

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова
Кафедра Гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии

Атыханов Абылайхан Сабитович

Тема: «Оценка гидродинамическим методом инфильтрационного питания
грунтового водоносного горизонта в междуречном массиве»

Дипломный проект

ОП 6В05201– Геология и разведка месторождений полезных ископаемых

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова
Кафедра Гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии

Допущен к защите
Заведующий кафедрой
Гидрогеологии, инженерной
и нефтегазовой геологии
доктор РнД, Профессор
Енсепаев Т.А.

[Signature]
«14» 06 2023 г.

Пояснительная записка
к дипломному проекту

на тему: «Оценка гидродинамическим методом инфильтрационного
питания грунтового водоносного горизонта в междуречном массиве»

ОП 6В05201– Геология и разведка месторождений полезных ископаемых

Выполнил

[Signature]

Атыханов Абылайхан



Кисмельева Б.Р

«12» 06 2023 г.

Научный руководитель,
Профессор, кандидат геолого-
минералогических наук

[Signature] В.А. Завалей
«12» 06 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт Геологии и нефтегазового дела им. К.Турысова
Кафедра Гидрогеологии, инженерной и нефтегазовой геологии
6В05201-Геология и разведка месторождений полезных ископаемых

УТВЕРЖДЕНО
Заведующий кафедрой
Гидрогеологии,
инженерной
и нефтегазовой геологии,
доктор РнБ, Профессор
Еңсепбаев Т.А.
18.10.2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающему Атыханов Абылайхан

Тема: «Оценка гидродинамическим методом инфильтрационного питания
грунтового водоносного горизонта в междуречном массиве»

Утверждена приказом Ректора Университета № 408 от "23" октября 2022 г.

Срок сдачи законченной работы: «17» июня 2023г.

Исходные данные к дипломному проекту:

Графически и текстовые материалы производственной практики.

Графические и текстовые материалы преддипломной практики.

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

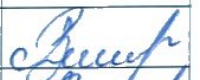
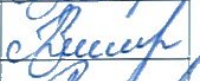


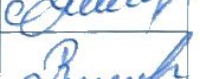


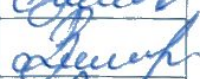

- 1 Площадь изучения района
 - 2 Общие сведения о районе работ
 - 3 Геологическая и гидрогеологическая изученность
 - 4 Показать, как можно разумно и эффективно использовать водоносные пласты междуречного массива
 - 5 Методика проектируемых работ
 - 6 Точные формулы и расчетный показатель
 - 7 Расчет Инфильтрационного Питания
 - 8 Составление таблиц и графиков по ним
- 1 Схематическая геологическая карта района 1:200000;
2 Карта фактического материала 1:200000;
Рекомендуемая основная литература: 4 наименований

ГРАФИК подготовки дипломного проекта

Наименования разделов. перечень разрабатываемых вопросов	Срок представления научному руководителю	Примечание
1 Площадь изучения района –	01.04.2023г.	Выполнено
2 Общие сведения о районе работ	08.04.2023 г.	Выполнено
3 Геологическая и гидрогеологическая изученность	08.05.2023г.	Выполнено
4 Показать, как можно разумно и эффективно использовать водоносные пласты междуречного массива	10.05.2023 г.	Выполнено
5 Методика проектируемых работ	18.05.2023г.	Выполнено
6 Точные формулы и расчетный показатель	18.05.2023г.	Выполнено
7 Расчет инфильтрационного питания	18.05.2023г.	Выполнено
8 Составление таблиц и графиков по ним	18.05.2023г.	Выполнено

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченном дипломном проекте
с указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Научный руководитель, консультант, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
1 Площадь изучения района - Семей	Профессор, кандидат геолого-минералогических наук В.А. Завалей	16.05.2023	
2 Общие сведения о районе работ	Профессор, кандидат геолого-минералогических наук В.А. Завалей	16.05.2023	
3 Геологическая и гидрогеологическая изученность	Профессор, кандидат геолого-минералогических наук В.А. Завалей	16.05.2023	
4 Показать, как можно разумно и эффективно использовать водоносные пласты междуречного массива	Профессор, кандидат геолого-минералогических наук В.А. Завалей	16.05.2023	
5 Методика проектируемых работ	Профессор, кандидат геолого-минералогических наук В.А. Завалей	16.05.2023	
6 Точные формулы и расчетный показатель	Профессор, кандидат геолого-минералогических наук В.А. Завалей	16.05.2023	
7 Расчет инфильтрационного питания	Профессор, кандидат геолого-минералогических наук В.А. Завалей	16.05.2023	
8 Составление таблиц и графиков по ним	Профессор, кандидат геолого-минералогических наук В.А. Завалей	16.05.2023	
Нормоконтроль	Магистр Тех. Наук Турдаханова Ш.Т.	16.05.2023	

Научный руководитель



Завалей В.А

Задания приняли к исполнению обучающиеся



Атыханов А.С.

Дата

«04» 01 2023 г

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс Г.Н.Каменский әдісі бойынша инфильтрациялық қоректену кезінде жер ағынының жылдамдығын анықтау және өзен аралық массивте ойпат құру үшін гидродинамикалық есептеулерді жүргізу әдістемесіне арналған. Алынған теңдеулерді ағын ағынының инфильтрациялық қайта зарядтау шамасын бағалау үшін қолдануға басты назар аударылады. Сулы горизонттардың сүзілу коэффициенттері және жауын-шашын мөлшері әртүрлі Қазақстанның әртүрлі аймақтары үшін инфильтрацияның қайта зарядталуы мен инфильтрация коэффициентін анықтау әдістемесі келтірілген. Авторлар әзірлеген көмекші кестелер мен диаграммалар берілген. Гидродинамикалық есептеу әдісі өзен аралық өзендердің су деңгейіне байланысты жер асты суларының су алабы ығысуы үшін келтірілген. Гидродинамикалық есептеулердің түсіндірме мысалдары келтірілген. Көмекші кестелер мен диаграммалар әзірленді. Гидродинамикалық есептеудің сипаттамасы мен әдісі өзен аралық өзендердің су деңгейіне байланысты жер асты суларының су алабы ығысуы үшін келтірілген. Гидродинамикалық есептеулердің түсіндірме мысалдары келтірілген. Сулы горизонттың инфильтрациялық толтырылуын бағалаудың әзірленген әдістемесінің негізгі ережелері 2022 жылғы «Халықаралық Сәтбаев конференциясы 2022» халықаралық Сәтбаев оқуларында баяндалып, Баяндамалар жинағында жарияланды.

Сондай-ақ осы тақырып бойынша студенттік ғылыми жұмыс Республикалық студенттік ғылыми жұмыстар байқауында III дәрежелі дипломмен жүлделі III орынға ие болды.

Соңында осы дипломдық жобада көрсетілген формулалар арқылы мысалдар мен тапсырмаларды талдаймыз. Біз дипрозия қисығын саламыз және екі өзеннің инфильтрациялық қоректенуінің жоғалуы мен ұлғаюын көрсетеміз және салыстырамыз.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа посвящена методике проведения гидродинамических расчетов по определению расхода грунтового потока и построению депрессии в междуречном массиве при наличии инфильтрационного питания по методу Г.Н.Каменского. Основное внимание уделено использованию полученных уравнений для оценки величины инфильтрационного питания междуречья. Приводится методика определения инфильтрационного питания и коэффициента инфильтрации для различных регионов Казахстана с различными коэффициентами фильтрации водоносных горизонтов и величиной атмосферных осадков. Приведены, разработанные авторами, вспомогательные таблицы и диаграммы. Приводится методика гидродинамического расчета при смещении водораздела грунтовых вод в зависимости от уровней воды в реках междуречья. Даны поясняющие примеры гидродинамических расчетов. Разработаны вспомогательные таблицы и диаграммы. Дано описание и методика гидродинамического расчета при смещении водораздела грунтовых вод в зависимости от уровней воды в реках междуречья. Приведены поясняющие примеры гидродинамических расчетов. Основные положения разработанной методики оценки инфильтрационного питания водоносного горизонта доложены на Международных Сатпаевских чтениях «International Satbayev Conference 2022» в 2022г и опубликованы в Сборнике докладов.

Также студенческая научная работа на эту тему заняла III призовое место на Республиканском конкурсе студенческих научных работ с вручением соответствующего Диплома III степени В конце разберем примеры и задача используя только формулы указанные в данном дипломном проекте. Построим депрессионную кривую и покажем и сравним потери и прибавление инфильтрационного питания двух рек.

ANNOTATION

The thesis is devoted to the methodology for conducting hydrodynamic calculations to determine the flow rate of a ground flow and build a depression in an interfluvial massif in the presence of infiltration nutrition according to the method of G.N. Kamensky. The main attention is paid to the use of the obtained equations for estimating the magnitude of the infiltration recharge of the interfluvial. A methodology for determining the infiltration recharge and infiltration coefficient for different regions of Kazakhstan with different filtration coefficients of aquifers and the amount of precipitation is given. Auxiliary tables and diagrams developed by the authors are given. A method of hydrodynamic calculation is given for the displacement of the watershed of groundwater, depending on the water levels in the rivers of the interfluvial. Explanatory examples of hydrodynamic calculations are given. Auxiliary tables and diagrams have been developed. A description and method of hydrodynamic calculation are given for the displacement of the watershed of groundwater, depending on the water levels in the rivers of the interfluvial. Explanatory examples of hydrodynamic calculations are given. The main provisions of the developed methodology for assessing the infiltration recharge of the aquifer were reported at the International Satbayev Readings "International Satbayev Conference 2022" in 2022 and published in the Collection of Reports.

Also, student scientific work on this topic took the third prize at the Republican competition of student scientific works with the award of the corresponding Diploma of the III degree. In the end, we will analyze examples and tasks using only the formulas specified in this diploma project. We will construct a depression curve and show and compare the loss and increase of infiltration nutrition of two rivers.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	7
1 Взаимодействие поверхностных и подземных вод	8
2 Поверхностные воды	11
2.1 Типы рек и их морфология	11
2.1.1 Водосбор и бассейн реки	11
2.1.2 Долина и русло реки	13
2.2 Водный баланс бассейна реки и его структура.	14
2.2.1 Расчленение гидрографа реки по видам питания.	16
3 Подземные воды	18
4 Питание и разгрузка грунтовых вод	24
4.1 Инfiltrация атмосферных осадков	29
5 Гидродинамический расчет междуречного массива при наличии инфильтрационного питания	31
5.1 Оценка инфильтрационного питания в различных гидрогеологических условиях Казахстана	33
Заключение	45
Список использованных источников	46

ВВЕДЕНИЕ

Дипломная работа посвящена методике проведения гидродинамических расчетов по определению расхода грунтового потока и построению депрессии в междуречном массиве при наличии инфильтрационного питания по методу Г.Н.Каменского. Основное внимание в работе уделено использованию полученных уравнений для оценки величины инфильтрационного питания междуречья. Разработана методика определения инфильтрационного питания и коэффициента инфильтрации для различных регионов Казахстана с различными коэффициентами фильтрации водоносных горизонтов и величиной атмосферных осадков. Разработаны вспомогательные таблицы и диаграммы. Дано описание и методика гидродинамического расчета при смещении водораздела грунтовых вод в зависимости от уровней воды в реках междуречья. Приведены поясняющие примеры гидродинамических расчетов.

Основные положения разработанной методики оценки инфильтрационного питания водоносного горизонта доложены на Международных Сатпаевских чтениях «International Satbayev Conference 2022» в 2022г и опубликованы в Сборнике докладов.

Также студенческая научная работа на эту тему заняла III призовое место на Республиканском конкурсе студенческих научных работ с вручением соответствующего Диплома III степени. В данном дипломном проекте мы так же затронем темы высокоом положении водоупора, река питает грунтовые воды только во время половодья, тогда как в период снижения уровня воды в реке, она дренирует грунтовые воды и питается ими. Когда уровень воды в реке начинает снижаться, часть из накопленной в грунте воды возвращается в русло реки. Этот процесс называется береговым регулированием речного стока или периодическим питанием подземных вод. В конце разберем примеры и задача используя только формулы указанные в данном дипломном проекте. Построим депрессионную кривую

1 Взаимодействие поверхностных и подземных вод

Обмен подземных вод и вод океанов и морей пока мало изучен. Известны только приблизительные цифры поступления не дренируемых реками подземных вод и растворенных в них солей в океаны. В среднем, в океан ежегодно поступает 2,2 тыс. км³ таких вод.

Лучше всего изучено взаимодействие подземных вод и водных объектов суши, особенно речных и грунтовых вод.

Эти закономерности также верны для других водных объектов суши, таких как озера и водохранилища (рис. 1.1).

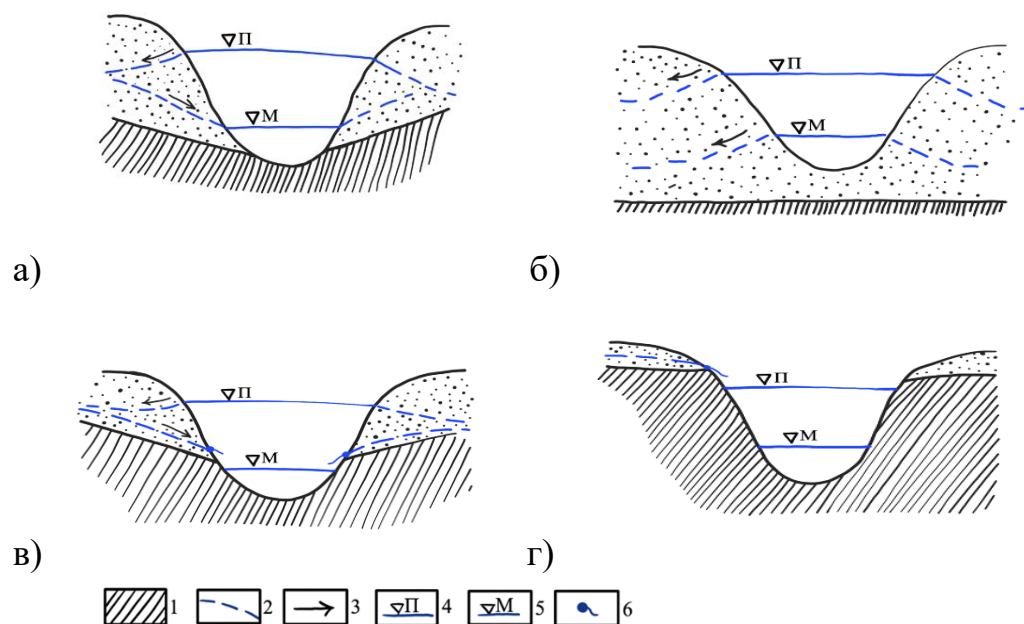


Рисунок 1.1 - Схема взаимодействия речных и грунтовых вод

а — постоянная односторонняя гидравлическая связь (река в течение всего года питает грунтовые воды); *б*—постоянная двусторонняя гидравлическая связь (река питает грунтовые воды в половодье и дренирует их в межень); *в*—временная гидравлическая связь; *г*—отсутствие гидравлической связи; *1*—водоупорный пласт; *2*—уровень грунтовых вод; *3* — направление движения грунтовых вод; *4*— уровень воды в реке в половодье; *5*— уровень воды в реке в межень; *6* — источники (родники)

В гидрологии выделяют три типа взаимодействия между речными и грунтовыми водами: наличие постоянной гидравлической связи, временной гидравлической связи и отсутствие гидравлической связи. Первый тип включает два подтипа: одно- и двустороннюю постоянную гидравлическую связь. Характер связи речных и грунтовых вод зависит от соотношения высоты уровня в реке в половодье и межень, с одной стороны, и расположения водоупорного пласта и уровня грунтовых вод над ним, с другой стороны.

Существуют три типа взаимодействия речных и грунтовых вод, включая наличие постоянной гидравлической связи. Если положение водоупора и уровня грунтовых вод очень низкое, река в течение всего года питает подрусловые и прибрежные грунтовые воды через берега и дно (рис. 1.1а). Это явление особенно характерно для аридных и горных районов с закарстованными породами или крупнопористыми грунтами. Гидрогеологи называют такое взаимодействие "подпертой фильтрацией". Также есть случаи, когда русло реки подстилают слабоводопроницаемые породы, а основной водоупор находится очень глубоко. В этом случае фильтрация речных вод происходит практически вертикально вниз, обходя область слабоводопроницаемых пород (это называется "свободной фильтрацией"

При более высоком положении водоупора, река питает грунтовые воды только во время половодья, тогда как в период снижения уровня воды в реке, она дренирует грунтовые воды и питается ими (рис. 1.1, б). Когда уровень воды в реке начинает снижаться, часть из накопленной в грунте воды возвращается в русло реки. Этот процесс называется береговым регулированием речного стока или периодическим питанием подземных вод (В. А. Всеволожский, 1991).

При еще более высоком положении водоупора, река также, как и в предыдущем случае, питает грунтовые воды во время половодья, но в период снижения уровня воды в реке, грунтовые воды питают её. В этом случае происходит разрыв кривой депрессии грунтовых вод и понизившегося уровня в реке, что приводит к появлению мочажин на склонах русла и действию родников или ключей (рис. 1.1, в), дебиты которых не зависят от изменения уровня воды в реке.

Наконец, при очень высоком положении водоупора, как во время половодья, так и в период снижения уровня воды в реке, грунтовые воды и река не имеют между собой гидравлической связи (рис. 1.1, г).

Таким образом, характер и объем подземного питания рек (и озер) зависят от гидрогеологического строения прилегающей к водному объекту территории и от уровня воды в водном объекте.

Подземные воды являются важным источником питания для рек, составляя около 30% от всего речного стока на земном шаре. В периоды, когда другие источники питания, такие как талая и дождевая вода, ограничены или отсутствуют, роль подземного питания в режиме рек становится еще более значимой. Источники (родники) являются важным проявлением воздействия подземных вод на ландшафты. Они образуются в местах контакта уровня грунтовых вод с подстилающими слабопроницаемыми породами, которые могут быть вскрыты речными руслами, оврагами или понижениями земной поверхности.

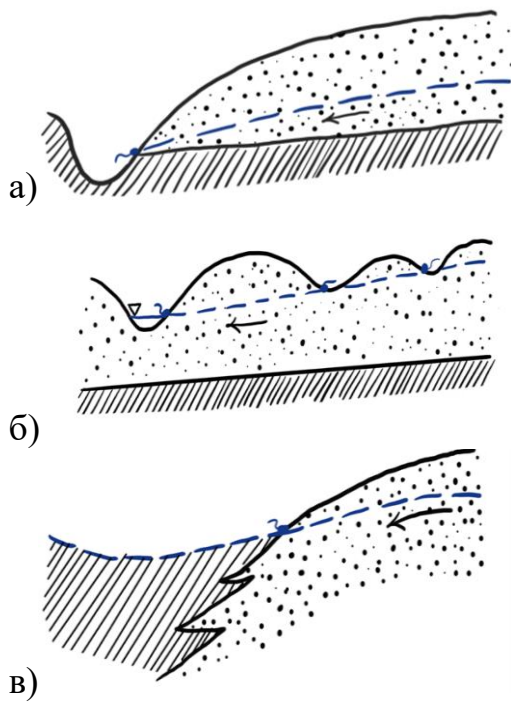


Рисунок 1.2 - Основные схемы формирования естественных выходов грунтовых вод (источников или родников) на земную поверхность (по В. А. Всеволожскому):

а — контактовый; б— депрессионный; в — экранированный.

Экранированный тип разгрузки грунтовых вод на земную поверхность (рис. 2, в) является третьим способом. В этом случае источники формируются в местах, где поток грунтовых вод достигает границы распространения слабопроницаемых пород.

2 Поверхностные воды

Поскольку поверхностные воды рек часто находятся в тесной взаимосвязи с подземными (особенно грунтовыми) водами, приведены краткие сведения о реках и речных бассейнах.

2.1 Типы рек и их морфология

Реки типизируют по различным признакам, например, по размеру, условиям протекания, источникам питания, водному режиму, степени устойчивости русла, ледовому режиму и т. д.

По размеру реки подразделяют на большие, средние и малые. Большие реки имеют обычно площадь бассейна более 50 000 км², средние — в пределах 2000— 50 000 км², а малые — менее 2000 км². Нижняя граница площади бассейна (50 км²), отделяющая малые реки от ручьев, является условной.

Реки также подразделяют по условиям протекания на равнинные, полугарные и горные, в зависимости от величин числа Фруда, которое характеризует скорость движения воды.

Источник питания реки также влияет на ее классификацию, например, в зависимости от вклада снегового, дождевого, ледникового и подземного питания в формирование речного стока.

Водный режим также играет важную роль в классификации рек. Он характеризуется внутригодовым распределением стока, и выделяют реки с весенним половодьем, с половодьем в теплую часть года, с паводочным режимом и др.

Реки могут быть устойчивыми или неустойчивыми, замерзающими или незамерзающими, а также могут пересыхать в засушливые периоды года, особенно малые реки.

2.1.1 Водосбор и бассейн реки

Необходимо различать между понятиями "водосбор" и "бассейн реки". "Водосбор реки" относится к территории на земной поверхности, включая почву и грунт, откуда река получает свое питание. В зависимости от того, является ли питание поверхностным или подземным, можно выделить поверхностный и подземный водосборы, которые не обязательно совпадают между собой (см. рис.2.1). "Бассейн реки" относится к части суши, которая включает данную речную систему и ограничена горным водоразделом.

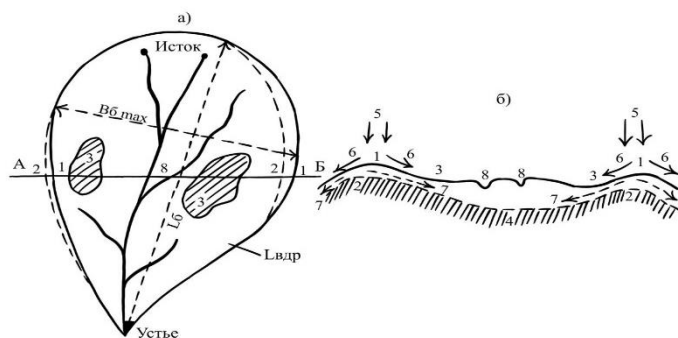


Рисунок 2.1 - Схема бассейна и водосбора реки в плане (а) и в поперечном разрезе (б) по линии А — Б:

1 — граница бассейна и поверхностного водосбора реки (орографический водораздел); 2 — граница подземного водосбора (подземный водораздел); 3 — бессточные области, не входящие в водосбор реки; 4 — водоупор; 5 — осадки; 6 — поверхностный сток; 7 — подземный сток; 8 — русла рек

Обычно водосбор и бассейн реки совпадают. Однако нередки случаи и их несовпадения. Так, если в пределах речного бассейна часть территории оказывается бессточной, то она, оставаясь частью бассейна, в состав водосбора реки не входит (см. рис.2.1). Такие случаи весьма характерны для засушливых районов с плоским рельефом. Бессточные территории в пределах речных бассейнов могут иногда достигать больших площадей; например, в Восточном Казахстане в бассейне реки Иртыш выше г. Семей — 16 300 км² (> 50 % площади бассейна).



Рисунок 2.2 – Геологическая карта Семипалатинска

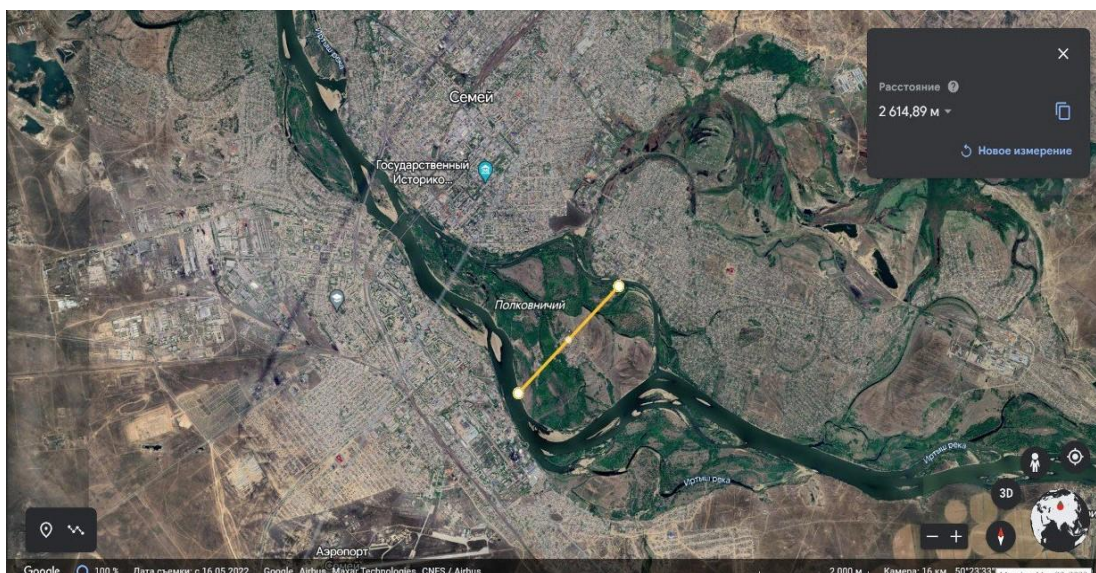


Рисунок 2.3 - Спутниковый снимок города Семипалатинск

Вдоль реки Иртыш сформировалась Аллювиальная равнина и Четвертичные отложение.

Несовпадение границ бассейна, выделяемых по орографическому водоразделу, и границ водосбора может быть и в тех случаях, когда границы поверхностного и подземного водосборов не совпадают, т. е. когда часть подземного стока либо поступает из-за пределов данного бассейна, либо уходит за его пределы.

Бассейны (водосборы) рек, впадающих в один и тот же приемный водоем (озеро, море, океан), объединяются соответственно в бассейны (водосборы) озер, морей, океанов. Выделяют главный водораздел земного шара, который разделяет бассейны рек, впадающих в Тихий и Индийский океаны, с одной стороны, и бассейны рек, впадающих в Атлантический и Северный Ледовитый океаны, — с другой. Кроме того, выделяют бессточные области земного шара, откуда находящиеся там реки не доносят воду до Мирового океана. К таким бессточным областям относятся, например, бассейны Каспийского и Аральского морей, включающие бассейны Волги, Урала, Терека, Куры, Амударьи, Сырдарьи.

2.1.2 Долина и русло реки

Речные долины могут быть обусловлены различными процессами, такими как тектоника, ледниковая деятельность или эрозия. В зависимости от их формы поперечного профиля речные долины могут быть классифицированы как теснины, ущелья, каньоны, V-образные, трапецеидальные, ящикообразные, корытообразные и другие типы. Поперечный профиль речной долины состоит из склонов долины, уступов долины и надпойменных террас, а также дна долины, в котором находится русло реки и пойма, которая может быть затоплена водами половодья или

паводков.

Основные элементы русла реки включают излучины (меандры), осередки, острова, плесы, перекаты и донные гряды. Фарватер представляет собой полосу в русле реки с наиболее благоприятными глубинами для судоходства. Линии на дне речного русла, соединяющие точки с одинаковыми глубинами, называются изобатами.

Основными морфометрическими характеристиками речного русла являются площадь поперечного сечения ω , ширина русла B между урезами русла при заданном его наполнении, и максимальная глубина русла h_{max} . Среднюю глубину русла h_{cp} в данном поперечном сечении можно вычислить по формуле.

$$h_{cp} = \omega / B \quad (1)$$

Для большинства речных русел выполняется приближенное соотношение $h_{cp} \sim \frac{2}{3} h_{max}$. В извилистом русле максимальная глубина обычно смещена к вогнутому берегу.

В гидравлических расчетах часто используют еще две характеристики русла реки — длину смоченного периметра p и гидравлический радиус R , равный

$$R = \omega / p. \quad (2)$$

Смоченный периметр речного русла представляет собой длину подводного контура его поперечного сечения, т.е. линию соприкосновения воды с дном и берегами, а зимой также с ледяным покровом. Для широких и относительно неглубоких русел, а также для периода открытого русла (без ледяного покрова) гидравлический радиус R и средняя глубина h_{cp} почти совпадают, так как в этих случаях $p \sim B$.

2.2 Водный баланс бассейна реки и его структура

В этом разделе рассматривается водный баланс бассейна реки, а также его структура. Исходя из общих положений о водном балансе участка и результатов исследования водного баланса различных вертикальных зон в речном бассейне, уравнение водного баланса бассейна реки для определенного временного интервала Δt может быть выражено следующим образом:

$$x + y_1 + w_1 + z_1 = y_2 + w_2 + z_2 \pm \Delta u \quad (3)$$

Здесь x представляет собой жидкие (дождь) и твердые (снег) осадки на поверхность речного бассейна; y_1 - поверхностный приток из-за пределов бассейна (если правильно проведена водораздельная линия, то такой приток может быть только искусственным - с помощью пересекающих водораздел трубопроводов, каналов, системы подпорных сооружений, насосных станций и т.д.); w_1 - подземный приток из-за пределов бассейна (он возможен только в случае несовпадения поверхностного и подземного водоразделов); z_1 - расход воды подземных источников, а также водоотводящих сооружений, таких как каналы и туннели; y_2 - расход воды реки через гидрологический пост; w_2 - расход воды из-за пределов бассейна; z_2 - потери воды в результате испарения,

фильтрации и других факторов. Δu представляет собой изменение запаса воды в бассейне реки за определенный период времени.

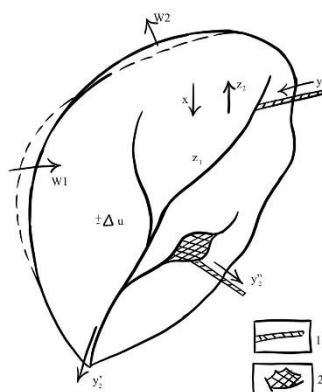


Рисунок 2.4 - Схема составляющих водного баланса бассейна реки (обозначения в тексте): 7 — канал; 2 — гидроузел

Для уравнения водного баланса, Z_1 представляет конденсацию водяного пара, которую можно объединить с осадками x или вычесть из испарения Z_2 . Значение y_2 относится к поверхностному оттоку из бассейна, который может быть представлен как стоком самой реки y'_2 и искусственным оттоком y'' , осуществляемым через гидротехнические сооружения на водоразделе. Подземный отток за пределы бассейна w_2 , так же, как и для w_1 , возможен только в том случае, если поверхностный и подземный водоразделы не совпадают. Испарение с поверхности бассейна состоит из суммы общего испарения и испарения с поверхности водоемов, покрытых водой, снегом или льдом. Изменение запасов воды в бассейне за определенный период времени Δt обозначено как $\pm \Delta u$, где знак плюс соответствует увеличению запасов воды, а знак минус - их уменьшению. Атмосферные осадки, подземный приток и искусственный поверхностный приток из вне бассейна входят в приходную часть уравнения водного баланса, а поверхностный и подземный стоки за пределы бассейна и испарение объединяются в расходную часть уравнения водного баланса.

2.2.1 Расчленение гидрографа реки по видам питания

Вид питания способствует формированию стока, можно определить путем графического расчленения гидрографа реки по различным видам питания. Это позволяет количественно оценить вклад каждого вида питания в формирование стока.

$Q, \text{м}^3/\text{с}$

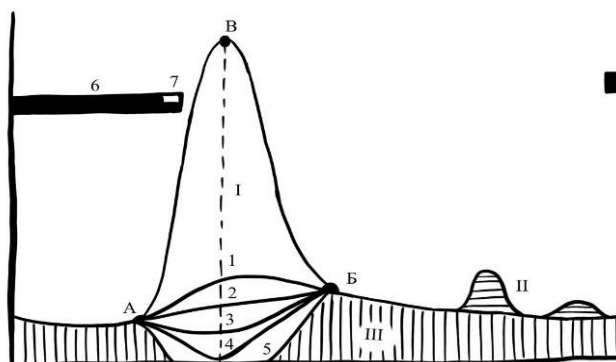


Рисунок 2.5 - Схема расчленения гидрографа реки по видам питания:

Питание: I — снеговое, II — дождевое, III — подземное; А, Б и В — начало, конец и пик половодья; 1—5 — линии, разделяющие снеговое и подземное питание в период половодья при различном характере взаимодействия речных и грунтовых вод (пояснение см. в тексте); 6 — ледостав; 7 — ледоход или иного вида питания (например, снегового, дождевого, подземного на рис. 5) определяется пропорционально соответствующим площадям на гидрографе.

Наибольшие трудности возникают при выявлении подземного водоснабжения во время половодья или крупных паводков в зависимости от характера взаимодействия поверхностных и подземных вод. При отсутствии гидравлической связи между речными и подземными водами, что обычно характерно для горных рек, подземное водоснабжение во время половодья или паводка в целом повторяет ход гидрографа, но в более плавном виде и с некоторым запаздыванием максимума подземных вод. подачи по сравнению с максимальным расходом воды. При постоянной или временной гидравлической связи реки с подземными водами, в период подъема половодья, в результате подпора рекой подземных вод, подземное водоснабжение уменьшается и достигает минимума при наибольшем уровне воды в реке. В течение длительного периода половодья, что более характерно для крупных рек, речные воды просачиваются в грунт («отрицательная подземная водность»), а при спаде паводка или в начале половодья при слиянии эти воды возвращаются в реку (береговое регулирование речного стока).

На практике, при недостатке информации о связи речных и подземных вод, для равнинных рек значение запаса подземных вод в пик половодья часто условно принимается равным нулю. Однако во многих случаях, особенно на малых и средних реках, границу подземного водоснабжения на гидрографе

проводят просто по прямой линии, соединяющей точки начала и окончания половодья.

Трудности возникают также при разделении дождевых и талых вод, особенно в весенний и осенний периоды, при разделении талых, ледниковых и ливневых вод на горных реках и т. д. В этих случаях для более достоверного разделения гидрографа по видам вод снабжения необходимо использовать данные об осадках и температуре воздуха.

Подземные воды — это большое количество воды в земной коре, которая физически и химически связана, свободна гравитационно, капиллярно, в виде водяного пара и льда. Подземными водами, как объектом гидрологии, будем называть только те воды, содержащиеся в земной коре, которые находятся в активном взаимодействии с атмосферой и поверхностными водами (океанами и морями, реками, озерами, болотами) и участвуют в круговороте воды на Земля. Подземные воды в этом смысле в основном представлены свободной (гравитационной) и капиллярной водой, а также водяным паром, движущимся в порах почвы.

Скопления подземных вод, участвующие в круговороте воды на планете, представляют собой особые водные объекты, существенно отличающиеся от водотоков и водоемов.

3 Подземные воды

Подземные воды — это сложный природный объект, который может отличаться по условиям залегания, физическим свойствам, сумме растворенных веществ, происхождению и другим факторам. Из-за такой сложности значительно затрудняется классификация разных типов подземных вод, а также природных условий, связанных с формированием этих типов. Несмотря на многочисленные попытки, до сих пор не создана единая классификация типов подземных вод, которая бы учитывала все природные факторы, определяющие формирование каждого типа. Вместо этого в гидрогеологической литературе используются частные классификации, которые учитывают только один или несколько показателей, характеризующих выделенные типы подземных вод.

Существуют несколько хорошо разработанных и широко используемых классификаций, таких как: классификации по величине минерализации, классификации по химическому составу, классификации по температуре, классификации по типу водоносных пород, классификации по условиям залегания, классификации по происхождению, классификации по типу гидрогеологических структур и классификации по возможностям использования человеком. Некоторые из этих классификаций учитывают различия в составе и свойствах подземных вод, в то время как другие отражают конкретные условия формирования или обобщенно учитывают различия в комплексе условий и процессов, меняющихся в течение длительного периода геологической истории.

Подземные воды классифицируются на поровые, трещинные и карстовые в зависимости от типа водовмещающей породы. Однако, данная классификация не учитывает генетические особенности формирования скважинного пространства в различных типах горных пород. Например, поровые воды могут быть связаны не только с рыхлыми осадочными отложениями, но и с литифицированными осадочными породами, карбонатными и вулканогенными пористыми породами. Трещинная скважность также формируется по-разному в различных типах пород. В связи с этим, более правильным будет рассматривать подземные воды как различные типы природных фильтрационных сред - геофильтрационные среды, при изучении процессов формирования и распределения фильтрационных и емкостных свойств водовмещающих пород. Кроме того, реже используется классификация, учитывающая минералого-химический состав горных пород.

Для классификации подземных вод по их условиям залегания выделяются различные типы, которые отличаются местоположением в вертикальном разрезе подземной гидросферы, типом строения гидрогеологического разреза и составом водовмещающих пород. Главные различия в условиях залегания подземных вод связаны с наличием двух типов гидрогеологических разрезов: разрезов, состоящих из слоистых осадочных

пород, и разрезов, состоящих из массивных магматических и метаморфических пород. Также существуют разрезы промежуточного типа, состоящие из мощных толщ литифицированных и интенсивно дислоцированных осадочных пород горно-складчатых областей. В таких разрезах условия залегания подземных вод обычно связаны с трещиноватостью различных генетических типов пород. Хотя наличие слоистой структуры пород, характерной для осадочных пород, также может влиять на условия залегания и формирование подземных вод. Гидрогеологическое расчленение толщ слоистых осадочных пород основано на выделении элементов, состоящих из пород разного состава, что определяет изменения фильтрационных и емкостных параметров горных пород и изоляцию смежных водоносных интервалов разреза. В разрезах такого типа основными стратификационными элементами являются: водоносные и слабопроницаемые слои, водоносные горизонты и слабопроницаемые разделяющие пласты, водоносные комплексы и слабопроницаемые разделяющие толщи (табл. 1).

Таблица 3.1 - Стратификационные единицы слоистых гидрогеологических разрезов

Основное гидродинамическое подразделение разреза	Таксономические единицы гидрогеологического разреза (порядок единиц)			
	I	II	III	IV
Гидрогеологический этаж	Водоносная серия	Водоносный комплекс, слабопроницаемая Толща	Водоносный горизонт, слабопроницаемый пласт	Водоносный слой, слабопроницаемый слой

В гидрогеологической стратификационной шкале основной единицей является водоносный слой, который представляет собой водонасыщенный слой горных пород или осадков, имеющий единые или близкие фильтрационные свойства в литолого-фациальном отношении. В разрезах с вклиниванием слоев также рассматривается понятие водоносной линзы. Конкретные водоносные слои выделяются на основе единства литолого-фациального состава пород, и могут включать галечник, песок, известняк или слабопроницаемые слои глины, мергеля и диатомитов. Каждый слой может быть охарактеризован едиными или близкими значениями гидрогеологических параметров только для ограниченного по площади "локального" участка. Более крупными таксономическими единицами являются водоносный горизонт и слабопроницаемый пласт.

Водоносный горизонт или пласт представляет собой единую гидрогеологическую единицу разреза, состоящую из одного слоя значительной толщины или системы связанных между собой водоносных

слоев с одинаковыми условиями залегания подземных вод. Для того, чтобы считать слой водоносным горизонтом, он должен находиться в определенном интервале разреза и иметь четко выраженные слабопроницаемые кровлю и подошву, которые изолируют его от смежных водоносных горизонтов разреза. Главными характеристиками водоносного горизонта являются гидравлическое единство (отсутствие выдержанных слабопроницаемых слоев) и относительная изоляция от смежных водоносных горизонтов (разделяющие слабопроницаемые пласты). Следовательно, слои, отличающиеся только литологическими особенностями, не могут быть выделены в самостоятельные горизонты, их можно описывать как слоистую структуру пласта.

Один из возможных слабопроницаемых пластов, который разделяет водоносный горизонт, может представлять собой однородный слой породы значительной мощности или слоистый пласт, в котором слабопроницаемые породы составляют более 50% его суммарной мощности. Это приводит к высоким значениям фильтрационного сопротивления в пласте в вертикальном направлении, даже если отдельные водоносные слои или линзы выделены в его разрезе. В геологической стратификации разреза, "водоносный горизонт" и "слабопроницаемый пласт" могут находиться в разных интервалах, но обычно они соответствуют интервалу яруса или подъяруса, если стратиграфическое строение разреза непрерывно.

Водоносный комплекс состоит из нескольких смежных водоносных горизонтов, связанных гидравлически, если установлены литологические окна, локальный размыв слабопроницаемых пластов или другие условия, или из слоистой толщи с преимущественным развитием водоносных пород, где не могут быть выделены гидравлически обособленные водоносные горизонты из-за фациальной изменчивости осадков и отсутствия выдержанных слабопроницаемых пластов. При выделении водоносного комплекса наличие гидравлической связи пластовой системы также является важным показателем. Однако, в отличие от водоносного горизонта, где гидравлическая связь между водоносными слоями возможна практически повсеместно, в разрезе комплекса гидравлическая связь проявляется локально из-за сложного чередования водоносных и слабопроницаемых слоев или наличия слабопроницаемых пластов, изолирующих отдельные интервалы разреза водоносных отложений комплекса.

Наличие осложненной гидравлической связи между различными слоями и горизонтами определяет общую гидродинамику разреза водоносного комплекса. Это включает в себя закономерности распределения напоров подземных вод, направления движения и положение областей питания и разгрузки. Из-за сложной структуры разреза и наличия слабопроницаемых слоев, изменения минерализации и химического состава подземных вод в вертикальном направлении обычно плавные, без резких перепадов. Однако, для каждого водоносного комплекса, изменения минерализации и химического состава подземных вод в плане обычно имеют единую

направленность. Поэтому, ключевым показателем, определяющим выделение стратификационной единицы "водоносный комплекс", является единство условий формирования подземных вод, включая условия их движения и химического состава.

В качестве гидрогеологического подразделения разреза осадочного чехла, водоносный комплекс наиболее близок к геологической субформации и стратиграфической единице "ярус-отдел".

В гидрогеологическом расчленении разреза крупных структурных элементов земной коры разделяющие толщи могут быть представлены как однородные пласты значительной мощности слабопроницаемых пород, так и слоистые толщи, где преобладают слабопроницаемые породы. В формациях платформенного типа положение слабопроницаемых толщ связано с распространением различных осадочных пород, таких как морские глинистые, кремнисто-терригенные, гипс-ангидритовые, лагунные, соленосные субформации и другие. Водоносный комплекс и слабопроницаемые толщи являются основными стратиграфическими единицами при гидрогеологическом изучении больших структурных элементов земной коры.

В зонах, где происходит выклинивание и замещение отложений, выделение водоносных комплексов зависит от положения основных стратиграфических единиц и возможного гидравлического взаимодействия смежных интервалов разреза. Это может иметь гидрогеологический смысл при существенном различии интервалов разреза, выделяемых в самостоятельные водоносные комплексы. Наиболее крупными единицами стратификационной гидрогеологической шкалы являются водоносные серии, которые характеризуются распространением пород определенного литологического состава или генезиса. Расчленение разреза на водоносные серии является условным, так как любой крупный стратиграфически единый интервал чехла чаще всего является сочетанием водоносных и слабопроницаемых элементов более высоких порядков.

Строение разрезов слоистых осадочных пород определяет возможность выделения здесь только трех типов подземных вод: вод зоны аэрации, грунтовых вод и межпластовых вод. В гидрогеологических разрезах, состоящих из массивных горных пород, положение водоносных и слабопроницаемых элементов разреза зависит от трещиноватости различных генетических типов.

Таблица 3.2 - Классификация подземных вод по условиям залегания и составу водовмещающих пород (типу среды)

Тип фильтрационной среды	Типы подземных вод		Примечание
	по условиям залегания	по водовмещающим породам составу	
Седиментогенные и поровые среды	Воды зоны аэрации Грунтовые воды Межпластовые воды	Поровые	—
Седиментогенные трещинные и карстовые среды	Воды зоны аэрации Грунтовые воды	Трещинные, порово-трещинные и трещинно-карстовые	В верхней зоне региональной трещиноватости — зона “выветривания”
	Межпластовые воды	Пластово-трещинные, пластовые трещиннокарстовые	В слабодислоцированных отложениях платформенного чехла
	Воды локальных зон трещиноватости	Трещинные	В интенсивно дислоцированных породах горно-складчатых областей
Магматические и метаморфические среды	Воды зоны аэрации Грунтовые воды	Трещинные	В верхней зоне региональной трещиноватости
	Воды локальных (линейно-локальных) зон трещиноватости	Трещинные (трещинно-жильные)	В зонах тектонических нарушений, в зонах метаморфогенного разуплотнения горных пород и др.

Согласно этому, гидрогеологическое разделение разрезов данного типа основано на выделении водоносных зон трещиноватости. Обычно выделяются три основных типа водоносных зон трещиноватости, исходя из представлений о процессах формирования трещинной скважности горных пород. Распределение кристаллических пород в больших массивах обычно проводится путем выделения водоносных комплексов по стратиграфической принадлежности горных пород при отсутствии данных о положении обводненных зон трещинных вод. Режим подземных вод определяет закономерный процесс изменения гидродинамических характеристик, физических свойств и состава подземных вод со временем под воздействием естественных или искусственных факторов. Ненарушенный режим подземных вод обусловлен естественными режимобразующими факторами, в то время как нарушенный режим связан с решающим воздействием искусственных факторов. В случае совместного воздействия естественных и искусственных факторов может быть выделен слабонарушенный режим подземных вод.

Таблица 3.3 - Факторы формирования режима подземных вод

Группа	Факторы	Примечание
Экзогенные	Космические	Солнечная активность, приливные силы Луны и других планет
	Метеорологические	Атмосферные осадки, температура и влажность воздуха
	Гидрологические	Режим поверхностных вод (реки, озера, моря и др.)
	Биогенные	Влияние растительности и живых организмов
	Искусственные	Влияние хозяйственной деятельности человека
	Геологические	Денудация и эрозия
Эндогенные	Геологические	Эпейрогенические колебания земной коры, тектонические движения, современный вулканизм, землетрясения

Режим подземных вод зависит не только от самого характера и масштабов процессов, но также и от условий, которые формируют эту природную обстановку, такие как геологическая структура, рельеф, гидрогеологические свойства горных пород и т.д. Эти условия остаются стабильными в течение наблюдаемого периода и определяют, как воздействуют режимобразующие факторы и особенности режима подземных вод.

Хотя группа экзогенных факторов, включая антропогенные, обычно наиболее сильно влияет на верхние водоносные горизонты, в некоторых условиях их воздействие может фиксироваться на значительной глубине. Одновременно с этим, воздействие факторов эндогенной группы, таких как землетрясения и вулканизм, может также сильно влиять на режим подземных вод верхних водоносных горизонтов.

Режим подземных вод можно классифицировать на три основных типа: гидродинамический, геотермический и гидрогеохимический. Гидродинамический режим характеризуется изменениями напоров, скоростей и расходов потоков подземных вод, геотермический режим - изменением температуры подземных вод, а гидрогеохимический режим - изменением минерализации, химического и газового состава подземных вод.

Для мониторинга режима подземных вод используются естественные и искусственные источники, через которые подземные воды выходят на поверхность или в горных выработках. Наблюдения проводятся либо дискретно в определенные временные интервалы, либо непрерывно с помощью самозаписывающих устройств. Результаты наблюдений представляются в виде таблиц и графиков.

Информация, полученная в результате наблюдений, используется для изучения процессов формирования различных типов подземных вод, оценки фильтрационных и емкостных свойств горных пород, решения вопросов по

использованию и охране подземных вод, составлении гидрогеологических прогнозов в естественных и нарушенных условиях и т.д.

4 Разгрузка и питание грунтовых вод

Основными компонентами водного баланса водоносного горизонта являются питание и разгрузка грунтовых вод. Эти компоненты определяют количество воды, поступающей в горизонт, накопление запасов подземных вод, а также отток и использование этих запасов. Источниками питания грунтовых вод являются инфильтрация атмосферных осадков, конденсация, поглощение поверхностных вод, притоки из нижележащих горизонтов и искусственное питание. Грунтовый водоносный горизонт неизолирован от поверхности земли, поэтому питание происходит на всей площади распространения горизонта.

Инфильтрация — это процесс проникновения свободной гравитационной воды от поверхности земли до уровня грунтового водоносного горизонта. Инфильтрационное питание измеряется в миллиметрах слоя воды, поступившей на уровень грунтовых вод за определенный период времени (например, мм/сут, мм/мес, мм/год). Его можно также выразить расходом воды, поступившим за определенный период времени на единицу поверхности грунтового водоносного горизонта, например, модулем инфильтрационного питания ($л/с \cdot км^2$), если это необходимо.

Обычно величина инфильтрационного питания грунтовых вод определяется несколькими факторами, такими как интенсивность увлажнения поверхности земли, строение и состав пород зоны аэрации, температурный режим и влажность пород, вид растительности и другие. Интенсивность увлажнения поверхности земли зависит от количества жидких атмосферных осадков, таяния снега и сельскохозяйственных поливов, рельефа поверхности, интенсивности испарения влаги с поверхности земли и других факторов. Обычно величина инфильтрационного питания не связана напрямую с годовой суммой атмосферных осадков, поскольку летом часть или все осадки могут испариться. Основные объемы инфильтрационного питания формируются в холодные периоды года с минимальным испарением, например, летне-осенний период или зимний период в южных районах, а также в период весеннего снеготаяния. В годовом цикле может быть несколько периодов, в которых формируется питание грунтовых вод за счет инфильтрации атмосферных осадков, и в этом случае сумма атмосферных осадков за этот период называется "эффективной" суммой осадков.

Впитывающая способность почвы и грунтов зоны аэрации зависит от строения разреза, состава и влажности почвы, и определяет скорость движения воды, возможность достижения инфильтрующимися водами поверхности грунтового горизонта и формирование верховодки на различных уровнях разреза. Если интенсивность увлажнения поверхности земли превышает впитывающую способность верхнего слоя почвы, то происходит формирование склонового стока и накопление дождевых или снеготалых вод в понижениях рельефа, которые затем расходуются на испарение и фильтрацию в породы зоны аэрации. Наиболее благоприятные условия

формирования инфильтрации обычно характерны для микропонижений рельефа.

Объем воды, который проникает через поверхность почвы и проникает в почвенный слой, а затем в породы зоны аэрации, варьирует и может превышать объем инфильтрационного питания, который достигает грунтового водоносного горизонта. Часть этой воды тратится на испарение внутри почвы, поглощение корневой системой растений и транспирацию, а также на формирование капиллярной и рыхлосвязанной воды. Потери воды, которая просачивается и испаряется, зависят от гранулометрического состава и структуры пород зоны аэрации, которые определяют проницаемость горных пород, а также относительного объема связанной воды. Наибольшие скорости просачивания воды характерны для случаев, когда зона аэрации состоит из крупных обломочных отложений или трещиноватых и карстовых пород. В таких условиях процессы поглощения атмосферных осадков проходят наиболее интенсивно. В этом случае процесс питания грунтовых вод за счет поглощения атмосферных осадков называется "инфлюацией".

В зоне аэрации температурный режим оказывает влияние на перемещение парообразной воды и процессы конденсации, испарения и транспирации, а также изменение объемов капиллярной и рыхлосвязанной воды. Важным фактором при формировании инфильтрационного питания грунтовых вод является наличие сезонно промерзающего слоя, его мощность и скорость протаивания в период весеннего снеготаяния. Величина инфильтрационного питания грунтовых вод может резко изменяться (практически от 0 до 1000 мм/год и более) под влиянием различных факторов, в том числе температурного режима, в разных широтно-климатических зонах и в пределах одинаковых морфоструктурных элементов рельефа и смежных участков территории.

Формирование конденсационного питания грунтовых вод связано с образованием свободной гравитационной воды за счет молекул водяного пара, находящегося в воздухе в порах зоны аэрации. Главным источником конденсационного питания является летний период года, когда перепады суточных температур и температур в зоне аэрации создают градиент температур, способствующий движению молекул водяного пара вниз. Процесс этот более интенсивен в породах с хорошей трещиноватостью, что обеспечивает свободный доступ влажного воздуха с поверхности земли. Количество конденсационного питания зависит от гранулометрического состава пород зоны аэрации и наименьшее количество фиксируется в суглинистых породах и супесях.

Результаты экспериментов, проведенных в различных районах с разными природными условиями, указывают на изменение величины конденсационного питания грунтовых вод от 5,0 до 80 мм/год (0,15—2,5 л/с*км²). Обычно при определении питания грунтовых вод через зону аэрации используется суммарная величина инфильтрационного и конденсационного питания. Однако, конкретные количественные оценки только

конденсационного питания могут быть произведены в периоды, когда не происходит инфильтрации, или с помощью специальных экспериментальных исследований.

На территориях, где уровень воды в поверхностных водоемах (озера, водохранилища) и водотоках (реки, каналы и т. д.) находится выше уровня первого водоносного горизонта подземных вод, происходит поглощение поверхностных вод. Такие условия наиболее характерны для центральных частей высоких междуречных пространств, предгорных равнин, возвышенных участков горного рельефа, районов с карстовыми явлениями и других местностей.

Разница в уровнях воды создает градиент давления, который обеспечивает возможность фильтрации через дно водоема (русло реки и т. д.) в нижележащий грунтовый водоносный горизонт. Скорость фильтрации и расход потока зависят от площади поглощающей поверхности (измеряемой в квадратных метрах или квадратных километрах), зависят в первую очередь от фильтрационных свойств (КФ) донных или русловых отложений и залегающих ниже пород зоны аэрации (грунтового водоносного горизонта).

В зависимости от строения разреза и условий взаимодействия между поверхностными и подземными водами могут выделяться три различные схемы поглощения: 1) без гидравлической связи между поверхностными и подземными водами, 2) с гидравлической связью.

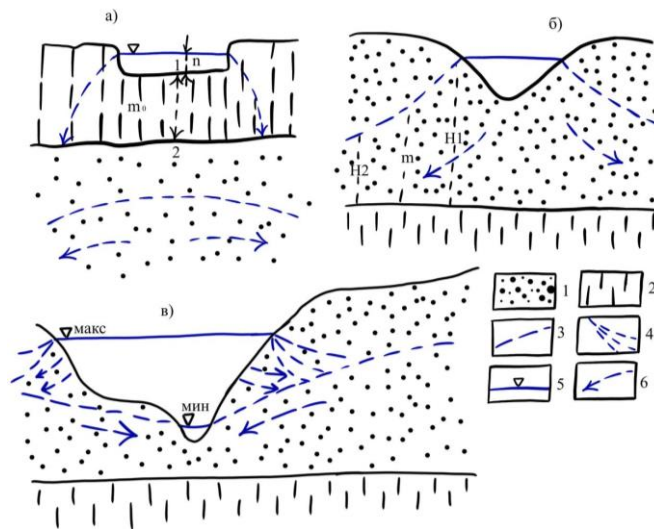


Рисунок 4.1 - Схемы формирования питания грунтового водоносного горизонта за счет поглощения поверхностных вод:

а — схема “свободной” фильтрации; б — “подпорной” фильтрации; в — периодического питания при подъемах уровня поверхностных вод. 1 — проницаемые (водоносные) породы; 2 — слабопроницаемые породы; 3 — уровень грунтовых вод; 4 — положение уровня грунтовых вод на различные периоды времени при “мгновенном” подъеме уровня поверхностных вод; 5 — уровень поверхностных вод; б — направления движения грунтовых вод

При отсутствии гидравлической связи поверхностные воды могут быть поглощены грунтом на участках, где уровень грунтовых вод глубоко расположен и верхний слой грунта имеет меньшую проницаемость. Обычно это происходит на участках с аллювиальными отложениями, включая глинистые и ледниковые отложения, а также на крупнообломочных и трещиноватых породах. Иногда слабопроницаемый слой русловых отложений играет роль экрана между поверхностными и грунтовыми водами. В таких случаях поглощение поверхностных вод осуществляется по схеме свободной фильтрации, где скорость фильтрации зависит от проницаемости верхнего слоя и значения напорного градиента. При малой мощности руслового слоя значение напорного градиента может быть больше 1, что приводит к высоким скоростям фильтрации и расходам поглощения поверхностных вод, даже при низких значениях проницаемости верхнего слоя.

В зоне поглощения движение грунтовых вод может происходить в одном направлении или в двух потоках, разделенных водоразделом. Если поверхностные воды постоянно находятся выше уровня грунтовых вод, то возникает зона постоянного насыщения, которая может порождать потоки грунтовых вод, направленные в обе стороны от русла реки или радиально расходящийся поток грунтовых вод из водоема. При формировании поглощения непосредственно в прирусловой части потока грунтовых вод всегда наблюдается подъем (подпор) их уровня, и такую схему называют схемой подпорной фильтрации. Если поверхностные воды поднимаются периодически, то грунтовые воды начинают поглощать поверхностные воды только при подъемах уровня поверхностных вод, а при спаде уровней поверхностных вод - разгружать в русло реки. В период подъема уровня поверхностных вод в прирусловой части потока грунтовых вод образуется "обратная" разность напоров, которая приводит к фильтрации (поглощению) поверхностных вод в берега и формированию зоны периодического насыщения и подъема уровня грунтовых вод. Рисунок 6 иллюстрирует эти процессы.

Зона периодического насыщения может изменяться во времени, в зависимости от положения верхней границы грунтовых вод. Такое взаимодействие между поверхностными и подземными водами называется нестационарным подпором грунтовых вод при фильтрации из русла или водоема. Если уровень поверхностных вод постоянно поднимается (например, при создании водохранилища), то через определенный период времени может сформироваться новое стационарное положение уровня грунтовых вод, при котором происходит их разгрузка в реку или водохранилище.

Схема поглощения поверхностных вод зависит от строения разреза, проницаемости породы зоны аэрации и глубины залегания грунтовых вод. Эти характеристики могут меняться по длине русла реки, во времени и в зависимости от сезонных изменений. Поэтому схема взаимодействия поверхностных и грунтовых вод может меняться в различные сезоны года и на разных участках. Определение схемы поглощения поверхностных вод на

конкретном участке должно быть основано на фактических данных о положении уровня грунтовых вод под руслом реки или непосредственно в прирусловой части потока грунтовых вод.

Возможно питание грунтовых вод через восходящую фильтрацию из нижележащих горизонтов на участках, где пьезометрическая поверхность напорных вод находится выше уровня грунтового водоносного горизонта. Это обычно наблюдается на относительно пониженных участках, таких как днища речных долин, глубокие бессточные впадины, озерные котловины и заболоченные низменности. Низкое положение уровня грунтовых вод на таких участках связано с наличием зон их интенсивной разгрузки, а соотношение уровней грунтовых и более глубоких подземных вод определяет наличие соответствующей разности напоров.

При постоянном значении разности напоров ΔH наиболее важными факторами для восходящей фильтрации в грунтовый водоносный горизонт являются фильтрационные свойства K_0 и мощность m_0 разделяющего слабопроницаемого слоя. В зонах, где породы слабопроницаемого слоя имеют более высокие значения проницаемости или меньшую мощность (например, эрозионные размывы), условия взаимодействия смежных горизонтов благоприятнее, что приводит к более высоким величинам питания грунтовых вод (локальное интенсивное перетекание).

Наибольшее питание грунтовых вод характерно для участков с открытой гидравлической связью, таких как гидрогеологические "окна", связанные с зонами фациального замещения слабопроницаемых пород, глубокими эрозионными размывами, зонами тектонических нарушений и т.д.

В реальных условиях участки с различной степенью связи грунтовых и более глубоких подземных вод характеризуется различными значениями разности напоров (при прочих равных условиях ΔH прямо пропорциональна значению фильтрационного сопротивления разделяющего слоя), и распределение величин питания грунтовых вод за счет перетекания из нижележащего горизонта значительно сложнее. В общем случае даже при относительно низкой проницаемости пород разделяющего слоя ($K_0 = 10^{-3}-10^{-4}$ м/сут) в связи с возможностью существования значительных напорных градиентов (до $J > 1$) и большой площадью поперечного сечения потока величины подобного питания грунтовых вод могут достигать 1,0—1,5 л/с*км² (30—50 мм/год) и более.

На участках, где грунтовый водоносный горизонт подстилается трещиноватыми или закарстованными породами, питание грунтовых вод за счет притока из нижележащих горизонтов осуществляется главным образом на локальных участках по зонам интенсивной трещиноватости (закарстованности). Условия фильтрации и объемы питания могут быть различными в зависимости от типа и строения конкретной зоны, глубины ее заложения, гидродинамического режима и др.

Из-за развития хозяйственной деятельности натуральное питание грунтовых вод постепенно сокращается. Распашка целинных земель, вырубка

лесов, мелиорация, гидротехническое строительство и другие виды деятельности приводят к изменениям в условиях питания грунтовых вод на обширных территориях. Наибольшее влияние на питание грунтовых вод оказывают виды деятельности, связанные с резкими изменениями водного режима и увлажнения поверхности земли, такие как орошение, обводнение пастбищ, создание прудов и водохранилищ. В развитых хозяйственно странах практически отсутствуют крупные регионы с сохранением абсолютно естественных условий формирования питания грунтовых вод.

Чтобы точнее определить условия питания грунтовых вод, следует учитывать различные виды и степень изменения естественных условий формирования питания грунтовых вод. Вместо термина "естественное" питание грунтовых вод, более правильно использовать термин "естественно-антропогенное", то есть естественные условия, измененные в различной степени антропогенным воздействием. Искусственное питание грунтовых вод следует определять как питание, создаваемое в связи с инженерно-хозяйственными мероприятиями, направленными на увеличение запасов грунтовых вод. Основные мероприятия этого типа включают создание инфильтрационных бассейнов, поглощающих колодцев, нагнетательных скважин и т.д.

4.1 Инфильтрация атмосферных осадков

Инфильтрация — это процесс проникновения свободной гравитационной воды с поверхности земли в грунтовый водоносный слой. Величина инфильтрационного питания измеряется в миллиметрах слоя воды, поступившей на уровень грунтовых вод за определенный период времени. Эта величина может также быть выражена как расход воды на единицу поверхности грунтового водоносного слоя. Интенсивность увлажнения поверхности земли, строение и состав пород зоны аэрации, температурный режим и влажность пород, вид растительности и другие факторы влияют на величину инфильтрационного питания. Она не зависит непосредственно от количества атмосферных осадков, так как в летний период они могут расходоваться на испарение. Основные объемы инфильтрационного питания формируются при интенсивном увлажнении поверхности земли в холодные периоды года с минимальными величинами испарения, такие периоды могут быть выделены в годовом цикле. В этом случае сумма атмосферных осадков за этот период рассматривается как "эффективная" сумма осадков.

5 Гидродинамический расчет междуречного массива при наличии инфильтрационного питания

Если учесть инфильтрационное питание, то расход грунтового потока в любом сечении междуречного массива может быть определен с помощью следующего уравнения:

$$q_x = q_1 + W \cdot x \quad (4)$$

где q_x - расход грунтового потока в сечении М на расстоянии x от уреза левой реки, проведенном через междуречный массив (см. рисунок), q_1 - расход грунтового потока в начальном сечении у уреза той же реки, W - количество воды, просачивающейся на поверхность грунтовых вод в единицу времени через единицу площади междуречного массива. При этом расходы q_x и q_1 считаются положительными, если движение грунтового потока происходит по направлению оси x .

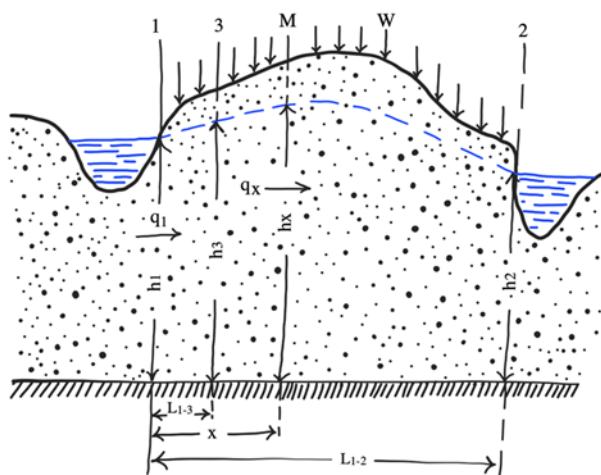


Рисунок 9 – Схема междуречного массива

По уравнению Дюпюи расход грунтового потока равен $q_x = -kh \frac{dh}{dx}$

Подставляя значение q_x в предыдущее уравнение (4),

получим:

$$q_x = q_1 + W \cdot x - kh \quad (5)$$

$$\frac{dh}{dx} = q_1 + W \cdot x \quad (6)$$

Отделение переменных и интегрирование дает:

$$-\frac{h_x^2 - h_1^2}{2} = \frac{q_1}{k} \cdot x + \frac{W}{k} \cdot \frac{x^2}{2} \quad (7)$$

Откуда

$$q_1 = k \frac{h_1^2 - h_x^2}{2x} - \frac{W}{2} \cdot x \quad (8)$$

Для определения q_1 примем

$$x = L_{1-2}, h_x = h_2$$

После подстановки этих значений x и h_x в уравнение (11) получим

$$q_1 = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} - W \frac{L_{1-2}}{2} \quad (9)$$

Подставляя полученное значение q_1 в уравнение (8)

$$q_x = q_1 + Wx,$$

получим расчетную формулу для определения расхода грунтовых вод через произвольное сечение междуречного массива с горизонтальным залеганием водоупорного основания при учете местного инфильтрационного питания:

$$q_x = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} - W \left(\frac{L_{1-2}}{2} - x \right) \quad (10)$$

В начальном сечении, где $x = 0$,

$$q_x = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} - W \frac{L_{1-2}}{2} \quad (11)$$

В конечном сечении, где $x = L_{1-2}$

$$q_x = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} + W \frac{L_{1-2}}{2} \quad (12)$$

Если $W = 0$, то

$$q_x = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} \quad (13)$$

Таким образом, если инфильтрация осадков отсутствует ($W = 0$), то расчетная формула для определения расхода грунтового потока в междуречном массиве переходит в формулу Дюпюи.

Уравнение кривой депрессии выводится следующим образом.

Отделяя переменные и интегрируя в пределах от начального сечения, где $x=0$, $h=h_1$, до сечения M , где $x=x$, $h=h_x$, получим

$$\text{Решая уравнение (10) } -\frac{h_x^2 - h_1^2}{2} = \frac{q_1}{k} \cdot x + \frac{W}{k} \cdot \frac{x^2}{2}$$

относительно h_x , получим

$$h_x^2 = h_1^2 = \frac{2}{k} q_1 x - \frac{Wx^2}{k} \quad (14)$$

$$\text{Уравнение (11) } q_1 = k \frac{h_1^2 - h_x^2}{2x} - \frac{W}{2} \cdot x$$

при $x = L_{1-2}$ примет вид

$$q_1 = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} - \frac{WL_{1-2}}{2} \quad (15)$$

Подставляя это значение q_1 в уравнение (14), получим

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{h_1^2 - h_2^2}{L_{1-2}} \cdot x + \frac{W}{k} (L_{1-2} - x) \cdot x} \quad (16)$$

Приведем исследование уравнения (16)

$$h_x = \sqrt{h_1^2 - \frac{h_1^2 - h_2^2}{L_{1-2}} \cdot x + \frac{W}{k} (L_{1-2} - x) \cdot x}, \text{ произведенное}$$

Н. Н. Биндеманом.

Примем $h_1=0, h_2=0$, что возможно в том случае, когда реки врезаются в водоупорное основание (рис.). Тогда из уравнения (16) будем иметь

$$h_x^2 = \frac{W}{k} \cdot (L_{1-2} \cdot x - x^2) \quad (17)$$

Перенесем начало координат к водоразделу и обозначим

$$a = \frac{L_{1-2}}{2}, b = h_{max}, x = a - z$$

Тогда

$$h_x^2 = \frac{W}{k} \cdot [2a(a - z) - (a - z)^2] = \frac{W}{k} (a^2 - z^2) \quad (18)$$

При $z = 0, h_x = b$

$$b^2 = \frac{W}{k} \cdot a^2, \frac{W}{k} = \frac{b^2}{a^2}$$

Тогда уравнение (18) примет следующий вид $h_x^2 = \frac{b^2}{a^2} (a^2 - z^2)$

Следовательно

$$\frac{h_x^2}{b^2} = 1 - \frac{z^2}{a^2}, \text{ или } \frac{h_x^2}{b^2} + \frac{z^2}{a^2} = 1 \quad (19)$$

Уравнение (19) $\frac{h_x^2}{b^2} + \frac{z^2}{a^2} = 1$ является уравнением эллипса с осями b и a .

Таким образом, в междуречном массиве при наличии инфильтрационного питания кривая депрессии имеет форму эллипса, а не параболы, как в случае грунтовых потоков без участия местной инфильтрации.

Однако, использование уравнения (16) напрямую для построения кривой депрессии затруднительно, так как величина инфильтрационного питания (W) и коэффициент фильтрации (k) для массива трудно независимо определить. Вместо этого можно определить параметр по данным уровней грунтовых вод в трех скважинах междуречного массива, чтобы избежать этих трудностей.

В этом случае, заменив в формуле (16) h_x на h_3

и x на L_{1-3} получим

$$\frac{W}{k} = \frac{h_3^2 - h_1^2}{(L_{1-2} - L_{1-3})L_{1-3}} + \frac{h_1^2 - h_2^2}{(L_{1-2} - L_{1-3})L_{1-2}} \quad (19)$$

5.1 Оценка инфильтрационного питания в различных гидрогеологических условиях Казахстана

Для построения кривой депрессии в междуречном массиве при учете инфильтрационного питания необходимо подставить значение W/k в уравнение (16). Это позволит определить положение уровня грунтовых вод в любой точке междуречного массива и построить кривую депрессии. Если известен коэффициент фильтрации, то можно использовать формулу (19) для определения величины инфильтрации.

В данном исследовании рассматриваются возможные варианты инфильтрационного питания в междуречье на территории Казахстана при условии, что количество атмосферных осадков находится в диапазоне от 200 до 600 мм в год, а коэффициент инфильтрации находится в пределах от 0,2 до 0,7. Используя эти параметры, были определены различные варианты отношения величины инфильтрационного питания к коэффициенту фильтрации пород междуречья. Результаты исследования сведены в таблицу 4, где представлены значения величины инфильтрации атмосферных осадков в метрах слоя воды в год (м/год) в зависимости от годовой суммы этих осадков и коэффициента инфильтрации.

Таблица 5.1.1 - Величины инфильтрации атмосферных осадков (слоя м/сут) в зависимости от годовой суммы этих осадков и коэффициента инфильтрации.

Осадки, мм/год	Коэффициент инфильтрации					
	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
200	0,000109	0,000164	0,000219	0,000274	0,000329	0,000384
250	0,000137	0,000205	0,000274	0,000342	0,000411	0,000479
300	0,000164	0,000247	0,000329	0,000411	0,000493	0,000575
350	0,000192	0,000288	0,000384	0,000479	0,000575	0,000671
400	0,000219	0,000329	0,000438	0,000548	0,000657	0,000767
450	0,000247	0,000370	0,000493	0,000616	0,000740	0,000863
500	0,000274	0,000411	0,000548	0,000685	0,000822	0,000959
550	0,000301	0,000452	0,000603	0,000753	0,000904	0,001055
600	0,000329	0,000493	0,000657	0,000822	0,000986	0,001151

Кроме этого, нами определено, что фильтрационные свойства водоносных горизонтов междуречья, а также зоны аэрации в пределах Казахстана как правило находятся в интервалах от 1,0 до 10,0 м/сут. В таблице 5 приводятся сведения о значении параметра $\frac{W}{k}$ с учетом этих значений коэффициента фильтрации.

Таблица 5.1.2 – Значения параметра $\frac{W}{k}$ для оценки инфильтрационного питания

инфильт рационн ое питание, м/сут	Коэффициент фильтрации водоносного горизонта, м/сут								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,000109	0,000109	0,0000545	0,0000363	0,0000273	0,0000218	0,0000182	0,0000156	0,0000136	0,0000121
0,000137	0,000137	0,0000685	0,0000457	0,0000343	0,0000274	0,0000228	0,0000196	0,0000171	0,0000152
0,000164	0,000164	0,0000820	0,0000547	0,0000410	0,0000328	0,0000273	0,0000234	0,0000205	0,0000182
0,000192	0,000192	0,0000960	0,0000640	0,0000480	0,0000384	0,0000320	0,0000274	0,0000240	0,0000213
0,000205	0,000205	0,0000102 5	0,0000683	0,0000513	0,000041	0,0000342	0,0000293	0,0000256	0,0000228
0,000219	0,000219	0,0001095	0,0000730	0,0000548	0,0000438	0,0000365	0,0000313	0,0000274	0,0000243

Продолжение таблицы 5.1.2									
0,000247	0,000247	0,0001235	0,0000823	0,0000618	0,0000494	0,0000412	0,0000353	0,0000309	0,0000274
0,000274	0,000274	0,0001370	0,0000913	0,0000685	0,0000548	0,0000457	0,0000391	0,0000343	0,0000304
0,000288	0,000288	0,0001440	0,0000960	0,0000720	0,0000576	0,0000480	0,0000411	0,0000360	0,0000320
0,000301	0,000301	0,0001505	0,0001003	0,0000753	0,0000602	0,0000502	0,0000430	0,0000376	0,0000334
0,000329	0,000329	0,0001645	0,0001097	0,0000823	0,0000658	0,0000548	0,0000470	0,0000411	0,0000366
0,000342	0,000342	0,0001710	0,0001140	0,0000855	0,0000684	0,0000570	0,0000489	0,0000428	0,0000380
0,00037	0,00037	0,0001850	0,0001233	0,0000925	0,000074	0,0000617	0,0000529	0,0000463	0,0000411
0,000384	0,000384	0,0001920	0,0001280	0,0000960	0,0000768	0,0000640	0,0000549	0,0000480	0,0000427
0,000411	0,000411	0,0002055	0,0001370	0,0001028	0,0000822	0,0000685	0,0000587	0,0000514	0,0000457
0,000438	0,000438	0,0002190	0,0001460	0,0001095	0,0000876	0,0000730	0,0000626	0,0000548	0,0000487
0,000452	0,000452	0,0002260	0,0001507	0,0001130	0,0000904	0,0000753	0,0000646	0,0000565	0,0000502
0,000479	0,000479	0,0002395	0,0001597	0,0001198	0,0000958	0,0000798	0,0000684	0,0000599	0,0000532
0,000493	0,000493	0,0002465	0,0001643	0,0001233	0,0000986	0,0000822	0,0000704	0,0000616	0,0000548
0,000548	0,000548	0,0002740	0,0001827	0,0001370	0,0001096	0,0000913	0,0000783	0,0000685	0,0000609
0,000575	0,000575	0,0002875	0,0001917	0,0001438	0,000115	0,0000958	0,0000821	0,0000719	0,0000639
0,000603	0,000603	0,0003015	0,0002010	0,0001508	0,0001206	0,0001005	0,0000861	0,0000754	0,0000670
0,000616	0,000616	0,0003080	0,0002053	0,0001540	0,0001232	0,0001027	0,0000880	0,0000770	0,0000684
0,000657	0,000657	0,0003285	0,0002190	0,0001643	0,0001314	0,0001095	0,0000939	0,0000821	0,0000730
0,000671	0,000671	0,0003355	0,0002237	0,0001678	0,0001342	0,0001118	0,0000959	0,0000839	0,0000746
0,000685	0,000685	0,0003425	0,0002283	0,0001713	0,000137	0,0001142	0,0000979	0,0000856	0,0000761
0,00074	0,00074	0,0003700	0,0002467	0,0001850	0,000148	0,0001233	0,0001057	0,0000925	0,0000822
0,000753	0,000753	0,0003765	0,0002510	0,0001883	0,0001506	0,0001255	0,0001076	0,0000941	0,0000837
0,000767	0,000767	0,0003835	0,0002557	0,0001918	0,0001534	0,0001278	0,0001096	0,0000959	0,0000852
0,000822	0,000822	0,0004110	0,0002740	0,0002055	0,0001644	0,0001370	0,0001174	0,0001028	0,0000913
0,000863	0,000863	0,0004315	0,0002877	0,0002158	0,0001726	0,0001438	0,0001233	0,0001079	0,0000959
0,000904	0,000904	0,0004520	0,0003013	0,0002260	0,0001808	0,0001507	0,0001291	0,0001130	0,0001004
0,000959	0,000959	0,0004795	0,0003197	0,0002398	0,0001918	0,0001598	0,0001370	0,0001199	0,0001066
0,000986	0,000986	0,0004930	0,0003287	0,0002465	0,0001972	0,0001643	0,0001409	0,0001233	0,0001096
0,001055	0,001055	0,0005275	0,0003517	0,0002638	0,000211	0,0001758	0,0001507	0,0001319	0,0001172
0,001151	0,001151	0,0005755	0,0003837	0,0002878	0,0002302	0,0001918	0,0001644	0,0001439	0,0001279

Если доступна информация о коэффициенте фильтрации пород междуречья, то можно определить значения величины инфильтрационного питания и коэффициента инфильтрации, следуя этой схеме:

- используя уравнение (19), определить значение W/k для пород с известным коэффициентом фильтрации;

- с помощью диаграммы, соответствующей литологии пород и коэффициенту фильтрации, определить величину инфильтрационного питания W ;

- используя данные о количестве атмосферных осадков на данной территории из таблицы 4, определяется коэффициент инфильтрации, который отображает, какая доля атмосферных осадков задействована в инфильтрационном питании водоносного горизонта междуречья.

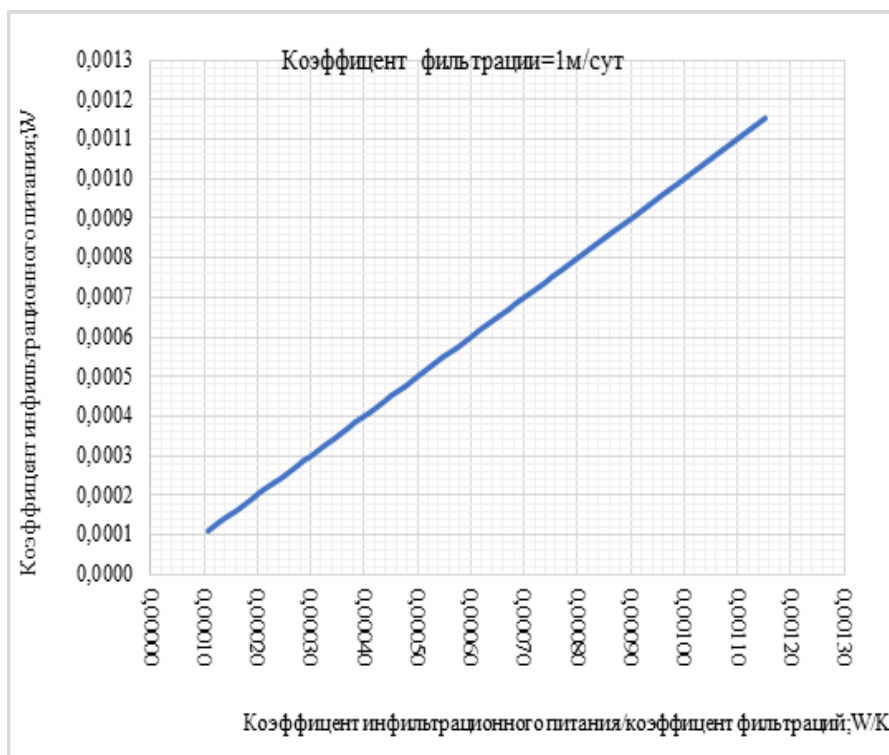


Рисунок 10 - диаграммы для определения величины инфильтрационного питания при различных фильтрационных свойствах водоносного горизонта.

Таблица 5.1.3 – Значение величины инфильтрации при различных коэффициентах фильтрации пород междуречья

величина инфильтрационного питания (W), м/сут	Кoeffициент фильтрации (k), м/сут									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,000109	9174,312	8348,62	7522,94	6697,2	5871,56	5045,87	64220,18	73394,5	2568,81	91743,12
0,000137	8299,27	4598,54	21897,81	29197,1	36496,35	3795,62	1094,89	58394,16	5693,43	2992,7
0,000164	6097,561	12195,12	18292,68	24390,2	30487,8	36585,37	42682,93	48780,49	54878,05	60975,61
0,000192	5208,333	10416,67	15625	20833,3	26041,67	31250	36458,33	41666,67	46875	52083,33
0,000205	4878,049	9756,098	14634,15	19512,2	24390,24	29268,29	34146,34	39024,39	43902,44	48780,49
0,000219	4566,21	9132,42	13698,63	18264,8	22831,05	27397,26	31963,47	36529,68	41095,89	45662,1
0,000247	4048,583	8097,166	12145,75	16194,3	20242,91	24291,5	28340,08	32388,66	36437,25	40485,83
0,000274	3649,635	7299,27	10948,91	14598,5	18248,18	21897,81	25547,45	29197,08	32846,72	36496,35
0,000288	3472,222	6944,444	10416,67	13888,9	17361,11	20833,33	24305,56	27777,78	31250	34722,22
0,000301	3322,259	6644,518	9966,777	13289	16611,3	19933,55	23255,81	26578,07	29900,33	33222,59
0,000329	3039,514	6079,027	9118,541	12158,1	15197,57	18237,08	21276,6	24316,11	27355,62	30395,14
0,000342	2923,977	5847,953	8771,93	11695,9	14619,88	17543,86	20467,84	23391,81	26315,79	29239,77
0,00037	2702,703	5405,405	8108,108	10810,8	13513,51	16216,22	18918,92	21621,62	24324,32	27027,03
0,000384	2604,167	5208,333	7812,5	10416,7	13020,83	15625	18229,17	20833,33	23437,5	26041,67
0,000411	2433,09	4866,18	7299,27	9732,36	12165,45	14598,54	17031,63	19464,72	21897,81	24330,9
0,000438	2283,105	4566,21	6849,315	9132,42	11415,53	13698,63	15981,74	18264,84	20547,95	22831,05

0,000452	2212,389	4424,779	6637,168	8849,56	11061,95	13274,34	15486,73	17699,12	19911,5	22123,89
<i>Продолжение таблицы 5.1.3</i>										
0,000479	2087,683	4175,365	6263,048	8350,73	10438,41	12526,1	14613,78	16701,46	18789,14	20876,83
0,000493	2028,398	4056,795	6085,193	8113,59	10141,99	12170,39	14198,78	16227,18	18255,58	20283,98
0,000548	1824,818	3649,635	5474,453	7299,27	9124,088	10948,91	12773,72	14598,54	16423,36	18248,18
0,000575	1739,13	3478,261	5217,391	6956,52	8695,652	10434,78	12173,91	13913,04	15652,17	17391,3
0,000603	1658,375	3316,75	4975,124	6633,5	8291,874	9950,249	11608,62	13267	14925,37	16583,75
0,000616	1623,377	3246,753	4870,13	6493,51	8116,883	9740,26	11363,64	12987,01	14610,39	16233,77
0,000657	1522,07	3044,14	4566,21	6088,28	7610,35	9132,42	10654,49	12176,56	13698,63	15220,7
0,000671	1490,313	2980,626	4470,939	5961,25	7451,565	8941,878	10432,19	11922,5	13412,82	14903,13
0,000685	1459,854	2919,708	4379,562	5839,42	7299,27	8759,124	10218,98	11678,83	13138,69	14598,54
0,00074	1351,351	2702,703	4054,054	5405,41	6756,757	8108,108	9459,459	10810,81	12162,16	13513,51
0,000753	1328,021	2656,042	3984,064	5312,08	6640,106	7968,127	9296,149	10624,17	11952,19	13280,21
0,000767	1303,781	2607,562	3911,343	5215,12	6518,905	7822,686	9126,467	10430,25	11734,03	13037,81
0,000822	216,545	2433,09	3649,635	4866,18	6082,725	7299,27	8515,815	9732,36	10948,91	12165,45
0,000863	1158,749	2317,497	3476,246	4634,99	5793,743	6952,491	8111,24	9269,988	10428,74	11587,49
0,000904	106,195	2212,389	3318,584	4424,78	5530,973	6637,168	7743,363	8849,558	9955,752	11061,95
0,000959	1042,753	2085,506	3128,259	4171,01	5213,764	6256,517	7299,27	8342,023	9384,776	10427,53
0,000986	1014,199	2028,398	3042,596	4056,8	5070,994	6085,193	7099,391	8113,59	9127,789	10141,99
0,001055	947,8673	1895,735	2843,602	3791,47	4739,336	5687,204	6635,071	7582,938	8530,806	9478,673
0,001151	868,8097	1737,619	2606,429	3475,24	4344,049	5212,858	6081,668	6950,478	7819,288	8688,097

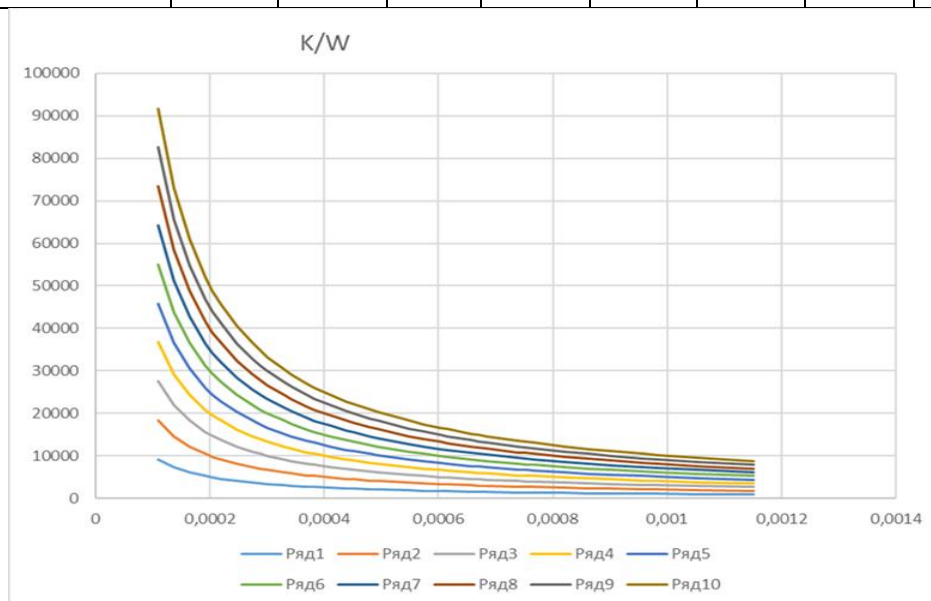


Рисунок 11 - Диаграммы зависимости величины инфильтрационного питания междуречья для пород с различным коэффициентом фильтрации

Пример расчета инфильтрационного питания.

На участке междуречья реки Сырдарьи пройдена гидрогеологическая скважина по которой определены следующие параметры

- абсолютная отметка уровня грунтовых вод в скважине составляет 431 м;
- коэффициент фильтрации пород междуречья определенный по результатам откачки воды из скважины составляет 3,0 м/сут;

- расстояние от левой реки до скважины 1200 м;
- ширина междуречья по данному профилю составляет 8200 м;
- абсолютная отметка уровня воды в левой реке по данному створу составляет 428м;
- абсолютная отметка уровня воды в правой реке по данному створу составляет 426м.
- количество атмосферных осадков в данном регионе составляет 600 мм/год.

Воспользовавшись уравнением (19) находим значение W/k , которое составляет 0,000329, что соответствует при данном коэффициенте фильтрации пород (3,0 м/сут) 0,000968 метров слоя воды в сутки (что соответствует величине инфильтрации 353 мм слоя воды в год).

Отсюда коэффициент инфильтрации составляет 0,59.

Нами предлагается также воспользоваться диаграммой, соответствующей коэффициенту фильтрации 3,0 м/сут.

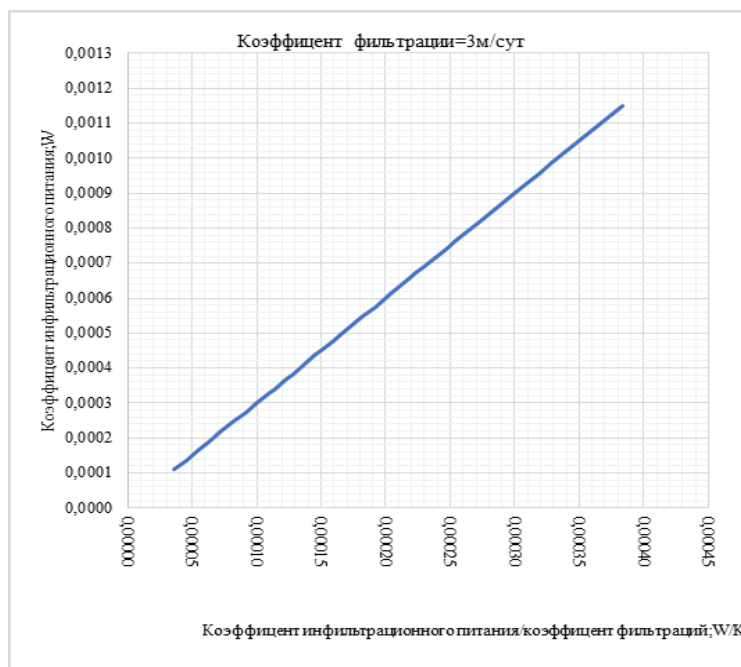


Рисунок 12 - диаграммы для определения величины инфильтрационного питания при различных фильтрационных свойствах водоносного горизонта.

Таким образом возможно определять инфильтрационное питание водоносного горизонта конкретного междуречья без проведения воднобалансовых и иных дорогостоящих исследований.

5.2 Исследование формы депрессионной кривой в зависимости от соотношения уровней рек междуречья

Нами проведен расчет, каким образом и в какой степени подъем уровня в одной из рек влияет на положение водораздельной линии.

Из уравнения (12) $q_x = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} - W \left(\frac{L_{1-2}}{2} - x \right)$ видно, что при отсутствии инфильтрации ($W = 0$) и при равенстве уровней воды в реках $h_1 = h_2$.

Расход грунтового потока $q_x = 0$, т. е. Расход грунтового потока q_x , равный 0 в случае отсутствия движения воды из одной реки в другую. Однако, из-за двухмерной природы потока и его составляющей скорости в перпендикулярном направлении к плоскости разреза, в междуречных массивах возникает водораздел грунтовых вод даже при отсутствии инфильтрации. При наличии инфильтрации этот водораздел становится более высоким и лучше выраженным. Для определения положения водораздела в междуречном массиве при наличии инфильтрации используется расстояние от начального сечения до водораздела, обозначаемое a , и уравнение (12).

Обозначим расстояние от начального сечения до водораздела через a . На водоразделе расход грунтовых вод $q_x = 0$. Тогда из уравнения (12)

$$q_x = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} - W \left(\frac{L_{1-2}}{2} - x \right) \quad (20)$$

получим

$$k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} - W \left(\frac{L_{1-2}}{2} - a \right) = 0 \quad (21)$$

$$a = \frac{L_{1-2}}{2} - \frac{k}{W} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} \quad (22)$$

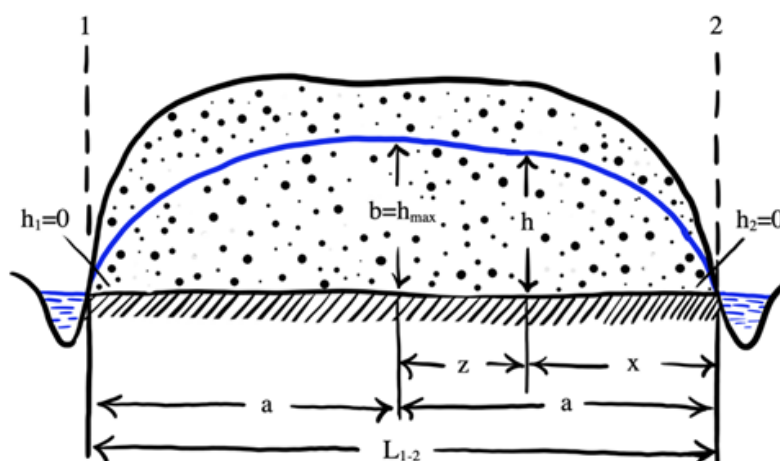


Рисунок 13 – Междуречье при симметричной форме депрессионной кривой

Рассмотрим тот случай, когда по каким-либо причинам уровни воды в реках междуречья находятся на разных отметках.

Если $h_1 = h_2$

$$a = \frac{L_{1-2}}{2} - \frac{k}{W} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} \quad (23)$$

то $a = \frac{L_{1-2}}{2}$

т. Е. Водораздел находится на середине междуречья (рис.12);

если $h_1 > h_2$

то $a < \frac{L_{1-2}}{2}$

т. Е. водораздел смещен влево от среднего сечения междуречья;

если $h_1 < h_2$ То $a > \frac{L_{1-2}}{2}$

При наличии инфильтрации водораздел грунтовых вод смещается в сторону той реки, уровень воды в которой выше. Это приводит к перераспределению питания в сторону реки с меньшим уровнем воды. Расчеты изменения этого питания проведены на примере средних значений параметров для равнинной части Казахстана. Результаты расчетов показывают, как изменяется питание в зависимости от разности уровней воды в реках междуречья. Для этого была создана Таблица 7, в которой приведены значения изменения инфильтрационного питания при разных уровнях воды в реках междуречья.

Таблица 5.1.4 - Изменения величины инфильтрационного питания в зависимости от колебаний уровней воды в реках междуречья

H ₁ -H ₂ /L ₁₋₂	W, %		L ₁₋₂ ; М	К
	Река ₁ (уменьшение)	Река ₂ (увеличение)		
0	50%	50%	1000	5
0,001	49,17%	50,83%	1000	5
0,002	46,72%	53,28%	1000	5
0,003	42,46%	57,54%	1000	5
0,004	36,72%	63,28%	1000	5
0,005	29,20%	70,80%	1000	5
0,006	20,14%	79,86%	1000	5

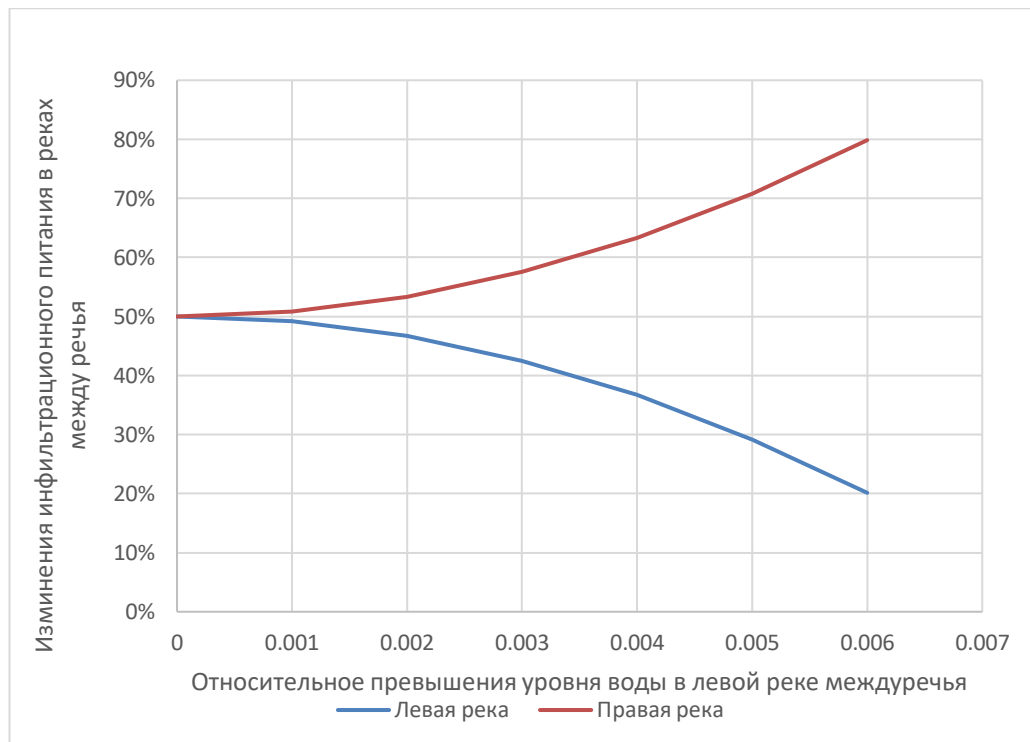


Рисунок 14 - Изменения величины инфильтрационного питания в зависимости от колебаний уровней воды в реках междуречья

Таким образом, в зависимости от соотношения уровней воды в реках водораздел грунтовых вод смещается от середины междуречья в сторону той реки, в которой уровень воды выше.

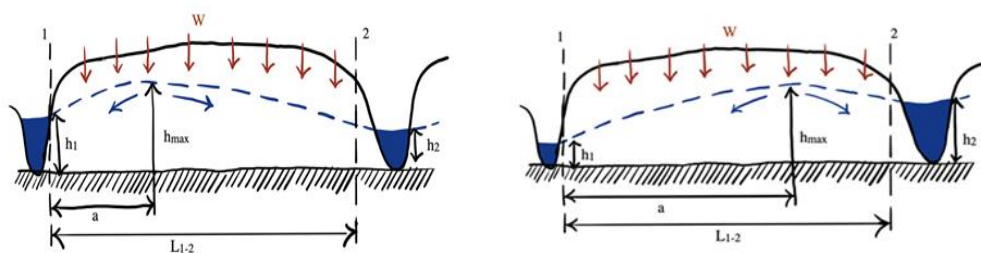


Рисунок 15 – Несимметричная форма депрессионной кривой при разных уровнях воды в реках.

Пример расчета.

- в межень период абсолютная отметка уровней воды в реках по соответствующему створу междуречья одинаковая и составляет 320 м;
- расстояние между руслами рек по этому створу составляет 12,5 км;
- инфильтрационное питание рассчитанное вышеприведённым методом составляет 0,185 м/год

С учетом однородности состава водовмещающих пород питание левой и правой реки за счет инфильтрации одинаково и составляет - кубометров на 1 км протяженности реки

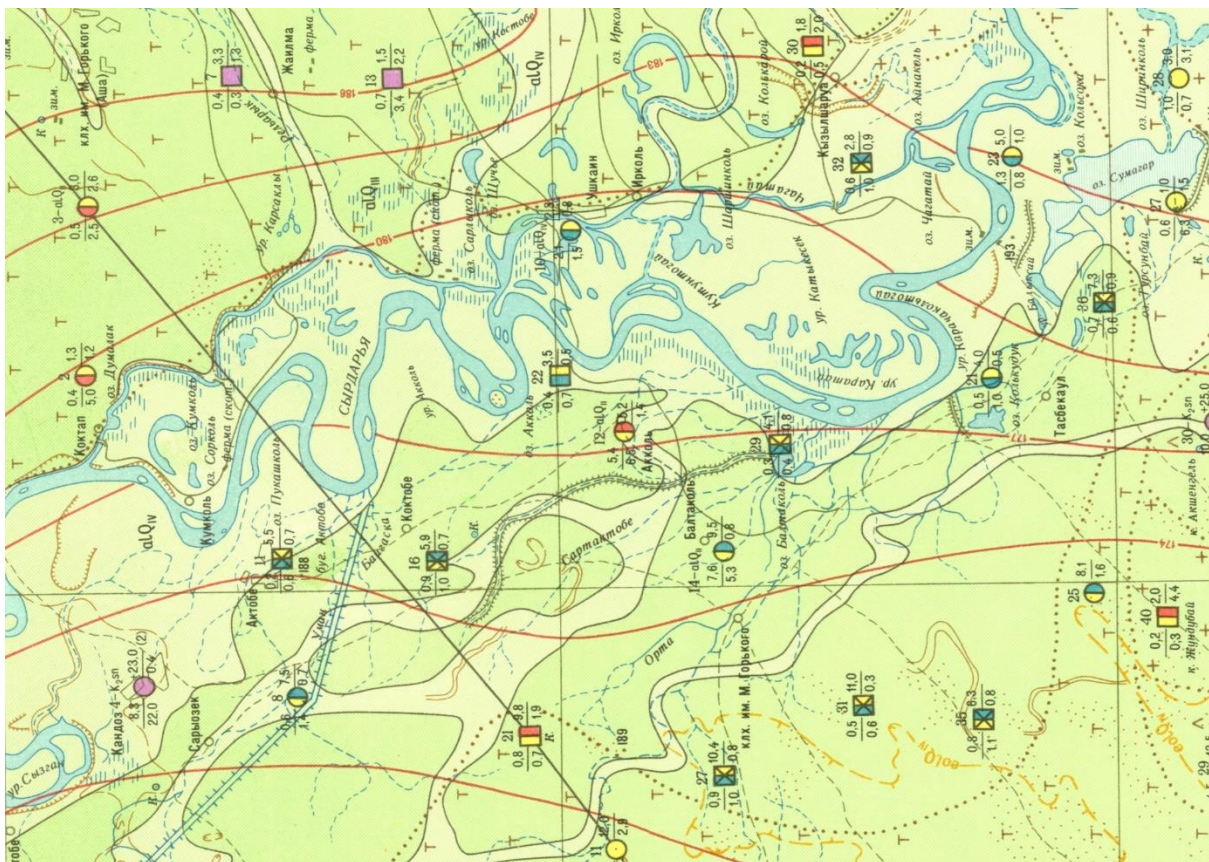


Рисунок 16 – Гидрогеологическая карта района пролива реки Сырдарьи Южно Казахстанская Область масштаб 1-200000

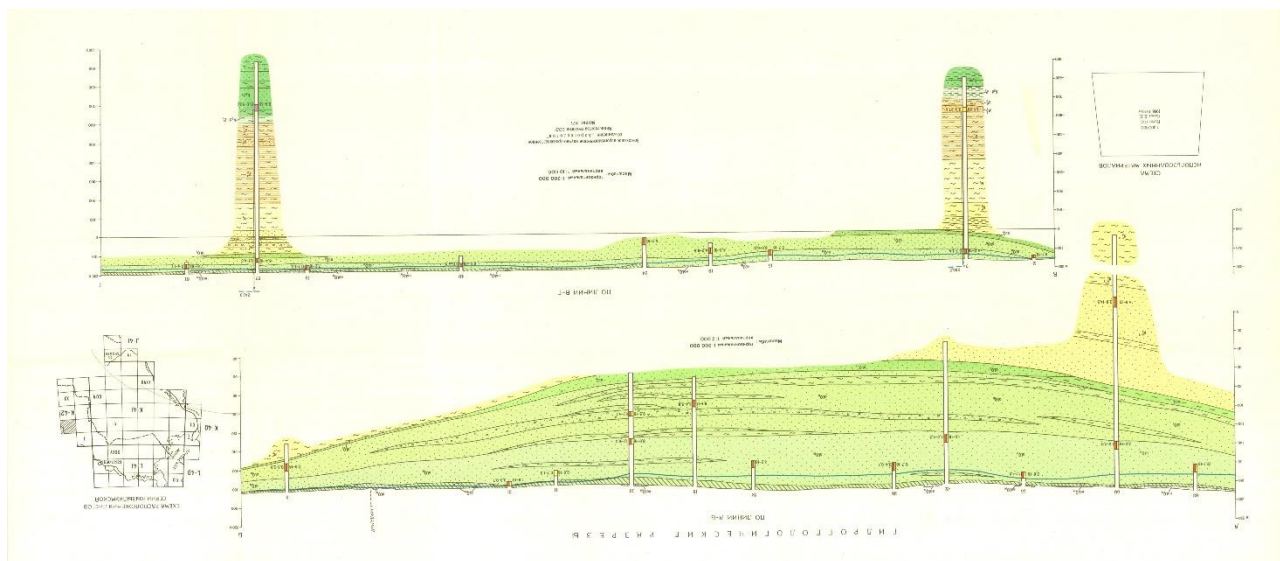


Рисунок 17 – Геологический разрез по линии А-Б масштабом 1-200000

Пример Расчета для определения Уменьшение и увеличения Инфильтрационного питания одной из рек.

-Междуречный массив расстоянием 1600 м омывается с двух сторон рекой Сырдарья

-Абсолютная отметка уровня воды в левой реке составляет – 173,6 м

-Абсолютная отметка уровня воды в правой реке составляет – 172 м

-Разность уровня вод составляет 1,6 м

-Коэффициент фильтрации для данной среды составляет 5 м/сут как мелко зернистый песок

Решения:

$$H_1 - H_2 / L_{1-2} = 1.6 / 1600 = 0.001$$

В нашем случае водораздел смещен в лево от среднего сечения междуречья;

$$\text{если } h_1 > h_2 \text{ То } a < \frac{L_{1-2}}{2}$$

$$a = \frac{L_{1-2}}{2} - \frac{k}{W} \cdot \frac{h_1^2 - h_2^2}{2 L_{1-2}} \quad \text{опираясь на формулу (20)}$$

$$a = 1600/2 - 5/0,001 * ((173,6^2 - 172^2)/2 * 1600) = 796 \text{ м}$$

Водораздел сместился на 4 м в лево

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дипломной работа посвятили методике проведения гидродинамических расчетов по определению расхода грунтового потока и построению депрессии в междуречном массиве, при наличии инфильтрационного питания по методу Г.Н.Каменского. Основное внимание было уделено использованию полученных уравнений в которых проведена оценка величины инфильтрационного питания междуречья.

Описана методика определения инфильтрационного питания и коэффициента инфильтрации для различных регионов Казахстана с различными коэффициентами фильтрации водоносных горизонтов и величиной атмосферных осадков. А так же разработаны вспомогательные таблицы и диаграммы. Провели расчеты по методике гидродинамического расчета при смещении водораздела грунтовых вод в зависимости от уровней воды в реках междуречья. Привели поясняющие примеры гидродинамических расчетов. Также студенческая научная работа на эту тему заняла III призовое место на Республиканском конкурсе студенческих научных работ с вручением соответствующего Диплома III степени. При более высоком положении водоупора, река питает грунтовые воды только во время половодья, тогда как в период снижения уровня воды в реке, она дренирует грунтовые воды и питается ими. Когда уровень воды в реке начинает снижаться, часть из накопленной в грунте воды возвращается в русло реки. Этот процесс называется береговым регулированием речного стока или периодическим питанием подземных вод. В конце мы с вами смогли разобрать и привели решение по которому Водораздел со стороны реки чей уровень воды оказался больше на 3 метра имеет Инфильтрационного питания больше на 0.83%. Так же смогли построить примерное введение депрессионной кривой данного участка.

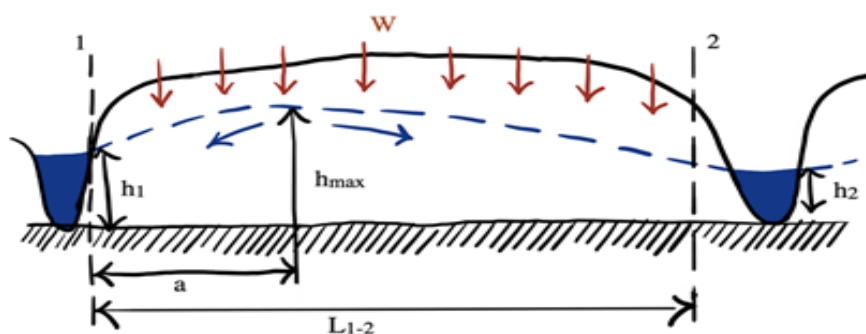


Рисунок 17 – Несимметричная форма депрессионной кривой

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1 Михайлов В.Н. Гидрология: Учебник для вузов/В.Н. Михайлов, А.Д. Добровольский, С.А. Добролюбов. — 2-е изд. Испр. — М.: Высш. Шк., 2007. — 463 с.: ил.

2 Всеволожский В.А. Основы гидрогеологии: Учебник. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГУ, 2007. — 448 с, илл. — (Классический университетский учебник).

3 Чеботарев А.И. Общая гидрология (воды суши): Учебник. — 2-е изд., Гидрометеиздат, Ленинград, 1975. — 544 с.: ил.

4 Силин-Бекчурин А.И. Динамика подземных вод: Учебник. — Изд. №784. Издательство Московского университета Москва, Ленинские горы. 1958. — 243 с.: ил.

Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагиаттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Атыханов Абылайхан Сабитович

Тақырыбы: «Оценка гидродинамическим методом инфильтрационного питания грунтового водоносного горизонта в междуречном массиве».docx

Жетекшісі: Вячеслав Завалей

1-ұқсастық коэффициенті (30): 24.3

2-ұқсастық коэффициенті (5): 4.4

Дәйексөз (35): 0.6

Әріптерді ауыстыру: 22

Аралықтар: 0

Шағын кеңістіктер: 0

Ақ белгілер: 20

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

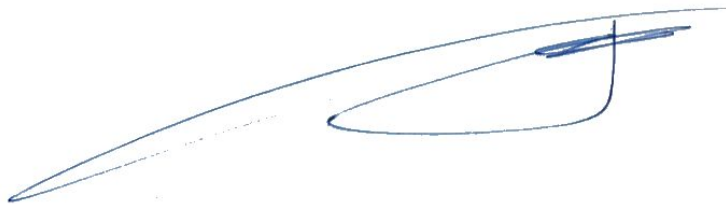
Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме: Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар рұқсат
дегенмен шешімі асмайды



Кафедра меңгерушісі

Күні
12.06.23.



РЕЦЕНЗИЯ

на Дипломный проект
(наименование вида работы)

Атыханов Абылайхан
(Ф.И.О. обучающегося)

6B05201

(шифр и наименование ОП)

На тему: Оценка гидродинамическим методом инфильтрационного питания грунтового водоносного горизонта в междуречном массива

Выполнено:

- а) графическая часть на _____ листах
б) пояснительная записка на _____ страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В ходе дипломирования авторы данной работы продемонстрировали высокую активность в исследовании литературных источников, обладают глубокими знаниями в специализированных предметах и способны самостоятельно решать теоретические и практические задачи в области гидрогеологии. Для оценки коэффициента инфильтрации приводятся варианты при различных коэффициентах фильтрации пород междуречных массивов и различных вариантах величины атмосферных осадков. Приводится величина изменения инфильтрационного питания при разных уровнях воды в реках междуречья. Приводятся варианты расчета перераспределения грунтового питания рек междуречья в зависимости от разницы положения уровней воды в них.

Оценка работы

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным проектам, и рекомендуется для представления на защите перед Государственной аттестационной комиссией (ГАК).

Рецензент

Магистр тех наук

Кисмельева Б.А.

«Промышленность» 2023 г.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Атыханов Абылайхан Сабитович

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: «Оценка гидродинамическим методом инфильтрационного питания грунтового водоносного горизонта в междуречном массиве».docx

Научный руководитель: Вячеслав Завалей

Коэффициент Подобия 1: 24.3

Коэффициент Подобия 2: 4.4

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 22

Интервалы: 0

Белые Знаки: 20

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата



проверяющий эксперт

**ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

**По дипломному проекту Атыханова Абылайхан Сабитович
Специальность: 6В05201– Геология и разведка месторождений полезных
ископаемых**

**Тема: «Оценка гидродинамическим методом
инфильтрационного питания грунтового водоносного горизонта в
междуречном массиве»**

Предложен вариант расчета инфильтрационного питания междуречного массива по результатам опытно-фильтрационных работ. Приводятся сведения об инфильтрационном питании грунтового водоносного горизонта в междуречном массиве и даются варианты расчета этого питания по гидродинамическим формулам с использованием предлагаемых расчетных коэффициентов в виде таблиц и графиков для упрощения этих расчетов. Для оценки коэффициента инфильтрации приводятся варианты при различных коэффициентах фильтрации пород междуречных массивов и различных вариантах величины атмосферных осадков. Приводится величина изменения инфильтрационного питания при разных уровнях воды в реках междуречья. Приводятся варианты расчета перераспределения грунтового питания рек междуречья в зависимости от разницы положения уровней воды в них.

За время дипломирования авторы работы показали высокую активность в работе с литературными источниками, хорошие знания специальных предметов, умение самостоятельно решать теоретические и прикладные задачи гидрогеологии.

Основные положения разработанной методики оценки инфильтрационного питания водоносного горизонта доложены на Международных Сатпаевских чтениях «International Satbayev Conference 2022» в 2022г и опубликованы в Сборнике докладов.

Студенческая научная работа, представленная на эту тему, заняла III призовое место на Республиканском конкурсе студенческих научных работ с вручением соответствующего Диплома III степени.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к дипломным проектам и рекомендуется для представления в ГАК для защиты.

**Научный руководитель,
к.г-м.н. профессор**



В.А.Завалей



Метаданные

Название

«Оценка гидродинамическим методом инфильтрационного питания грунтового водоносного горизонта в междуручном массиве».docx

Автор

Атыханов Абылайхан Сабитович

Научный руководитель / Эксперт






Вячеслав Завалей

Подразделение

ИГИНГД

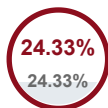
Список возможных попыток манипуляций с текстом

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

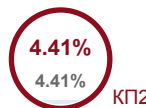
Замена букв		22
Интервалы		0
Микропробелы		0
Белые знаки		20
Парафразы (SmartMarks)		135

Объем найденных подобиий

Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.

**25**

Длина фразы для коэффициента подобия 2

**6531**

Количество слов

**52939**

Количество символов

Подобия по списку источников

Просмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и обратите внимание на то, являются ли выделенные фрагменты повторяющимися короткими фразами, разбросанными в документе (совпадающие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника ("криптоцитаты").

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	ЦВЕТ ТЕКСТА
1	https://studfile.net/preview/15486518/page:19/	148	2.27 %
2	https://edu.kpfu.ru/mod/book/tool/print/index.php?id=278876&chapterid=7706	45	0.69 %
3	https://topuch.ru/kontrolenaya-rabota-po-discipline-osnovi-gidrologii/index.html	36	0.55 %
4	https://zabava-art.ru/struktura-vodnogo-balansa-basseyna-reki	33	0.51 %
5	https://studfile.net/preview/15486518/page:19/	26	0.40 %

6	https://zabava-art.ru/morfometriceskaya-kharakteristika-reki-eto/	23	0.35 %
7	https://topuch.ru/kontrolnaya-rabota-po-discipline-osnovi-gidrologii/index.html	22	0.34 %
8	https://megaobuchalka.ru/7/30516.html	21	0.32 %
9	https://studfile.net/preview/15486518/page:19/	21	0.32 %
10	https://topuch.ru/kontrolnaya-rabota-po-discipline-osnovi-gidrologii/index.html	20	0.31 %

из базы данных RefBooks (0.00 %) 

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.00 %) 

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из программы обмена базами данных (0.00 %) 

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из интернета (24.33 %) 

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)	
1	https://studfile.net/preview/15486518/page:19/	528 (38)	8.08 %
2	https://topuch.ru/kontrolnaya-rabota-po-discipline-osnovi-gidrologii/index.html	195 (17)	2.99 %
3	https://studfile.net/preview/15486518/page:17/	166 (17)	2.54 %
4	https://cyberpedia.su/13x146a6.html	120 (14)	1.84 %
5	https://subject-book.com/geografiya/gidroximiya-gruntovyx-vod-gruntovye-vody.html	110 (9)	1.68 %
6	https://studfile.net/preview/9613164/	84 (9)	1.29 %
7	http://delta-eco.ru/problemy/rechnoj-bassejn.html	64 (5)	0.98 %
8	https://zabava-art.ru/morfometriceskaya-kharakteristika-reki-eto/	57 (3)	0.87 %
9	https://edu.kpfu.ru/mod/book/tool/print/index.php?id=278876&chapterid=7706	45 (1)	0.69 %
10	https://fat-control.ru/kak-poschitat-basseyn-reki/	45 (5)	0.69 %
11	https://zabava-art.ru/struktura-vodnogo-balansa-basseyna-reki	41 (2)	0.63 %
12	https://megaobuchalka.ru/7/30516.html	40 (2)	0.61 %
13	https://myslide.ru/presentation/skachat-gidrosfera-reki--ledniki	23 (2)	0.35 %
14	https://ppt-online.org/98740	23 (3)	0.35 %
15	https://znanio.ru/media/kontrolnaya_rabota_po_gidrogeologii_10_j_variant-298044	21 (2)	0.32 %
16	https://studfile.net/preview/9992356/page:2/	12 (1)	0.18 %
17	http://elib.bsui.by/bitstream/123456789/186874/1/лекции.pdf	8 (1)	0.12 %

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР

СОДЕРЖАНИЕ

КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)