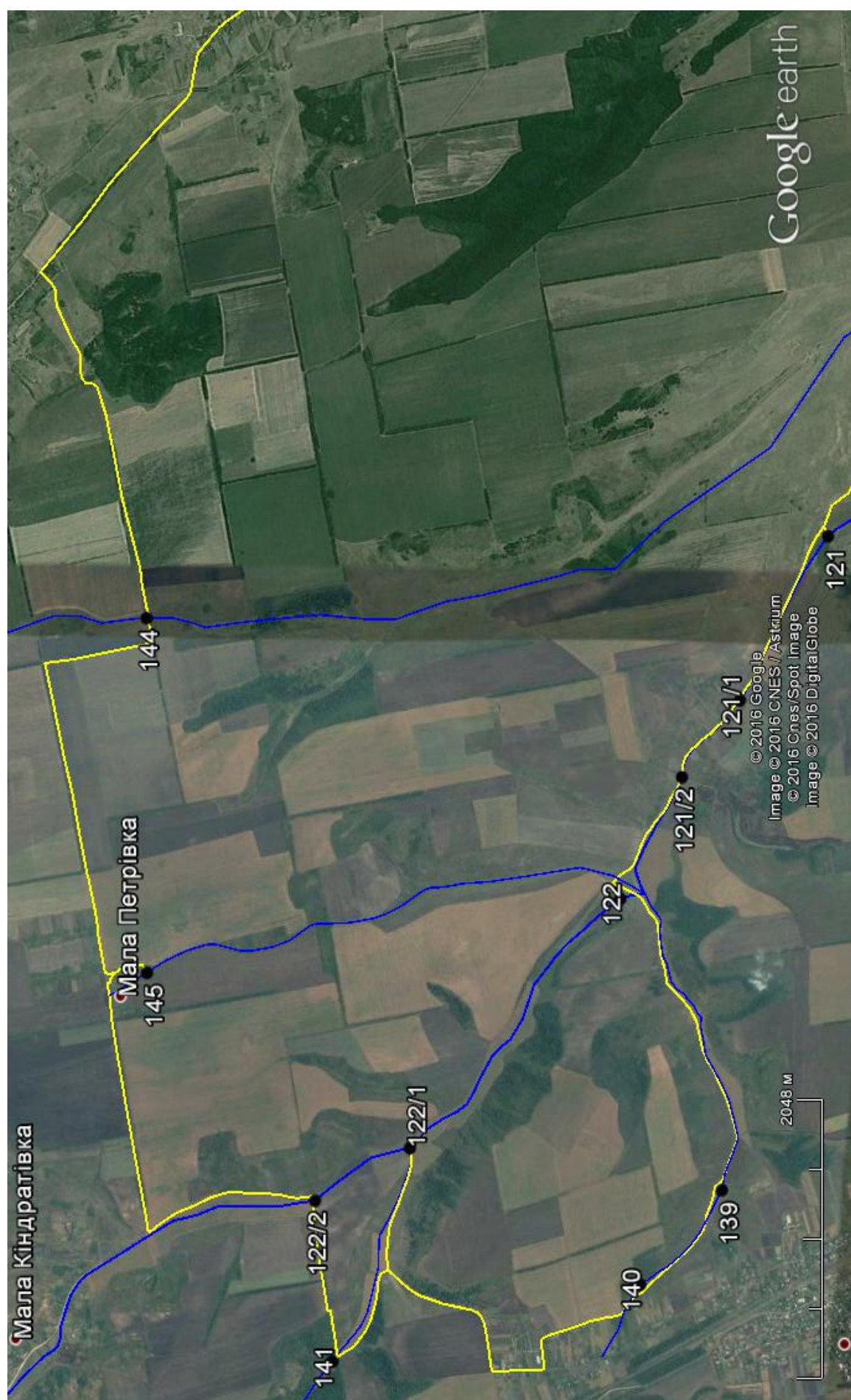


Рисунок А.40 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 5 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 5)

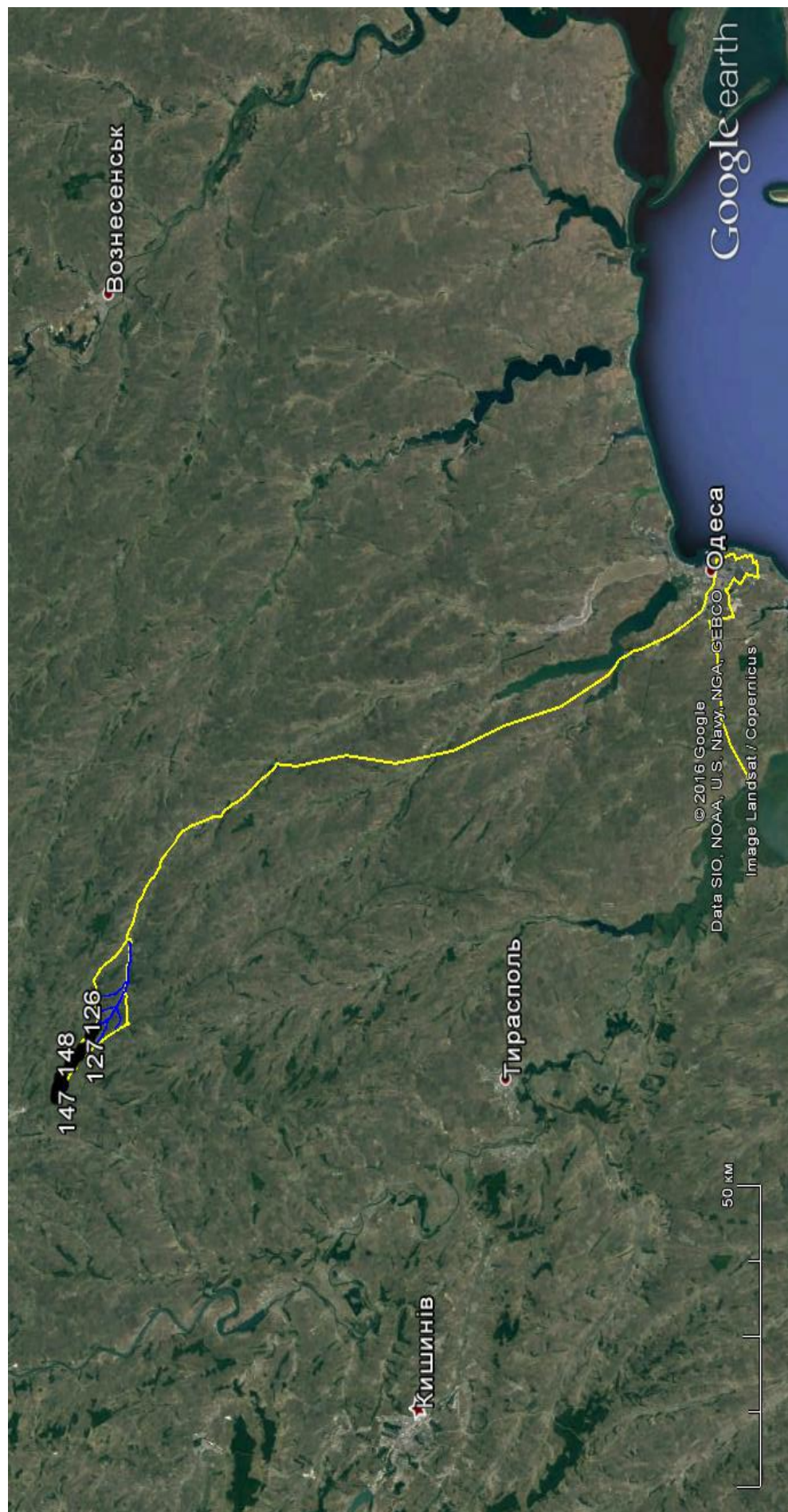


Рисунок А.41 – Картосхема виїзду № 6 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 21.11.2016 р. (верхня частина р. Долинська) за маршрутом: Річкова гідроекологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – с. Ревове – с. Долинське – с. Велика Кіндратівка – с. Мала Петрівка – с. Мала Кіндратівка – с. Петрівка – с. Новоселівка та в зворотному напрямку
(загальна протяжність шляху складає 414 км, кількість точок обстеження – 23 шт.)

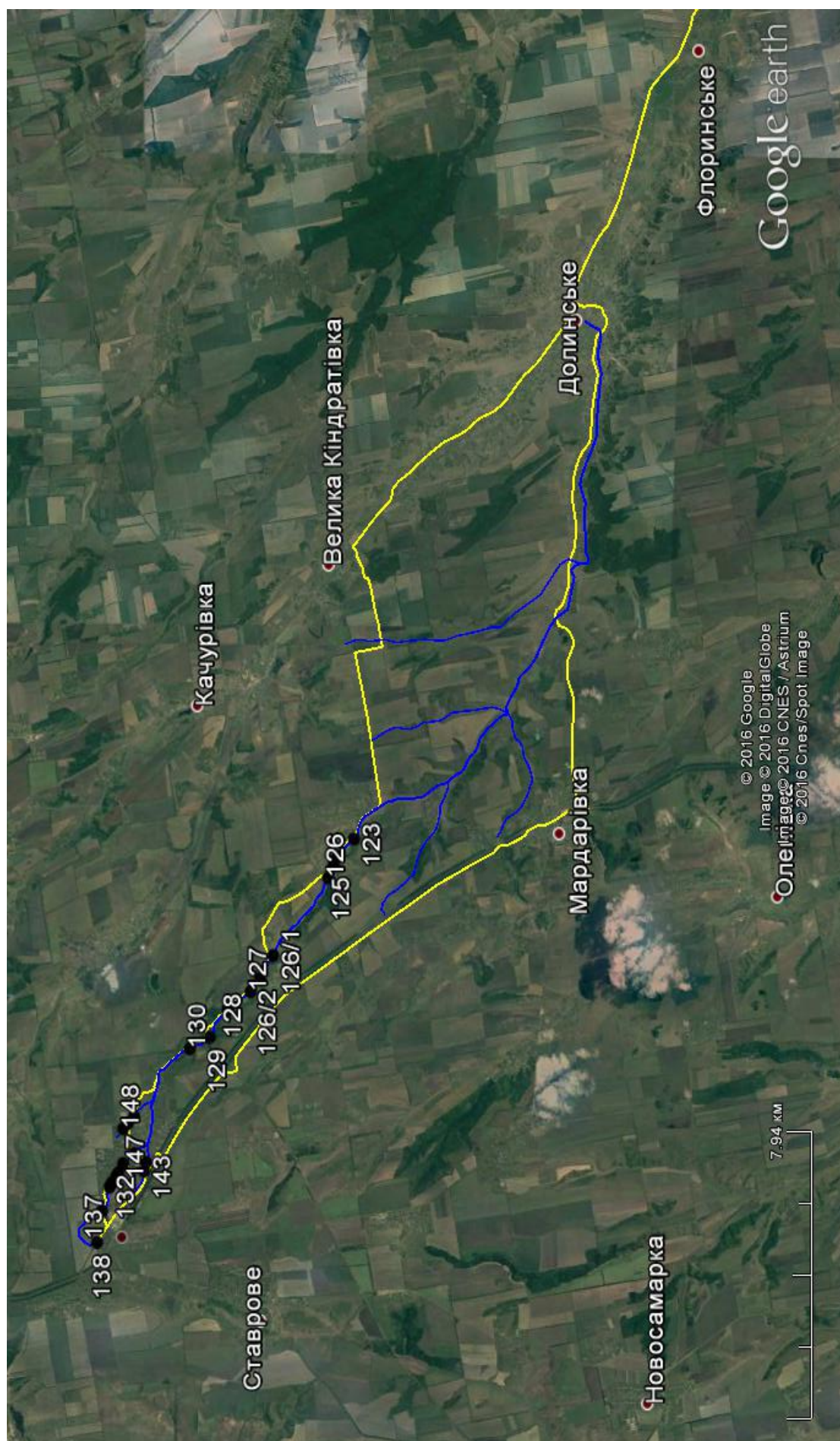


Рисунок А.42 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 6 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

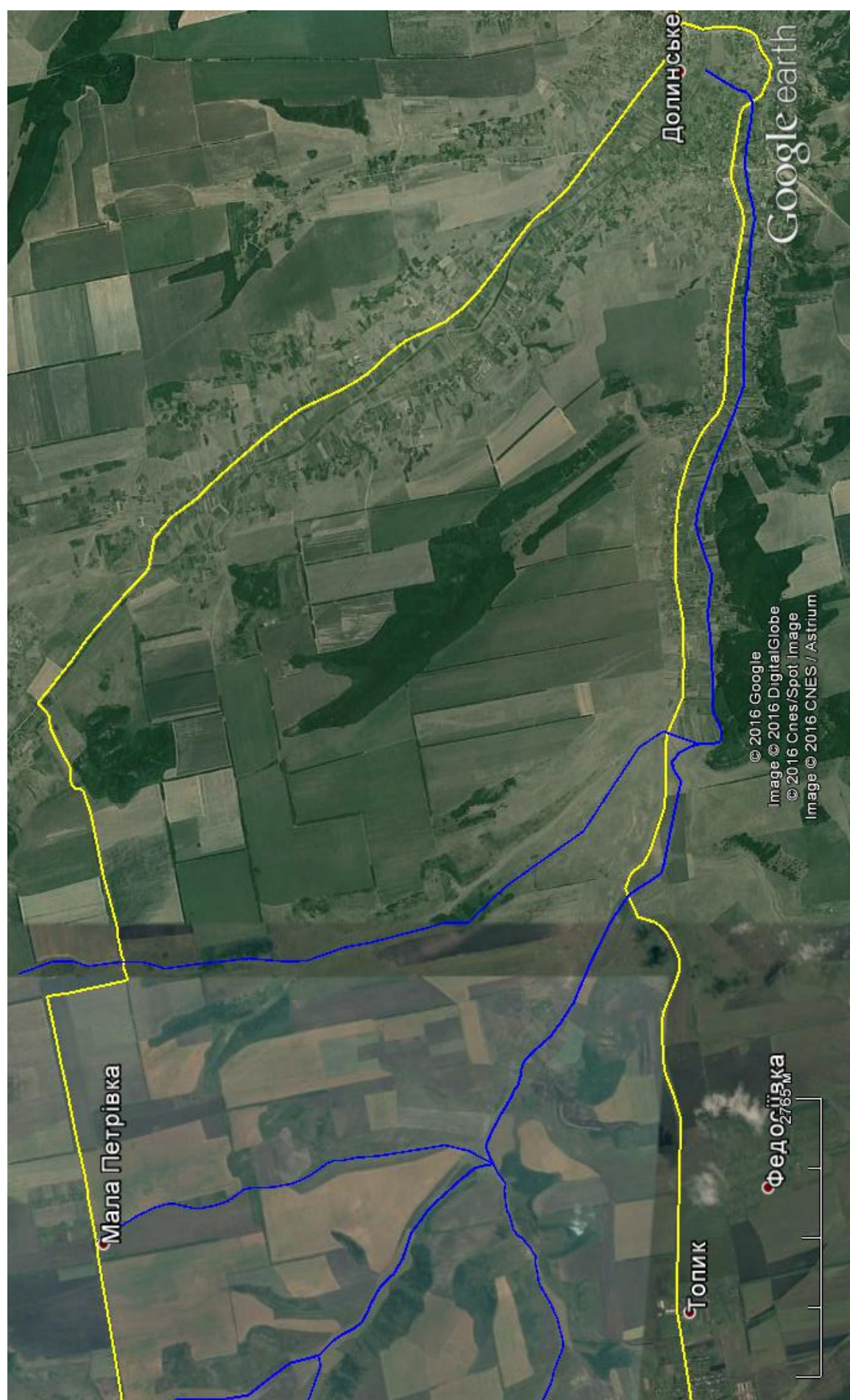


Рисунок А.43 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 6 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)

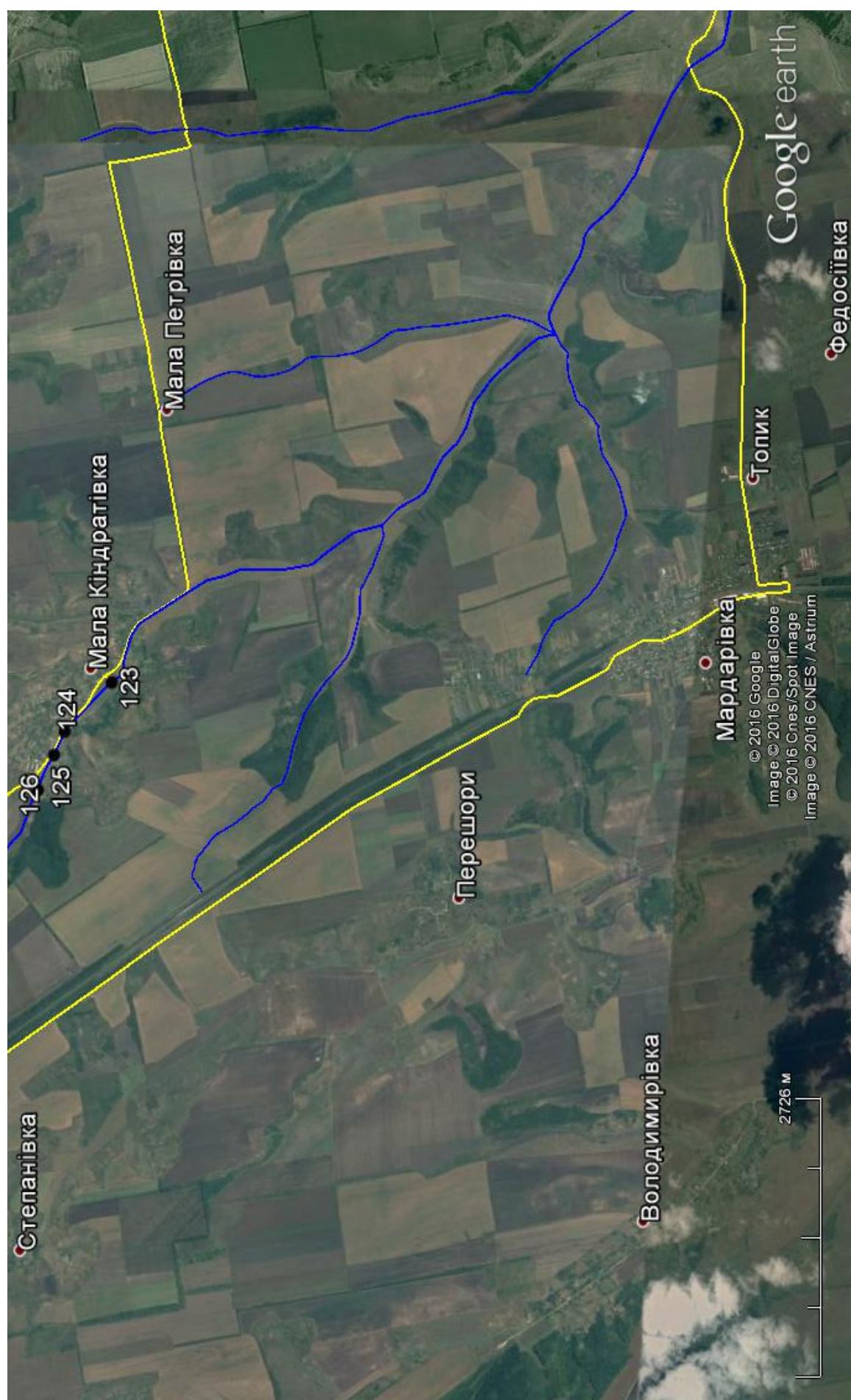


Рисунок А.44 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 6 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)

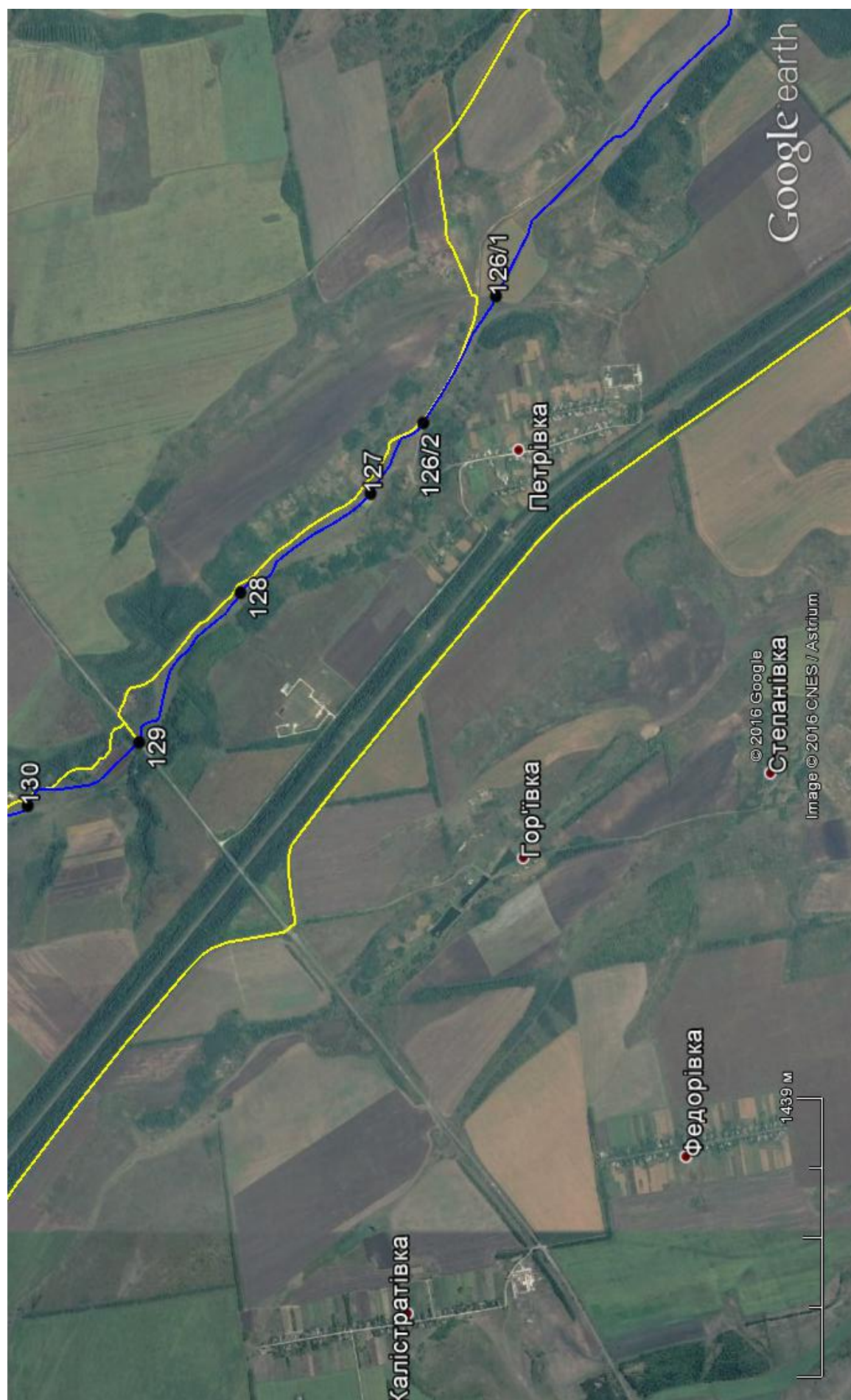


Рисунок А.45 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 6 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 4)

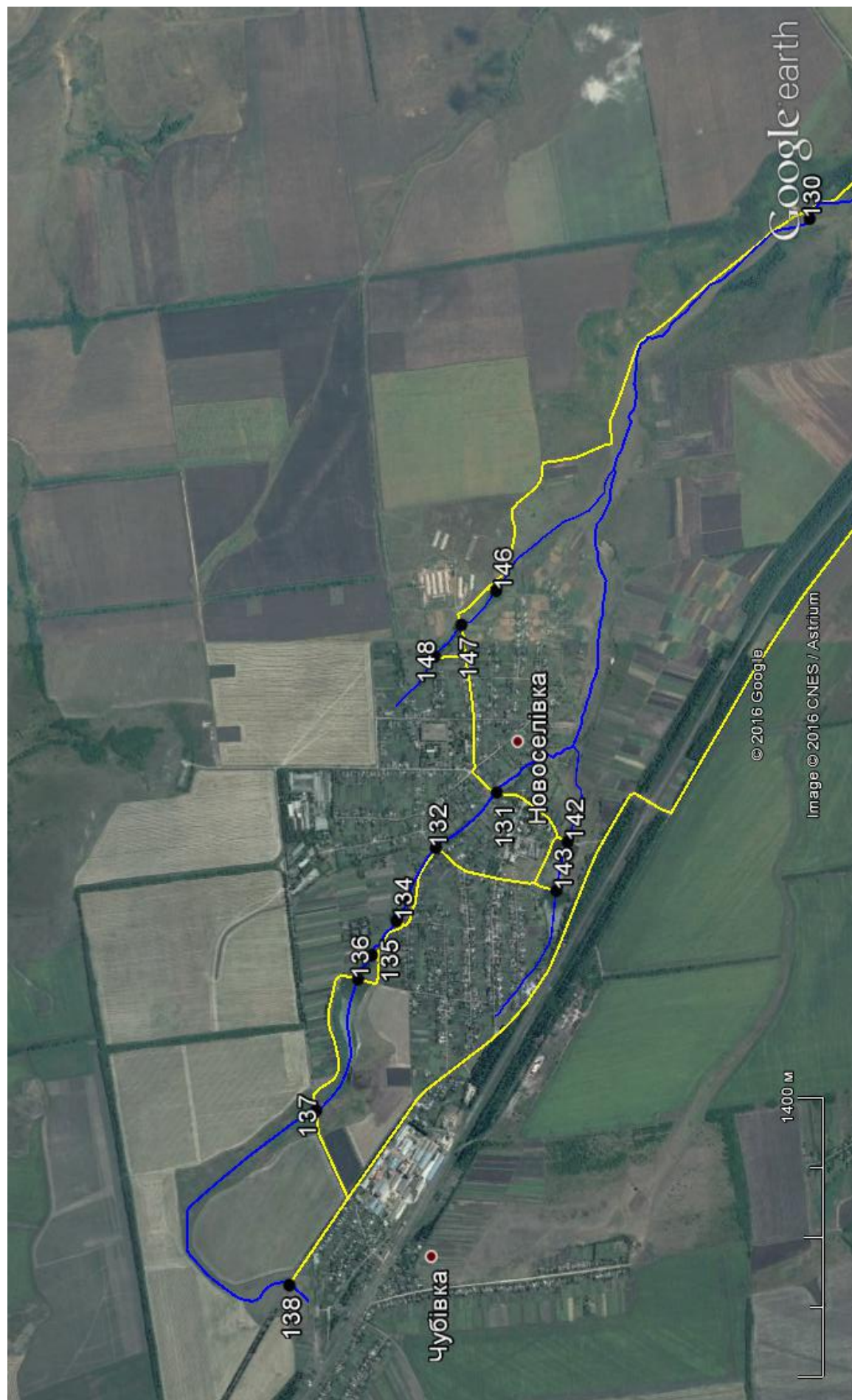


Рисунок А.46 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 6 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 5)

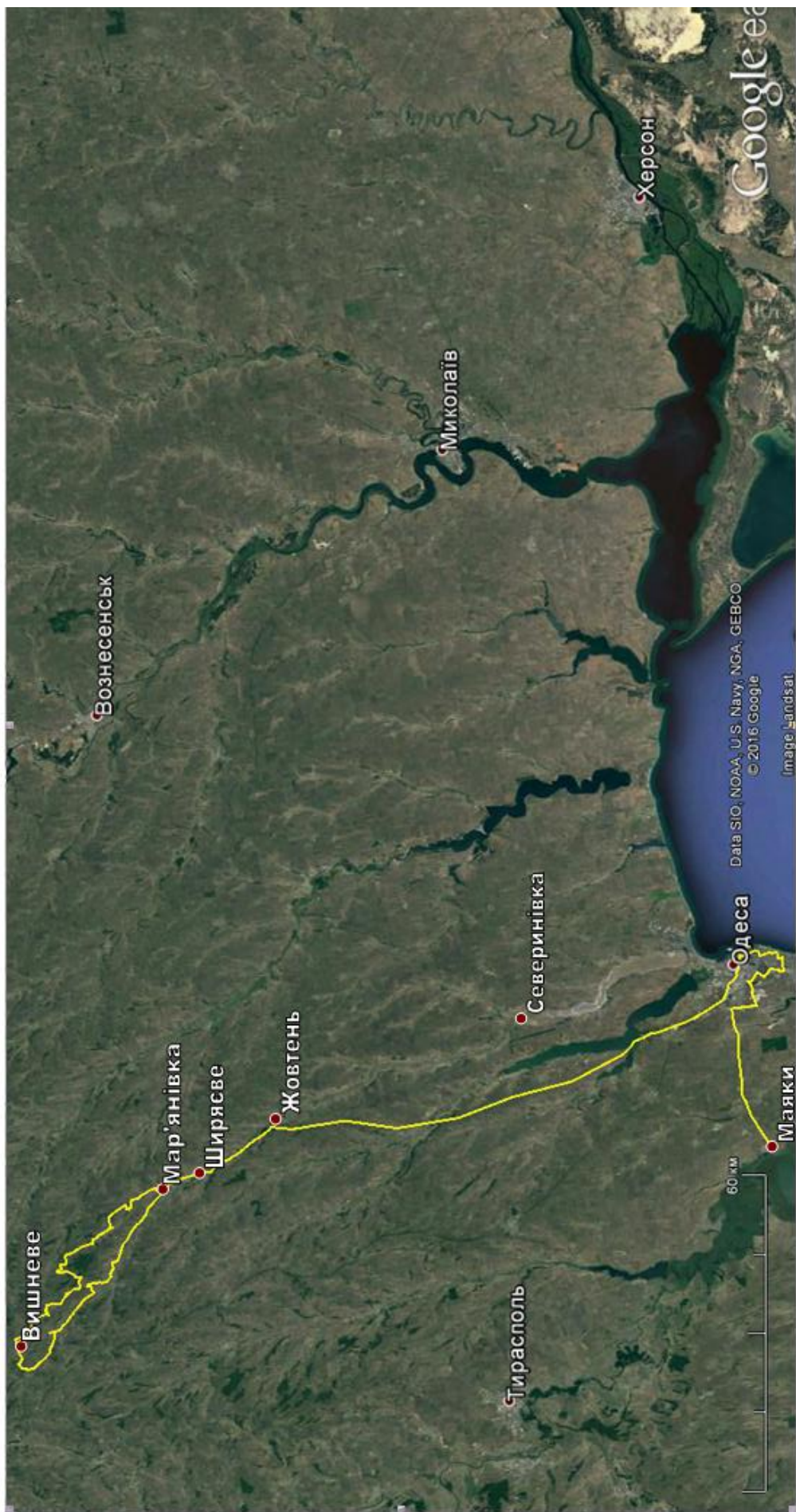


Рисунок А.47 – Картосхема виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 22.11.2016 р. (басейн р. Суха Журівка й ін.) за маршрутом: Річкова гідроекологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – с. Ревове – с. Мар’янівка – обстеження точок та в зворотному напрямку
(загальна протяжність шляху складає 507 км, кількість точок обстеження – 27 шт.)

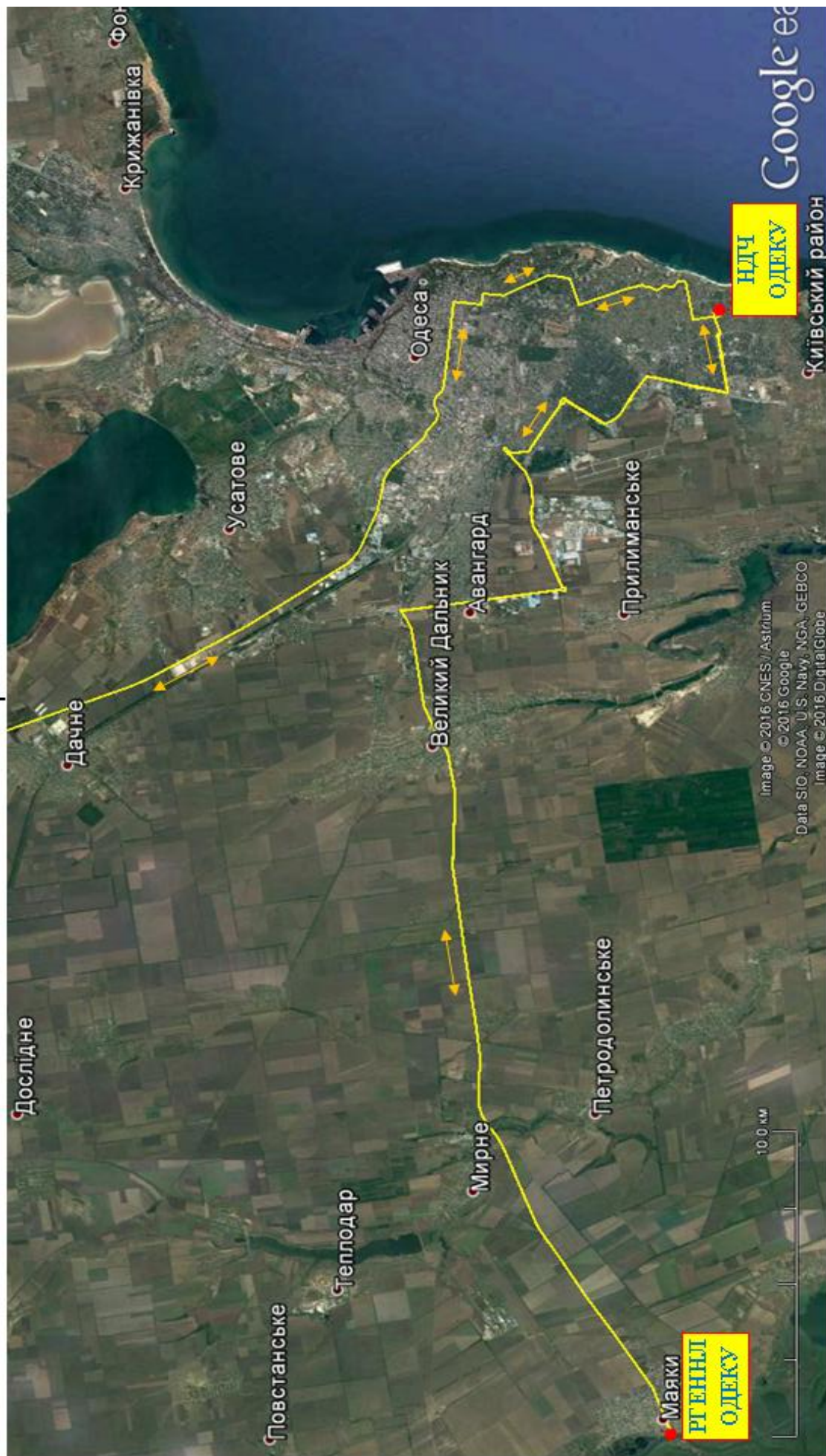


Рисунок А.48 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

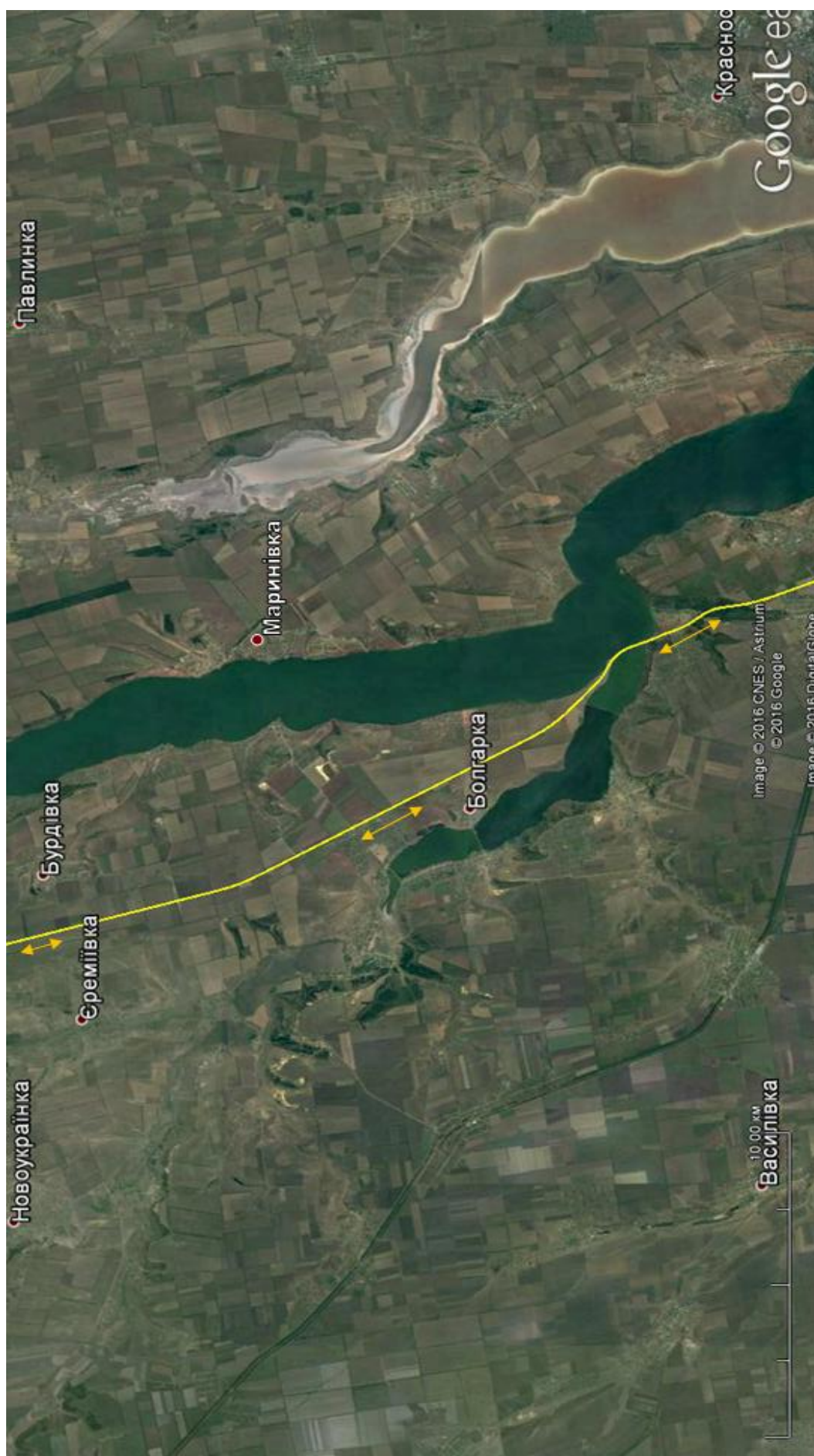


Рисунок А.49 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)

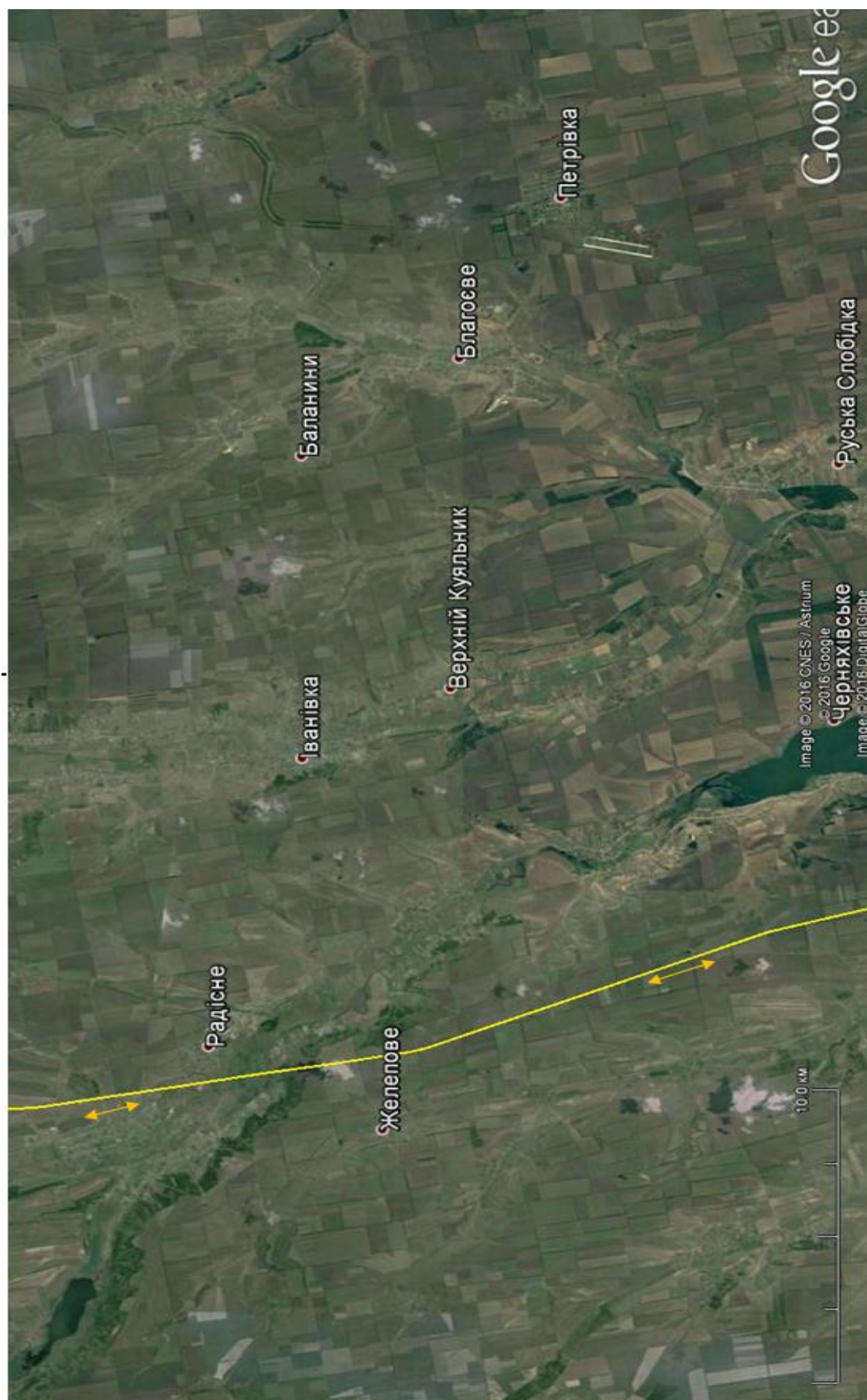


Рисунок А.50 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)

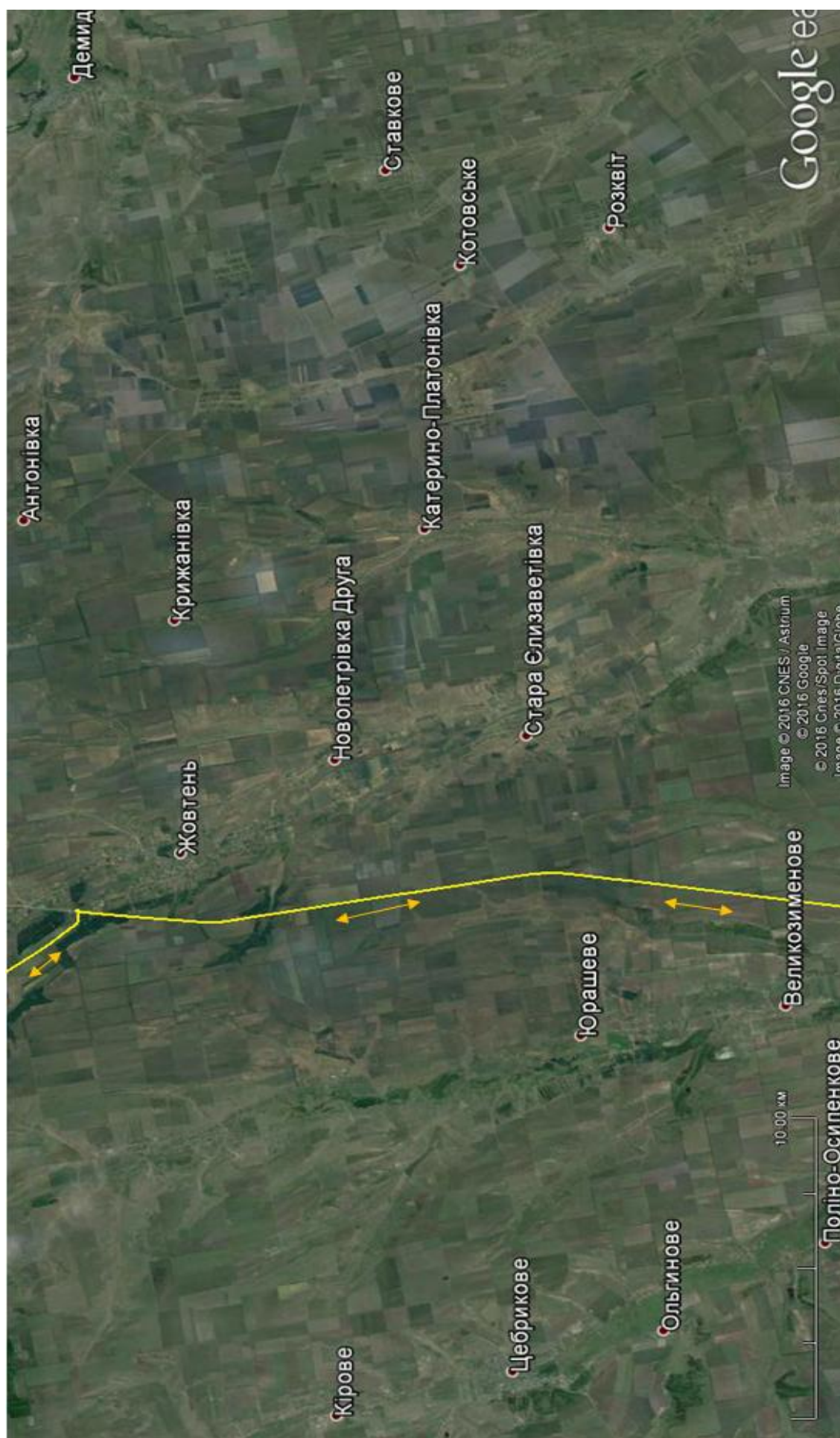


Рисунок А.51 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 4)

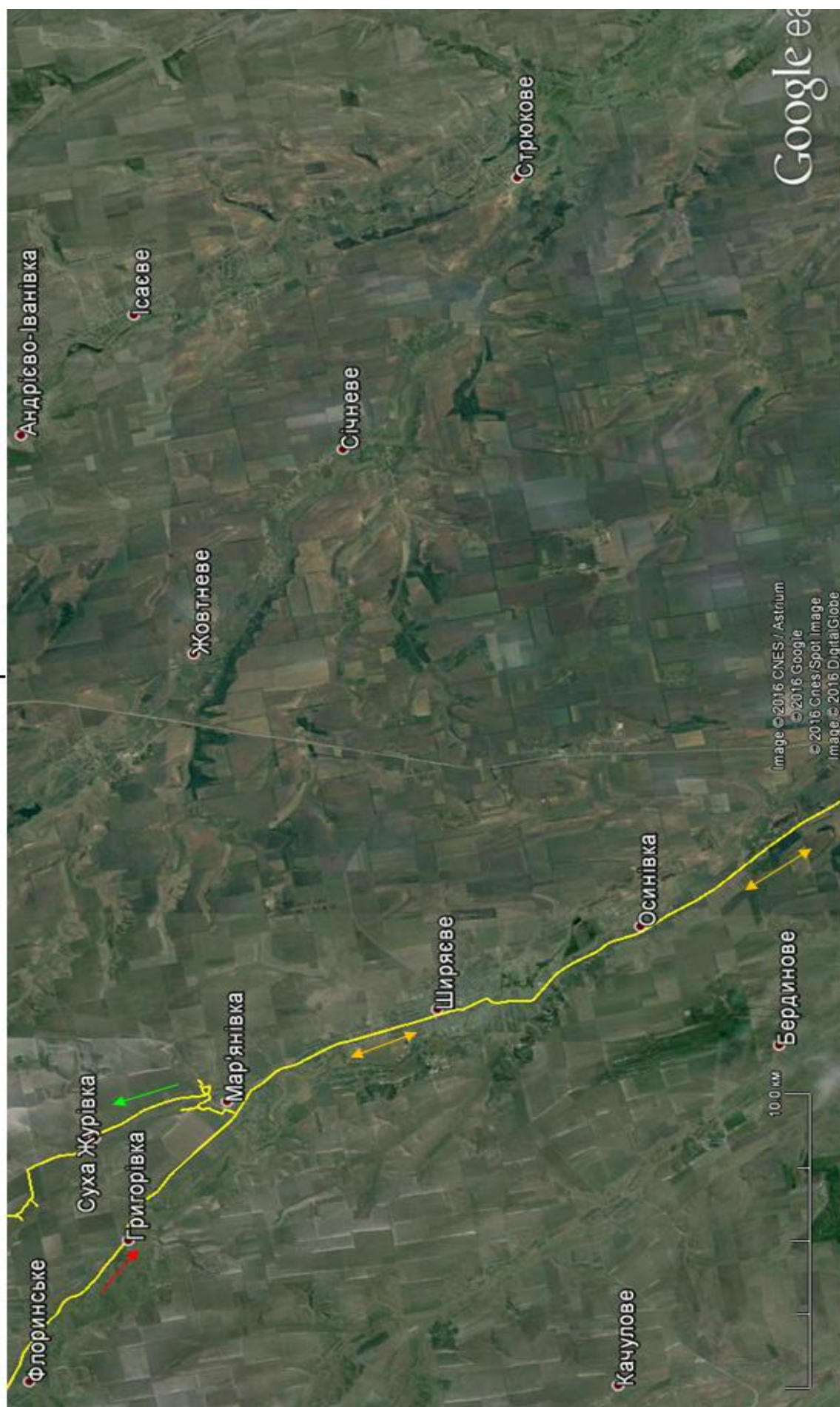


Рисунок А.52 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 5)

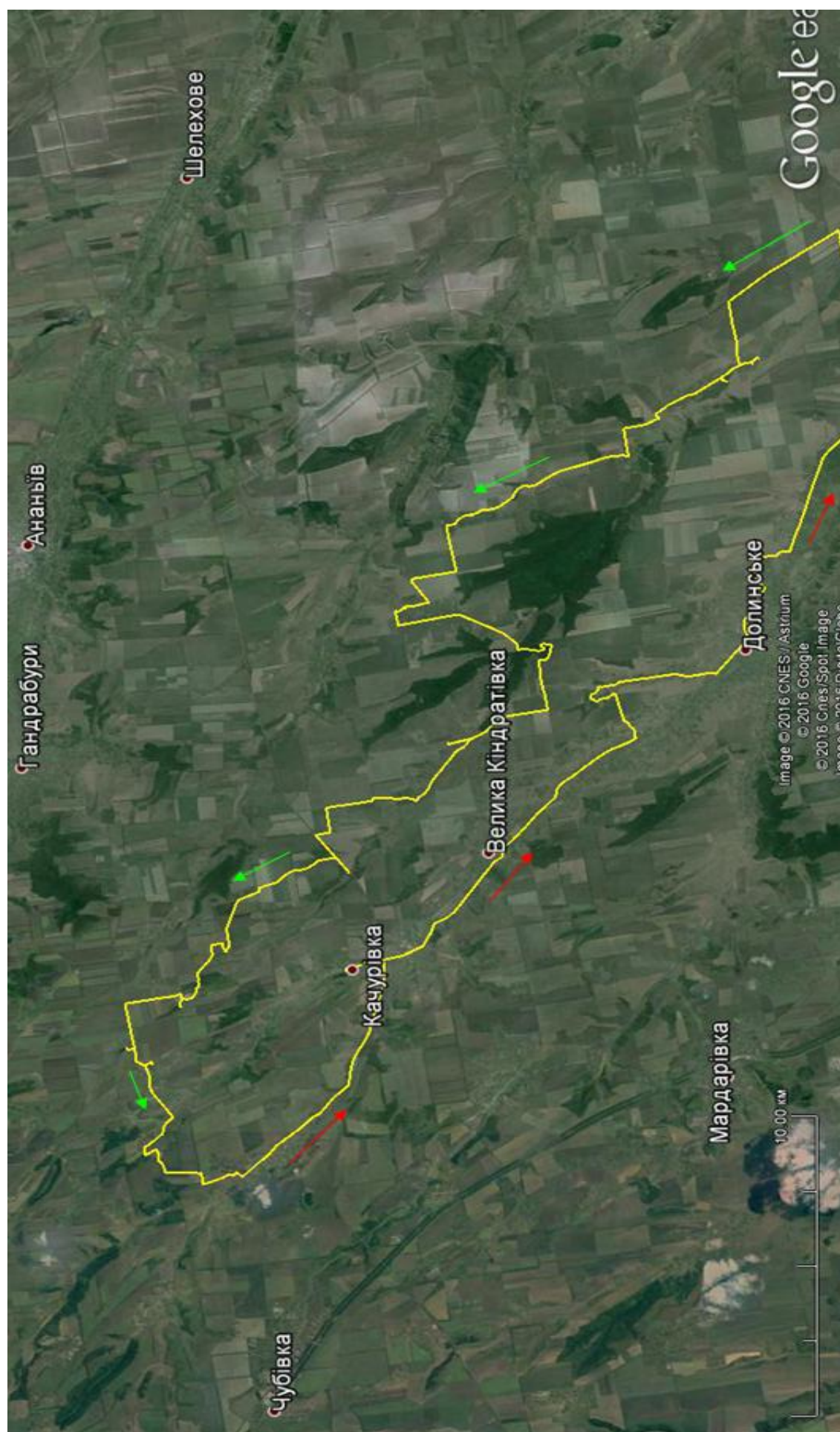


Рисунок А.53 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина б)

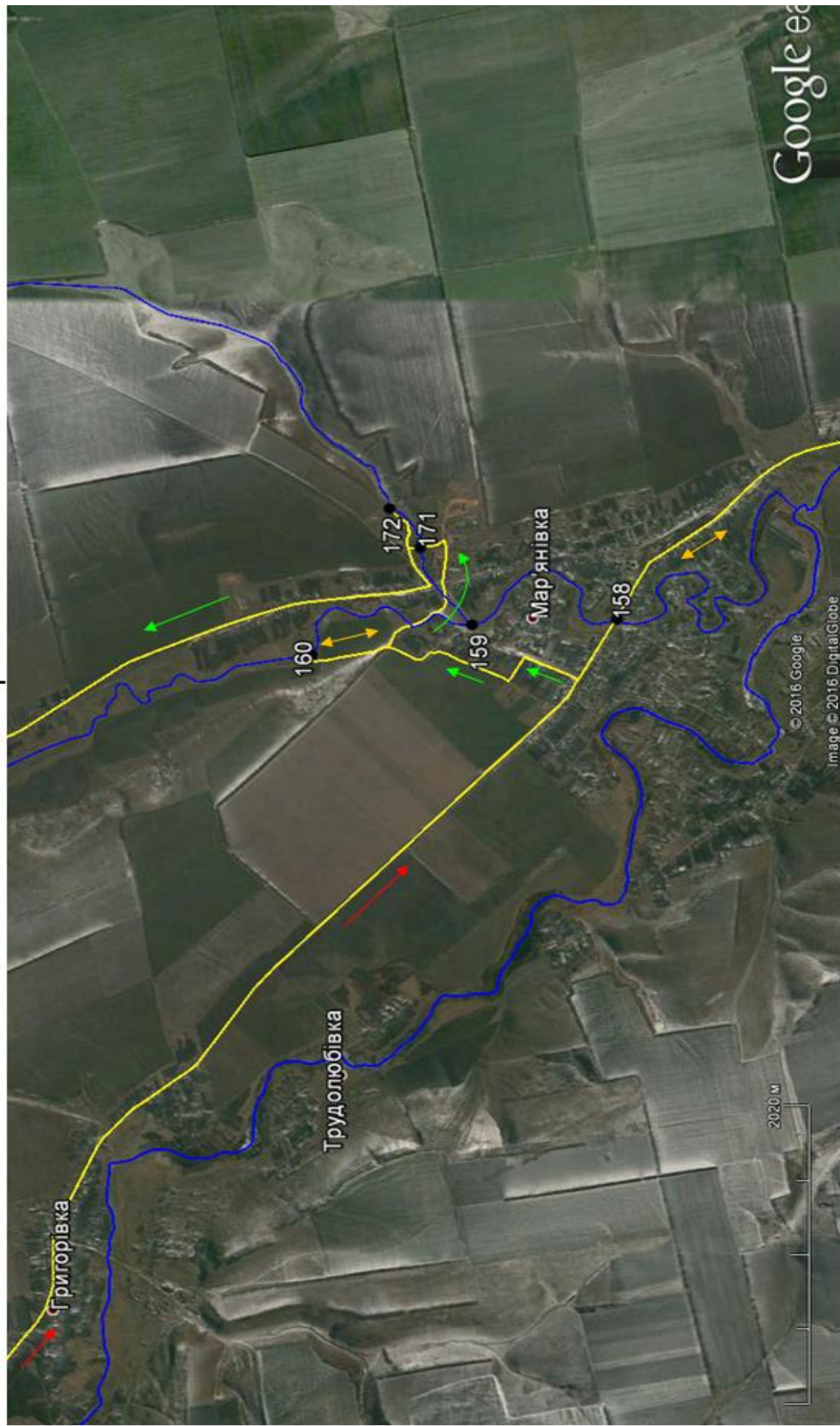


Рисунок А.54 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 7)



Рисунок А.55 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 8)

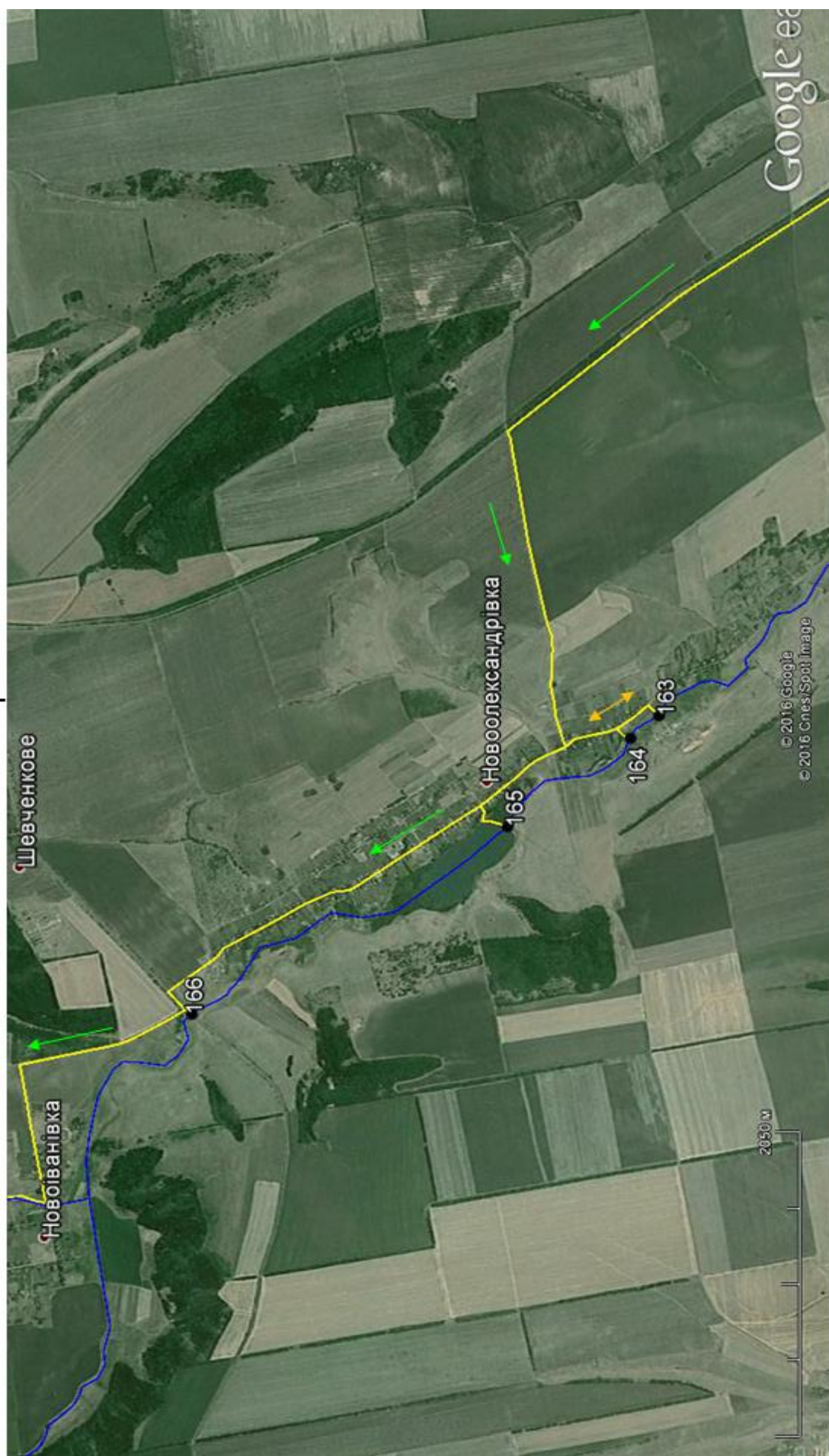


Рисунок А.56 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 9)



Рисунок А.57 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 10)



Рисунок А.58 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 11)



Рисунок А.59 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 12)



Рисунок А.60 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 13)

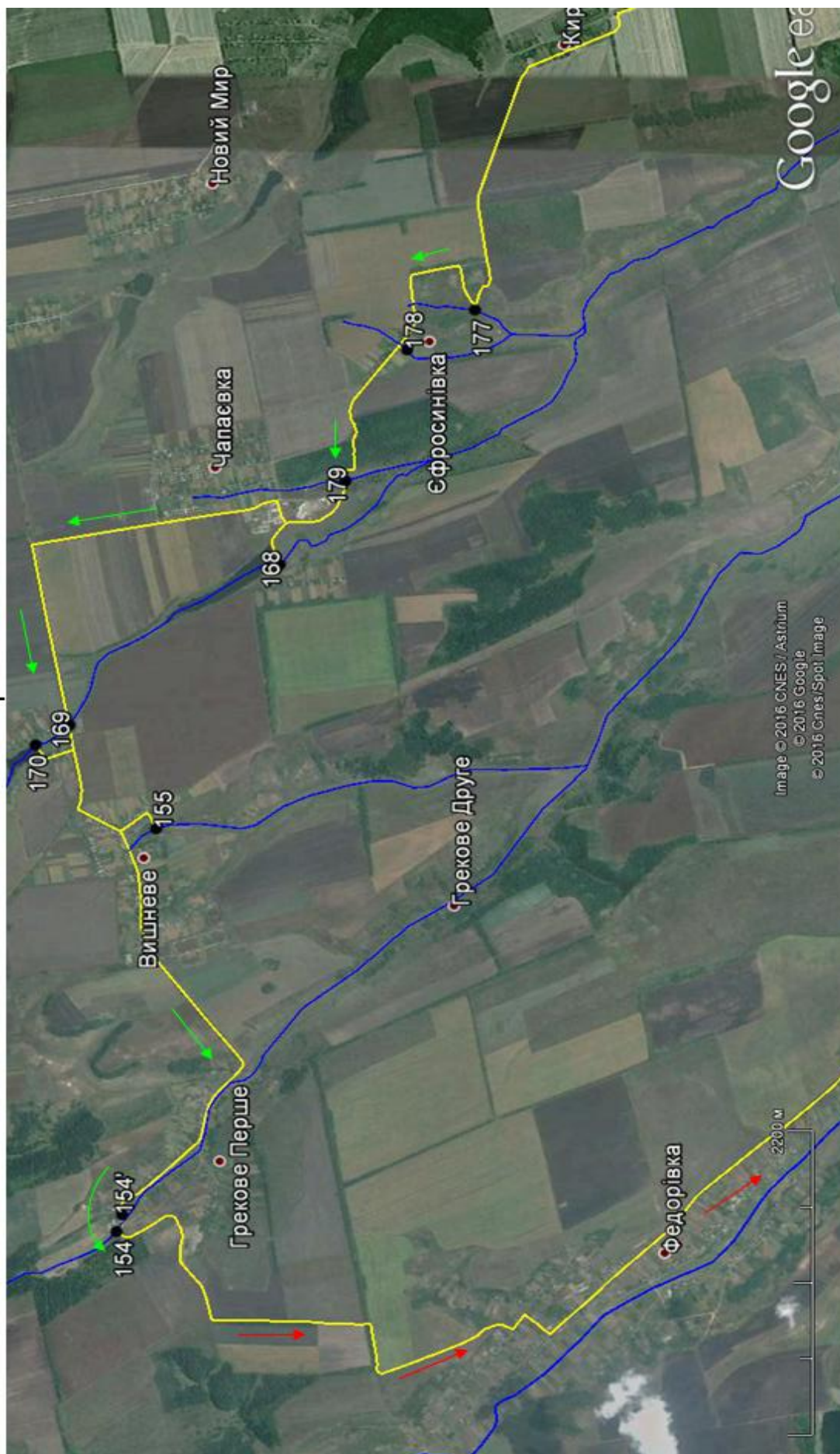


Рисунок А.61 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 14)

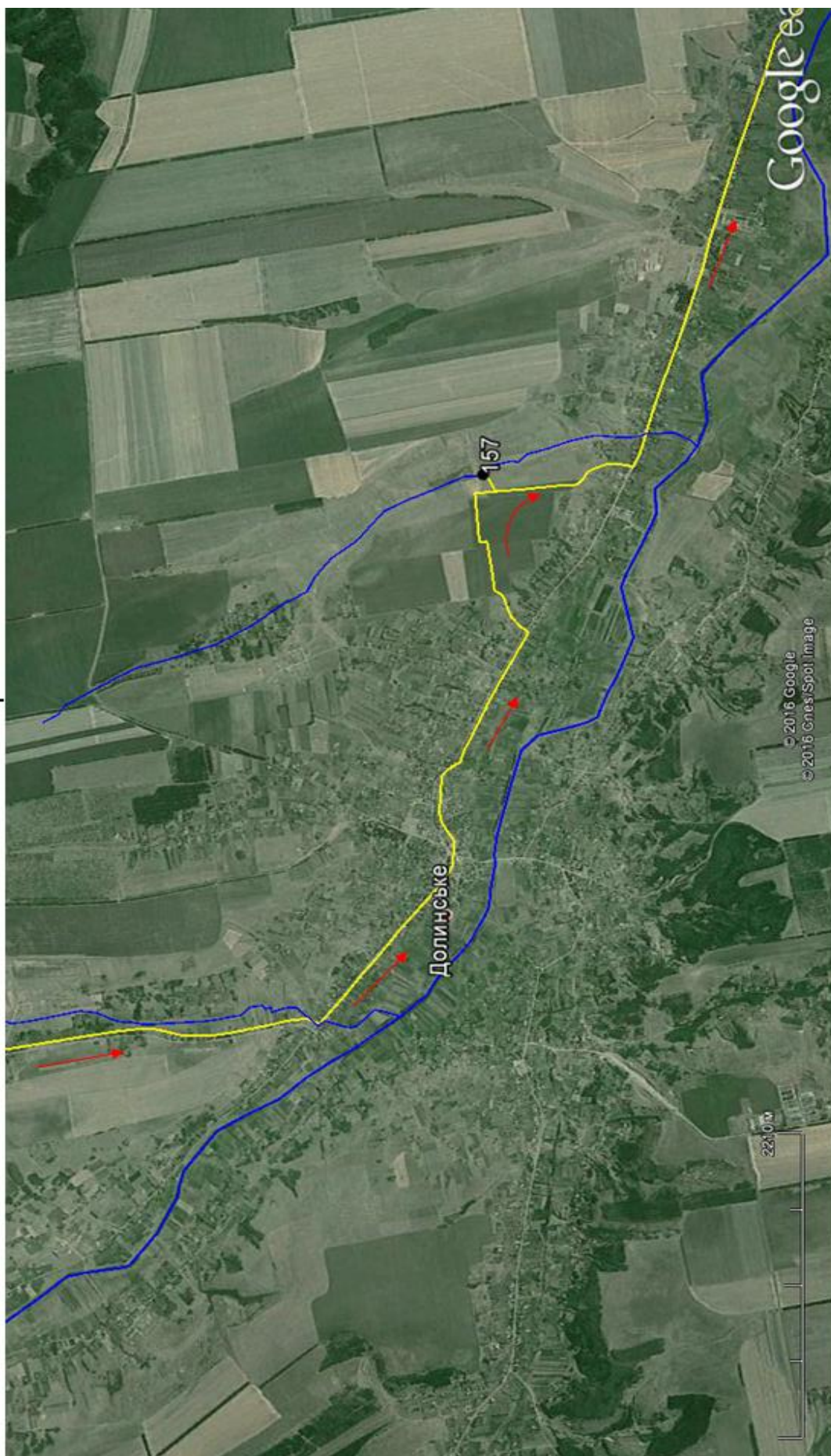


Рисунок А.62 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 7 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 15)

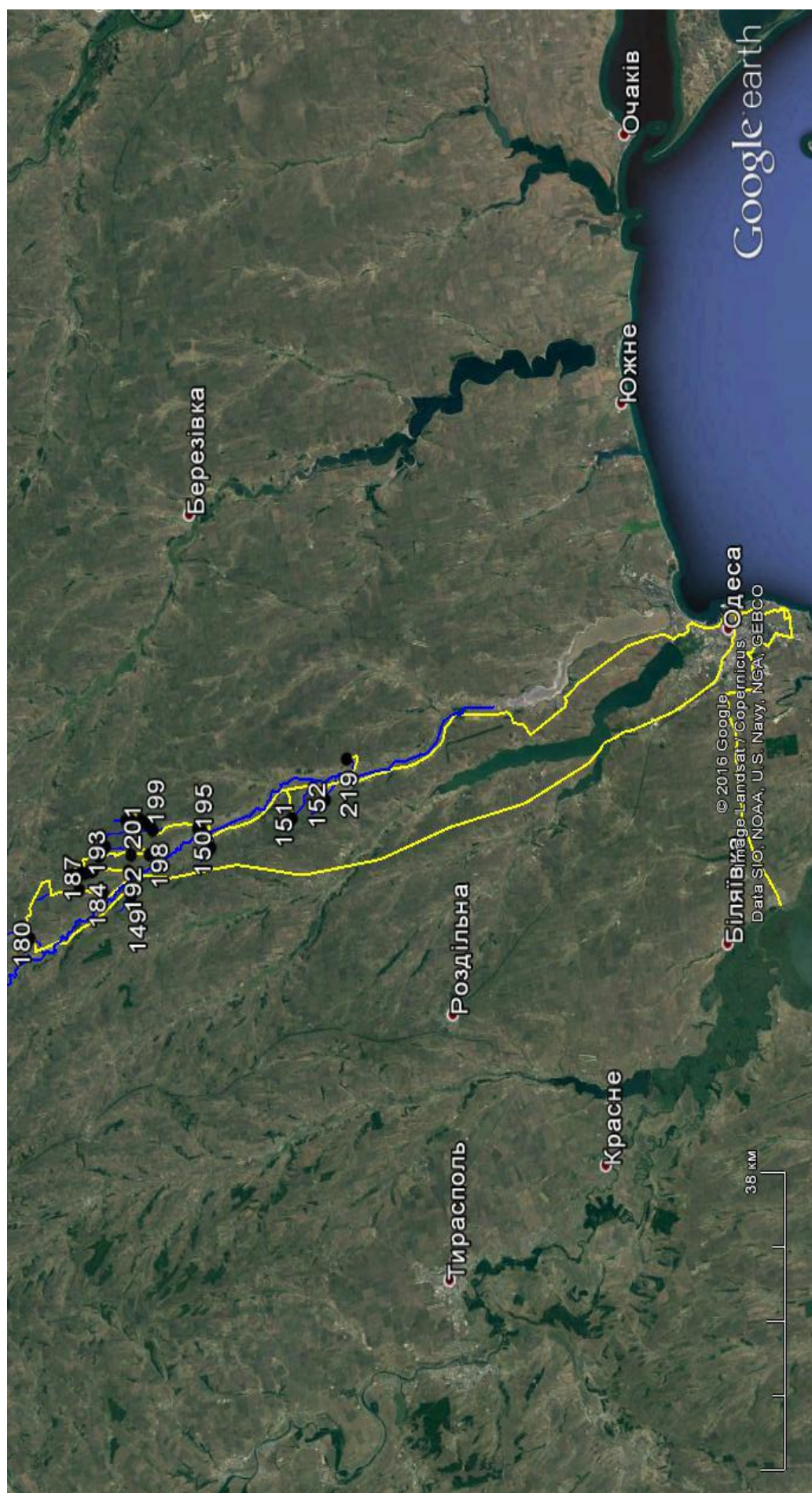


Рисунок А.63 – Картосхема виїзду № 8 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 23.11.2016 р. (балки до р. Суха Журівка) за маршрутом: Річкова гідроекологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – р. В. Куяльник – смт Іванівка – обстеження точок та в зворотному напрямку
(загальна протяжність шляху складає 502 км, кількість точок обстеження – 28 шт.)

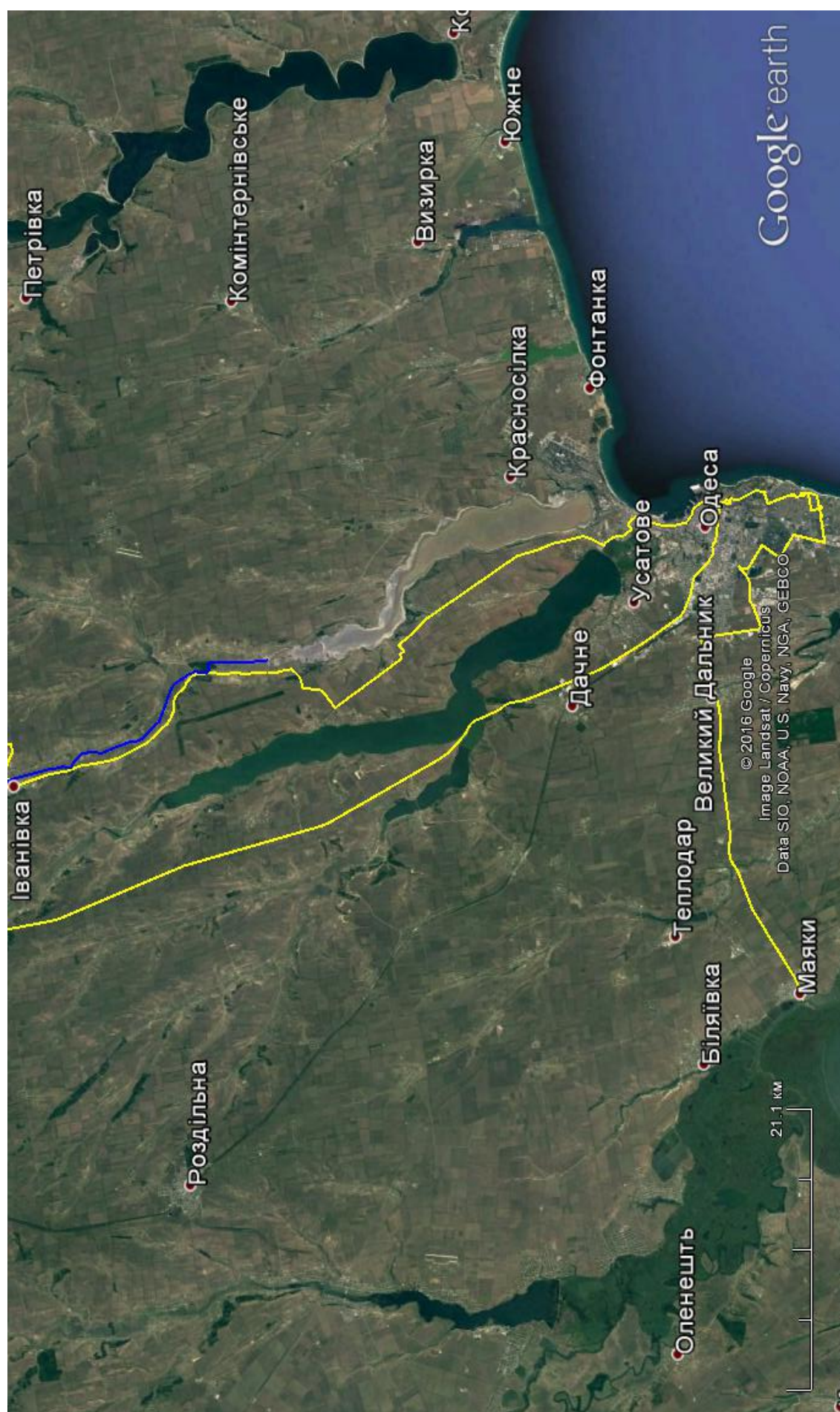


Рисунок А.64 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 8 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

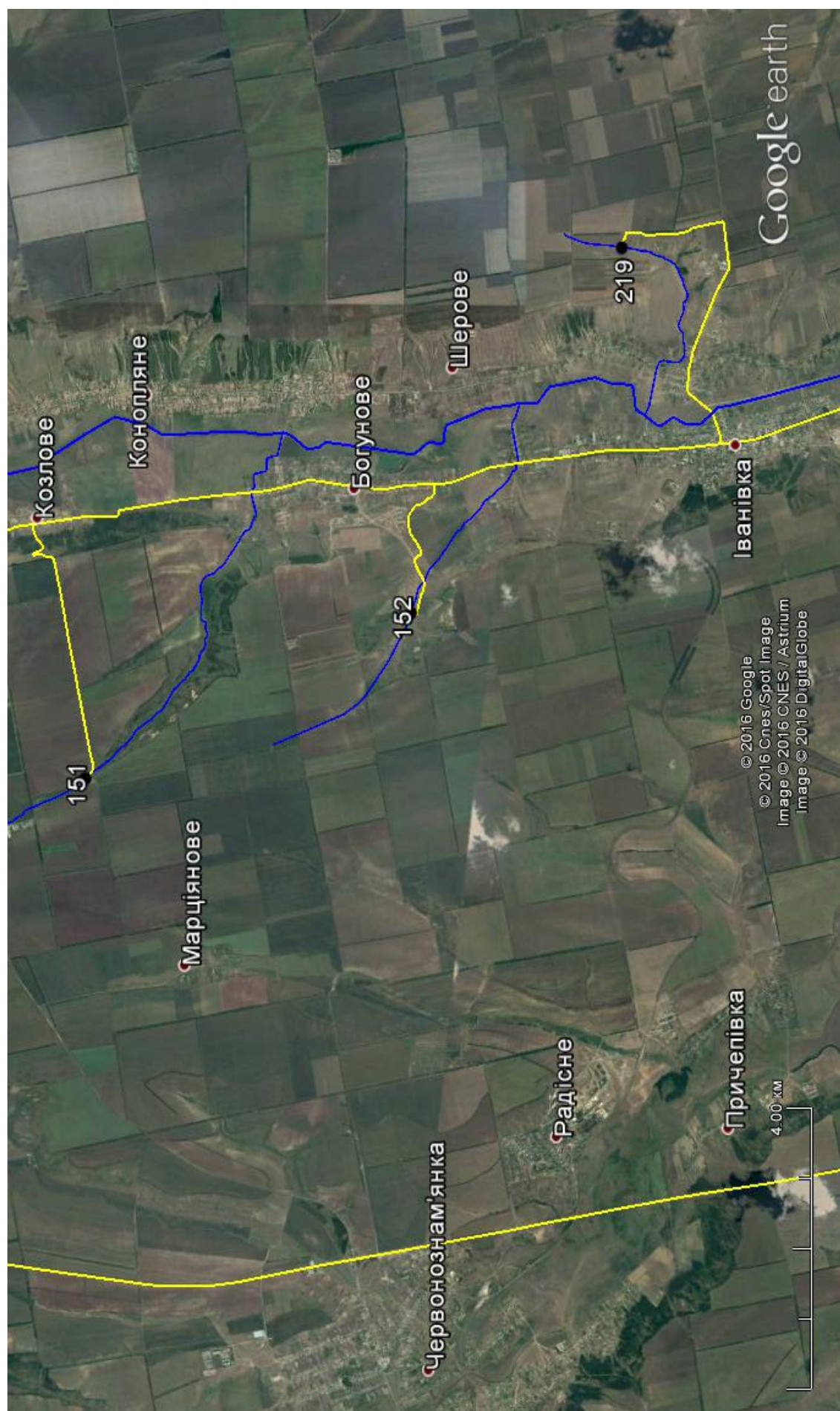


Рисунок А.65 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 8 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)

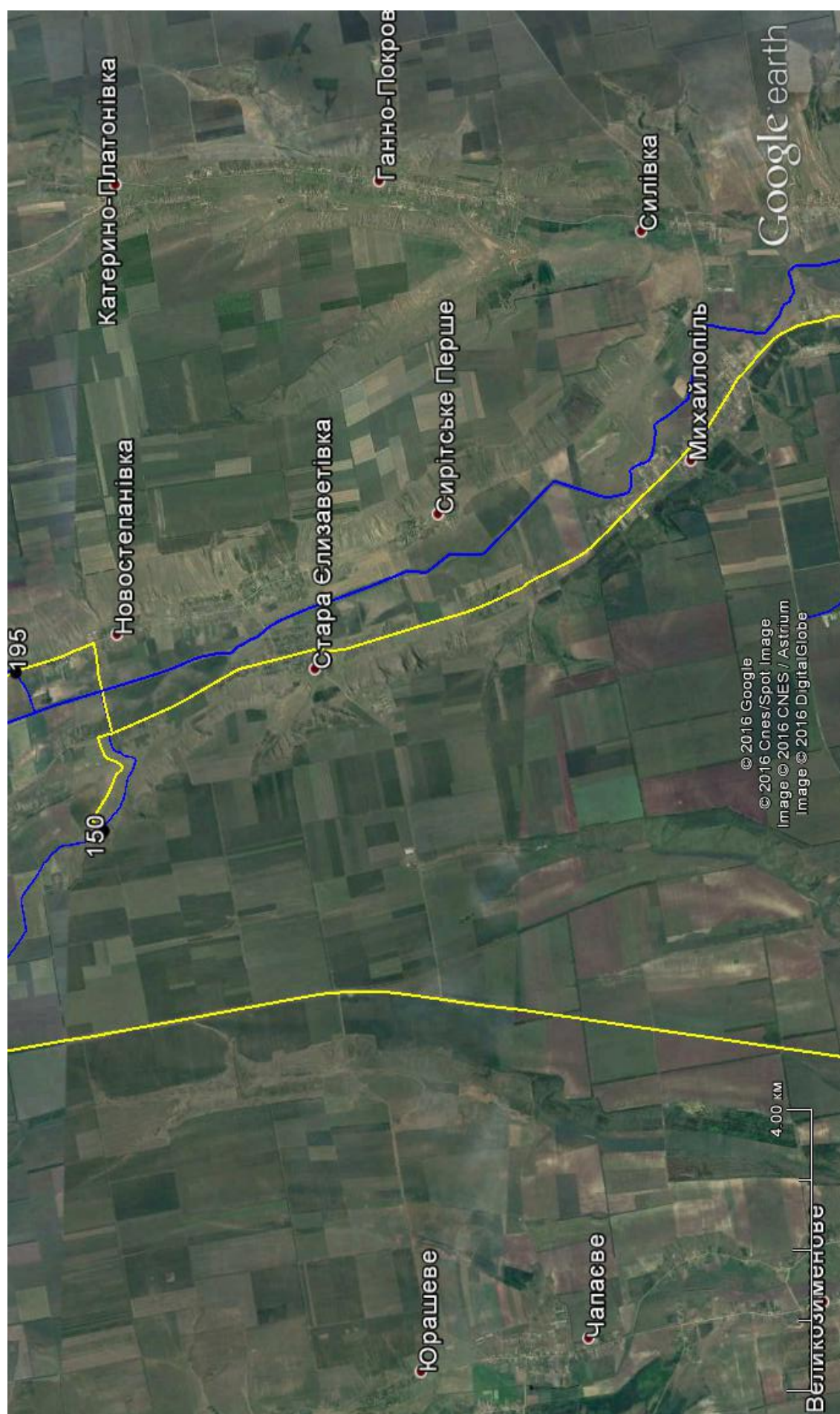


Рисунок А.66 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 8 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)

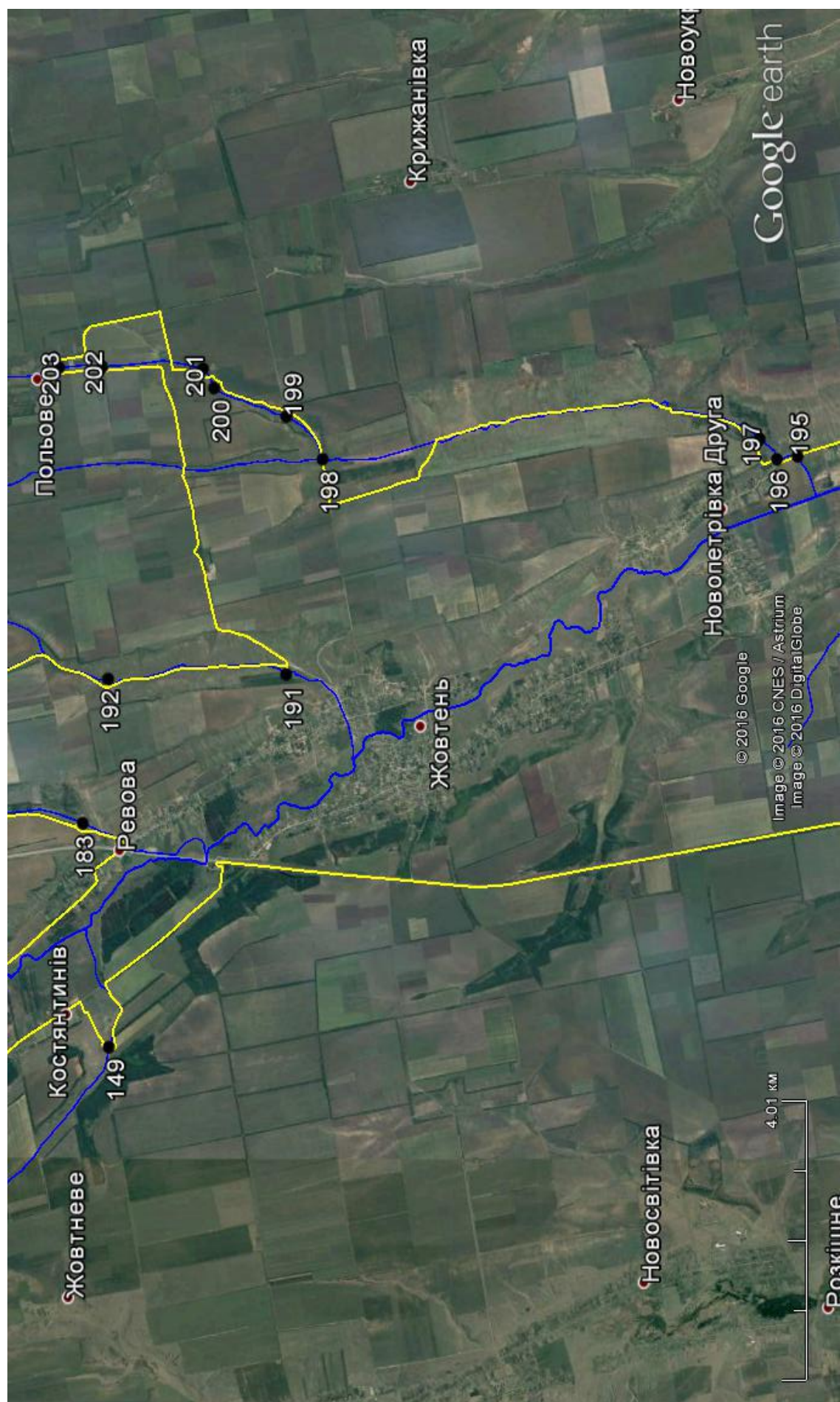


Рисунок А.67 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 8 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 4)

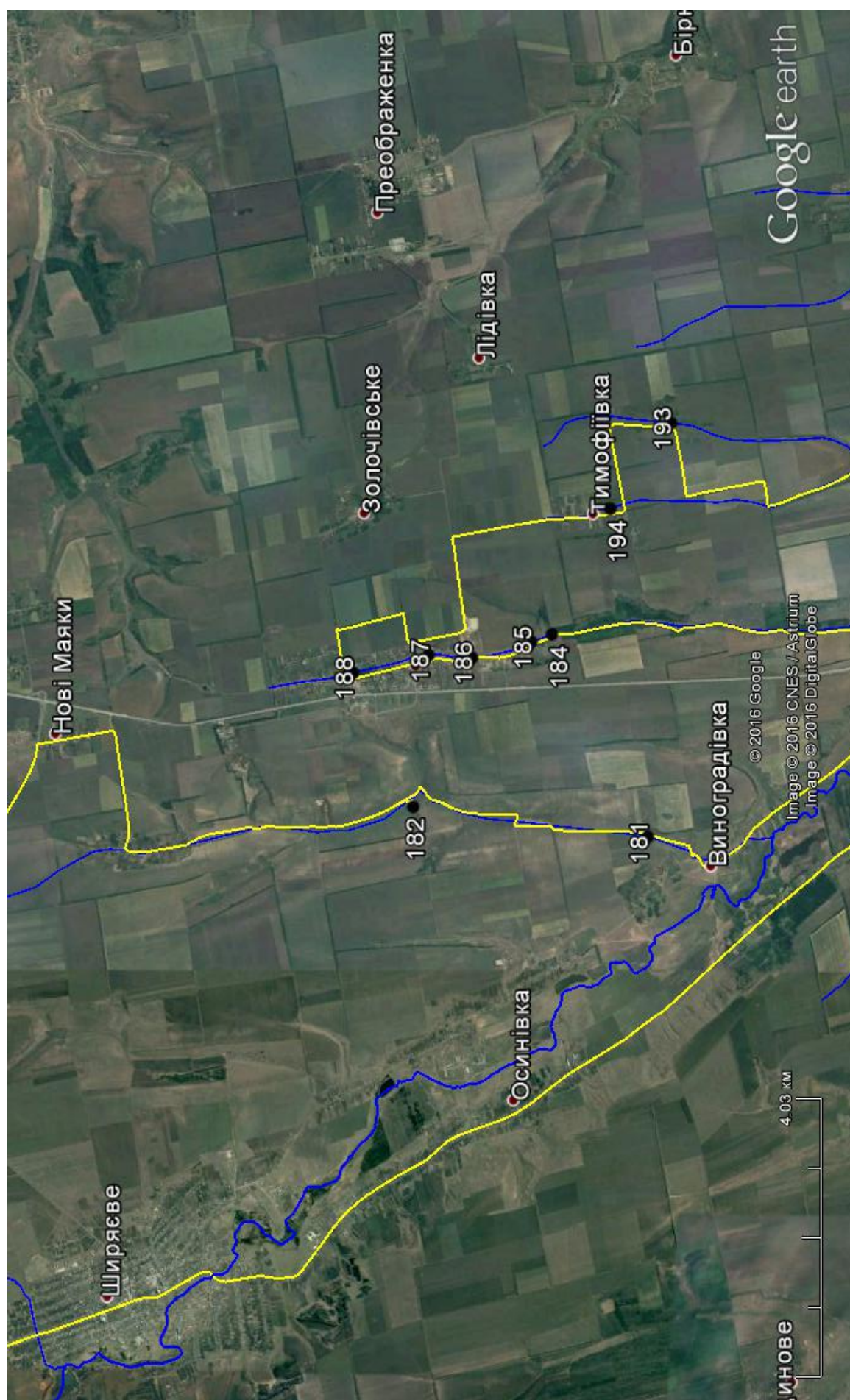


Рисунок А.68 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 8 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 5)

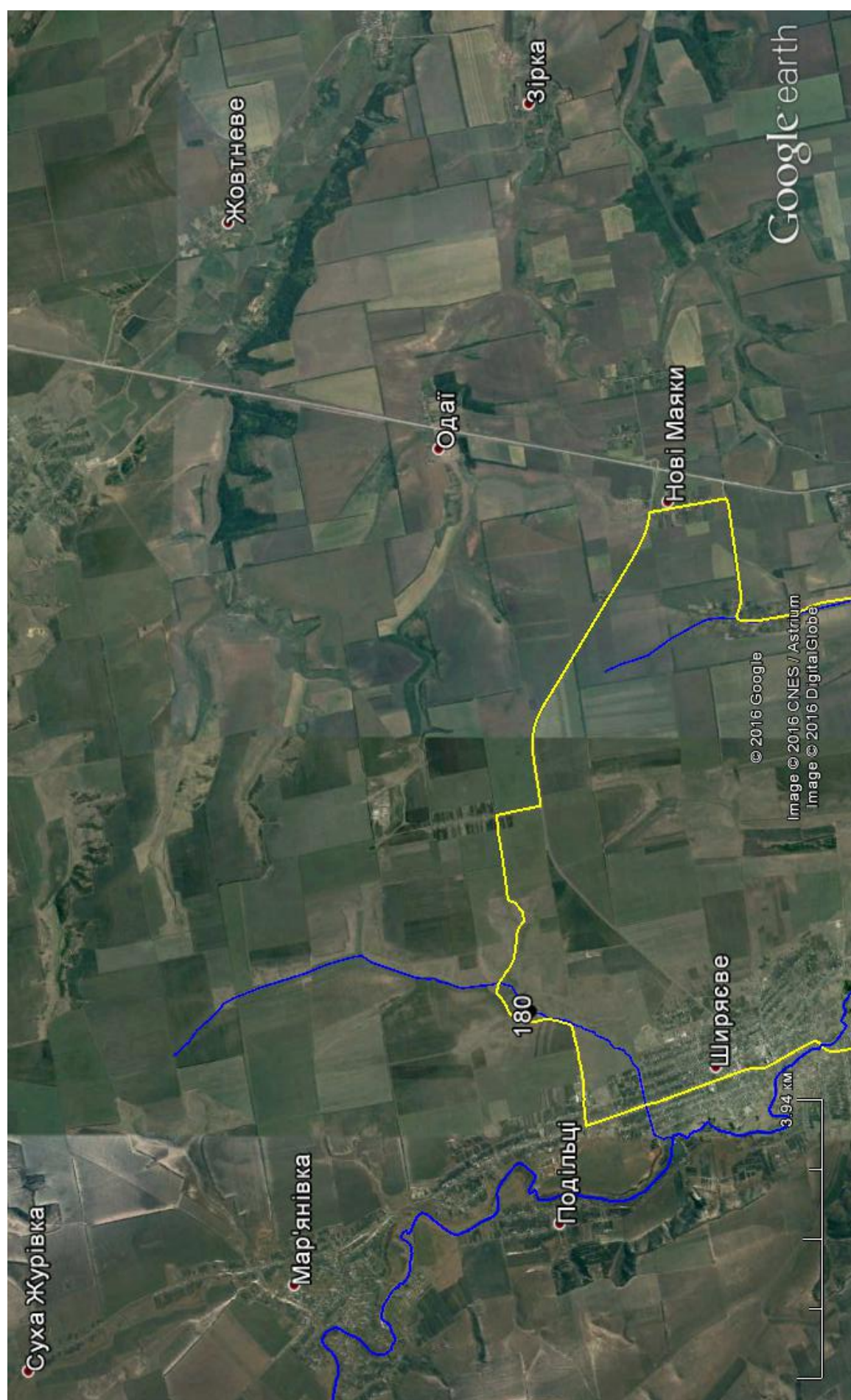


Рисунок А.69 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 8 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 6)

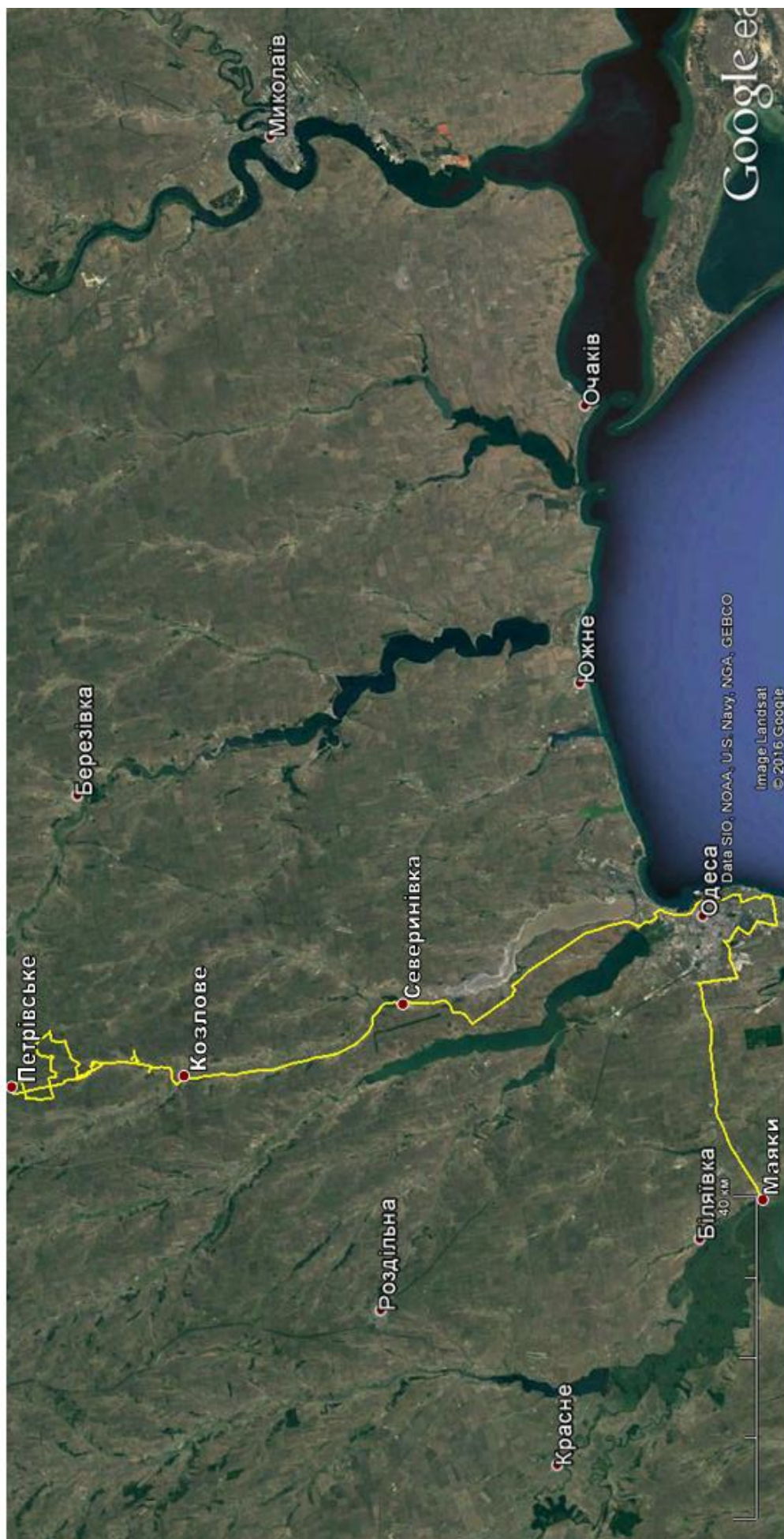


Рисунок А.70 – Картосхема виїзду № 9 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 24.11.2016 р. (басейн р. Силівка) за маршрутом: Річкова гідроекологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – р. В. Куяльник – с. Михайлопіль – обстеження точок та в зворотному напрямку (загальна протяжність шляху складає 368 км, кількість точок обстеження – 24 шт.)

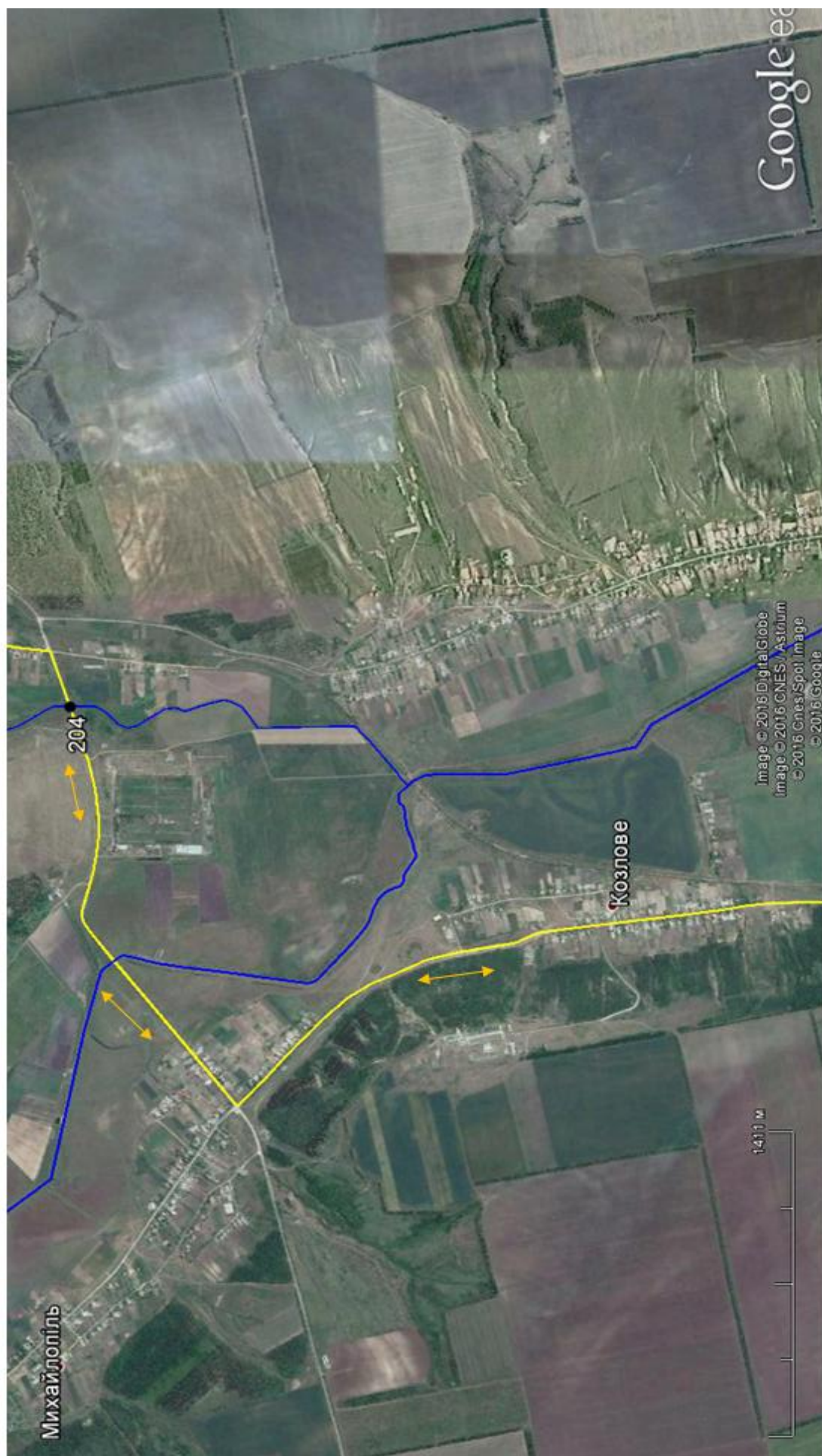


Рисунок А.71 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 9 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)



Рисунок А.72 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 9 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)



Рисунок А.73 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 9 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)



Рисунок А.74 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 9 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 4)

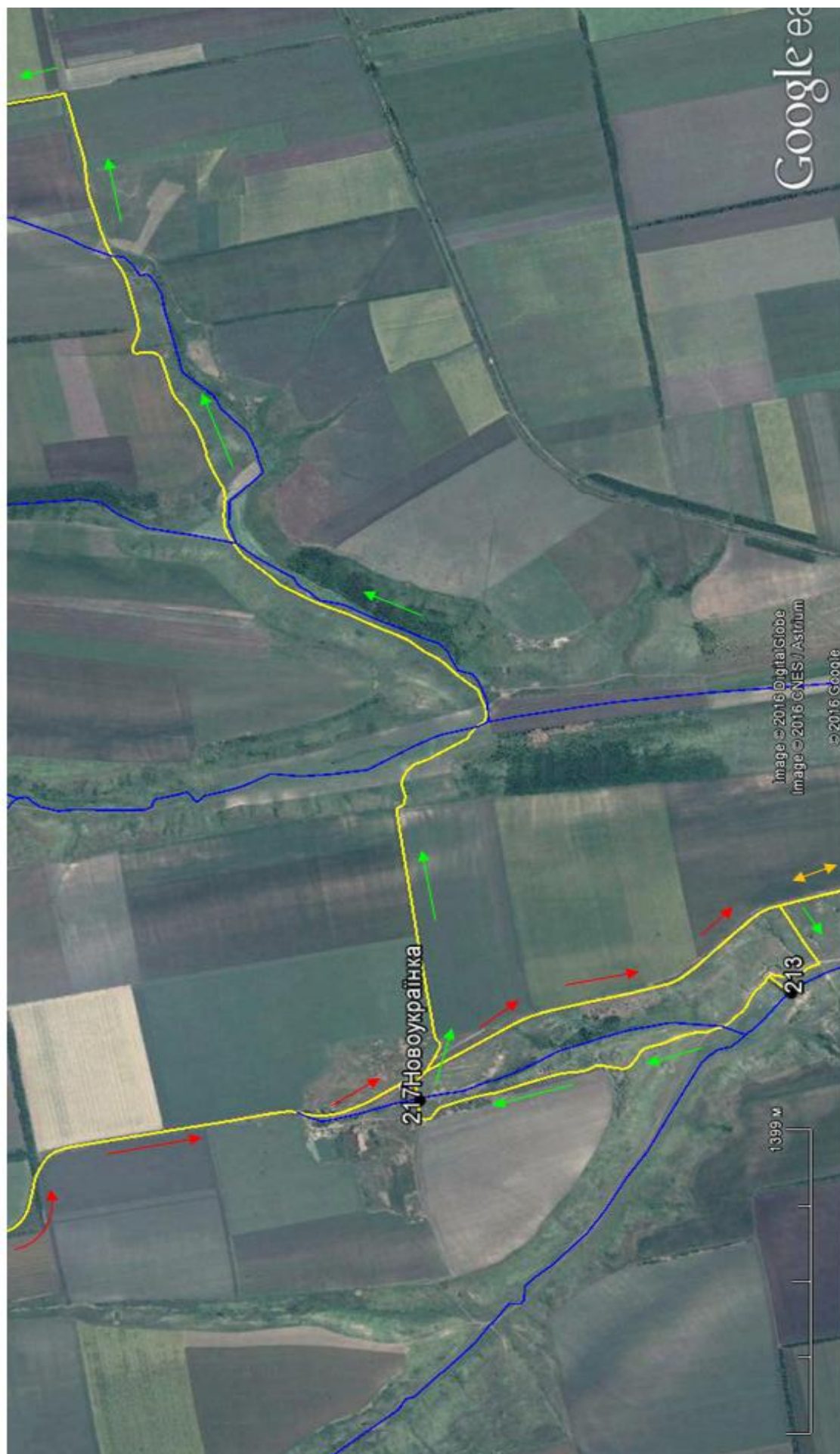


Рисунок А.75 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 9 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 5)



Рисунок А.76 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 9 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина б)



Рисунок А.77 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 9 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 7)

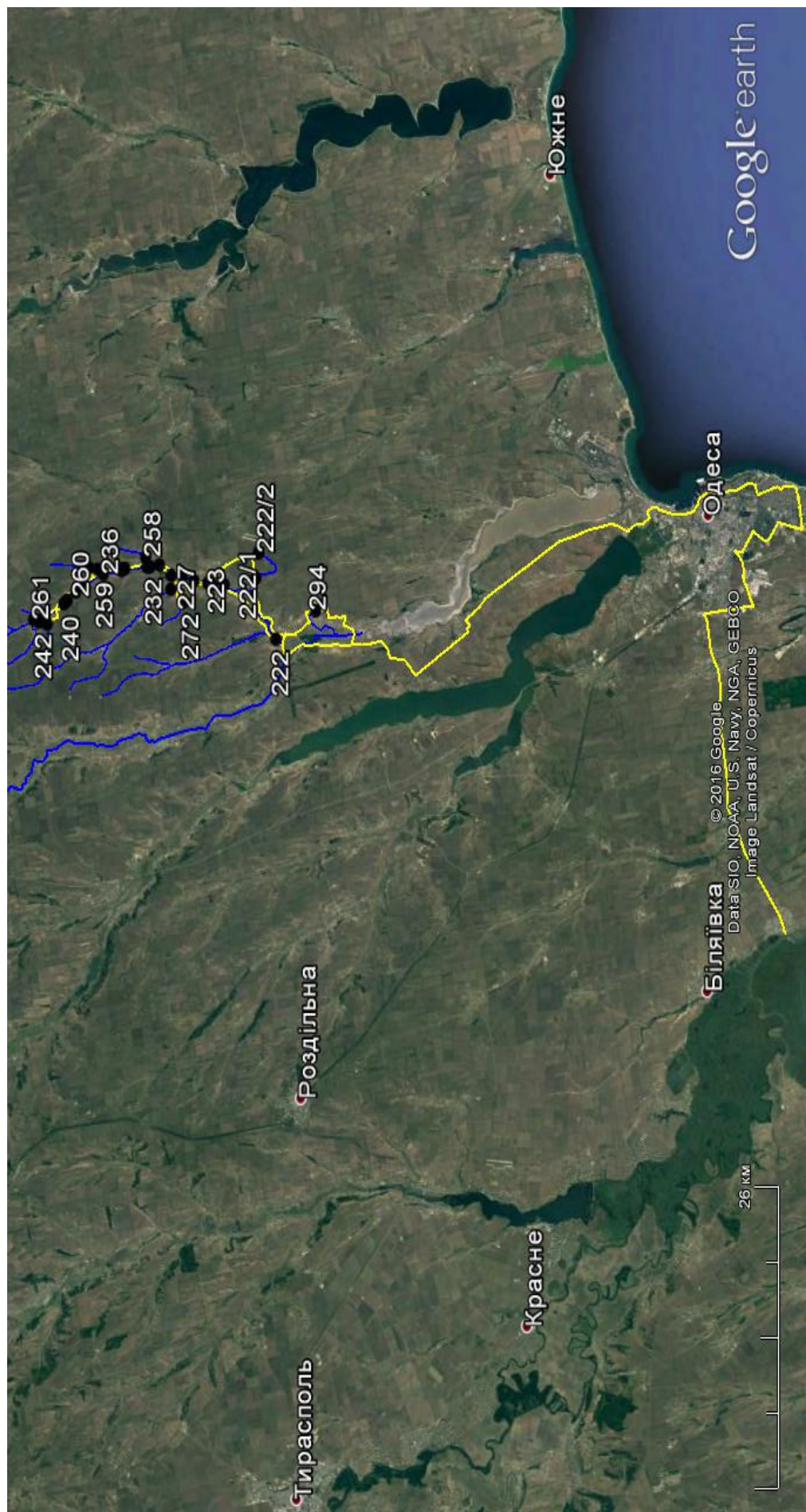


Рисунок А.78 – Картосхема виїзду № 10 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 25.11.2016 р. (нижня частина р. Кошкова) за маршрутом: Річкова гідроекологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – с. Руська Слобідка – с. Соколове – обстеження точок та в зворотному напрямку (загальна протяжність шляху складає **324 км, кількість точок обстеження – 30 шт.**)

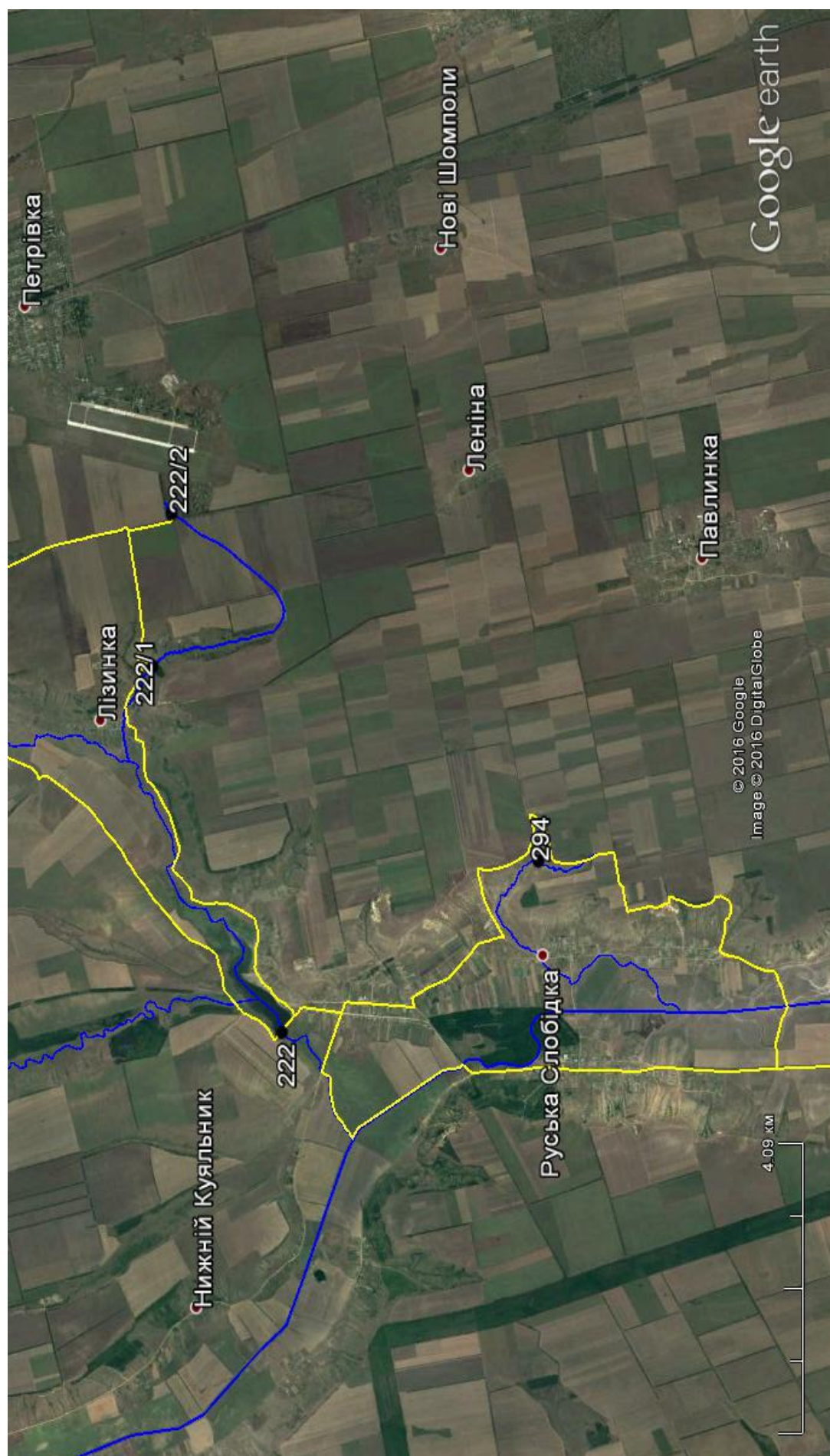


Рисунок А.79 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 10 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

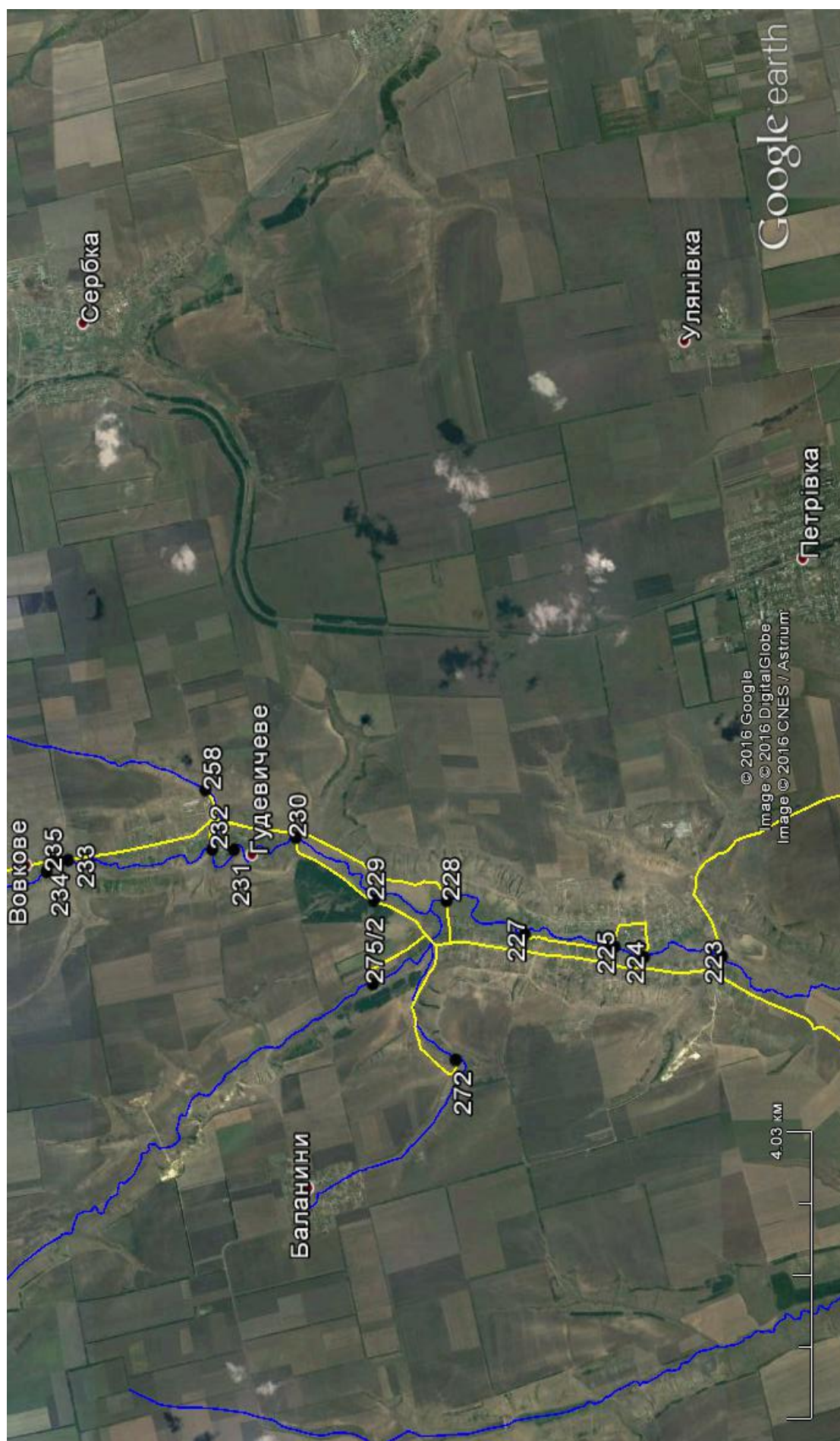


Рисунок А.80 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 10 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)

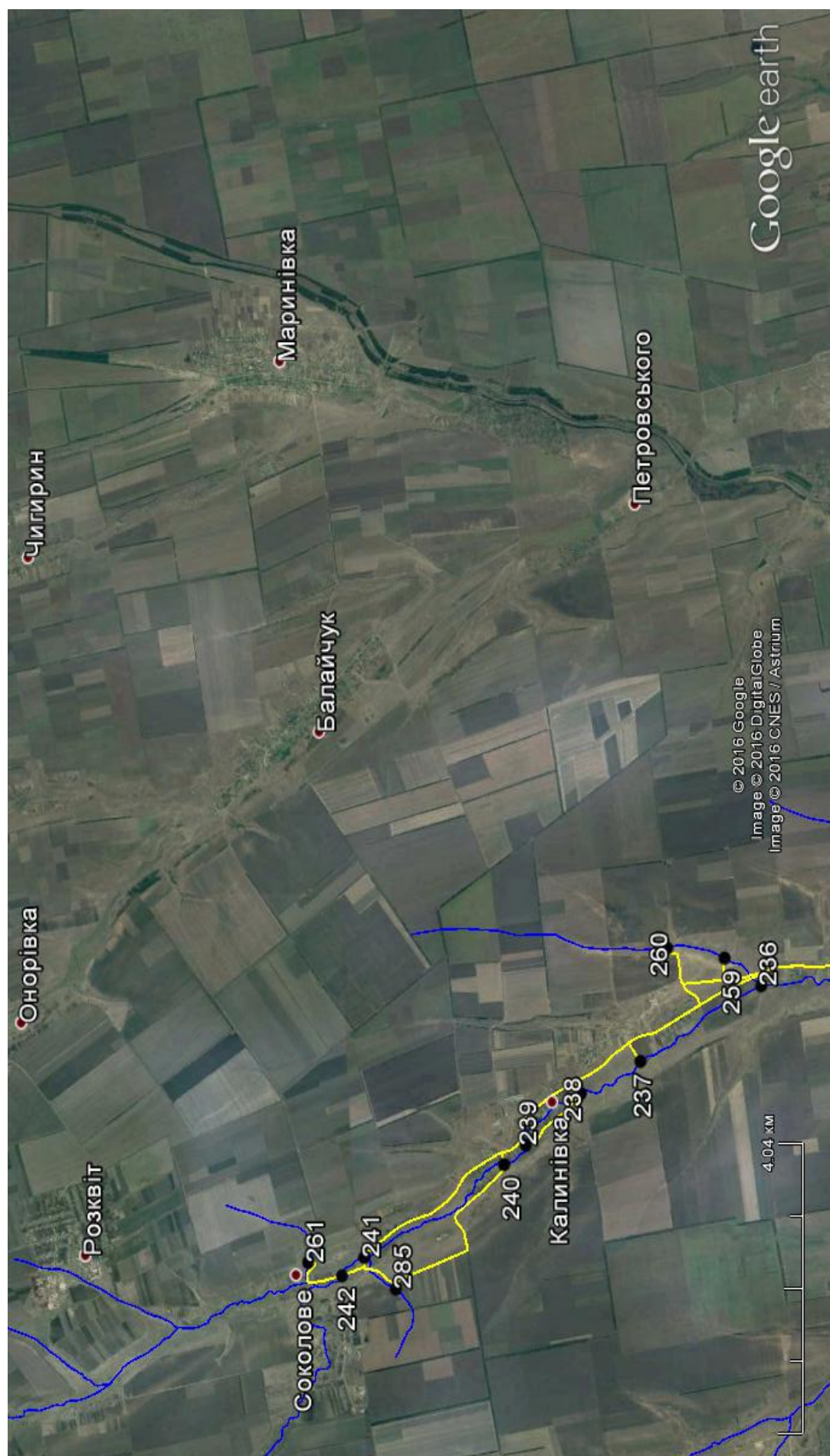


Рисунок А.81 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 10 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)

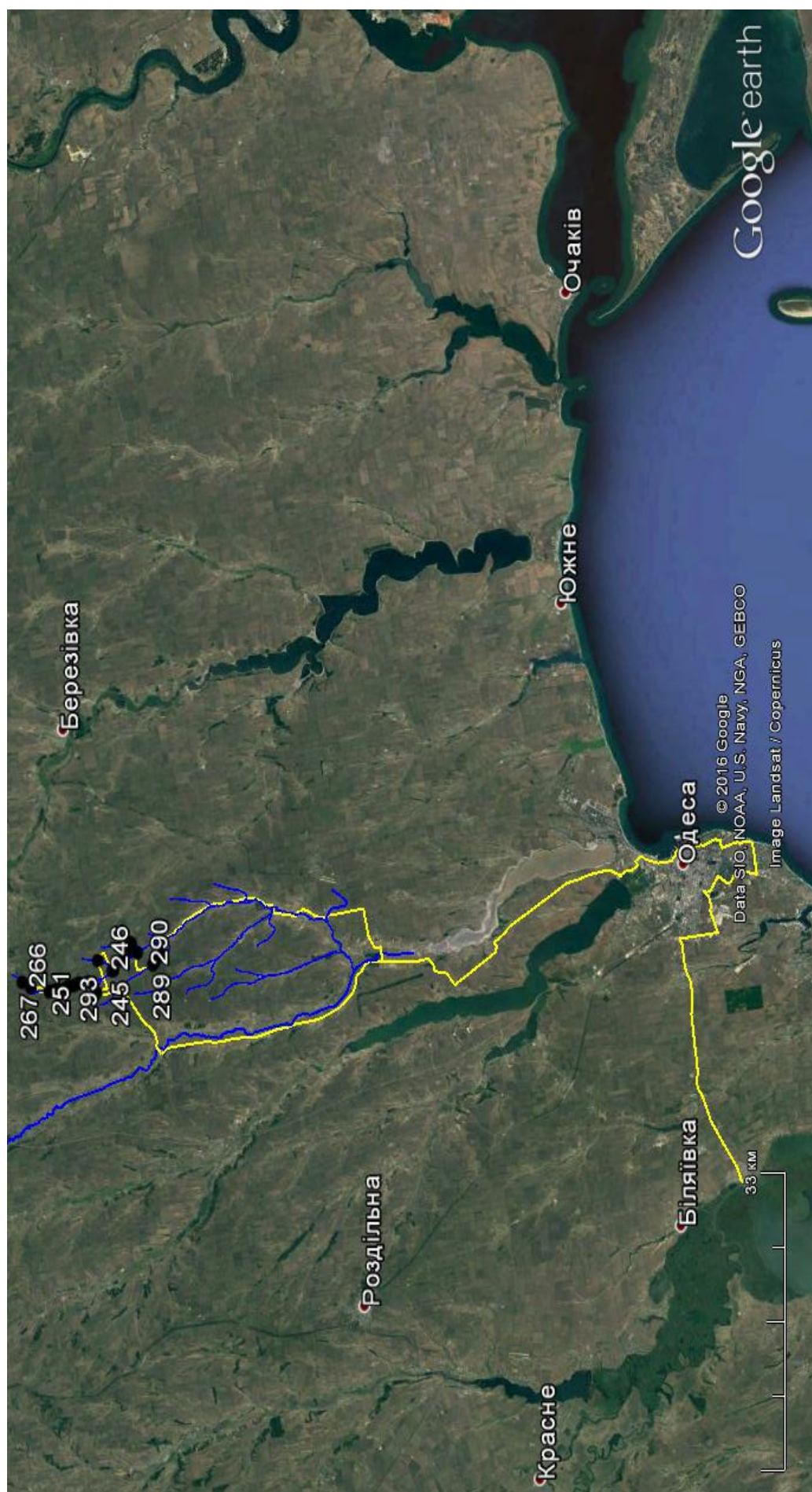


Рисунок А.82 – Картосхема виїзду № 11 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 26.11.2016 р. (верхня частина р. Кошкова) за маршрутом: Річкова гідроекологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – с. Руська Слобідка – с. Соколове – с. Анатолівка – с. Михайлопіль та в зворотному напрямку
(загальна протяжність шляху складає 354 км, кількість точок обстеження – 27 шт.)

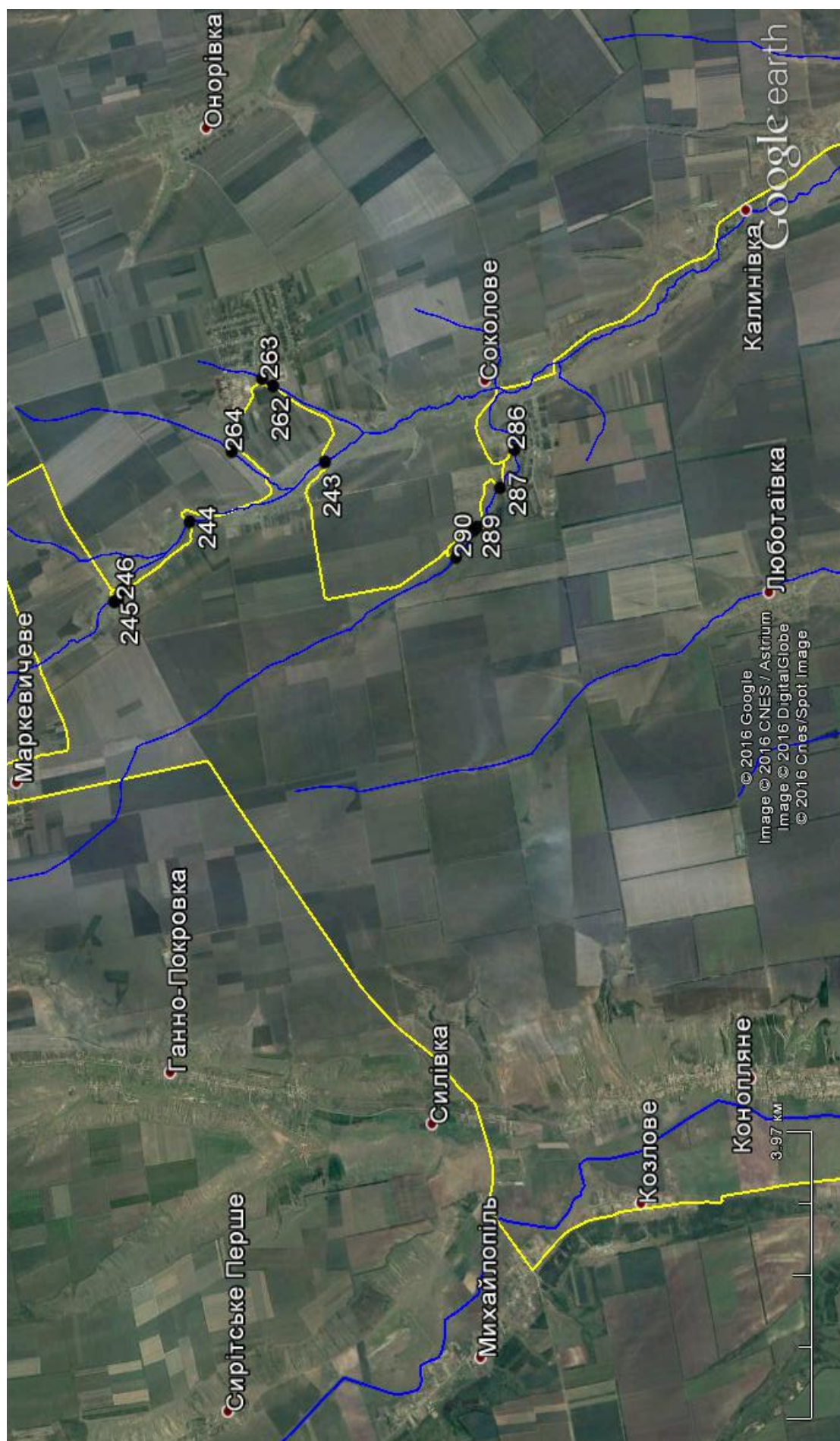


Рисунок А.83 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 11 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

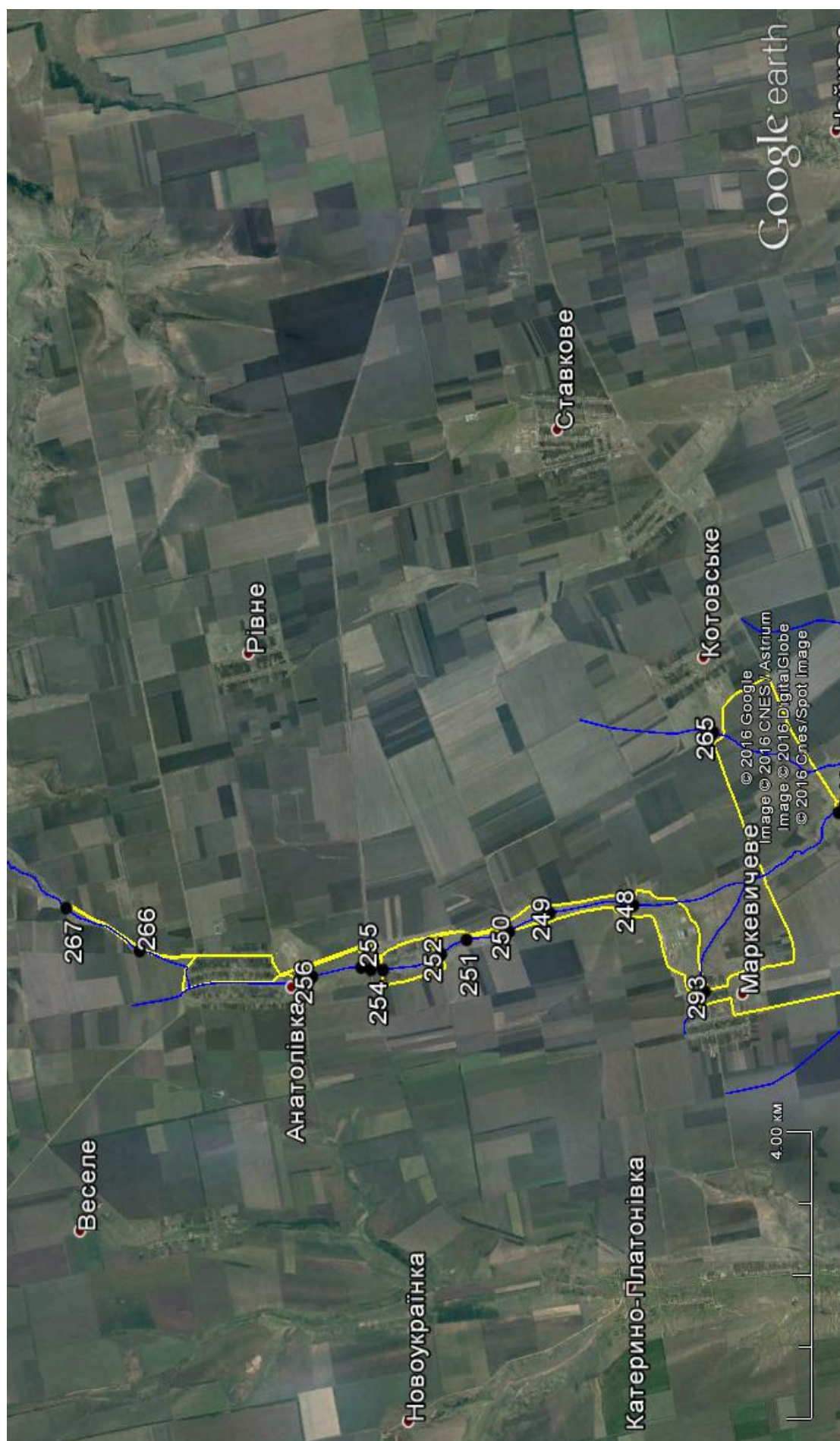


Рисунок А.84 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 11 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)

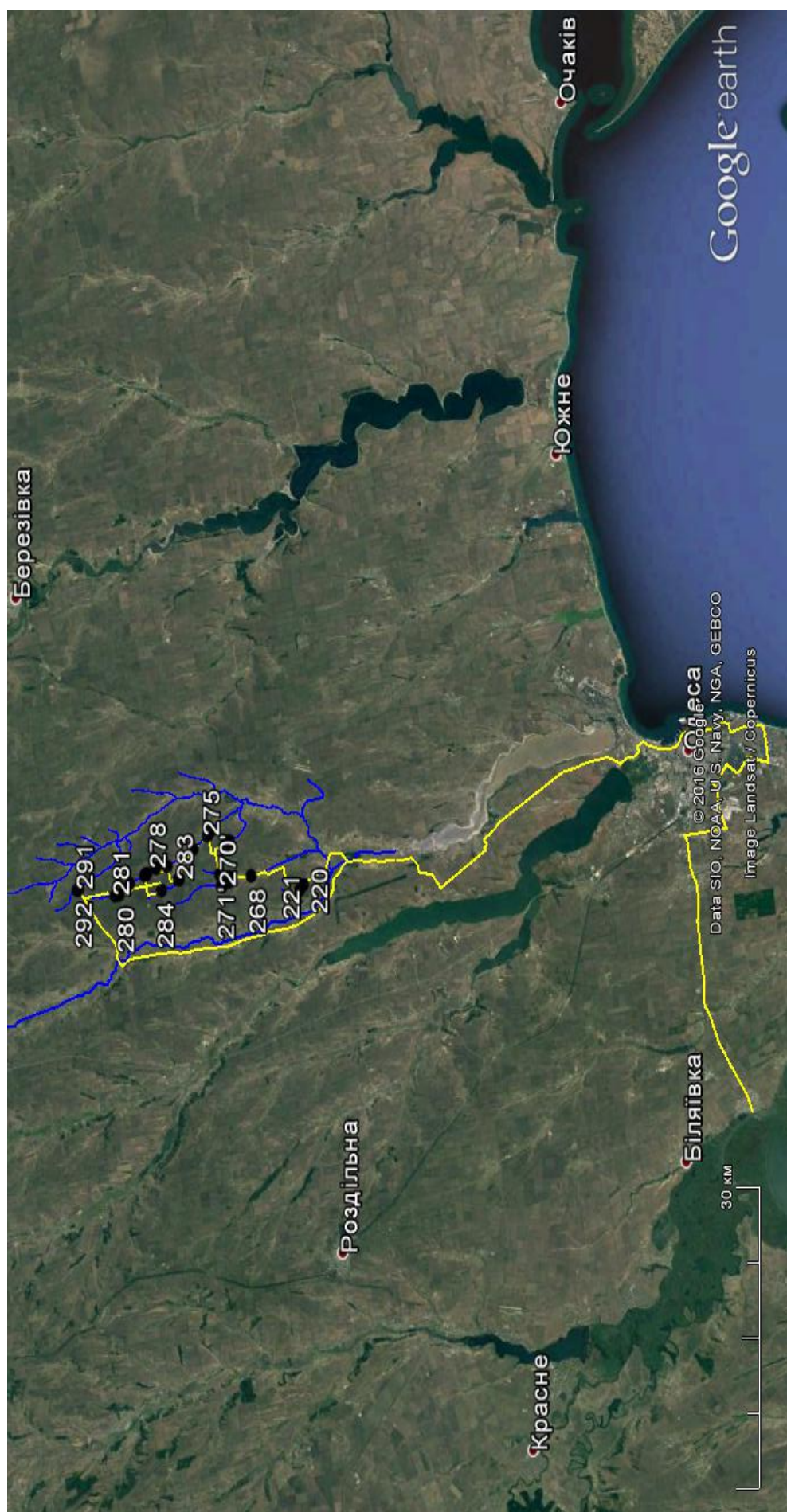


Рисунок А.85 – Картосхема виїзду № 12 з обстеження басейну річки Великий Куяльник від 27.11.2016 р. (західні притоки р. Кошкова) за маршрутом: Річкова гідроекологічна навчально-наукова лабораторія – ОДЕКУ – с. Руська Слобідка – с. Михайлопіль та в зворотному напрямку
(загальна протяжність шляху складає 329 км, кількість точок обстеження – 25 шт.)

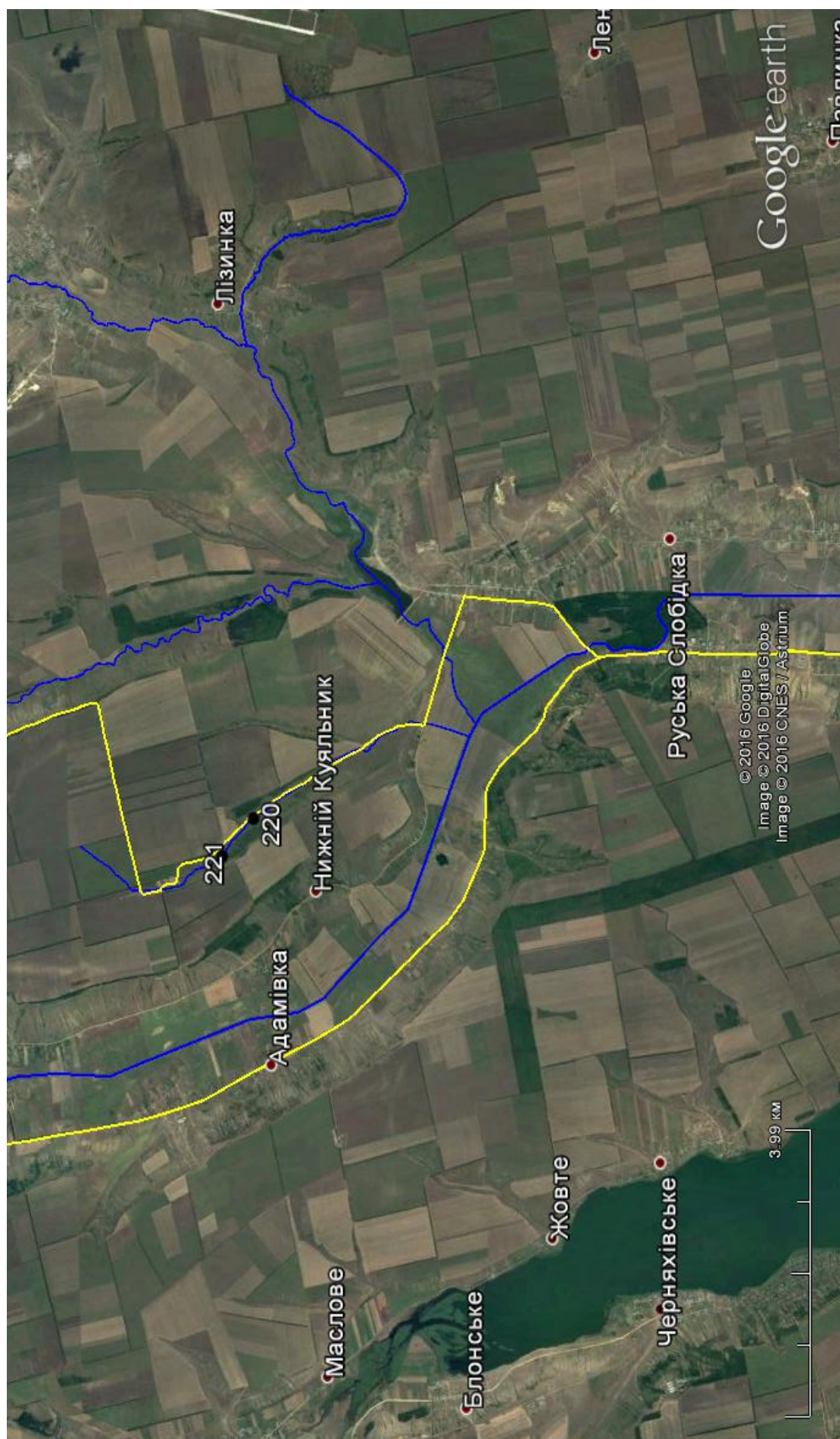


Рисунок А.86 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 12 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 1)

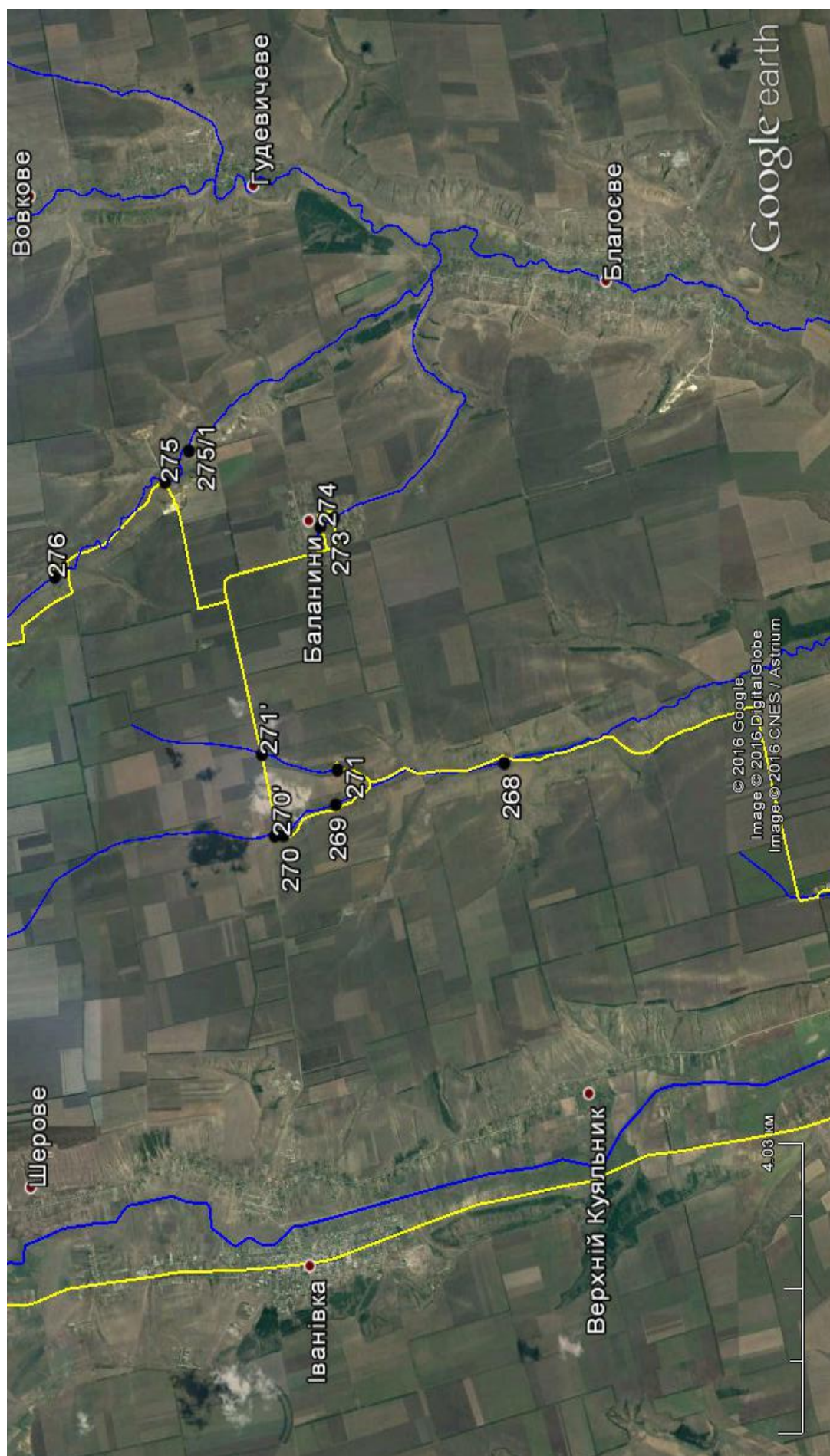


Рисунок А.87 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 12 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 2)

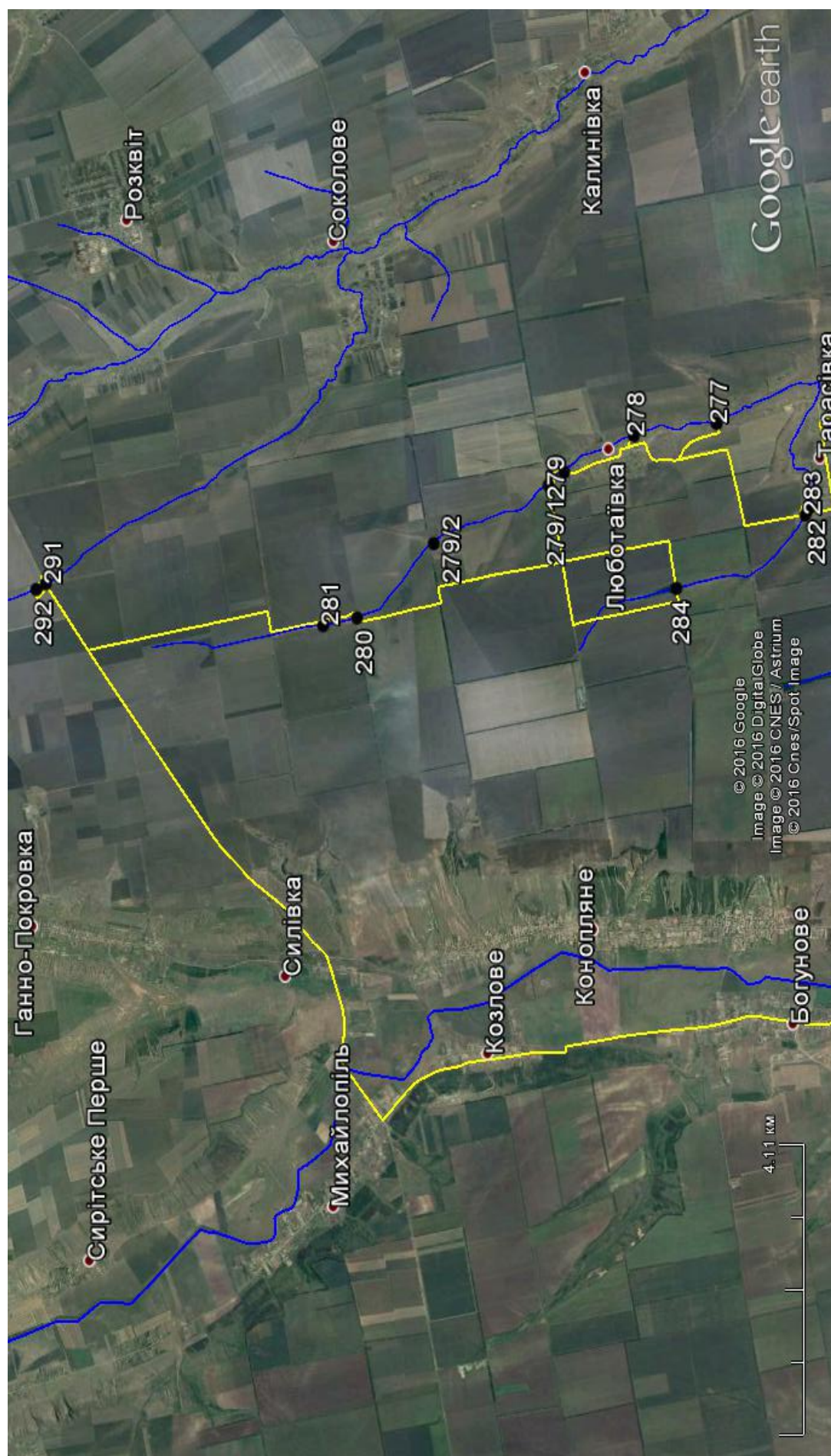


Рисунок А.88 – Збільшений фрагмент картосхеми виїзду № 12 з обстеження басейну річки Великий Куяльник (частина 3)

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Інформація щодо наявності та стану обладнання, у тому числі ЗВТ

Назва та умовне позначення	Заводський номер	Основні характеристики	Періодичність технічного обслуговування	Відомості про оцінку придатності (про повірку, калібрування, атестацію, тощо)	Примітка
1	2	3	4	5	6
Засоби вимірювальної техніки (ЗВТ)					
Аналізатор рідини , ЭКОТЕСТ-2000Т з електродами ЭКОМ- Еh, ЭВЛ-1М, з температурним датчиком Pt-1000	2939	Діапазон вимірювань активності іонів водню, рН: від -20 до 20. Границя абсолютної похибки, рН: $\Delta_{pH} = \pm 0,05$. Діапазон вимірювань потенціалу, мВ: від мінус 3200 до 3200. Границя абсолютної похибки перетворювача, мВ: $\Delta_{mB} = \pm 1,5$. Діапазон вимірювань температури: від мінус 10 до 150°C, $\Delta_T = \pm 0,5^\circ C$. Діапазон вимірювань концентрації розчиненого кисню (O ₂): від 0 до 20 мгO ₂ /дм ³ , $\Delta = \pm 0,5$ мгO ₂ /дм ³ .	12 місяців	Свідцтво про повірку робочого засобу вимірювальної техніки № 797-ФХ від 06.04.2016 р. Чинне до 06.04.2017 р.	Є власністю ОДЕКУ

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Аналізатор розчиненого кисню (Кислородомер), АЖА-101М	0041	Діапазони вимірювань: концентрації розчиненого кисню: від 0 до 19,9 мгО ₂ /дм ³ , $\Delta = \pm(0,2 + 0,01C)$ мгО ₂ /дм ³ ; від 0 до 50 мгО ₂ /дм ³ , $\Delta = \pm(0,4 + 0,01C)$ мгО ₂ /дм ³ ; від 0 до 199,9 %О ₂ , $\Delta = \pm(2 + 0,01C)$ %О ₂ ; від 0 до 500 %О ₂ , $\Delta = \pm(4 + 0,01C)$ %О ₂ ; температур: від 0 до 50°C, $\Delta = \pm 0,5^\circ\text{C}$.	Те саме	Свідоцтво про повірку робочого засобу вимірювальної техніки № 798-ФХ від 06.04.2016 р. Чинне до 06.04.2017 р.	Те саме
Апаратура супутникової навігації, GPS72	82335369	Похибка апаратури супутникової навігаційної: <14,8 м.	-//-	Свідоцтво про повірку засобу вимірювальної техніки № 4379/д-ГМ від 25.11.2016 р. Чинне до 25.11.2017 р.	-//-
Барометр-анероїд метеорологічний, БАММ-1	1551	Згідно з МИ 1802-87 в діапазоні від 80 до 106 кПа похибка не перевищує допустимого значення $\pm 0,2$ кПа.	12 місяців	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки № 1863-тд від 25.11.2016 р. Чинне до 25.11.2017р.	Є власністю ОДЕКУ

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Ваги лабораторні електронні, AS 220/C	314449	Діапазон вимірювань: від 0,01 до 220 г. Клас точності: спеціальний (I).	Те саме	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки № 5607-MX від 25.11.2016 р. Чинне до 25.11.2017 р.	Те саме
Гігрометр психрометричний, ВІТ-2	27	Діапазон вимірювань: від 16 до 40°C. Допустима похибка: $\pm 0,2^\circ\text{C}$.	-//-	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки № 3095-гг від 17.11.2016 р. Чинне до 17.11.2017 р.	-//-
Ехолот, Fishfinder 250	50508248	Діапазон вимірювань: від 0,5 до 495 м. Відносна похибка: - 0,7%.	-//-	Свідоцтво про повірку засобу вимірювальної техніки № 4378/д-ГМ від 25.11.2016 р. Чинне до 25.11.2017р.	-//-

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Кондуктометр з датчиком УЕП-Н-С, № 510, ЭКСПЕРТ-002	546	Діпазони вимірювань: від 0,01 мкСм/см до 199,9 мСм/см. $\gamma = \pm 2\%$.	-//-	Свідоцтво про повірку робочого засобу вимірювальної техніки № 667-ФХ від 31.03.2016 р. Чинне до 31.03.2017 р.	-//-
Млинок гідрометричний, ГР-21М	1516	Діпазон вимірювання швидкостей: 0,04-3,94 м/с. Похибка не більше: 0,044%.	24 місяці	Свідоцтво про повірку робочого засобу вимірювальної техніки № 152 від 11.06.2015 р. Чинне до 10.06.2017 р.	Є власністю ОДЕКУ
Млинок гідрометричний, ГР-55	3238	Діпазон вимірювання швидкостей: 0,08-4,28 м/с. Похибка не більше: 0,052%.	Те саме	Свідоцтво про повірку робочого засобу вимірювальної техніки № 153 від 11.06.2015 р. Чинне до 10.06.2017 р.	Те саме

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Набір ареометрів, АОН-1	86, 80, 20, 23, 122, 80, 50, 3	Діапазон вимірювань: 940-1420 кг/м ³ ; $\Delta = \pm 1,0 \text{ кг/м}^3$.	-//-	Свідоцтво про повірку робочого засобу вимірювальної техніки № 3147-ФХ від 10.11.2015 р. Чинне до 10.11.2017 р.	-//-
Нівелір, Н-3	19674	Середня квадратична похибка перевищення на 1 км подвійного ходу не більше 3 мм. Середня квадратична похибка перевищення на станції при відстані від нівеліра до рейок 100 м не більше 2 мм.	12 місяців	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки № 4348-ГМ від 24.11.2016 р. Чинне до 24.11.2017 р.	-//-
pH-метр-мільвольтметр з електродом ЭСКЛ- 08М.1, рН-150 М	0711	Діапазон вимірювань рН: від -1,00 до 14,00 од. рН, -56,5 мВ/рН. Діапазон вимірювань потенціалу: від -1400 до 1400. Границя абсолютної похибки: $\Delta_{\text{рН}} = \pm 0,05 \text{ од. рН}$; $\Delta_{\text{мВ}} = \pm 3 \text{ мВ}$.	Те саме	Свідоцтво про повірку робочого засобу вимірювальної техніки № 666-ФХ від 31.03.2016 р. Чинне до 31.03.2017 р.	-//-

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Рейка водомірна переносна, L = 1000 мм, РВП-III-49	1972455	Діапазон вимірювань: від 0 до 1000 мм. Відхилення від номінального значення довжини шкали рейки і відстаней між будь-якою поділкою та початком (торцевою гранню): мінус 0,5 мм.	24 місяці	Свідоцтво про державну метрологічну атестацію № 206-01- ГМ від 20.11.2015 р.	-//-
Рейка нівелірна, РН-3-3000С	11305276	Діапазон вимірювань: від 0 до 3000 мм. Допустима похибка: $\pm 0,5$ мм/м.	12 місяців	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого ЗВТ № 4350-ГМ від 24.11.2016 р. Чинне до 24.11.2017 р.	Є власністю ОДЕКУ
Рулетка вимірювальна металева, Р10У3К	5095	Діапазон вимірювань: від 0 до 10 м. Допустима похибка: $\pm 2,2$ мм. Клас точності: 3.	Те саме	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого ЗВТ № 2674-ГМ від 08.07.2016 р. Чинне до 08.07.2017 р.	Те саме
Секундомір механічний, СОП пр- 2а	9908	Границі вимірювань: від 0 до 30 хв. Клас: кл. 2.	-//-	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого ЗВТ № 1988-Р від 17.11.2016 р. Чинне до 17.11.2017 р.	-//-

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Термометр скляний мінусовий, ТМ 10-3	9297	Границі вимірювань: від -6 до 41°C. Допустима похибка: від -5 до 0°C ±0,3°C; від 1 до 40°C ±0,2°C.	-//-	Паспортом, складеним ДП «Одесастандарт- метрологія» 01.04.16 р. визнано придатним	-//-
Термометр скляний ртутний, ТТ	122	Границі вимірювань: від 0 до 160°C. Допустима похибка: до 100°C ±1,0°C; більше 100°C ±2,0°C.	-//-	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого ЗВТ № 3096-MX від 25.11.2016 р. Чинне до 25.11.2017 р.	-//-
Термометр скляний ртутний, ТТ	24205 (14205)	Границі вимірювань: від 0 до 160°C. Допустима похибка: до 100°C ±1,0°C; більше 100°C ±2,0°C.	-//-	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого ЗВТ № 3097-ТТ від 17.11.2016 р. Чинне до 17.11.2017 р.	-//-
Термометр лабораторний скляний, ТЛС-4	01980	Границі вимірювань: від 0 до 155°C. Ціна поділки шкали: 0,1°C. Клас точності: перший. Допустима похибка: від 0 до 100°C ±0,2°C; більше 100 до 155°C ±0,3°C.	12 місяців	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки № 3388-ТТ від 09.12.2016 р. Чинне до 09.12.2017р.	Є власністю ОДЕКУ

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Фотометр, КФК-3-0.1	0106938	Спектральний діапазон 315-980 нм. Діапазон вимірювань коефіцієнту пропускання 1-100%Т. Границя допустимого значення основної абсолютної похибки фотометра при вимірюванні коефіцієнтів пропускання $\Delta = \pm 0,5\%T$, границя допустимого значення СКВ окремого наглядання 0,15%. Коефіцієнт пропускання світлофільтру: $K_1 = 12,5\%T$; $K_2 = 84,9\%T$; $K_3 = 672,4$ нм.	Те саме	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки № 4279-оф від 06.05.2016 р. Чинне до 15.11.2017 р.	Те саме
Хроматограф рідинний «Стайер-А» з детектором кондуктометричним CD510 № 5101272, «Стайер-А»	0552	Рівень флуктуаційних шумів не перевищує 6×10^{-12} мСм/см. Дрейф нульового сигналу не перевищує 4 мСм/см/год. Межа детектування (m_{\min} , г) не перевищує 5×10^{-9} г (за хлорид-іоном). Відносне середнє квадратичне відхилення (σ , %) вихідного сигналу не перевищує: за площею піка – 3%, за висотою піка – 3%, за часом утримання – 0,6%. Відносна зміна вихідного сигналу (площ піків) за 8 годин безперервної роботи (δ , %) не перевищує 3%.	-//-	Свідоцтво про повірку законодавчо регульованого засобу вимірювальної техніки № 4822-оф від 05.12.2016 р. Чинне до 05.12.2017 р.	-//-

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Піпетки мірні градуйовані	б/н	Ємність 0,5, 1,0, 2,0, 5,0, 10,0, 25,0 см ³	Не потребує	При випуску з виробництва	-//-
Піпетки мірні з однією позначкою	б/н	Ємність 5,0, 10,0 см ³	Те саме	Те саме	-//-
Циліндри мірні	б/н	Ємність 25, 50, 100, 250, 500, 1000 см ³	-//-	-//-	-//-
Колби мірні	б/н	Ємність 25, 50, 100, 500, 1000 см ³	-//-	-//-	-//-
Шприц медичний	б/н	Ємність 2 см ³	-//-	-//-	-//-
Бюретка	б/н	2-ий клас точності	-//-	-//-	-//-
Випробувальне обладнання (ВО)					
Шафа сушильна, 2В-151	11305482 (інв.)	Робочі температури: 105 ±2°C; 107 ±2°C	12 місяців	Атестат № 2251 ТТ-К від 28.11.2016 р. Термін дії атестату до 28.11.2017 р.	Є власністю ОДЕКУ
Електрична піч лабораторна (муфельна піч), СНОЛ-1,6.2.5.1/9- ИЗ	16213	Робочі температури: 450 ±50°C, 600 ±50°C	Те саме	Атестат № 2252 ТТ-М від 28.11.2016 р. Термін дії атестату до 28.11.2017 р.	Те саме
Допоміжне обладнання (ДО)					
Аквадистиллятор електричний, ДЭ-10	710005	Продуктивність 10 дм ³ /год	Не потребує	При випуску з виробництва	Є власністю ОДЕКУ
Мішалка магнітна, ММ-5	9488	Від 400 до 1200 оГ./хв	Те саме	Те саме	Те саме
Прилад фільтрувальний, ГР-60	12	Об'єм 1 дм ³	-//-	-//-	-//-

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Диск білий (Секкі), ДБ	637	Діаметр 30 см	-/-	-/-	-/-
Циліндр Снеллена, ЦС	б/н	Діаметр 2 см, висота 50 см	-/-	-/-	-/-
Плитка електрична	б/н	220 В, 50 Гц, 1500 Вт, 6 А	-/-	-/-	-/-
Водяна баня	б/н	–	-/-	-/-	-/-
Штатив лабораторний, ШЛ	б/н	–	-/-	-/-	-/-
Щипці тигельні	б/н	–	-/-	-/-	-/-
Щипці муфельні	б/н	–	-/-	-/-	-/-
Пінцет	б/н	–	-/-	-/-	-/-
Гідрометрична лебідка, ПИ-23 (ГНЛ-52), «Нева»	б/н	Довжина тросу до 100 м.	-/-	-/-	-/-
Гідрометричний вантаж рибоподібної форми	б/н	5, 10, 15, 25, 50 кг	-/-	-/-	-/-
Батометр, ГР-16М	б/н	Об'єм 1 дм ³	-/-	-/-	-/-
Батометр, ГР-61М	б/н	Об'єм 3 дм ³	-/-	-/-	-/-
Щуп донний, ГР-69	б/н	Глибина відбору проб не більше 6 м	-/-	-/-	-/-
Штанга гідрометрична	б/н	Довжина 3 м	-/-	-/-	-/-
Відбірник проб донних відкладів (ковшовий), ГР-86	б/н	Глибина відбору проб до 20 м	-/-	-/-	-/-
Захисна оправа для термометра ТМ10-3	б/н	–	-/-	-/-	-/-
Штатив для нівеліра	б/н	–	-/-	-/-	-/-

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Колба конічна	б/н	Ємність 500 см ³	Не потребує	При випуску з виробництва	Є власністю ОДЕКУ
Часове скло	б/н	–	Те саме	Те саме	Те саме
Паперовий фільтр	б/н	«синя стрічка»	-//-	-//-	-//-
Водоструминний насос	–	–	-//-	-//-	-//-
Фільтр	б/н	Діаметр пор 0,45 мкм	-//-	-//-	-//-
Стакан хімічний термостійкий	б/н	–	-//-	-//-	-//-
Ексикатор	б/н	–	-//-	-//-	-//-
Хлоркальцієва трубка	б/н	–	-//-	-//-	-//-
Аерометричний стакан	б/н	Діаметр 6 см	-//-	-//-	-//-
Фарфорові чашки	б/н	–	-//-	-//-	-//-
Термостат рідинний, 1ТЖ-0-03	269	Діапазон температур 25-100°C. Фіксовані значення температур 25,37,45,65,90,100°C. Температурний режим підтримується з точністю ±0,2°C	-//-	-//-	-//-

Продовження таблиці Б.1

1	2	3	4	5	6
Центрифуга лабораторна медична, ОПн-8, з ротором кутовим, РУ1801 ШХ4.078.009 (зав. № 6717)	8278	Діапазон робочої частоти обертання: 1000-8000 об/хв. Максимальна робоча частота обертання: 8000 об/хв. Максимальний фактор розділення: 6600. Максимальний об'єм центрифугата: 180 см ³ . Допустиме приведенне відхилення заданої частоти обертання: не більше $\pm 10\%$ від максимальної робочої частоти обертання.	-//-	-//-	-//-
Холодильник	—	—	-//-	-//-	-//-
Аератор	б/н	—	-//-	-//-	-//-
Човен	—	—	-//-	-//-	-//-

Примітки до форми 3:

1. Повірку млинків гідрометричних ГР-21М (зав. № 1516) та ГР-55 (зав. № 3238) проведено Головним центром технічного обслуговування засобів вимірювання Українського гідрометеорологічного центру. Адреса: Україна, 01601, Київ-30, МСП, вул. Золоторітська, 6Г. Свідоцтво про уповноваження № П 466-2015 від 15.05.2015 р.

2. Повірку інших ЗВТ та атестацію ВО проведено Державним підприємством «Одеський регіональний центр стандартизації, метрології та сертифікації» (ДП «Одесастандартметрологія»). Адреса: Україна, 65014, м. Одеса, вул. Чорноморська, 10. Свідоцтво про уповноваження № ПК 014-2014 від 31.07.2014 р., № ДП 005-2014. Свідоцтво про атестацію № В 013-2009 від 31.07.2014 р.

ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Інформація про штучні водойми в басейні річки Великий Куяльник за даними Облводресурсів за 2012 р.

№ п/п	Назва річки	Назва ставка	Місцезнаходження водотоку в русловій мережі р. Великий Куяльник	Об'єм, млн м ³	Площа водної поверхні, га	Район	Населений пункт	Координати
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Великий Куяльник	Осинівський ставок	Основне русло	–	5.0	Ширяївський	с.Осинівка (Яринославівка)	47.351, 30.230
2	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	–	2.0	Ширяївський	сmt. Ширяєво	47.363, 30.204
3	Великий Куяльник	Ширяївський ставок №1	Основне русло	0.714	51.0	Ширяївський	сmt. Ширяєво	47.392, 30.176
4	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	0.06	1,8	Ананьївський	с. Долинське	47.526, 29.923
5	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	0.008	0.80	Котовський	с. Мала Олександрівка	47.696, 29.628
6	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	–	1.50	Котовський	с. Куяльник	47.726, 29.560
7	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	–	0.90	Котовський	с. Куяльник	47.728, 29.558
8	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.020	2.0	Іванівський	с. Руська Слобідка	46.872, 30.589
9	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.210	14.0	Іванівський	с. Благоево	46.937, 30.650
10	Кошківка	Северинівське водосховище	ліва притока р. В.Куяльник	2.560	1.46	Іванівський	с. Благоево	46.925, 30.665
11	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.06	6.0	Іванівський	с. Гудевічево	46.990, 30.679
12	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.041	4.1	Березівський	с. Розквіт	47.127, 30.593
13	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	3.5	Березівський	с. Розквіт	47.123, 30.607

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	3.5	Березівський	с. Розквіт	47.121, 30.606
15	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.031	3.1	Березівський	с. Розквіт	47.127, 30.601
16	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.009	0.9	Березівський	с. Розквіт	47.127, 30.600
17	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.076	7.6	Березівський	с. Новакове	47.114, 30.592
18	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	2.8	Березівський	с. Новакове	47.118, 30.587
19	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.065	6.5	Іванівський	с. Джуґастрове	47.096, 30.574
20	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	8.2	Березівський	с. Кринички	47.133, 30.578
21	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	1.5	Березівський	с. Котовське	47.160, 30.581
22	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	8.4	Березівський	с. Шутове	47.207, 30.538
23	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	7.0	Березівський	с. Шутове	47.197, 30.540
24	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	0.375	2.1	Березівський	с. Шутове	47.193, 30.542
25	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	2.5	Березівський	с. Шутове	47.188, 30.544
26	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В.Куяльник	–	8.1	Березівський	с. Шутове	47.182, 30.547
27	Г. Глибока (Райкова)	Новомиколаївський ставок № 1	права притока р. Кошківка	0.257	2.33	Іванівський	с. Тарасівка	47.044, 30.542
28	Г. Силівка	Силівське водосховище	ліва притока р. Великий Куяльник	1.40	52.0	Іванівський	с. Силівка	47.099, 30.469

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
29	Г. Таргар	Без назви	права притока Г. Силівка		9,0	Ширяївський	с. Крижанівка	47.231, 30.420
30	Г. Таргар	Без назви	права притока Г. Силівка		28,0	Ширяївський	с. Крижанівка	47.246, 30.421
31	Балка без назви № 4	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	0.066	5.0	Ширяївський	с. Рєвова	47.283, 30.318
32	Балка без назви № 4	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	0.000	7.0	Ширяївський	с. Рєвова	47.312, 30.319
33	Балка без назви № 4	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	–	3.0	Ширяївський	с. Рєвова	47.282, 30.317
34	Балка без назви № 5	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	–	5.0	Ширяївський	с. Йосипівка	47.413, 30.201
35	Г. Суха Журавка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	0.235	15.70	Ширяївський	с. Мар'янівка	47.457, 30.147
36	Балка без назви	Мар'ївський ставок	ліва притока Г. Суха Журавка	–	6.0	Ширяївський	с. Мар'янівка	47.452, 30.160
37	Г. Суха Журавка	Григор'ївський ставок 1	ліва притока р. Великий Куяльник	0.358	26.70	Ширяївський	с. Суха Журавка	47.496, 30.103
38	Г. Суха Журавка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	0.023	20.5	Анан'ївський	с. Ново- олександрівка	47.500, 30.096
39	Г. Суха Журавка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	0.081	8.10	Котовський	с. Оброчне	47.633, 29.821
40	Балка без назви № 7 (Новоселівська)	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.027	2.70	Котовський	с. Новоселівка	47.654, 29.602
41	Г. Карказей	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	0.044	4.40	Котовський	с. Новоселівка	47.647, 29.628
42	Г. Карказей	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	0.005	0.50	Котовський	с. Новоселівка	47.649, 29.625
43	Г. Карказей	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	0.005	0.50	Котовський	с. Новоселівка	47.650, 29.623

Продовження табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
44	Балка без назви № 8	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	–	8.60	Котовський	с. Качурівка	47.633, 29.778
45	Балка без назви № 9	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.036	3.60	Котовський (Подільський)	с. Федорівка	47.642, 29.680
46	Балка без назви № 9	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.008	0.8	Котовський (Подільський)	с. Федорівка	47.642, 29.682
47	Балка без назви № 10	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	0.069	6.9	Котовський	с. Андріївка	47.712, 29.610
48	Балка без назви № 10	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	–	9.59	Котовський	с. Чапаївка	47.722, 29.609
49	Г. Плоска	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.011	1.1	Котовський	с. Розалівка	47.715, 29.572
50	Г. Плоска	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.001	0.1	Котовський	с. Розалівка	47.713, 29.580
51	Г. Плоска	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.006	0.60	Котовський	с. Розалівка	47.714, 29.577
52	Г. Плоска	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.043	4.30	Котовський	с. Розалівка	47.709, 29.589
53	Г. Плоска	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.008	0.80	Котовський	с. Розалівка	47.715, 29.574
54	Г. Плоска	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.041	4.10	Котовський	с. Розалівка	47.707, 29.587
55	Г. Плоска	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	0.001	0.10	Котовський	с. Розалівка	47.712, 29.582
56	Балка без назви	Без назви	права притока Г. Розалівка	0.020	2.0	Котовський	с. Соболівка	47.694, 29.580
57	Балка без назви	Без назви	права притока Г. Розалівка	0.022	2.2	Котовський	с. Соболівка	47.687, 29.593
58	Г. Розалівська	Без назви	права притока Г. Куяльник	0.260	0.90	Котовський	с. Вестерніча- ни	47.717, 29.564
59	Г. Розалівська	Без назви	права притока Г. Куяльник	0.500	0.50	Котовський	с. Вестерніча- ни	47.719, 29.561

Таблиця В.2 – Інформація про штучні водойми в басейні річки Великий Куяльник за супутниковими зйомками

№ п/п	Назва річки	Назва ставка	Місцезнаходження водотоку в руслівній мережі р. Великий Куяльник	Район	Населений пункт	Коор- динати
1	2	3	4	5	6	7
1	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Іванівський	с. Северинівка	46.834, 30.591
2	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Іванівський	с. Северинівка	46.846, 30.582
3	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Іванівський	с. Адамівка	46.868, 30.543
4	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Іванівський	смт. Іванівка	46.963, 30.470
5	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Іванівський	смт. Іванівка	46.996, 30.475
6	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Іванівський	с. Богунове	47.021, 30.465
7	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Ширяївський	с. Мар'янівка	47.431, 30.159
8	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Ширяївський	с. Мар'янівка	47.432, 30.154
9	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Ширяївський	с. Мар'янівка	47.433, 30.136
10	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Ширяївський	с. Мар'янівка	47.442, 30.123
11	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Ширяївський	с. Трудолюбівка	47.459, 30.105

Продовження табл. В.2

1	2	3	4	5	6	7
12	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Ширяївський	с. Трудолюбівка	47.462, 30.099
13	Великий Куяльник	Без назви	Основне русло	Ширяївський	с. Долинське	47.520, 29.954
14	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	Іванівський	с. Калинівка	47.044, 30.646
15	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	Іванівський	с. Соколове	47.091, 30.609
16	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	Ширяївський	с. Маркевичеве	47.161, 30.533
17	Кошківка	Без назви	ліва притока р. В. Куяльник	Ширяївський	с. Червоно-баговиця	47.171, 30.549
18	Г. Глибока (Райкова)	Без назви	права притока р. Кошківка	Іванівський	с. Тарасівка	47.011, 30.595
19	Г. Глибока (Райкова)	Без назви	права притока р. Кошківка	Іванівський	с. Тарасівка	47.026, 30.557
20	Г. Силівка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Іванівський	с. Силівка	47.112, 30.473
21	Г. Силівка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Іванівський	с. Силівка	47.117, 30.463
22	Г. Силівка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Ширяївський	с. Ганно-Покровка	47.133, 30.492
23	Г. Силівка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Березівський	с. Веселе	47.228, 30.489
24	Г. Силівка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Березівський	с. Веселе	47.243, 30.491
25	Г. Силівка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Березівський	с. Веселе	47.235, 30.460
26	Г. Силівка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Березівський	с. Веселе	47.222, 30.461

Продовження табл. В.2

1	2	3	4	5	6	7
27	Г. Таргар	Без назви	права притока Г. Силівка	Ширяївський	с. Новоукраїнка	47.186, 30.459
28	Г. Таргар	Без назви	права притока Г. Силівка	Ширяївський	с. Крижанівка	47.251, 30.421
29	Балка без назви № 2	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Ширяївський	Між селищами Новостепанівка та Новопетрівка-Друга	47.187, 30.388
30	Балка без назви № 2	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Ширяївський	Між селищами Новостепанівка та Новопетрів-ка-Друга	47.190, 30.390
31	Балка без назви № 2	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Ширяївський	с. Польове	47.285, 30.403
32	Балка без назви № 3	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	Ширяївський	Між селами Жовтень та Новопетрівка- Перша	47.212, 30.363
33	Балка без назви «Жовтень»	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Ширяївський	с. Тимофіївка	47.313, 30.357
34	Балка без назви «Жовтень»	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Ширяївський	с. Тимофіївка	47.321, 30.341
35	Балка без назви № 4	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Ширяївський	с. Старі Маяки	47.345, 30.313
36	Г. Суха Журавка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Ширяївський	с. Суха Журівка	47.488, 30.117
37	Г. Суха Журавка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Ананївський	с. Ново-олександрівка	47.535, 30.041
38	Балка без назви	Без назви	ліва притока Г. Суха Журавка	Ананївський	с. Бондарі	47.606, 29.965
39	Балка без назви	Без назви	ліва притока Г. Суха Журавка	Ананївський	с. Пасицели	47.618, 29.939
40	Балка без назви	Без назви	ліва притока Г. Суха Журавка	Ананївський	с. Пасицели	47.613, 29.941

Продовження табл. В.2

1	2	3	4	5	6	7
41	Балка без назви	Без назви	ліва притока Г. Суха Журавка	Котовський (Подільський)	с. Чапаївка	47.672, 29.770
42	Балка без назви	Без назви	ліва притока Г. Суха Журавка	Котовський (Подільський)	с. Чапаївка	47.676, 29.762
43	Г. Суха Журавка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Котовський (Подільський)	с. Вишневе	47.683, 29.736
44	Г. Суха Журавка	Без назви	ліва притока р. Великий Куяльник	Котовський (Подільський)	с. Вишневе	47.690, 29.744
45	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	Котовський (Подільський)	с. Мала Кіндрагівка	47.569, 29.730
46	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	Котовський (Подільський)	с. Мала Кіндрагівка	47.596, 29.716
47	Балка без назви	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	Котовський (Подільський)	с. Мала Петрівка	47.582, 29.769
48	Балка без назви	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	Котовський (Подільський)	с. Мардарівка	47.549, 29.776
49	Балка без назви	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	Котовський (Подільський)	с. Мала Кіндрагівка	47.589, 29.731
50	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	Котовський (Подільський)	с. Петрівка	47.617, 29.673
51	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	Котовський (Подільський)	с. Петрівка	47.627, 29.657
52	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	Котовський (Подільський)	с. Петрівка	47.632, 29.653
53	Балка без назви	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	Котовський (Подільський)	с. Петрівка	47.617, 29.685
54	Балка без назви	Без назви	ліва притока балки без назви № 7	Котовський (Подільський)	с. Петрівка	47.618, 29.684

Продовження табл. В.2

1	2	3	4	5	6	7
55	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	Котовський (Подільський)	с. Новоселівка	47.653, 29.603
56	Балка без назви № 7	Без назви	права притока р. Великий Куяльник	Котовський (Подільський)	с. Новоселівка	47.656, 29.593
57	Балка без назви	Без назви	права притока балки без назви № 7	Котовський (Подільський)	с. Новоселівка	47.644, 29.611
58	Балка без назви	Без назви	права притока балки без назви № 7	Котовський (Подільський)	с. Новоселівка	47.644, 29.601
59	Балка без назви	Без назви	права притока Г. Розалівка	Котовський (Подільський)	с. Розалівка	47.689, 29.612
60	Балка без назви	Без назви	права притока Г. Розалівка	Котовський (Подільський)	с. Розалівка	47.688, 29.613
61	Балка без назви	Без назви	права притока Г. Розалівка	Котовський (Подільський)	с. Розалівка	47.687, 29.593
62	Г. Розалівська	Без назви	права притока Г. Куяльник	Котовський (Подільський)	с. Розалівка	47.695, 29.628

Додаток Г

Гідрохімічна характеристика та якість води в басейні річки Великий Куяльник у 2014 та 2016 роках

Дані про показники хімічного складу води р. В. Куяльник у 2014 р., виміряні ОДЕКУ, представлені в табл. Г.1 та Г.2.

З табл. Г.1 та Г.2 видно, що вода в руслі р. В. Куяльник у червні 2014 р. в дні гідрохімічних спостережень була з середньою прозорістю 0,29 м (від 0,05 до 0,50 м), рН води – 8,17 (від 7,58 до 8,77), належала до слабколужних вод, за мінералізацією – 5,3 г/дм³, була середньосолоною (від 0,5 г/дм³ – в середній течії річки помірно прісна, до 22,4 г/дм³ – в гирлі річки солона), за загальною жорсткістю – 38 ммоль/дм³, належала до дуже жорстких вод (в гирлі річки жорсткість дорівнювала аж 133 ммоль/дм³).

Згідно класифікації поверхневих вод за вмістом у них головних іонів, запропонованої О.О. Альокінім (1946 р.), удосконаленої В.К. Хільчевським і С.М. Курилом (2006 р.), вода у руслі р. В.Куяльник у червні 2014 р. (табл. Г.2), у середньому була хлоридного класу, групи магнію, кальцію та натрію, типу третього, підтипу б, **СІІІ65, 3^{MgN2Ca38}**.

Наявність в групі трьох головних катіонів пояснюється тим, що вміст у воді р. Великий Куяльник кожного з цих іонів в еквівалентній формі є більшим 25 %-екв: $Mg^{2+} = 40$ %-екв, $Na^{+} = 34$ %-екв, $Ca^{2+} = 26$ %-екв. Підтип б вказує на те, що внесок класоутворювального аніону становить менше від 50 до 75 %-екв ($Cl^{-} = 60$ %-екв).

Показники хімічного складу вод в басейні р. В. Куяльник, виміряні ОДЕКУ у листопаді 2016 р., представлені в табл. Г.3 та Г.4 і на рис. Г.1-Г.22.

З табл. Г.3 та Г.4 і рис. Г.1-Г.22 видно, що вода в руслі р. В. Куяльник у листопаді 2016 р. в дні гідрохімічних спостережень була з середньою прозорістю 0,23 м (від 0 до 0,50 м), рН води – 8,47 (від 7,67 до 9,34), тобто належала переважно до слабколужних вод. Мінералізація води в середньому дорівнювала 2,22 г/дм³ – слабосолона (від 0,11 г/дм³ – помірно прісна, у верхній і середній течії річки, до 15,4 г/дм³ – солона, в гирлі річки). За загальною жорсткістю – 18 ммоль/дм³, річкові води належать до дуже жорстких, з максимумом 122 ммоль/дм³ – в гирловій ділянці (кар'єр нижче с. Адамівка).

Концентрації високоопасних речовин (згідно діючого СанПиН 4630-88) у воді р. В. Куяльник дорівнювали:

- літію – в середньому 22,99 мг/дм³ (від 0 до 160 мг/дм³), що 767 разів вище ГДК (0,03 мг/дм³);
- стронцію (стабільного) – в середньому 46,0 мг/дм³ (від 0 до 600 мг/дм³), що в 6,6 разів перевищує ГДК (7,0 мг/дм³);
- натрію – в середньому 471 мг/дм³ (з максимумом 12711 мг/дм³), що в 2,4 рази перевищує ГДК (200,0 мг/дм³);

- нітритів – в середньому $30,4 \text{ мг/дм}^3$ (від 0 до $127,67 \text{ мг/дм}^3$), що в 9,2 разів перевищує ГДК ($3,3 \text{ мг/дм}^3$);
- фторидів – в середньому $4,71 \text{ мг/дм}^3$ (від 0 до $11,67 \text{ мг/дм}^3$), що в 6,7 разів перевищує ГДК ($0,7 \text{ мг/дм}^3$).

Концентрація розчинених органічних речовин у воді річки (РОР), визначена як різниця між сухим та прожареним залишками, в середньому дорівнювала 667 мг/дм^3 , при цьому їх максимальні величини (4694 мг/дм^3) виміряні у воді з кар'єру нижче с. Адамівка в гирловій ділянці р. В. Куяльник.

Згідно класифікації поверхневих вод за вмістом у них головних іонів, запропонованої О.О. Альокіним (1946 р.), удосконаленої В.К. Хільчевським і С.М. Курилом (2006 р.), вода р. В.Куяльник у листопаді 2016 р. (табл. Г.4), у середньому була гідрокарбонатно-сульфатно-хлоридного класу, групи натрію, типу другого, підтипу *в* (). Наявність в класі води трьох головних аніонів пояснюється тим, що вміст у воді кожного з цих іонів в еквівалентній формі відрізняються не більш ніж на 5 %-екв: $\text{HCO}_3^- = 35 \text{ %-екв}$, $\text{SO}_4^- = 35 \text{ %-екв}$, $\text{Cl}^- = 30 \text{ %-екв}$. Підтип *в* вказує на те, що вміст у воді найбільшого класоутворювального аніону є меншим 50 %-екв. З табл. Г.4 видно, що за довжиною річки змінюються не лише підтип і тип вод, але їх група та клас.

З використанням даних про хімічний склад вод р. В. Куяльник та міжвідомчого керівного нормативного документа «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями» було визначено показники якості вод (категорії та класи), які представлені на рис. Г.23-Г.27.

З результатів оцінки якості вод за довжиною р. В. Куяльник у листопаді 2016 р. (рис. Г.23-Г.27) витікає, що клас якості вод змінюється від 2-го (добрі та чисті води) до 5-го (дуже погані та дуже брудні води), дорівнюючи в середньому 3-му класу (задовільні та забруднені води). Найбільш забрудненою є вода на ділянці с. Шерове (7-а категорія, 5-ий клас), а найменш забруднені – в с. Мала Олександрівка (проточний став), с. Долинське та с. Верхній Куяльник (в середньому 3-а категорія та 2-ий клас якості).

Таблиця Г.1 – Показники хімічного складу води у басейні р. В. Куяльник у червні 2014 р. (дані ОДЕКУ)

№ п/п	Показник, його позначення та розмірність	Значення показника у точках вимірювань						Середнє значення показника
		с. Рєвє	с.мт Жєвтенє	с. Софіївка	с. Силівка	гирло		
1	Дата вимірювання	27.06.2014	27.06.2014	27.06.2014	28.06.2014	29.06.2014		
2	Прозорість за диском білим, П _{ДБ} , м	0,50	0,05	0,05	0,35	0,50	0,29	
3	рН, од. рН	7,82	8,14	7,58	8,52	8,77	8,17	
4	Густина, ρ, кг/дм ³	1,00	1,00	1,10	1,00	1,01	1,02	
5	Гідрокарбонат, НСО ₃ ⁻ , мг/дм ³	274,50	305,00	213,50	488,00	183,00	292,80	
6	Сульфат, SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	2,50	55,00	2,50	300,00	300,00	132,00	
7	Хлорид, Cl ⁻ , мг/дм ³	102,79	138,24	164,82	1042,08	13610,88	3011,76	
8	Кальцій, Са ²⁺ , мг/дм ³	77,76	90,18	97,8	140,28	566,13	194,43	
9	Магній, Mg ²⁺ , мг/дм ³	40,98	30,4	56,18	317,74	1275,34	344,13	
10	Натрій та калій, Na ⁺ + K ⁺ , мг/дм ³	5,00	76,12	0,00	262,88	6502,88	1369,38	
11	Сума іонів (мінералізація), ΣI, мг/дм ³	503,53	694,94	534,80	2550,98	22438,22	5344,50	
12	Сухий залишок, СЗ, мг/дм ³	748,00	616,00	748,00	4181,00	26396,00	6537,80	
13	Прожарений залишок, ПЗ, мг/дм ³	571,00	592,00	562,00	3213,00	20720,00	5131,60	
14	Розчинені органічні речовини, РОР, мг/дм ³	177,00	24,00	186,00	968,00	5676,00	1406,20	

Таблиця Г.2 – Характеристика хімічного складу вод в басейні р. В. Куяльник у червні 2014 р. (дані ОДЕКУ) за класифікацією О.О. Альокіна (1946 р.), удосконаленої В.К. Хільчевським і С.М. Курилом (2006 р.)

№ п/п	Положення точки	HCO ₃ ⁻			SO ₄ ²⁻			Cl ⁻			Клас вод (символ класу) за домінуючими аніонами
		мг/дм ³	ммоль/дм ³	%-екв	мг/дм ³	ммоль/дм ³	%-екв	мг/дм ³	ммоль/дм ³	%-екв	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	с. Рєвове	274,50	4,50	60	2,50	0,05	1	102,79	2,90	39	гідрокарбонатний (C)
2	смт Жовтень	305,00	5,00	50	55,00	1,15	11	138,24	3,90	39	гідрокарбонатний (C)
3	с. Софіївка	213,50	3,50	43	2,50	0,05	1	164,82	4,65	57	хлоридний (Cl)
4	с. Силівка	488,00	8,00	18	300,00	6,25	14	1042,08	29,39	67	хлоридний (Cl)
5	гирло	183,00	3,00	1	300,00	6,25	2	13610,88	383,91	98	хлоридний (Cl)
№ п/п	Положення точки	Ca ²⁺			Mg ²⁺			Na ⁺			Група вод (символ групи) за домінуючими катіонами
		мг/дм ³	ммоль/дм ³	%-екв	мг/дм ³	ммоль/дм ³	%-екв	мг/дм ³	ммоль/дм ³	%-екв	
1	2	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	с. Рєвове	77,76	3,88	52	40,98	3,37	45	5,00	0,22	3	кальцію і магнію (Ca, Mg)
2	смт Жовтень	90,18	4,50	44	30,40	2,50	24	76,13	3,31	32	кальцію і натрію (Ca, Na)
3	с. Софіївка	97,80	4,88	51	56,18	4,62	49	0,00	0,00	0	кальцію і магнію (Ca, Mg)
4	с. Силівка	140,28	7,00	16	317,74	26,15	59	262,88	11,43	26	магнію і натрію (Mg, Na)
5	гирло	566,13	28,25	7	1275,34	104,94	25	6502,88	282,86	68	натрію і магнію (Na, Mg)

Продовження табл. Г.2

№ п/п	Положення точки	Тип вод (символ типу)	Підтип вод (символ підтипу)	Мінералізація води, г/дм ³	Загальна жорсткість, ммоль/дм ³	Символ хімічного складу води
1	2	23	24	25	26	27
1	с. Рєзове	III	в	0,5	7	CaMg_7 $\text{III}_{60,5}$
2	сміт Жовтень	III	в	0,7	7	CaNa_7 $\text{III}_{60,7}$
3	с. Софіївка	III	б	0,5	10	CaMg_{10} $\text{III}_{60,5}$
4	с. Силівка	III	б	2,6	33	MgNa_{33} $\text{III}_{60,5}$
5	гирло	III	а	22,4	133	NaMg_{133} $\text{III}_{22,4}$

Таблиця Г.3 – Показники хімічного складу вод в басейні р. В. Куяльник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

№ п/ п	Місцеположення точки	Гідрокарбонати , мг/дм ³	Сульфати , мг/дм ³	Хлориди , мг/дм ³
1	2	3	4	5
1	гирло р. В. Куяльник	225,85	721,60	1655,28
2	с. Северинівка	343,24	922,30	811,97
3	нижче с. Адамівка, кар'єр	170,86	5155,55	3490,60
4	нижче с. Верхній Куяльник	549,18	132,87	895,79
5	с. Верхній Куяльник	346,29	147,78	103,20
6	сmt Іванівка	482,06	1047,02	680,50
7	с. Шерове	585,79	1282,40	1044,13
8	с. Сирітське Перше	361,54	616,82	378,27
9	с. Софіївка	516,62	529,02	324,71
10	с. Новопетрівка Перша	180,01	112,30	10,42
11	нижче сmt Жовтень	137,30	114,20	16,04
12	с. Яринославка	137,30	1105,90	509,42
13	нижче сmt Ширяєве	451,55	429,20	295,97
14	сmt Ширяєве, водосховище	347,81	490,40	259,88
15	вище сmt Ширяєве	506,47	1165,90	295,30
16	с. Подільці	585,79	870,13	495,27
17	с. Мар'янівка	787,16	629,27	349,83
18	с. Григорівка	594,95	482,26	142,91
19	с. Долинське	523,55	278,05	109,80
20	вище с. Долинське	488,16	177,04	71,08
21	с. Велика Кіндратівка	340,49	412,28	268,97
22	с. Мала Олександрівка, ставок	558,33	145,98	239,57
23	с. Куяльник, нижній ставок	622,40	156,40	230,37
24	с. Куяльник, верхній ставок	774,95	146,80	95,92
25	с. Вестерничани, нижній ставок	749,32	230,70	108,14
26	с. Вестерничани, верхній ставок	550,71	264,00	62,39
27	верхів'я, сmt Подільськ	840,85	168,00	114,53
28	с. Федорівка, ставок	1502,92	351,10	119,78
29	с. Новоселівка, верхній ставок	1435,80	428,00	97,43
30	с. Новоселівка, нижній ставок	1202,09	156,28	489,80
31	с. Новоселівка, середній ставок	1036,12	165,24	358,91
32	ставок вище с. Суха Журівка	295,95	1185,40	254,38

Продовження табл. Г.3

№ п/п	Кальцій, мг/дм ³	Магній, мг/дм ³	Натрій, мг/дм ³	Сума іонів, мг/дм ³	Азот амонійний, мг/дм ³	Нітрити, мг/дм ³
1	6	7	8	9	10	11
1	240,68	216,22	1053,19	4112,81	14,03	34,86
2	169,34	144,33	785,16	3176,34	20,74	0,00
3	623,75	1108,88	3517,92	14067,56	0,00	127,67
4	252,82	245,63	1108,45	3184,74	12,04	17,94
5	36,25	34,23	103,53	771,28	0,72	26,42
6	195,89	182,71	702,42	3290,60	29,25	23,82
7	267,71	272,83	856,07	4308,93	15,78	42,12
8	0,00	5,12	401,26	1763,01	12,39	17,76
9	159,89	106,90	381,69	2018,83	12,90	32,88
10	50,17	18,18	39,21	410,29	19,02	21,37
11	61,47	16,41	39,71	385,13	19,90	21,59
12	251,10	176,34	429,95	2610,01	13,70	40,28
13	211,37	68,82	264,28	1721,19	61,21	29,98
14	74,29	83,37	264,00	1519,75	14,09	27,20
15	405,04	115,41	315,03	2803,15	16,77	33,93
16	382,42	152,67	0,00	2486,28	0,65	38,77
17	17,11	5,50	280,79	2069,66	0,00	37,15
18	7,60	1,10	148,82	1377,64	19,86	24,98
19	166,98	55,08	156,84	1290,30	14,64	27,41
20	114,18	27,68	104,47	982,61	15,15	20,81
21	55,44	61,11	347,93	1486,22	29,21	27,49
22	45,88	39,43	292,15	1321,34	0,00	23,06
23	83,93	47,82	330,29	1471,21	29,09	26,94
24	149,27	46,94	210,56	1424,44	27,63	24,50
25	30,83	21,98	307,65	1448,62	25,56	22,61
26	100,69	44,11	245,25	1267,15	13,80	22,70
27	5,98	3,80	24,58	1157,74	28,65	26,85
28	50,63	59,27	600,46	2684,16	22,31	26,00
29	21,81	38,89	738,37	2760,30	13,77	27,80
30	17,57	79,13	705,17	2650,04	18,09	47,11
31	3,46	3,04	516,18	2082,95	0,82	26,63
32	453,86	104,73	262,33	2556,65	0,00	30,57

Продовження табл. Г.3

№ п/п	Нітрати, мг/дм ³	Фосфор фосфатів, мг/дм ³	Фториди, мг/дм ³	Калій, мг/дм ³	Літій, мг/дм ³	Стронцій, мг/дм ³
1	12	13	14	15	16	17
1	0,00	3,41	0,24	60,94	55,50	72,73
2	0,00	0,00	0,00	41,16	31,64	0,00
3	0,00	13,50	9,70	87,86	159,59	2,29
4	0,00	0,00	9,40	56,09	31,39	0,00
5	10,48	0,00	0,00	22,23	4,69	600,47
6	10,27	0,00	10,59	64,70	35,10	1,33
7	0,00	57,21	11,67	48,26	39,59	52,15
8	0,00	0,00	0,00	20,61	12,07	49,16
9	0,00	0,00	9,92	24,21	13,27	0,00
10	1,22	14,56	9,13	68,28	9,72	38,44
11	3,55	22,09	9,16	50,68	5,49	7,82
12	0,00	19,31	0,00	105,15	15,03	1,85
13	0,10	0,00	0,00	91,09	12,66	0,00
14	2,31	20,62	0,00	28,59	7,64	0,04
15	0,00	0,00	0,00	107,03	9,09	89,85
16	0,00	0,00	0,00	35,10	0,00	22,86
17	0,00	0,00	0,00	38,10	31,22	0,00
18	0,19	14,68	0,00	31,55	10,81	6,40
19	0,00	93,02	0,00	25,30	20,28	0,00
20	0,41	78,94	10,01	33,22	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	59,83	34,90	39,48
22	0,00	17,57	0,00	43,95	36,23	0,00
23	0,00	20,21	9,17	71,44	13,64	0,00
24	3,71	17,35	9,10	82,69	12,36	149,52
25	1,40	16,03	9,32	49,77	10,35	108,48
26	2,01	15,60	10,81	53,31	8,50	0,00
27	0,00	18,65	9,02	33,23	0,00	0,00
28	0,00	0,00	9,82	73,80	78,95	0,00
29	0,00	0,00	10,30	31,90	89,50	0,00
30	0,00	0,00	9,84	0,00	68,74	59,49
31	0,00	0,00	9,71	24,93	55,47	33,24
32	0,00	0,00	0,00	43,46	31,83	0,00

Продовження табл. Г.3

№ п/п	Сухий залишок, мг/дм ³	Мінералізація, мг/дм ³	Розчинені органічні речовини, мг/дм ³	ПЕП, мСм/см
1	18	19	20	21
1	6548	4816	1732	9,14
2	3526	2757	769	5,16
3	20093	15399	4694	22,86
4	5396	4454	942	6,98
5	597	454	143	0,96
6	3569	2759	810	4,96
7	4737	3607	1130	6,95
8	2314	1767	547	3,37
9	2174	1671	503	3,14
10	522	182	340	0,34
11	185	113	72	0,34
12	3432	2643	789	4,34
13	1965	1572	393	2,76
14	1699	1305	394	2,46
15	3010	2569	441	3,74
16	3617	2678	939	4,47
17	2859	2164	695	3,73
18	1440	1156	284	2,12
19	1230	975	255	1,81
20	799	535	264	1,25
21	1713	1298	415	2,57
22	1116	922	194	1,92
23	1219	878	341	2,03
24	1084	865	219	1,70
25	1125	897	228	1,74
26	966	705	261	1,57
27	1151	935	216	1,82
28	2240	1742	498	3,24
29	2316	1861	455	3,22
30	2411	1841	570	3,81
31	1653	1417	236	2,94
32	3412	2636	776	3,86

Продовження табл. Г.3

№ п/п	Густина, кг/дм ³	Завислі речовини (мутність), мг/дм ³	Прозорість за шрифтом, см	рН, од. рН	Кольоровість, °
1	22	23	24	25	26
1	1,01	11,41	26,4	8,45	20,57
2	1,00	10,43	50,0	8,37	25,08
3	1,01	22,61	40,0	9,34	12,19
4	1,00	2,31	50,0	8,38	51,27
5	1,00	18,37	7,5	8,94	9,03
6	1,00	11,49	15,0	8,20	41,83
7	1,00	337,48	4,5	8,28	73,33
8	1,00	411,60	1,5	8,69	25,40
9	1,00	7,14	39,0	8,33	29,46
10	1,00	78,55	8,5	8,06	33,82
11	1,00	4136,43	0,0	7,93	29,27
12	1,00	22,71	3,5	8,12	13,61
13	1,00	46,49	6,0	8,31	40,31
14	1,00	191,73	1,5	8,57	22,44
15	1,00	11,69	16,0	8,31	39,23
16	1,00	31,89	50,0	8,17	58,12
17	1,00	0,00	50,0	8,19	23,08
18	1,00	0,00	50,0	8,68	16,32
19	1,00	0,00	50,0	8,51	12,71
20	1,00	41,27	19,5	8,92	9,68
21	1,00	21,60	2,5	7,67	18,83
22	1,00	0,00	17,5	8,54	18,31
23	1,00	0,00	9,5	8,51	23,79
24	1,00	1696,69	0,0	7,81	56,82
25	1,00	0,00	50,0	8,75	12,77
26	1,00	44,85	21,0	8,34	11,55
27	1,00	0,00	37,5	8,69	22,31
28	1,00	0,00	16,0	9,83	53,00
29	1,00	18,53	3,0	8,87	41,61
30	1,00	0,00	29,5	9,51	15,28
31	1,00	0,00	12,0	9,67	15,86
32	1,00	35,48	26,0	8,41	13,42

Продовження табл. Г.3

№ п/п	Вид запаху при 20°C	Інтенсивність запаху при 20°C, бал	Вид запаху при 60°C	Інтенсивність запаху при 60°C, бал
1	27	28	29	30
1	трав'янистий	2	трав'янистий	3
2	землистий	1	землистий	1
3	землистий	1	землистий	2
4	землистий	1	землистий	1
5	землистий	1	землистий	1
6	землистий	1	землистий	1
7	землистий	1	трав'янистий	3
8	землистий	1	землистий	1
9	землистий	1	землистий	3
10	землистий	1	землистий	2
11	землистий	1	землистий	1
12	трав'янистий	1	землистий	2
13	трав'янистий	1	трав'янистий	2
14	трав'янистий	1	трав'янистий	2
15	землистий	1	землистий	2
16	трав'янистий	1	трав'янистий	2
17	невизначений	1	трав'янистий	1
18	невизначений	1	землистий	1
19	трав'янистий	1	затхлий	2
20	невизначений	1	трав'янистий	1
21	невизначений	1	затхлий	2
22	невизначений	1	трав'янистий	1
23	невизначений	1	трав'янистий	2
24	гнилістний	4	гнилісний	4
25	невизначений	1	невизначений	1
26	невизначений	1	невизначений	1
27	невизначений	1	землистий	2
28	трав'янистий	1	трав'янистий	2
29	трав'янистий	1	затхлий	2
30	невизначений	1	трав'янистий	2
31	невизначений	1	пліснявий	2
32	невизначений	1	трав'янистий	2

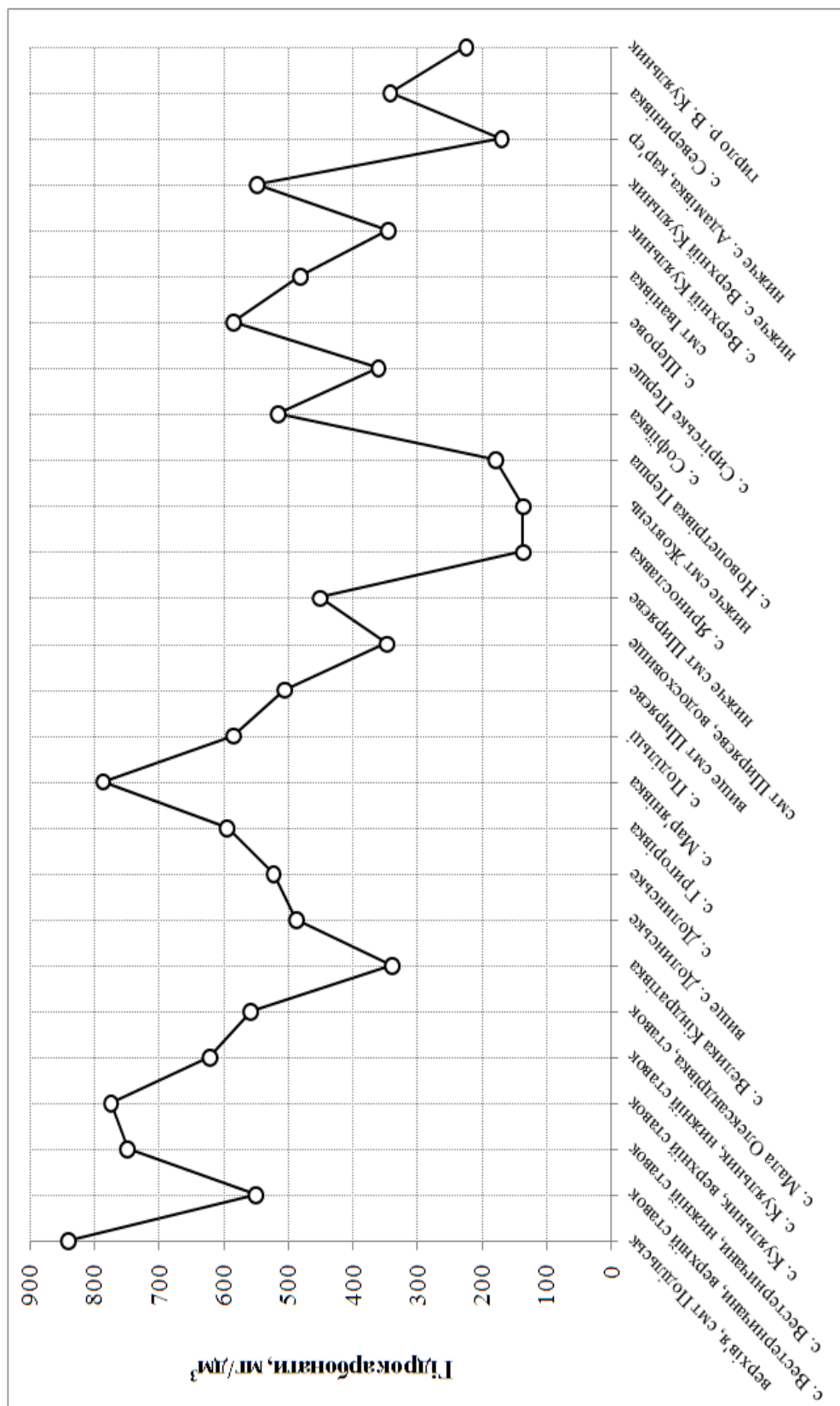


Рисунок Г.1 – Мінливість концентрації гідрокарбонатів (мг/дм³) за довжиною р. В. Куяльник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

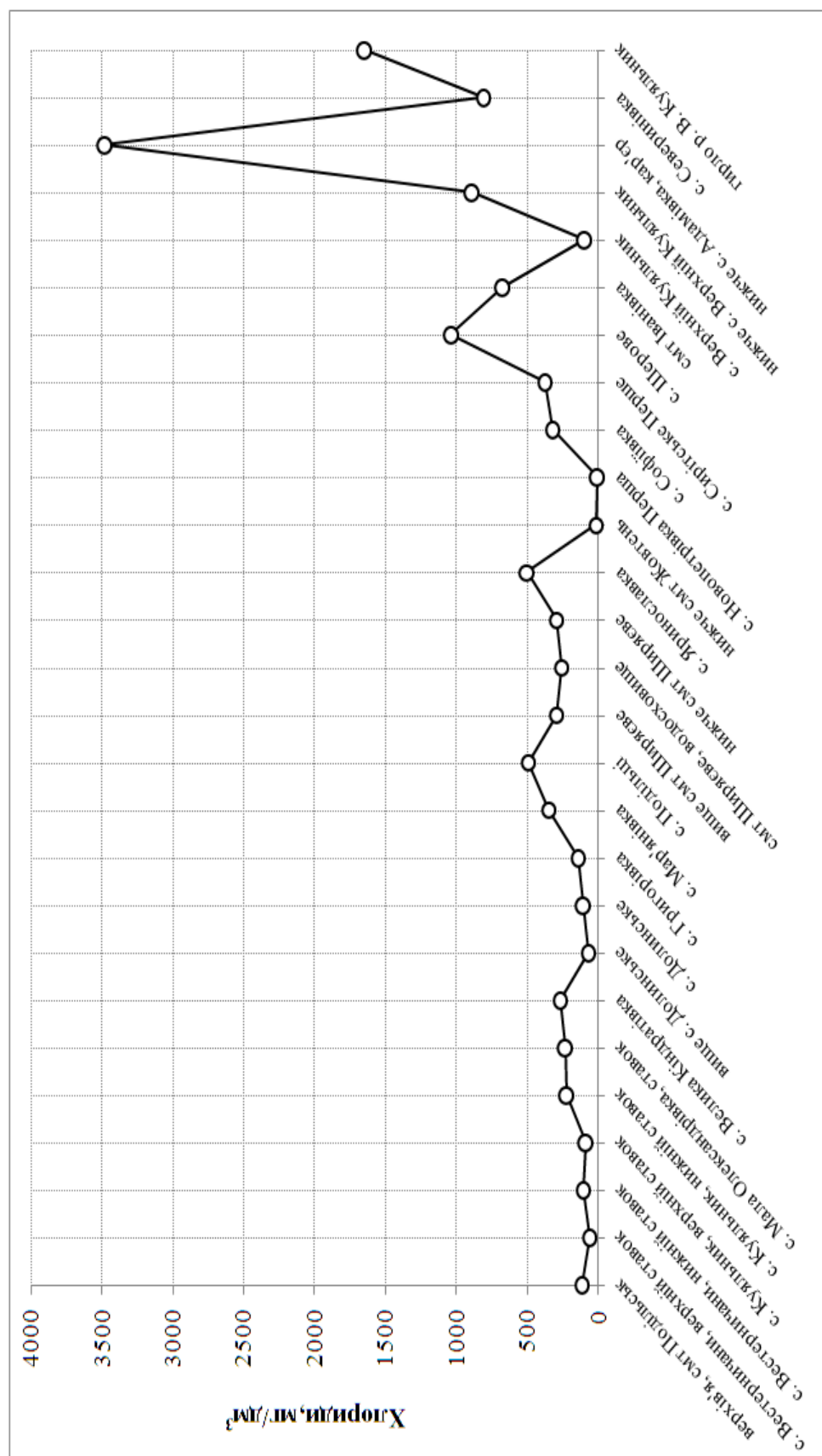


Рисунок Г.3 – Мінливість концентрації хлоридів (мг/дм³) за довжиною р. В. Куляник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

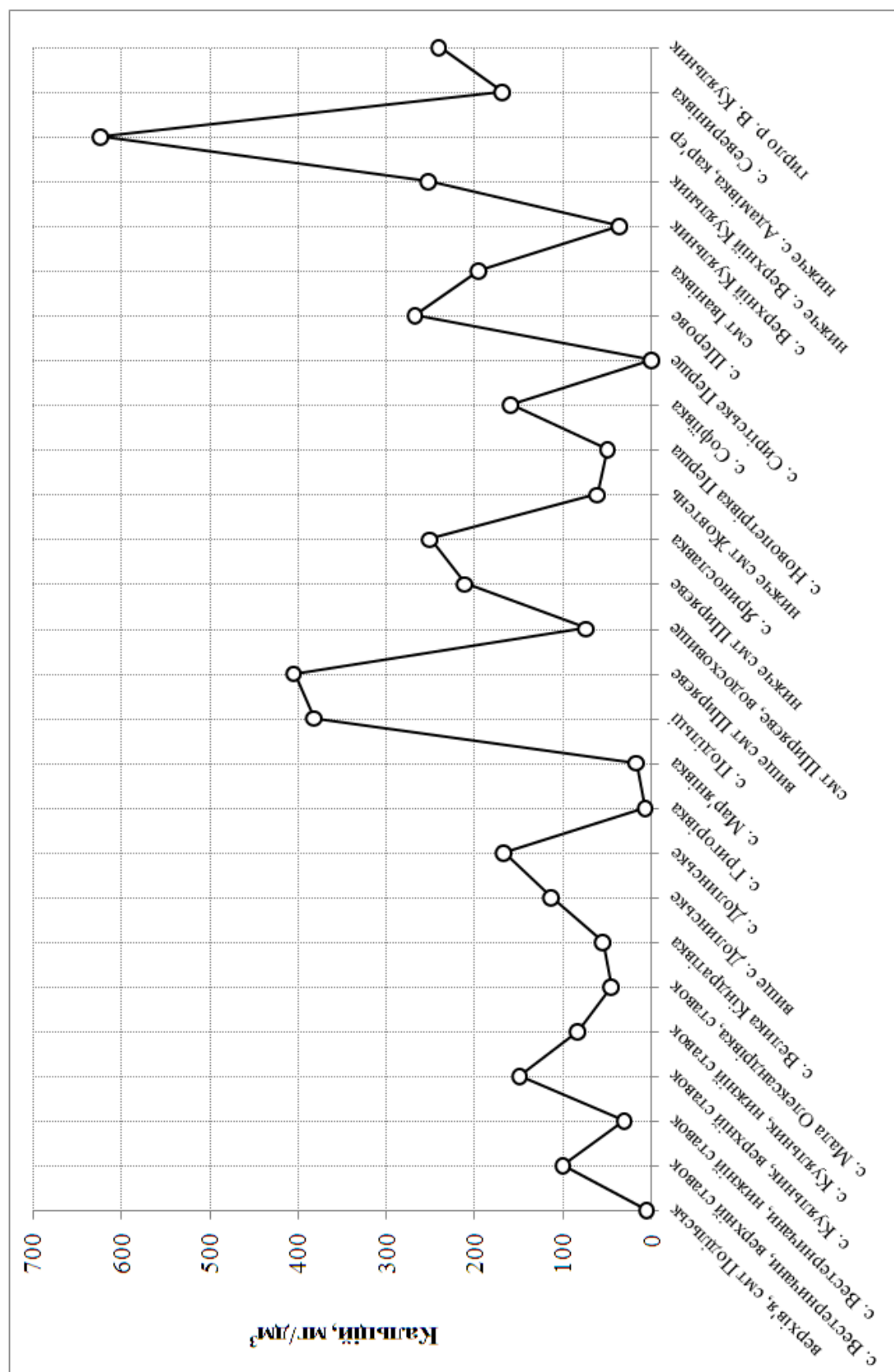


Рисунок Г.4 – Мінливість концентрації кальцію (мг/дм³) за довжиною р. В. Куйальник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

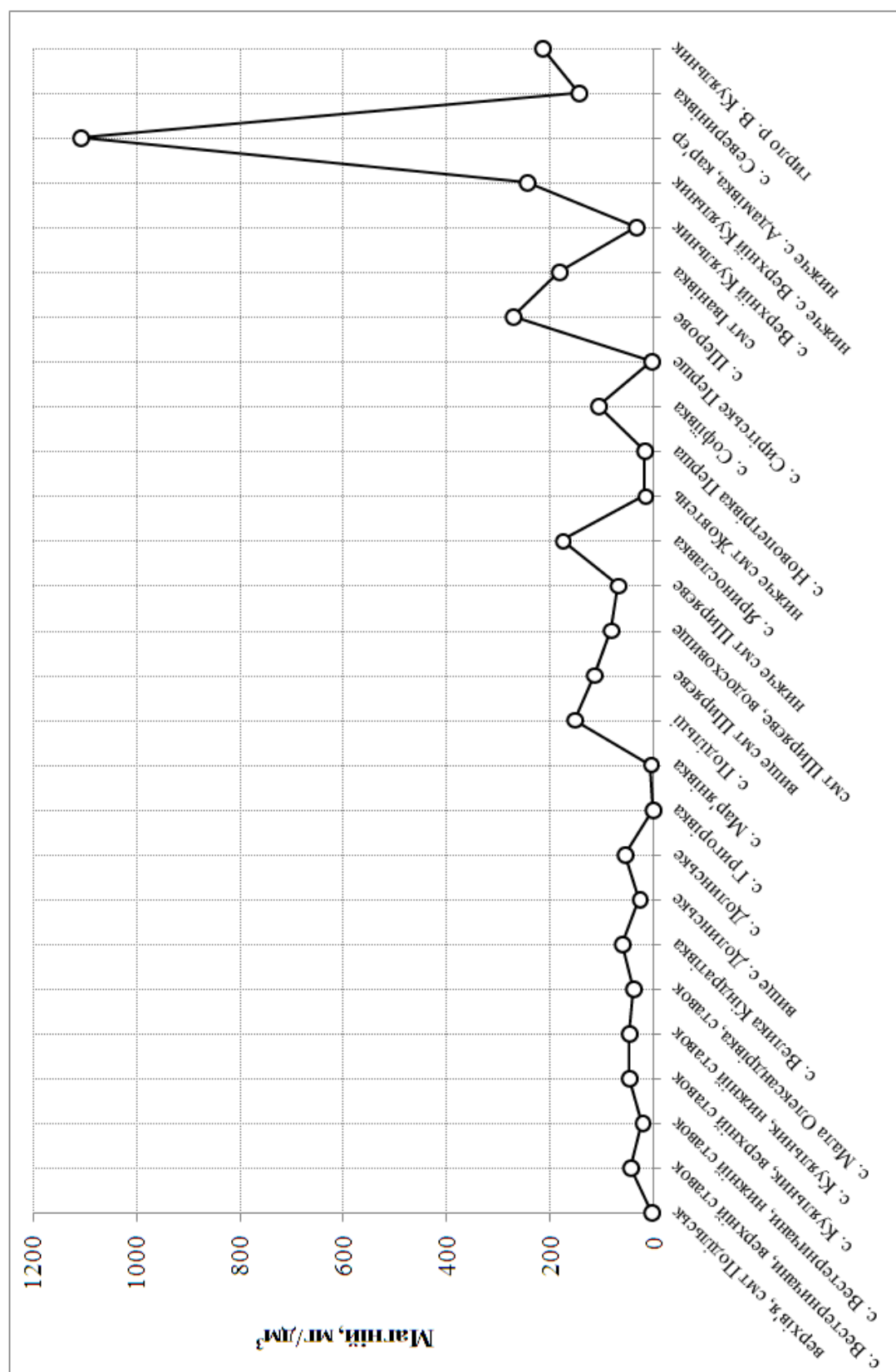


Рисунок Г.5 – Мінливість концентрації магнію (мг/дм³) за довжиною р. В. Кузальник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

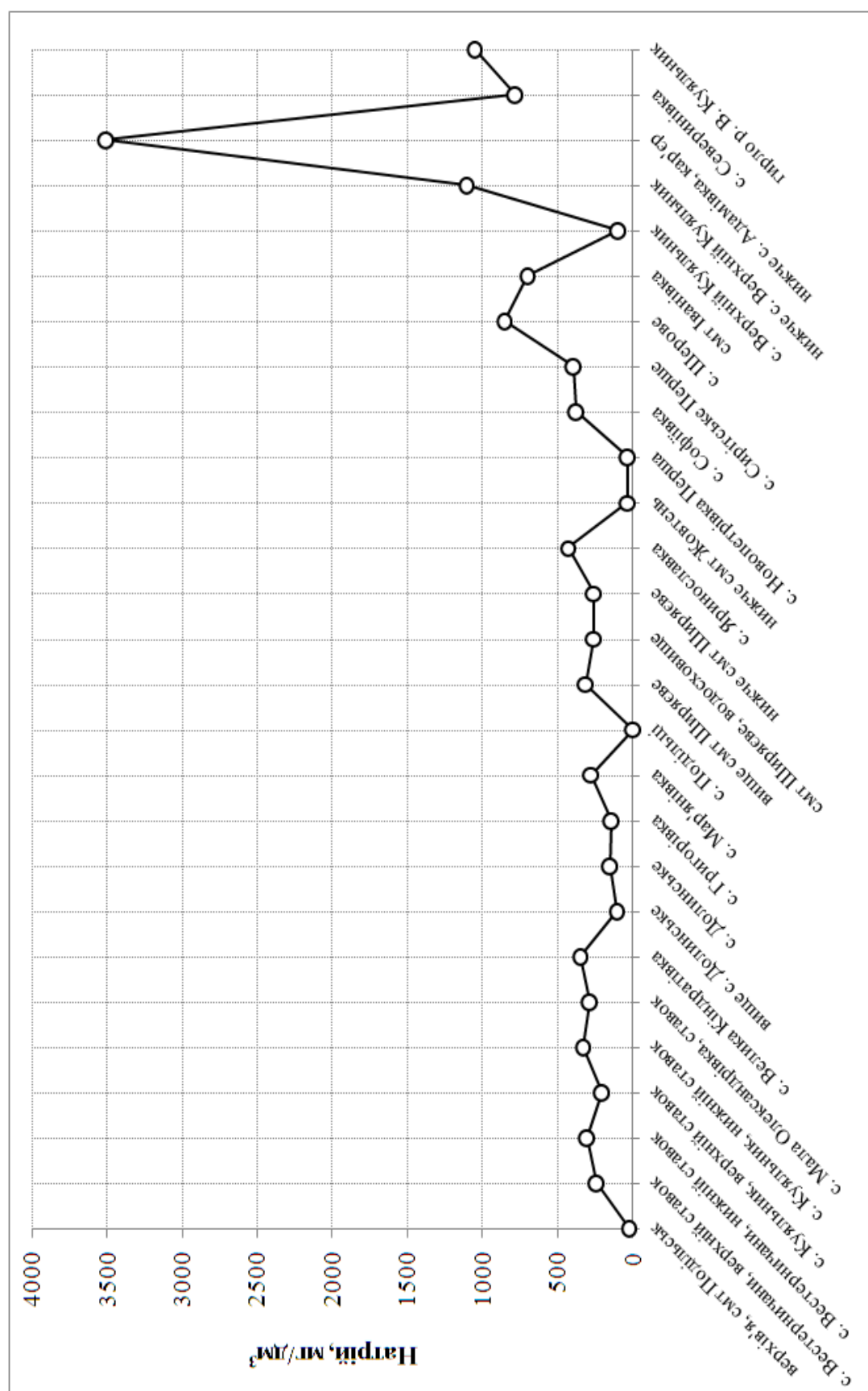


Рисунок Г.6 – Мінливість концентрації натрію (мг/дм³) за довжиною р. В. Кулябник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

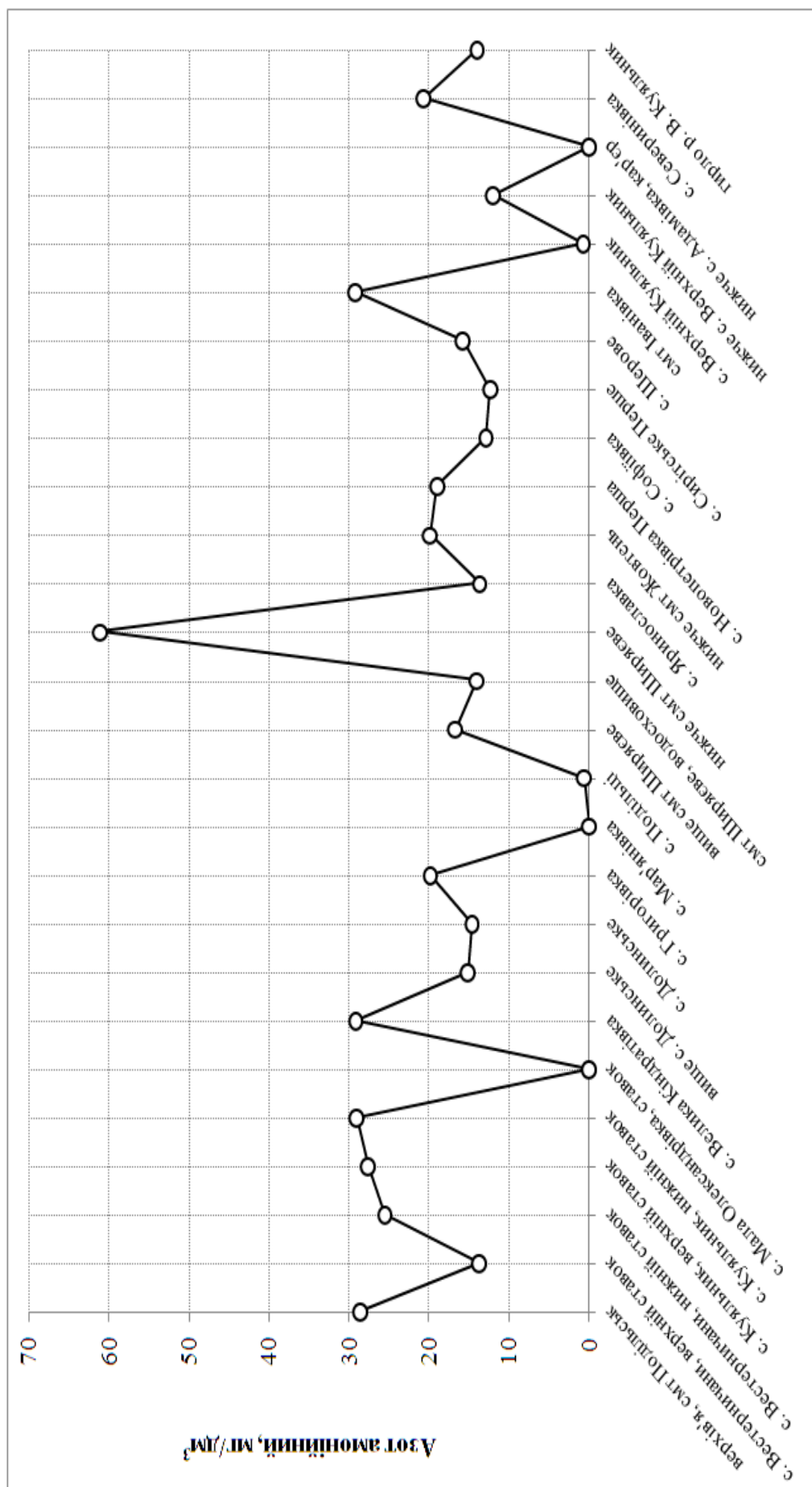


Рисунок Г.7 – Мінливість концентрації азоту амонійного (мг/дм³) за довжиною р. В. Кузальник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

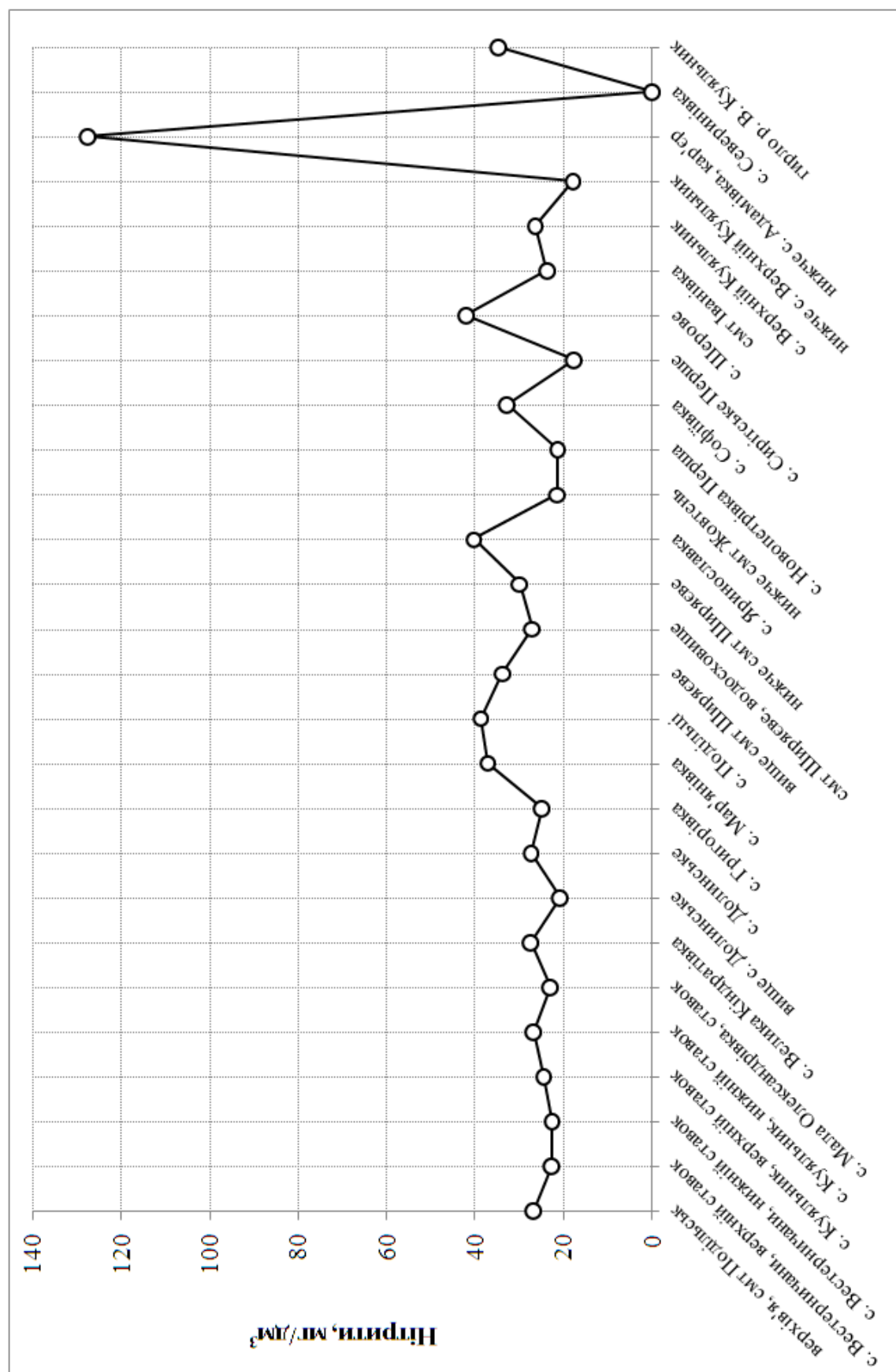


Рисунок Г.8 – Мінливість концентрації нітрів (мг/дм³) за довжиною р. В. Кулябник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

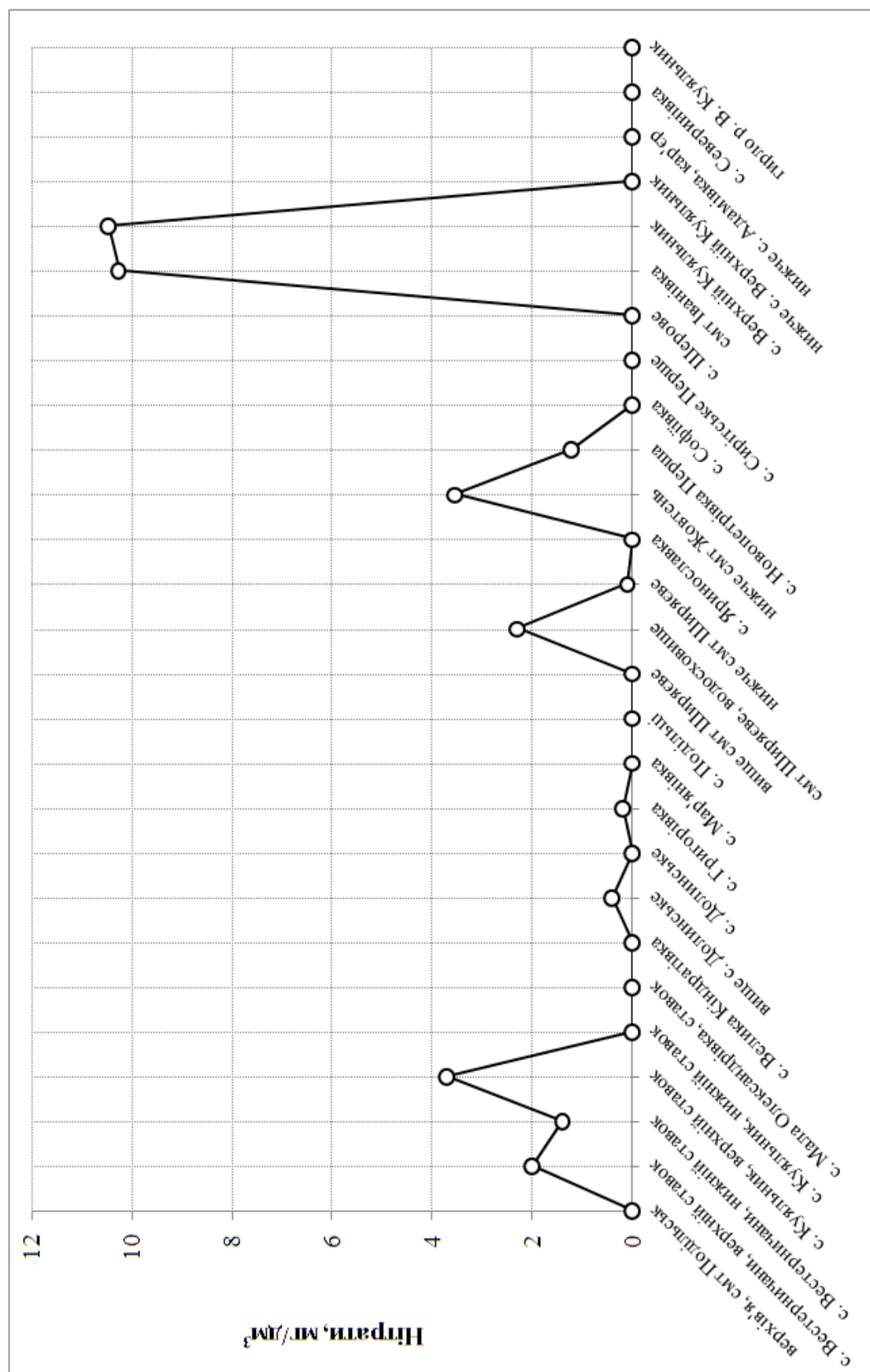


Рисунок Г.9 – Мінливість концентрації нітратів (мг/дм³) за довжиною р. В. Кудальник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

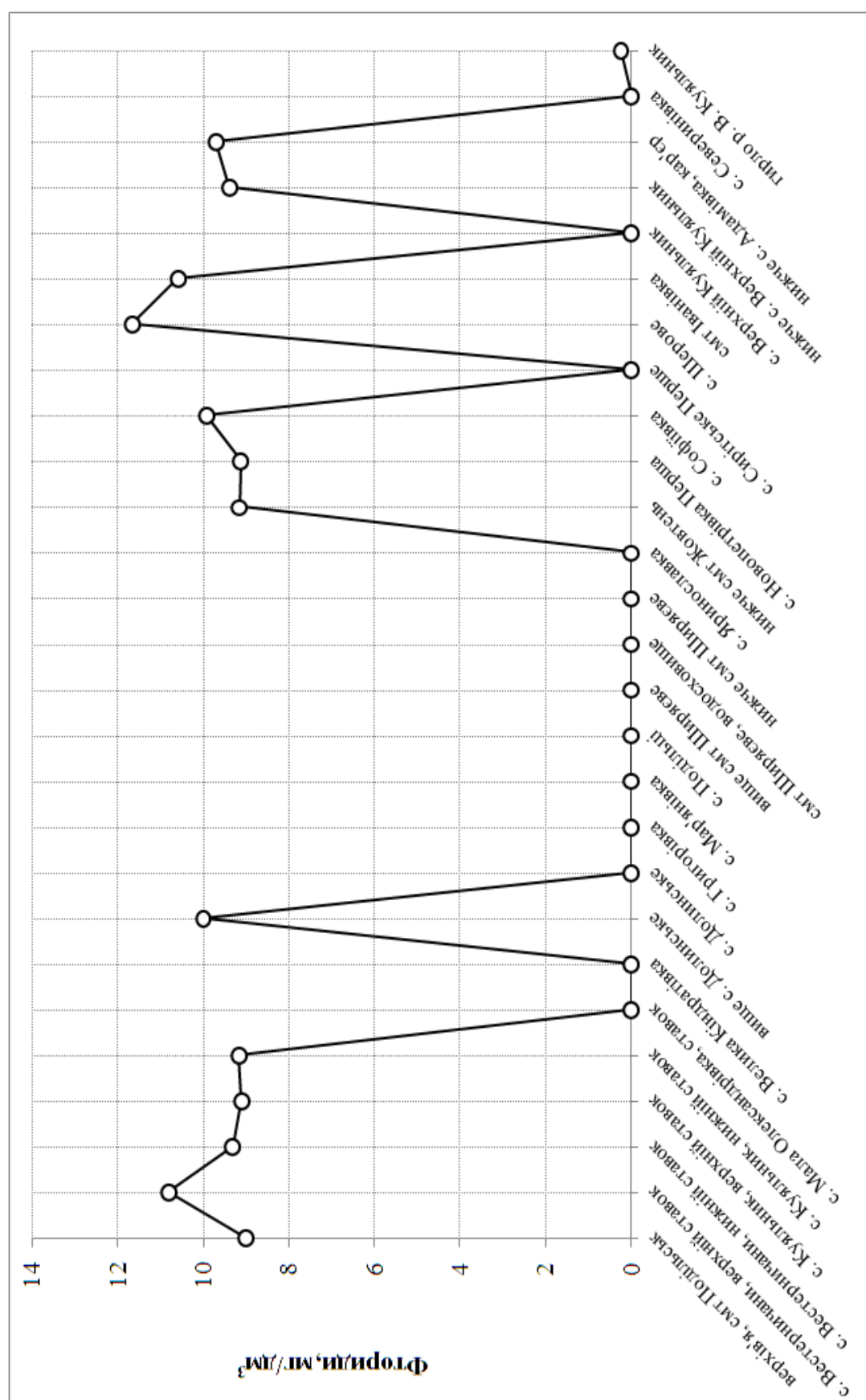


Рисунок Г.11 – Мінливість концентрації фторидів (мг/дм³) за довжиною р. В. Куяльник у листопаді 2016 р.
(дані ОДЕКУ)

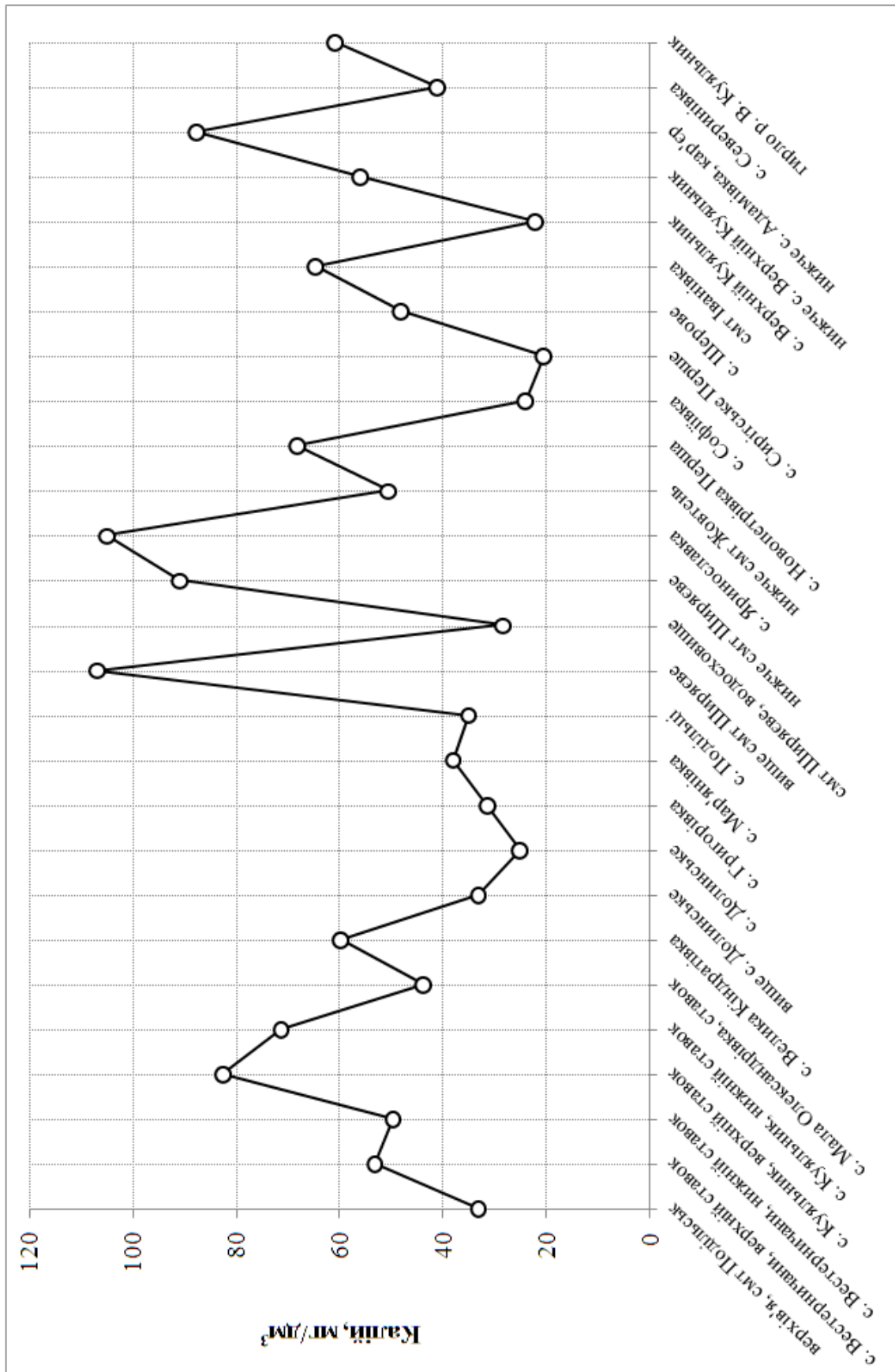


Рисунок Г.12 – Мінливість концентрації калію (мг/дм³) за довжиною р. В. Кулябник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

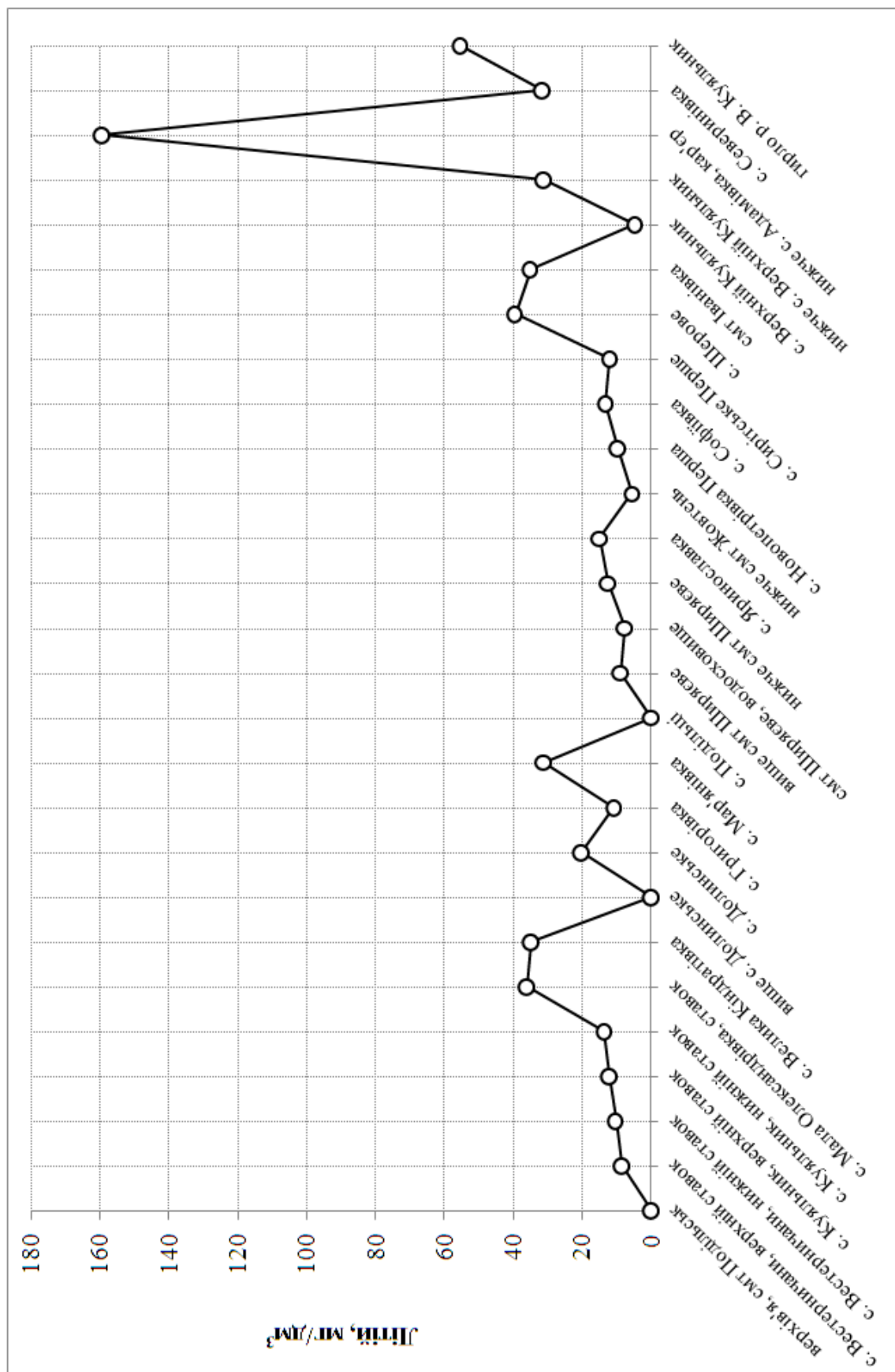


Рисунок Г.13 – Мінливість концентрації літію (мг/дм³) за довжиною р. В. Куяльник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

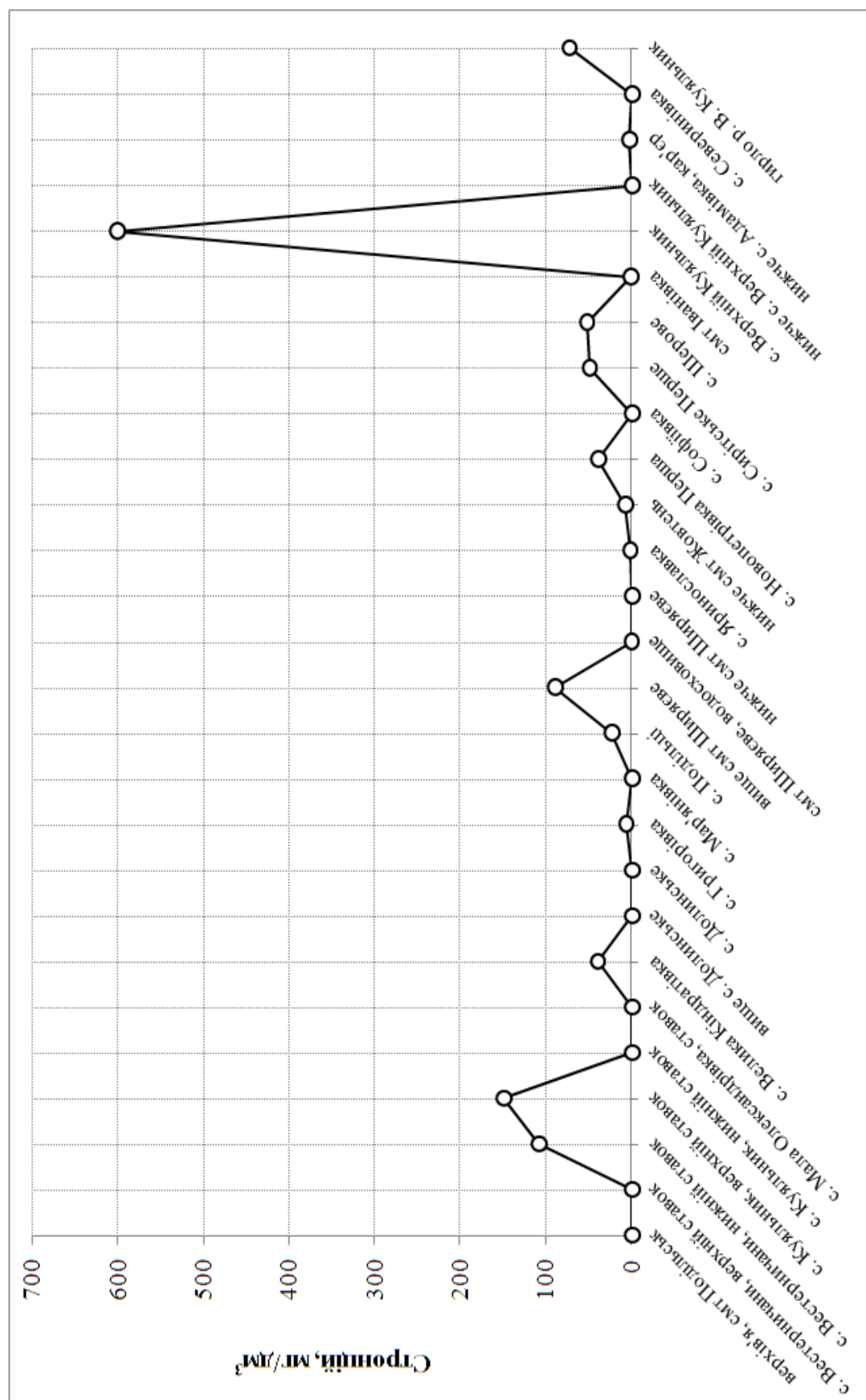
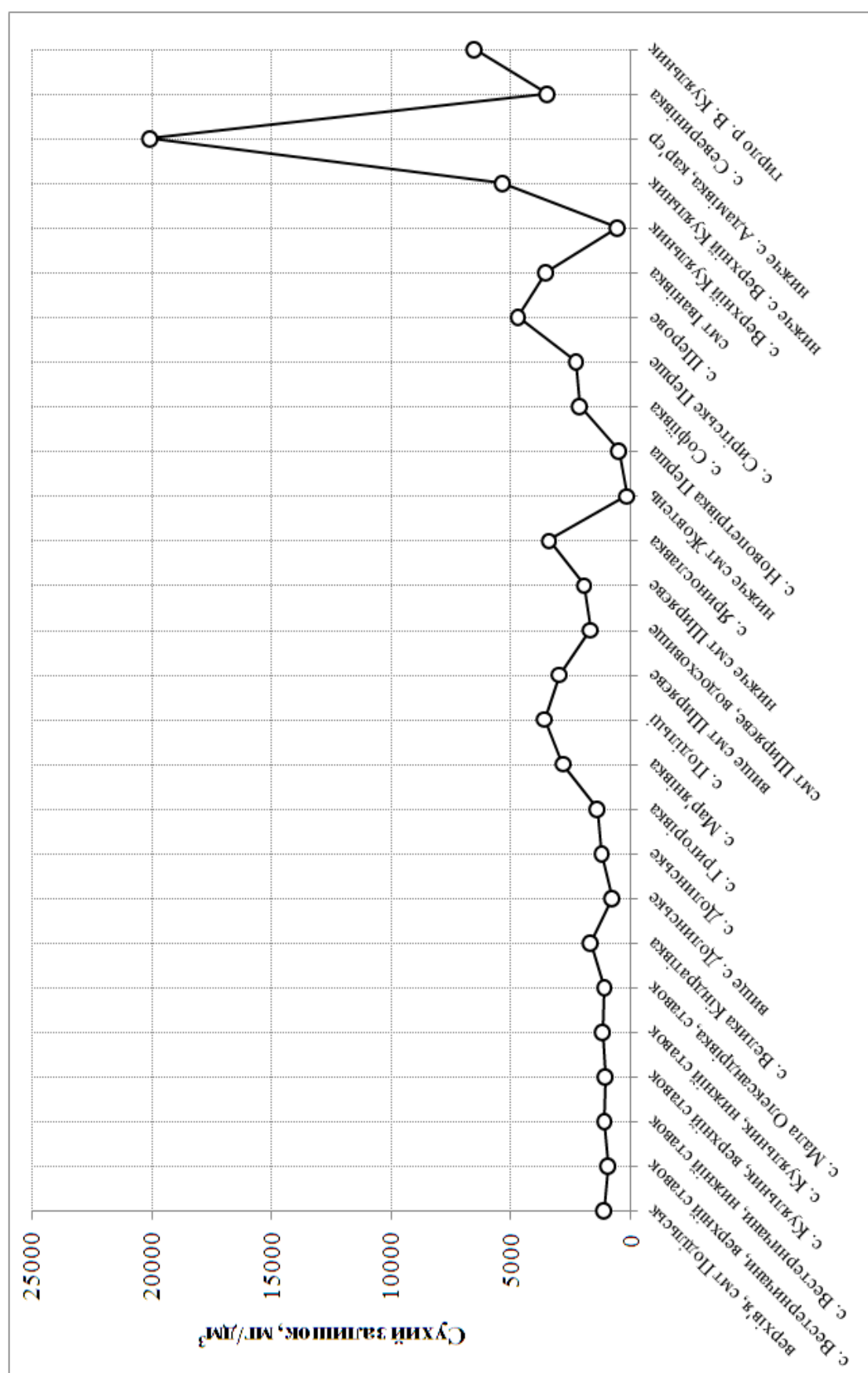


Рисунок Г.14 – Мінливість концентрації стронцію стабільного (мг/дм³) за довжиною р. В. Куйальник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)



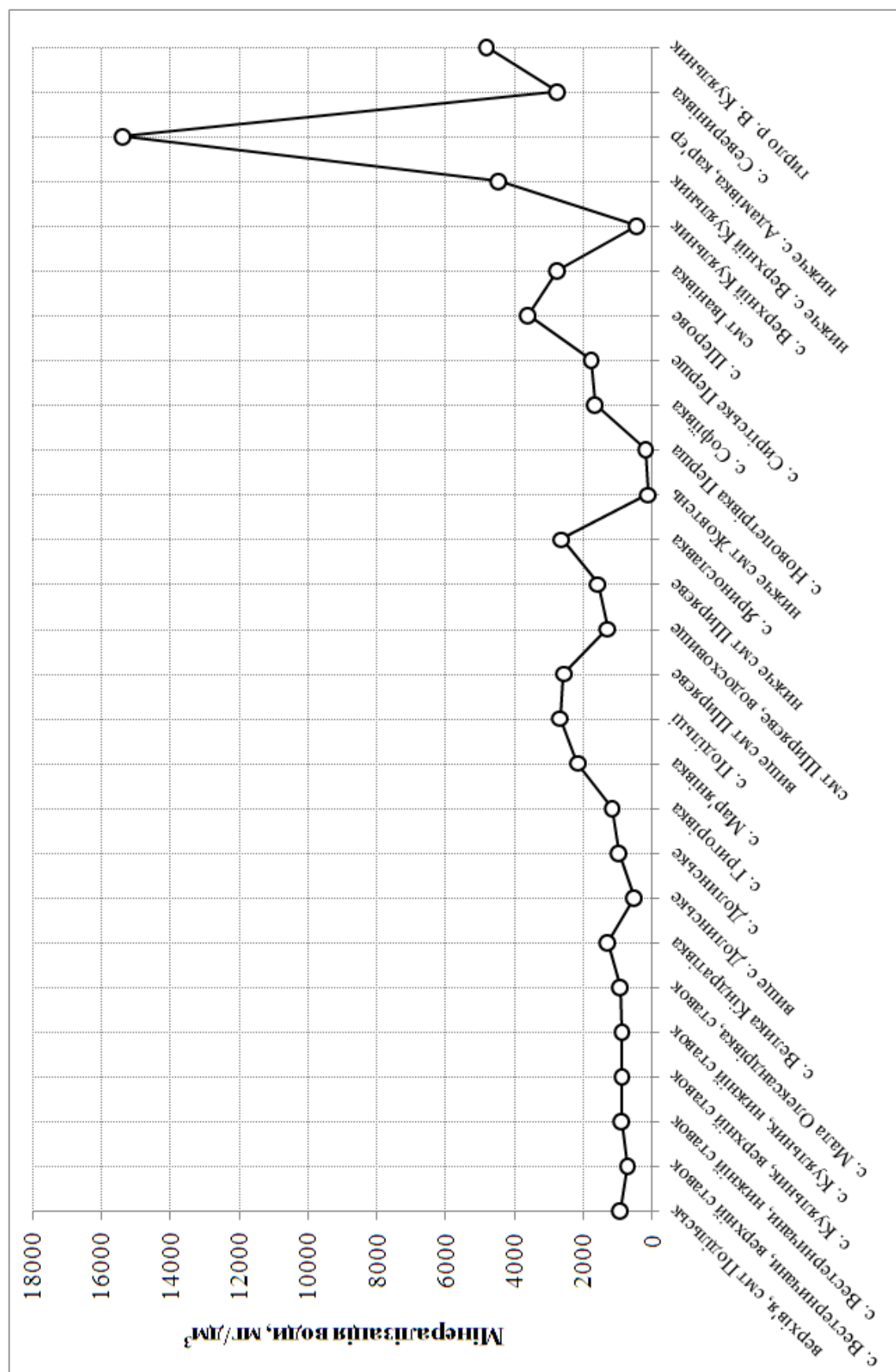


Рисунок Г.16 – Мінливість мінералізації води (мг/дм³) за довжиною р. В. Кулябник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

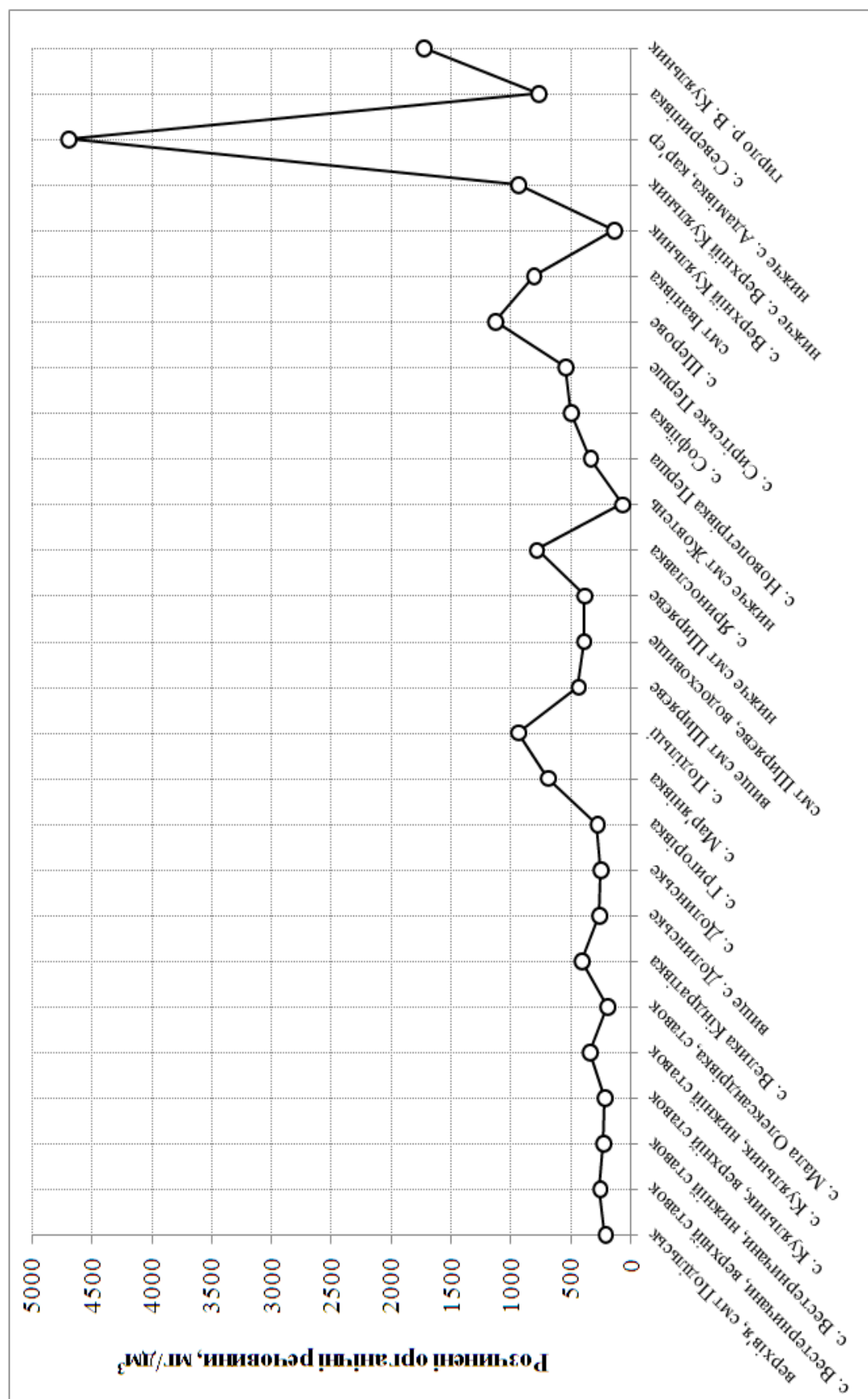


Рисунок Г.17 – Мінливість вмісту у воді розчинених органічних речовин (мг/дм³) за довжиною р. В. Кузальник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

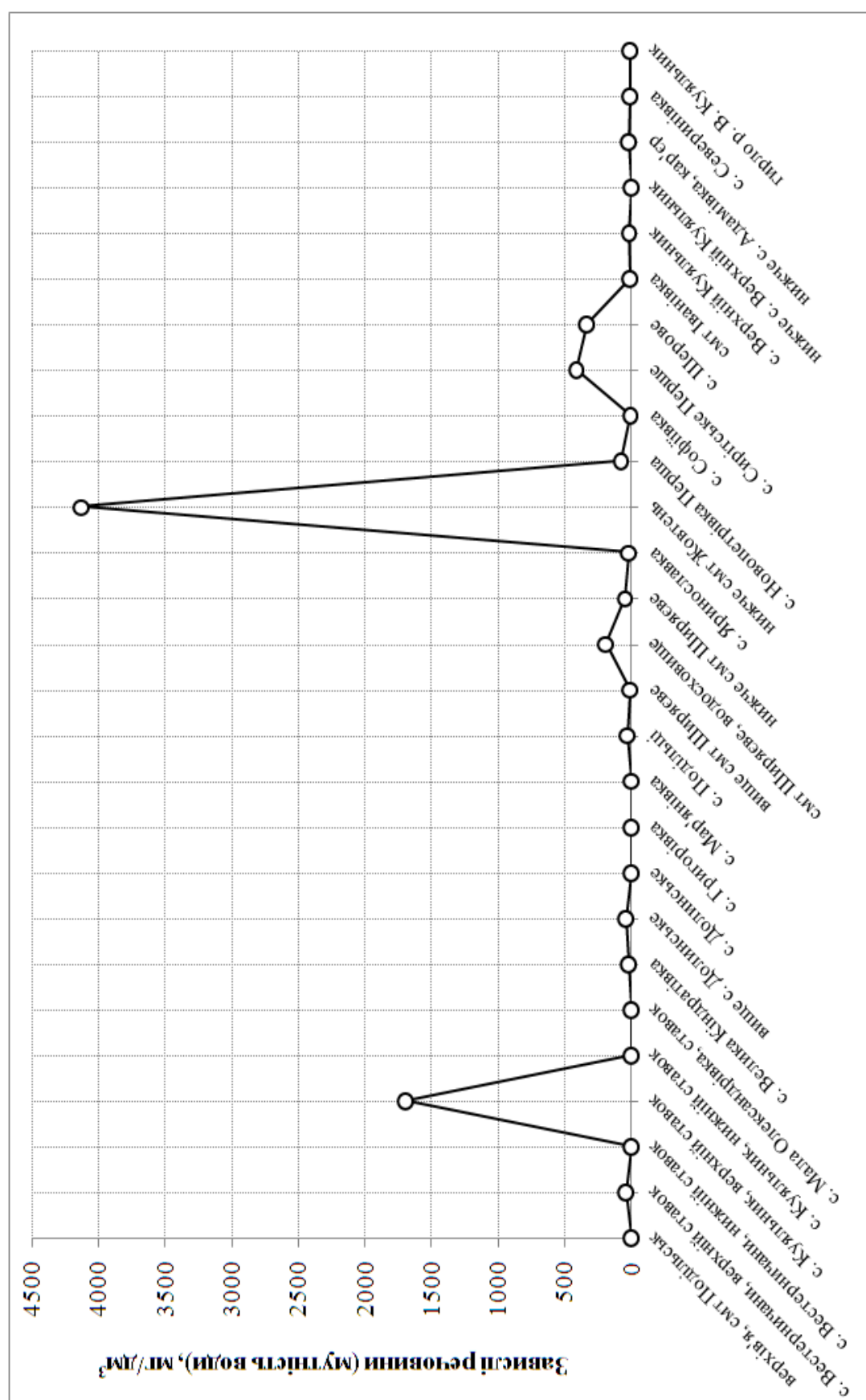


Рисунок Г.18 – Мінливість концентрації завислих у воді речовин (мг/дм³) за довжиною р. В. Куяльник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

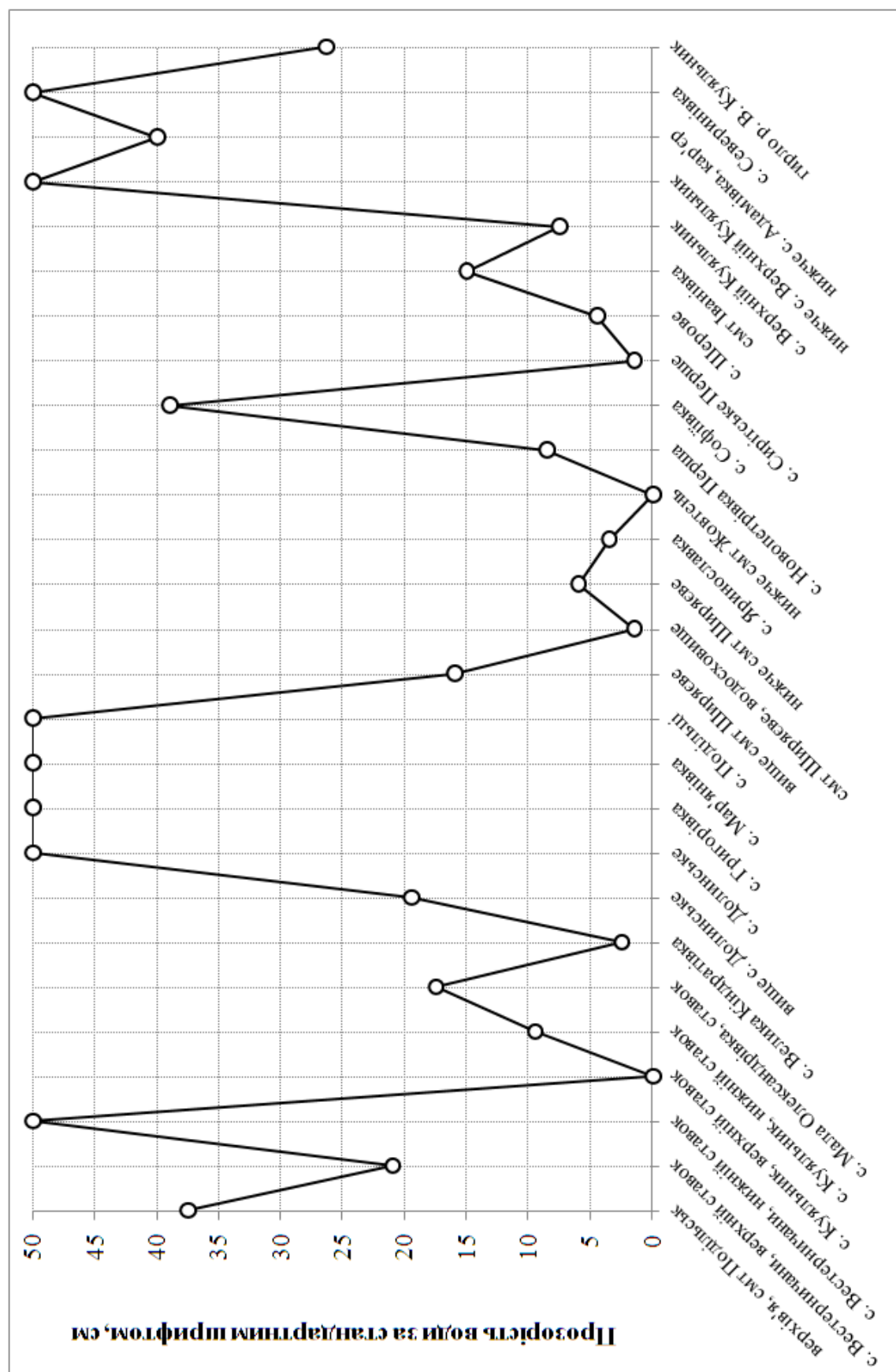


Рисунок Г.19 – Мінливість прозорості води (см) за довжиною р. В. Кулябник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

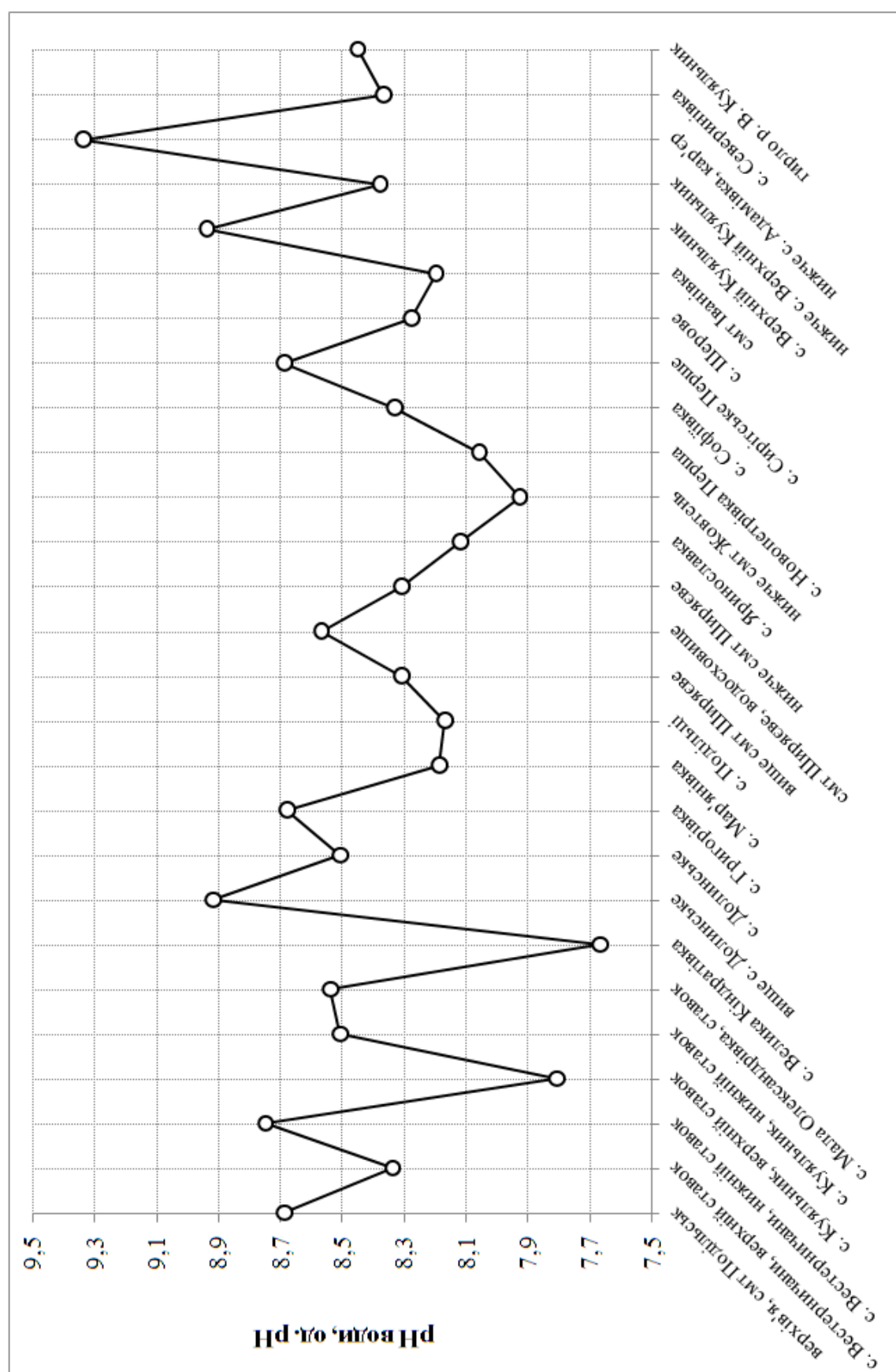


Рисунок Г.20 – Мінливість рН води за довжиною р. В. Кузальник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

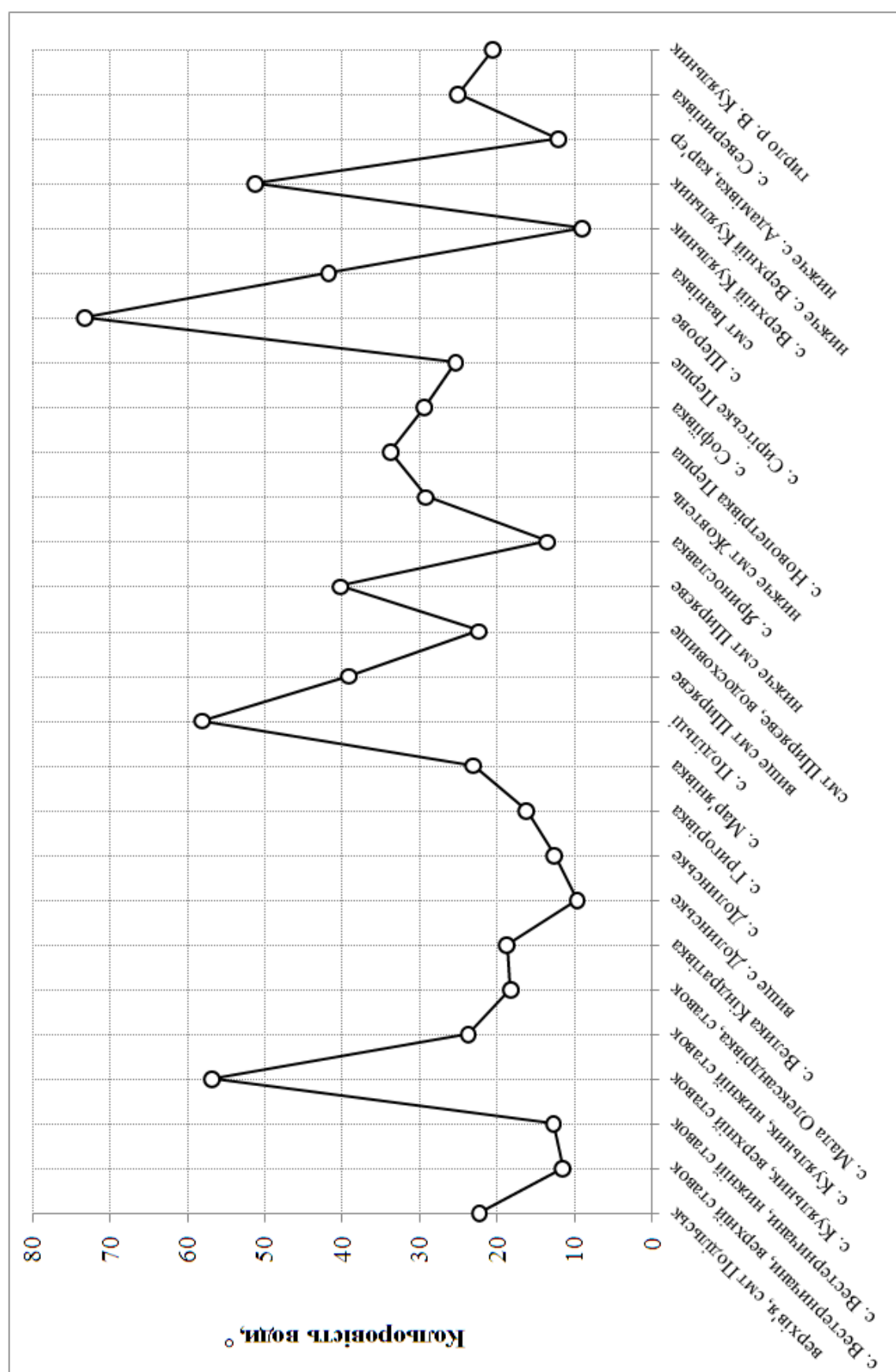


Рисунок Г.21 – Мінливість кольоровості води (°) за довжиною р. В. Кулябчик у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

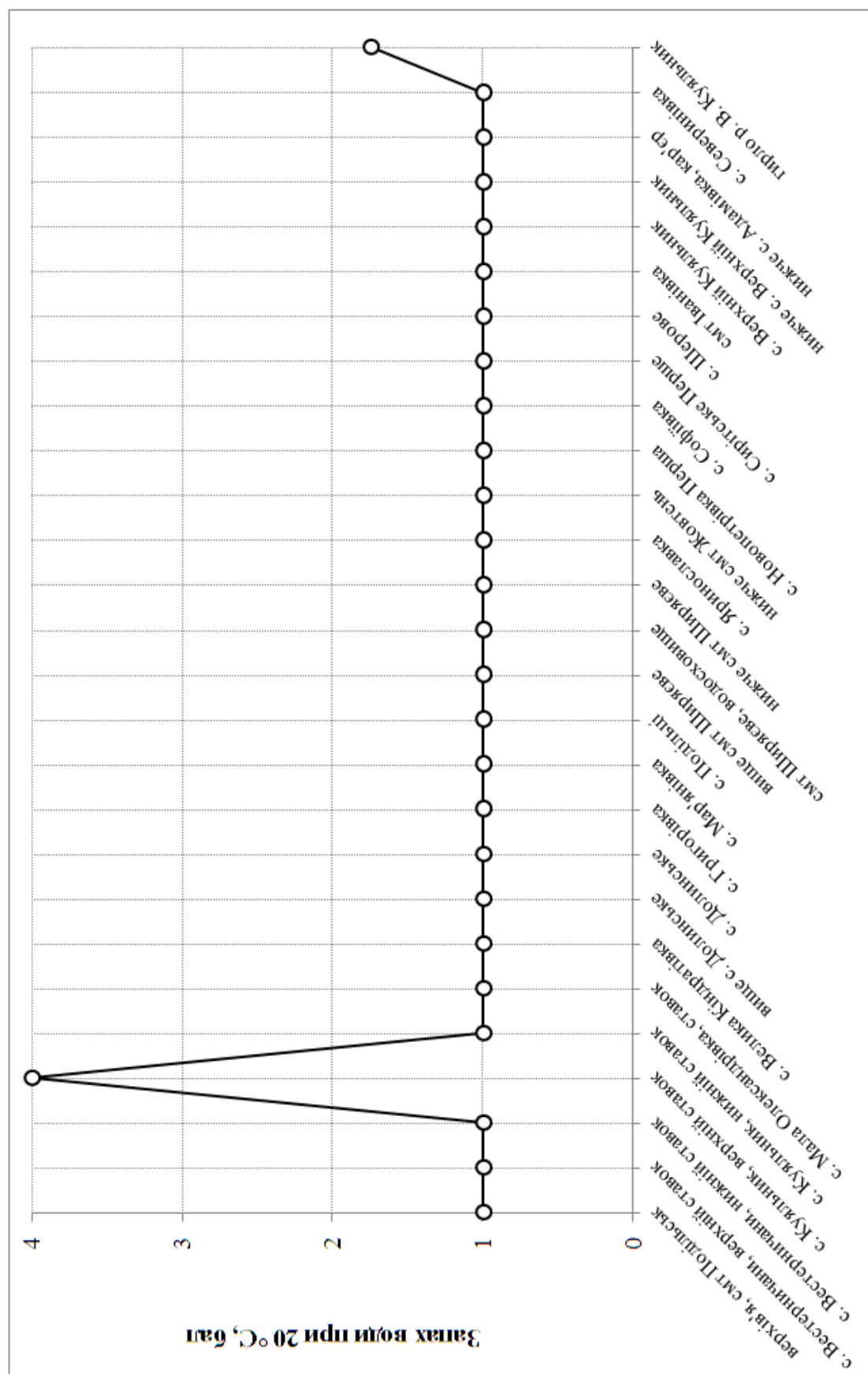


Рисунок Г.22 – Мінливість інтенсивності запаху води при 20°C (бал) за довжиною р. В. Кузальник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

Таблиця Г.4 – Характеристика хімічного складу води р. В. Куяльник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ) за класифікацією О.О. Альокіна (1946 р.), удосконаленої В.К. Хільчевським і С.М. Курилом (2006 р.)

№ п/п	Місцеположення точки	HCO_3^-			SO_4^{2-}		
		мг/дм ³	ммоль/дм ³	%- екв	мг/дм ³	ммоль/дм ³	%- екв
1	2	3	4	5	6	7	8
1	гирло р. В. Куяльник	225,85	3,70	6	721,60	15,02	24
2	с. Северинівка	343,24	5,63	12	922,30	19,20	40
3	нижче с. Адамівка, кар'єр	170,86	2,80	1	5155,55	107,34	51
4	нижче с. Верхній Куяльник	549,18	9,00	24	132,87	2,77	7
5	с. Верхній Куяльник	346,29	5,68	49	147,78	3,08	26
6	сmt Іванівка	482,06	7,90	16	1047,02	21,80	45
7	с. Шерове	585,79	9,60	15	1282,40	26,70	41
8	с. Сирітське Перше	361,54	5,93	20	616,82	12,84	44
9	с. Софіївка	516,62	8,47	30	529,02	11,01	38
10	с. Новопетрівка Перша	180,01	2,95	53	112,30	2,34	42
11	нижче сmt Жовтень	137,30	2,25	44	114,20	2,38	47
12	с. Яринославка	137,30	2,25	6	1105,90	23,03	58
13	нижче сmt Ширяєве	451,55	7,40	30	429,20	8,94	36
14	сmt Ширяєве, водосховище	347,81	5,70	25	490,40	10,21	44
15	вище сmt Ширяєве	506,47	8,30	20	1165,90	24,28	59
16	с. Подільці	585,79	9,60	23	870,13	18,12	43
17	с. Мар'янівка	787,16	12,90	36	629,27	13,10	37
18	с. Григорівка	594,95	9,75	41	482,26	10,04	42
19	с. Долинське	523,55	8,58	49	278,05	5,79	33
20	вище с. Долинське	488,16	8,00	58	177,04	3,69	27
21	с. Велика Кіндратівка	340,49	5,58	26	412,28	8,58	39
22	с. Мала Олександрівка, ставок	558,33	9,15	48	145,98	3,04	16
23	с. Куяльник, нижній ставок	622,40	10,20	51	156,40	3,26	16
24	с. Куяльник, верхній ставок	774,95	12,70	69	146,80	3,06	17
25	с.Вестерничани, нижній ставок	749,32	12,28	61	230,70	4,80	24
26	с.Вестерничани, верхній ставок	550,71	9,03	55	264,00	5,50	34
27	верхів'я, сmt Подільськ	840,85	13,78	67	168,00	3,50	17
28	с. Федорівка, ставок	1502,92	24,64	70	351,10	7,31	21
29	с. Новоселівка, верхній ставок	1435,80	23,54	67	428,00	8,91	25
30	с. Новоселівка, нижній ставок	1202,09	19,70	54	156,28	3,25	9
31	с. Новоселівка, середній ставок	1036,12	16,98	56	165,24	3,44	11
32	ставок вище с. Суха Журівка	295,95	4,85	13	1185,40	24,68	67

Продовження табл. Г.4

№ п/п	Cl ⁻			Клас вод (символ класу) за домінуючими аніонами
	мг/дм ³	ммоль/дм ³	%-екв	
1	9	10	11	12
1	1655,28	46,69	70	хлоридний (Cl)
2	811,97	22,90	48	хлоридний (Cl)
3	3490,60	98,46	47	сульфатно-хлоридний (SCl)
4	895,79	25,27	68	хлоридний (Cl)
5	103,20	2,91	25	гідрокарбонатний (C)
6	680,50	19,19	39	сульфатний (S)
7	1044,13	29,45	45	хлоридно-сульфатний (ClS)
8	378,27	10,67	36	сульфатний (S)
9	324,71	9,16	32	сульфатний (S)
10	10,42	0,29	5	гідрокарбонатний (C)
11	16,04	0,45	9	сульфатно-гідрокарбонатний (SC)
12	509,42	14,37	36	сульфатний (S)
13	295,97	8,35	34	сульфатно-хлоридний (SCl)
14	259,88	7,33	32	сульфатний (S)
15	295,30	8,33	20	сульфатний (S)
16	495,27	13,97	34	сульфатний (S)
17	349,83	9,87	28	сульфатно-гідрокарбонатний (SC)
18	142,91	4,03	17	сульфатно-гідрокарбонатний (SC)
19	109,80	3,10	18	гідрокарбонатний (C)
20	71,08	2,00	15	гідрокарбонатний (C)
21	268,97	7,59	35	сульфатно-хлоридний (SCl)
22	239,57	6,76	36	гідрокарбонатний (C)
23	230,37	6,50	33	гідрокарбонатний (C)
24	95,92	2,71	15	гідрокарбонатний (C)
25	108,14	3,05	15	гідрокарбонатний (C)
26	62,39	1,76	11	гідрокарбонатний (C)
27	114,53	3,23	16	гідрокарбонатний (C)
28	119,78	3,38	10	гідрокарбонатний (C)
29	97,43	2,75	8	гідрокарбонатний (C)
30	489,80	13,82	38	гідрокарбонатний (C)
31	358,91	10,12	33	гідрокарбонатний (C)
32	254,38	7,18	20	сульфатний (S)

Продовження табл. Г.4

№ П/П	Ca ²⁺			Mg ²⁺		
	мг/дм ³	ммоль/дм ³	%-екв	мг/дм ³	ммоль/дм ³	%-екв
1	13	14	15	16	17	18
1	240,68	12,01	20	216,22	17,79	30
2	169,34	8,45	16	144,33	11,88	22
3	623,75	31,13	11	1108,88	91,25	33
4	252,82	12,62	16	245,63	20,21	25
5	36,25	1,81	20	34,23	2,82	31
6	195,89	9,77	18	182,71	15,03	27
7	267,71	13,36	18	272,83	22,45	31
8	0,00	0,00	0	5,12	0,42	2
9	159,89	7,98	24	106,90	8,80	26
10	50,17	2,50	44	18,18	1,50	26
11	61,47	3,07	50	16,41	1,35	22
12	251,10	12,53	27	176,34	14,51	32
13	211,37	10,55	38	68,82	5,66	20
14	74,29	3,71	17	83,37	6,86	31
15	405,04	20,21	47	115,41	9,50	22
16	382,42	19,08	60	152,67	12,56	40
17	17,11	0,85	6	5,50	0,45	3
18	7,60	0,38	5	1,10	0,09	1
19	166,98	8,33	42	55,08	4,53	23
20	114,18	5,70	46	27,68	2,28	18
21	55,44	2,77	12	61,11	5,03	22
22	45,88	2,29	13	39,43	3,24	18
23	83,93	4,19	19	47,82	3,93	17
24	149,27	7,45	36	46,94	3,86	19
25	30,83	1,54	9	21,98	1,81	11
26	100,69	5,02	26	44,11	3,63	19
27	5,98	0,30	18	3,80	0,31	19
28	50,63	2,53	8	59,27	4,88	15
29	21,81	1,09	3	38,89	3,20	9
30	17,57	0,88	2	79,13	6,51	17
31	3,46	0,17	1	3,04	0,25	1
32	453,86	22,65	53	104,73	8,62	20

Продовження табл. Г.4

№ п/п	Na ⁺			Група води (символ групи) за домінуючими катіонами
	мг/дм ³	ммоль/дм ³	%-екв	
1	19	20	21	22
1	1053,19	45,81	51	натрію та магнію (NaMg)
2	785,16	34,15	63	натрію (Na)
3	3517,92	153,02	56	натрію та магнію (NaMg)
4	1108,45	48,21	59	натрію та магнію (NaMg)
5	103,53	4,50	49	натрію та магнію (NaMg)
6	702,42	30,55	55	натрію та магнію (NaMg)
7	856,07	37,24	51	натрію та магнію (NaMg)
8	401,26	17,45	98	натрію (Na)
9	381,69	16,60	50	натрію та магнію (NaMg)
10	39,21	1,71	30	кальцію, натрію і магнію (CaNaMg)
11	39,71	1,73	28	кальцію та натрію (CaNa)
12	429,95	18,70	41	натрію, магнію і кальцію (NaMgCa)
13	264,28	11,50	41	кальцію та натрію (CaNa)
14	264,00	11,48	52	натрію та магнію (NaMg)
15	315,03	13,70	32	кальцію та натрію (CaNa)
16	0,00	0,00	0	кальцію та магнію (CaMg)
17	280,79	12,21	90	натрію (Na)
18	148,82	6,47	93	натрію (Na)
19	156,84	6,82	35	кальцію та натрію (CaNa)
20	104,47	4,54	36	кальцію та натрію (CaNa)
21	347,93	15,13	66	натрію (Na)
22	292,15	12,71	70	натрію (Na)
23	330,29	14,37	64	натрію (Na)
24	210,56	9,16	45	натрію та кальцію (NaCa)
25	307,65	13,38	80	натрію (Na)
26	245,25	10,67	55	натрію та кальцію (NaCa)
27	24,58	1,07	64	натрію (Na)
28	600,46	26,12	78	натрію (Na)
29	738,37	32,12	88	натрію (Na)
30	705,17	30,67	81	натрію (Na)
31	516,18	22,45	98	натрію (Na)
32	262,33	11,41	27	кальцію та натрію (CaNa)

Продовження табл. Г.4

№ п/п	Символ типу вод	Символ підтипу вод	Мінералізація вод, г/дм ³	Загальна жорсткість, ммоль/дм ³	Символ хімічного складу води
1	23	24	25	26	27
1	III	<i>б</i>	4,8	30	Cl_{III}^{NaMg30} _{64,8}
2	II	<i>в</i>	2,8	20	Cl_{II}^{Na20} _{2,8}
3	II	<i>б</i>	15,4	122	$SCl_{II}^{NaMg122}$ _{615,4}
4	III	<i>б</i>	4,5	33	Cl_{III}^{NaMg33} _{64,5}
5	II	<i>в</i>	0,5	4,6	$C_{II}^{NaMg4,6}$ _{0,5}
6	II	<i>в</i>	2,8	25	S_{II}^{NaMg25} _{2,8}
7	II	<i>в</i>	3,6	36	ClS_{II}^{NaMg36} _{3,6}
8	I	<i>в</i>	1,8	0,4	$S_I^{Na0,4}$ _{1,8}
9	II	<i>в</i>	1,7	17	S_{II}^{NaMg17} _{1,7}
10	II	<i>б</i>	0,2	4,0	$C_{II}^{CaNaMg4,0}$ _{0,2}
11	II	<i>в</i>	0,1	4,4	$C_{II}^{CaNa4,4}$ _{0,1}
12	II	<i>б</i>	2,6	27	$S_{II}^{NaMgCa26}$ _{2,6}
13	II	<i>в</i>	1,6	16	SCl_{II}^{NaCa16} _{1,6}
14	II	<i>в</i>	1,3	11	S_{II}^{NaMg11} _{1,3}
15	II	<i>б</i>	2,6	30	S_{II}^{CaNa30} _{2,6}
16	III	<i>в</i>	2,7	32	S_{III}^{CaMg32} _{2,7}
17	I	<i>в</i>	2,2	1,3	$SC_I^{Na1,3}$ _{2,2}
18	I	<i>в</i>	1,2	0,5	$SC_I^{Na0,5}$ _{1,2}
19	II	<i>в</i>	1,0	13	C_{II}^{CaNa13} _{1,0}
20	II	<i>б</i>	0,5	8,0	$C_{II}^{CaNa8,0}$ _{0,5}
21	II	<i>в</i>	1,3	7,8	$SCl_{II}^{Na7,8}$ _{1,3}
22	I	<i>в</i>	0,9	5,5	$C_I^{Na5,5}$ _{0,9}
23	I	<i>б</i>	0,9	8,1	$C_I^{Na8,1}$ _{0,9}
24	I	<i>б</i>	0,9	11	C_I^{NaCa11} _{0,9}

Продовження табл. Г.4

№ п/п	Символ типу вод	Символ підтипу вод	Мінералізація вод, г/дм ³	Загальна жорсткість, ммоль/дм ³	Символ хімічного складу води
1	23	24	25	26	27
25	I	<i>б</i>	0,9	3,3	$C_{I60,9}^{Na3,3}$
26	I	<i>б</i>	0,7	8,7	$C_{I60,7}^{NaCa8,7}$
27	I	<i>б</i>	0,9	0,6	$C_{I60,9}^{Na0,6}$
28	I	<i>б</i>	1,7	30	$C_{I61,7}^{Na30}$
29	I	<i>б</i>	1,9	20	$C_{I61,9}^{Na20}$
30	I	<i>б</i>	1,8	122	$C_{I61,8}^{Na122}$
31	I	<i>б</i>	1,4	33	$C_{I61,4}^{Na33}$
32	II	<i>б</i>	2,6	4,6	$S_{II62,6}^{CaNa4,6}$

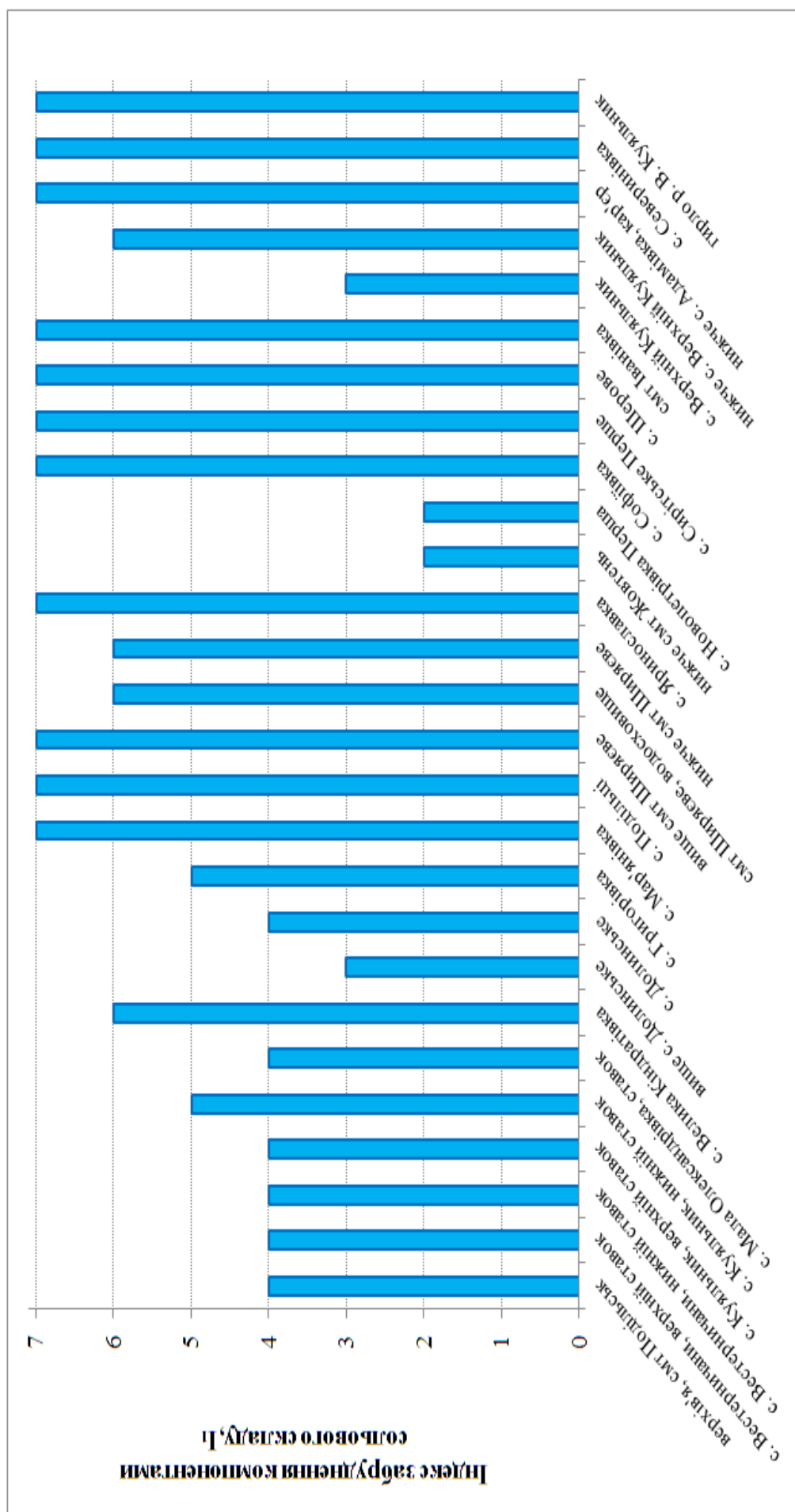


Рисунок Г.23 – Мінливість індексу забруднення компонентами соляового складу (І₁) за довжиною р. В. Кузальник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

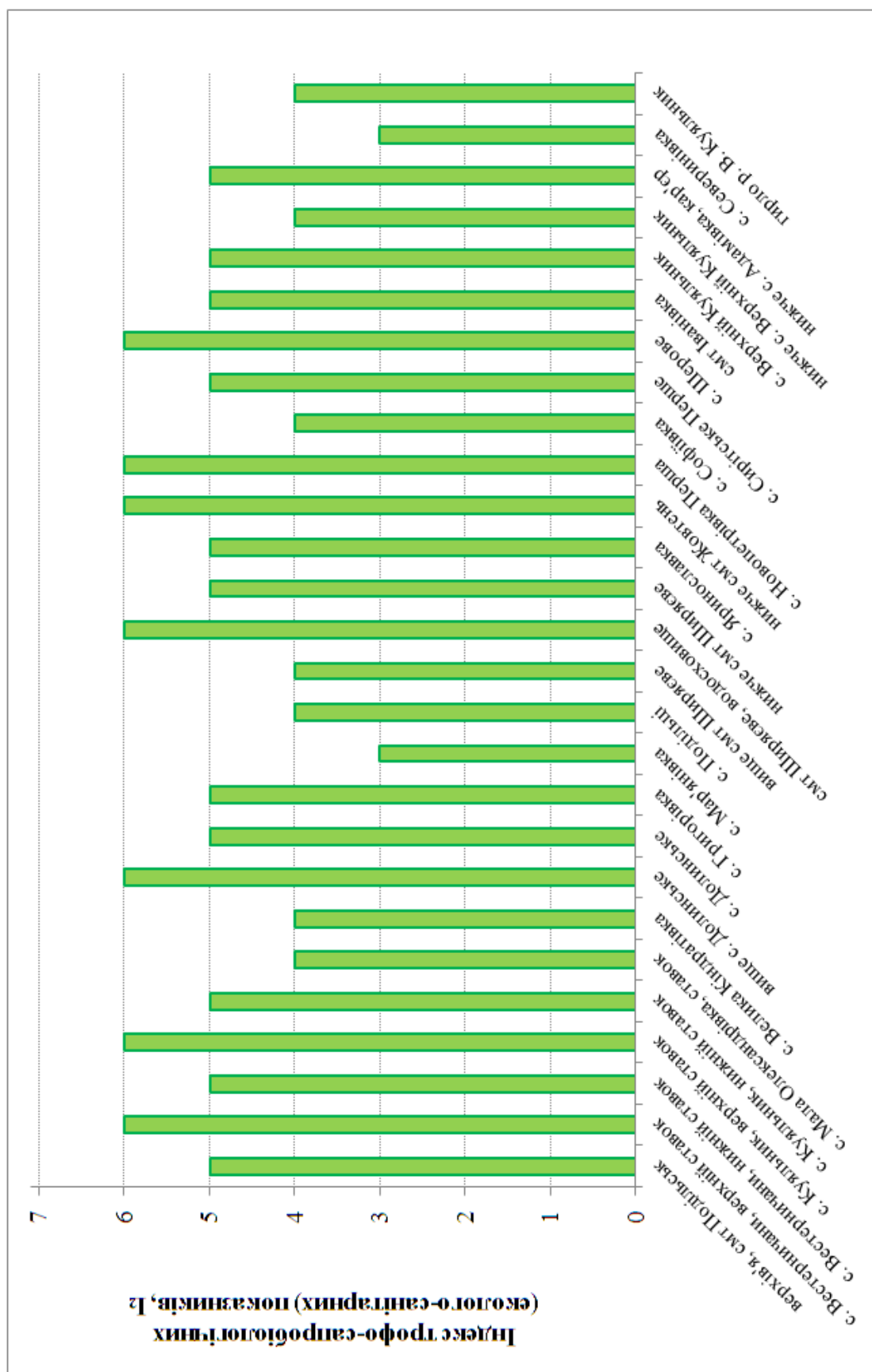


Рисунок Г.24 – Мінливість індексу еколого-санітарних показників (I₂) за довжиною р. В. Кузальник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

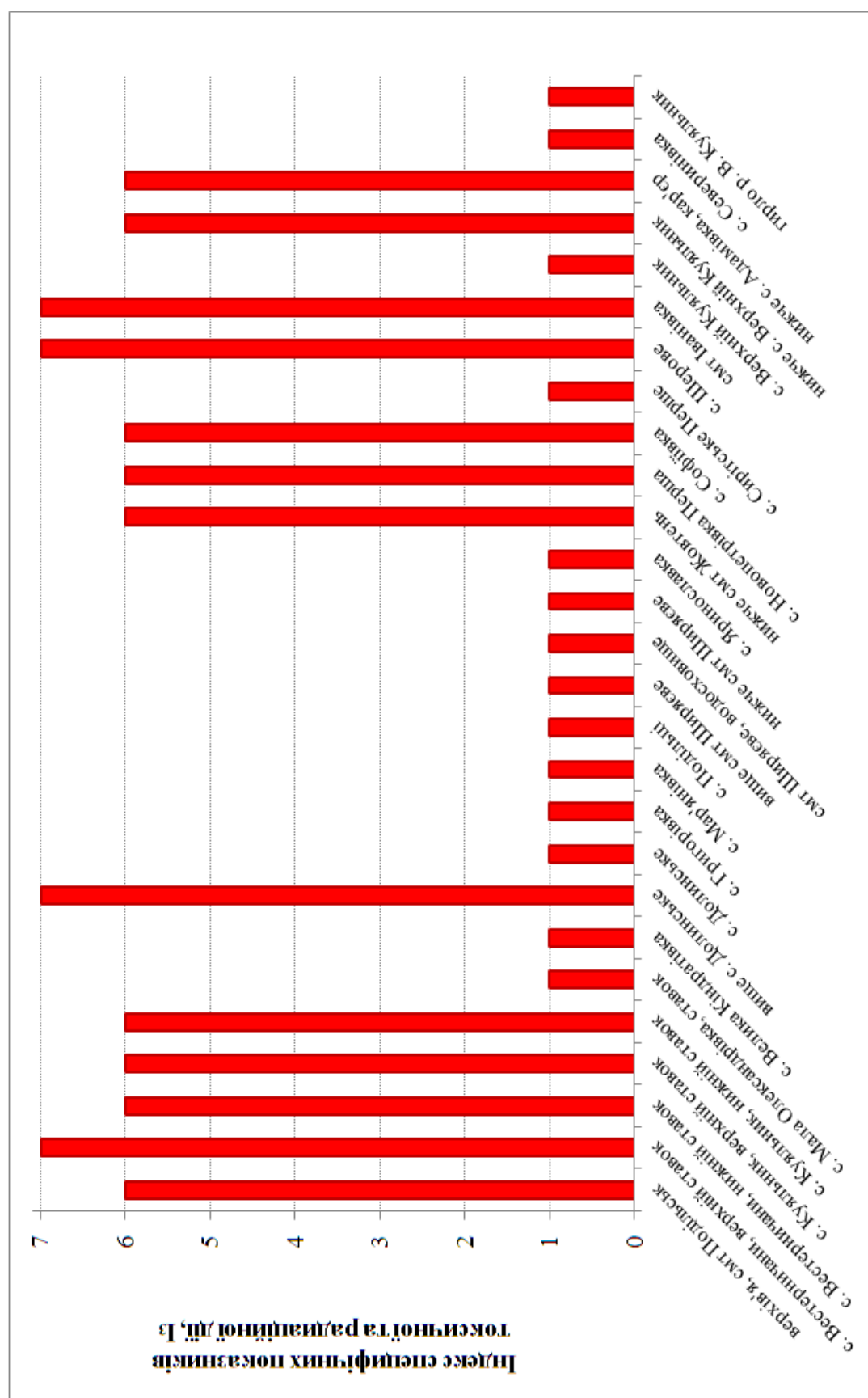


Рисунок Г.25 – Мінливість індексу специфічних показників токсичної дії (І₃) за довжиною р. В. Куяльник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

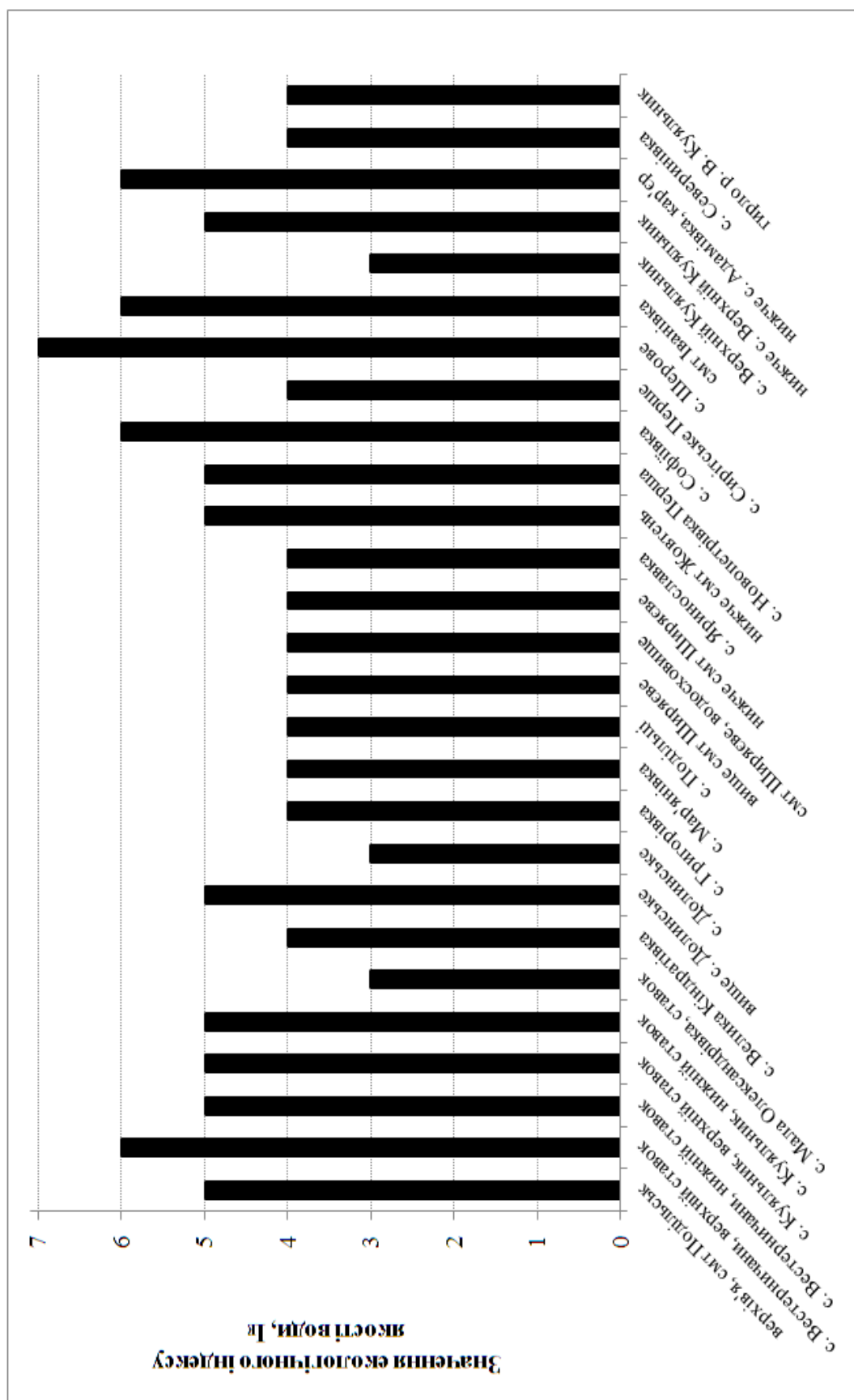


Рисунок Г.26 – Мінливість значення екологічного індексу якості вод (I_E) за довжиною р. В. Кузляник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

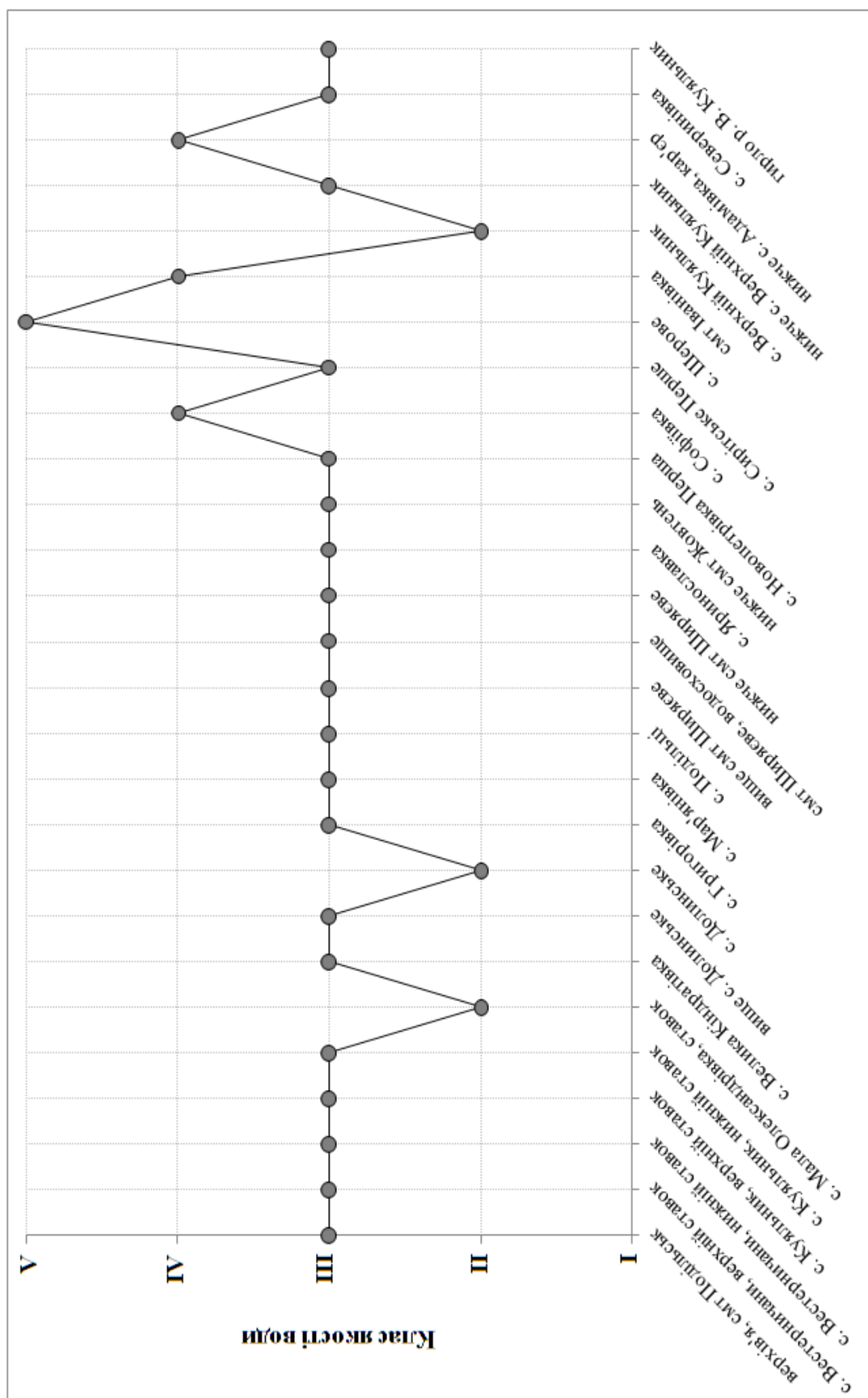


Рисунок Г.27 – Мінливість класу якості вод за довжиною р. В. Куяльник у листопаді 2016 р. (дані ОДЕКУ)

