

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К. И. Сатпаева

УДК 556.3.013/.3.072/.38/.3.01

На правах рукописи

ИСМАГУЛОВА АИДА ЖАНАТОВНА

**Исследования процессов кольтматации на опытно-экспериментальных
системах искусственного восполнения запасов подземных вод в Юго -
Восточном Казахстане**

6D075500 – Гидрогеология и инженерная геология

Диссертация на соискание ученой степени
доктора философии (PhD)

Научный консультант:

Муртазин Е. Ж. канд. геол.-мин. наук,
зам. директора по научной работе
Института гидрогеологии и геоэкологии
им. У.М.Ахмедсафина,(Казахстан,
г.Алматы)

Зарубежный научный консультант:

Мирлас В. М. доктор технических наук,
канд.геол.-мин. наук, профессор, ,
лектор Акиельского Университета
(Израэль, г.Ариэль)

Республика Казахстан
Алматы, 2023

СОДЕРЖАНИЕ.....	2
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ.....	7
ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	9
ВВЕДЕНИЕ.....	13
1. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИЗУЧЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ПРОЦЕССОВ КОЛЬМАТАЦИИ В ОСНОВАНИЯХ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ БАССЕЙНОВ В КАЗАХСТАНЕ И ЗА РУБЕЖОМ.....	23
2.ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА, ОРГАНИЗАЦИИ И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ КОЛЬМАТАЦИИ	30
2.1 Основные критерии выбора и организации участков экспериментальных исследований.....	30
2.1.1 Организация Аксуского репрезентативного участка экспериментальных исследований.....	31
2.1.2 Организация Лепсинского участка экспериментальных исследований..	33
2.1.3 Организация Каратал-Коксуского участка экспериментальных исследований.....	34
2.2 Климатические особенности региона исследований Юго-Восточного Казахстана в условиях глобального потепления.....	35
2.3 Геоморфологические особенности участков исследований	36
2.4 Гидрологические условия.....	37
2.5 Почвы и растительный покров.....	40
3. ХАРАКТЕРИСТИКА АНТРОПОГЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЧНОГО СТОКА В РЕГИОНАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ КОЛЬМАТАЦИИ	43
3.1 Оценка антропогенных и техногенных изменений речного стока основных рек Юго - Восточного Казахстана.....	43
3.2 Количественная характеристика речного стока основных рек Юго - Восточного Казахстана	44
3.3 Натурные исследования величины мутности поверхностных вод рек Юго-Восточного Казахстана и оценка влияния на процессы кольматации при использовании в качестве источника искусственного восполнения запасов подземных вод.....	48
3.3.1 Аналитический обзор применяемых методов и средств измерений мутности речной воды.....	49
3.3.2 Организация, методы и методология проведения натурных исследований величины мутности поверхностных вод рек Юго-Восточного Казахстана	52
3.3.3 Результаты натурных исследований и оценка влияния величины мутности поверхностных вод на процессы кольматации при использовании в качестве источника искусственного восполнения запасов подземных вод.....	54

Выводы по Разделу 3.. .. .	57
4. ХАРАКТЕРИСТИКА И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ, СВОЙСТВ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ВЕРХНИХ СЛОЕВ ВОДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА НА ПРОЦЕССЫ КОЛЬМАТАЦИИ	59
4.1 Методы, методология и результаты натурных исследований литологического состава покровных отложений и верхних слоев водовмещающих пород водоносного горизонта.....	59
4.2 Методы, методология и результаты натурных исследований фильтрационных свойств грунтов зоны аэрации на репрезентативном и экспериментальном участках исследований.....	63
4.3 Методы, методология и результаты натурных исследований одномерной объемной влажности грунтов зоны аэрации и подстилающих первый от поверхности водоносный горизонт на репрезентативном и экспериментальном участках исследований.....	65
Выводы по Разделу 4.....	68
5. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА УЧАСТКАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ КОЛЬМАТАЦИИ.....	71
5.1 Состав и методика проведения гидрогеологических исследований на участках экспериментальных исследований процессов кольматации.....	71
5.2 Особенности формирования гидрохимического режима грунтовых вод на участках экспериментальных исследований процессов кольматации.....	75
5.2.1 Характеристика и особенности формирования уровенно-солевого режима грунтовых вод на Аксуском участке исследований.....	75
Выводы по подразделу 5.2.1.....	77
5.2.2 Характеристика и особенности формирования уровенно-солевого режима грунтовых вод на Лепсинском участке исследований	81
Выводы по подразделу 5.2.2.....	84
5.2.3 Характеристика и особенности формирования уровенно-солевого режима грунтовых вод на Каратал-Коксуском участке исследований.....	86
Выводы по подразделу 5.2.3.....	88
6. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ КОЛЬМАТАЦИИ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ БАССЕЙНОВ СУТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ.....	89
6.1 Организация участков, состав, методы и методология проведения исследований	89
6.2 Натурные опытные исследования скорости инфильтрации, удельной водоотдачи, поверхностей инфильтрации и их результаты при изучении процессов кольматации на Аксуском опытно-экспериментальном участке....	92
Выводы по подразделу 6.2.....	97

6.3 Результаты опытных исследований скорости инфильтрации, удельной водоотдачи, поверхностей инфильтрации при изучении процессов кольтматации на Лепсинском опытно-экспериментальном участке.....	98
6.4 Результаты опытных исследований скорости инфильтрации, удельной водоотдачи, поверхностей инфильтрации при изучении процессов кольтматации на Каратал-Коксуском экспериментальном участке.....	100
6.5 Натурные исследования динамики формирования осадочного слоя на дне инфильтрометров, процессов глубинной кольтматации фильтрующего слоя и их влияния на производительность инфильтрационных сооружений.....	102
7. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИНФИЛЬТРАЦИИ НА АКСУСКОМ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОМ УЧАСТКЕ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА HYDRUS-1D.....	111
7.1 Основные цели и задачи моделирования.....	111
7.2 Геофильтрационная схематизация области фильтрации.....	111
7.3 Создание компьютерной модели процесса геофильтрации на Аксусском экспериментальном участке.....	114
7.3.1 Математическое представление модели.....	114
7.3.2 Ввод исходных данных и компьютерное представление модели геофильтрации гидрогеологических условий экспериментального участка левобережья р.Аксу.....	115
7.3.3 Идентификация и калибровка геофильтрационной модели гидрогеолого-мелиоративных условий экспериментального участка.....	117
7.3.4 Оценка динамики потока и глубины залегания подземных вод экспериментального участка реки Аксу по результатам решения задачи идентификации модели.....	120
Выводы по Разделу 7.....	123
8. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТДАЛЕННЫХ ПАСТБИЩНЫХ УЧАСТКОВ на примере Аксуского района Алматинской области).....	124
8.1 Основные положения Государственной Программы с целью вовлечения в оборот отдаленных пастбищных участков и развитие инфраструктуры пастбищ.....	124
8.2 Основные показатели по управлению пастбищными угодьями и их использованию в Аксуском районе.....	125
8.3 Технические условия для организации культурных пастбищ на основе получения дополнительных водных ресурсов за счет искусственного восполнения запасов грунтовых вод	125
8.4 Исходные данные и расчет потребности водных ресурсов для обеспечения питьевой водой поголовья на рекомендованных к использованию пастбищах, устойчивого обеспечения потребности в кормах и предотвращения процессов деградации пастбищ.....	126
9. ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАК ИСТОЧНИКА ВОДОПОЯ ЖИВОТНЫХ НА	

ОТГОННЫХ ПАСТБИЩНЫХ МАССИВАХ В ГРАНИЦАХ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОГО УЧАСТКА.....	128
9.1. Постановка прогнозной задачи для определения возможных понижений уровня воды в эксплуатационных скважинах.....	128
9.2 Результаты решения данного варианта прогнозной задачи	130
9.3 Оценка возможности поддержания уровня воды в эксплуатационных скважинах путем искусственного восполнения запасов подземных вод путем создания небольших инфильтрационных бассейнов	133
9.4. Размещение дополнительной эксплуатационной скважины на пастбищном массиве №1 при сохранении заданного режима водоотбора. Решение дополнительного варианта прогнозной задачи.....	133
Выводы по Разделу 9	135
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	137
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	147
Приложение А - Журналы лабораторных исследований мутности воды р.р. Аксу,Лепсы, Кок-Су весовым методом.....	
Приложение Б - Журналы результатов определения мутности воды реки Аксу, Лепсы, Кок-Су переносным мутномером Turbo 350 IR WTW	
Приложение В - Результаты опытных наливов в шурфы для оценки фильтрационных свойств пород зоны аэрации на репрезентативных участках исследований процессов кольматации.....	
Приложение Г - Характеристика одномерной объемной влажности грунтов зоны аэрации, вскрытых на физических моделях инфильтрационных бассейнов и подстилающих первый от поверхности водоносный горизонт на Аксуском репрезентативном, Лепсинском и Каратал-Коксуском экспериментальных участках исследований процессов кольматации.....	
Приложение Д – Гидрогеологическая карта и Карта гидроизогипс, глубин залегания и уровня грунтовых вод Аксуского репрезентативного участка исследований.....	
Приложение Е – Среднемесячные значения уровня грунтовых вод по скважинам на Аксуском репрезентативном участке, м.....	
Приложение Ж - Характеристика (уровня, минерализации и химического состава)подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта на Аксуском репрезентативном участке при проведении экспериментальных исследований.....	
Приложение И - Гидрогеологическая карта и Карта гидроизогипс, глубин залегания и уровня грунтовых вод Лепсинского экспериментального участка...	
Приложение К - Характеристика (уровня, минерализации и химического состава) подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта на Лепсинском участке при проведении экспериментальных исследований инфильтрации.....	

Приложение Л - Гидрогеологическая карта и Карта гидроизогипс, глубин залегания и уровня грунтовых вод Каратал-Коксуского экспериментального участка.....

Приложение М - Характеристика (уровня, минерализации и химического состава) подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта на Каратал-Коксуском участке при проведении экспериментальных исследований.

Приложение Н - Журналы стационарных режимных наблюдений за поглощенным объемом и расходом воды из р.Аксу, скорости инфильтрации в мини- инфильтрационных бассейнах и характеристика речного стока при проведении натурных исследований по изучению кольматации.....

Приложение П- Журналы стационарных режимных наблюдений за поглощенным объемом и расходом воды из р.Лепсы, скорости инфильтрации в мини- инфильтрационных бассейнах и характеристика речного стока при проведении натурных исследований по изучению кольматации.....

Приложение Р- Журналы стационарных режимных наблюдений за поглощенным объемом и расходом воды из р.Кок-Су, скорости инфильтрации в мини- инфильтрационных бассейнах и характеристика речного стока при проведении натурных исследований по изучению кольматации.....

Приложение С- Сводные характеристики основных параметров формирования динамики инфильтрации, кольматации и илистого слоя при проведении натурных исследований в физических моделях инфильтрационных бассейнов для искусственного восполнения запасов подземных вод на территории Юго-Восточного Казахстана.....

Приложение Т - Карта фактического материала для обоснования и создания компьютерной модели обводнения пастбищ отгонного животноводства на Аксуском участке исследований, масштаб 1:50 000.....

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящей диссертации использованы ссылки на следующие стандарты:

Водный кодекс Республики Казахстан (с изменениями и дополнениями по состоянию на 13.06.2013 г.)

Послание Главы государства народу Казахстана «Стратегия «Казахстана 2050 - новый политический курс состоявшегося государства»

Указ Президента Республики Казахстан от 4 апреля 2015 года, №786 «О Государственной программе управления водными ресурсами Казахстана и внесении дополнения в Указ Президента Республики Казахстан от 19 марта 2010 года № 957 «Об утверждении Перечня государственных программ».

Программа по развитию агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2013-2020 годы (агробизнес-2020), утвержденная Постановлением Правительства Республики Казахстан от «18» февраля 2013 года, № 151

Земельный кодекс Республики Казахстан (с изменениями и дополнениями по состоянию на 27.04.2012 г)

Закон Республики Казахстан от 20 февраля 2017 года "О пастбищах"

Правила государственного ведения мониторинга и оценки мелиоративного состояния орошаемых земель в Республике Казахстан и информационного банка данных о мелиоративном состоянии земель сельскохозяйственного назначения приказ Заместителя Премьер-Министра Республики Казахстан-Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 25 июля 2016 года № 330

Критерии оценки экологической обстановки территорий (Утверждены Постановлением Правительства Республики Казахстан от 31 июля 2007 года, № 653)

ГОСТ 21153.0-75 Породы горные. Отбор проб и общие требования к методам физических испытаний.

ГОСТ 25893-83 «Средства измерений для гидрогеологических исследований»

ГОСТ 27065-86 «Качество вод. Термины и определения»

ГОСТ 8.010-90 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений»

ГОСТ 30416-96 «Грунты. Лабораторные испытания»

СТ РК 1015-2000 « Вода. Лабораторные оборудование и посуда. Типы, основные параметры и размеры»

ГОСТ 27384-2002 « Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств». Принят Межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол № 3 от 5 апреля 2002 г.) Дата введения 2004-01-01.

СТ РК 1273-2004 «Грунты. Методы лабораторного определения зернового (гранулометрического) состава». Введен впервые

СТРК ИСО 7027-2007 «Качество воды. Определение мутности»

СанПиН 2.1.4. 1074-01 (Россия), ГОСТ 2874-82 (Казахстан) «Санитарные нормы к качеству питьевой воды»

СНРК 1.02-18-2007 «Инженерно-геологические изыскания для строительства. Технические требования к производству работ»

СНиП РК 3.04-01-2008 «Гидромелиоративные системы и сооружения. Гидрогеологические и инженерно-геологические изыскания»

Наставление гидрометеорологическим станциям и постам, 1978

Указания по ведению мелиоративного кадастра орошаемых земель в Республике Казахстан, 2001

Национальный план по интегрированному управлению водными ресурсами и повышению эффективности водопользования Республики Казахстан на 2009–2025 годы, Астана, 2008.

Государственная программа управления водными ресурсами Казахстана. – Астана, 2014.

Правила проведения агрохимического обследования почв, приказ и.о. Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 27 февраля 2015 года № 4-1/147. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 10 апреля 2015 года № 10686

Нормы времени и расценок на проведение работ в области государственного геологического изучения и мониторинга недр, приказ Заместителя Премьер Министра Республики Казахстан - Министра индустрии и новых технологий Республики Казахстан от 5 мая 2011 года № 124. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 2 июня 2011 года № 6990

Указания по полевой документации инженерно-геологических и поисково-разведочных работ, 1971

ВНД 33-5.5-05-98 Учет и оценка мелиоративного состояния орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных угодий и технического состояния гидромелиоративных систем.

План по управлению пастбищами и их использованию по Аксускому району на 2018-2019 годы, утвержденный решением Аксуского районного маслихата Алматинской области от 3 апреля 2018 года № 27-130, зарегистрирован Департаментом юстиции Алматинской области 19 апреля 2018 года № 4651.

Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 14 апреля 2015 года № 3-3/332 "Об утверждении предельно допустимой нормы нагрузки на общую площадь пастбищ", зарегистрированный в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов № 11064.

Приказ Заместителя Премьер-Министра Республики Казахстан-Министра сельского хозяйства Республики Казахстан, № 173 от 24 апреля 2017 года "Об утверждении Правил рационального использования пастбищ" (зарегистрирован в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов № 15090),

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей диссертации применяют следующие термины с соответствующими определениями:

Водоносный горизонт - однородные или близкие по фациально-литологическому составу и гидрогеологическим свойствам пласты горных пород в пределах гидрогеологических бассейнов. Соответствуют выдержанным по простиранию фациально-литологическим типам отложений отдельных седиментационных ритмов.

Грунтовые воды - подземные воды первого от поверхности постоянно существующего водоносного горизонта, расположенного на первом водоупорном слое. Грунтовые воды имеют свободную водную поверхность.

Водообеспеченность - степень удовлетворения фактической потребности в воде хозяйства, предприятия, орошаемой площади, отрасли народного хозяйства.

Водозабор - инженерное сооружение по захвату подземных вод или воды из реки и водохранилища в водопроводные, оросительные, гидроэнергетические и другие системы.

Гидрогеологические условия - совокупность признаков, характеризующих условия залегания подземных вод; литологический состав и водные свойства водоносных пород, движение, качество и количество подземных вод и особенности их режима в природной обстановке и под влиянием искусственных факторов

Естественные запасы – это объём гравитационной воды, который заполняет открытые поры и трещины в горных породах. Естественные ресурсы – величина постоянного или временного питания водоносного горизонта, происходящего под влиянием природных факторов.

Упругие запасы (напорный горизонт) – объём подземных вод, который может быть извлечен из водоносного горизонта при уменьшении пластового давления за счет упругих свойств воды и горных пород, но без осушения пласта.

Эксплуатационные запасы подземных вод - это количество воды, которое может быть получено из продуктивного водоносного горизонта рациональными в технико-экономическом отношении водозаборными сооружениями, при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем действующим нормативам.

Искусственные ресурсы подземных вод – это дополнительное питание водоносного горизонта с помощью специальных инженерных сооружений.

Искусственные запасы - это тот объём воды в пласте, который накапливается в пласте под влиянием инженерной деятельности человека. Эти мероприятия направлены на увеличение эксплуатационной возможности водоносного горизонта.

Поверхностные открытые сооружения (инфильтрационные бассейны) – инженерные сооружения для управления процессами искусственного восполнения запасов подземных вод путем площадной инфильтрации

поверхностных вод. Эти сооружения устраиваются на поверхности в непосредственной близости от водозабора подземных вод. Они углублены на 1-3 метра в хорошо проницаемые породы зоны аэрации.

Кольматация – это процесс отложения в порах пород фильтрующего слоя взвешенных частиц, содержащихся в сырой воде. Её можно оценить с помощью грязеемкости.

Грязеемкость – это способность пористых и трещиноватых пород задерживать и накапливать тонкую механическую взвесь (мутность) в процессе инфильтрации воды. Размерность параметра грязеемкости – кг/м². Численно этот параметр равен количеству механической взвеси, накопленной в порах или трещинах пород, отнесенному к единице площади фильтрующего слоя.

Пленочная фильтрация - это процесс просачивания в инфильтрационных сооружениях исходной воды с взвешенными частицами (мути), через непрерывно растущий на дне сооружения илистый осадок (пленку). Уменьшается производительность инфильтрационного сооружения, требуется регенерация фильтрующего слоя.

Фильтроцикл - это продолжительность эксплуатации инфильтрационных сооружений от начала подачи сырой воды до остановки бассейна на ремонт.

Зона аэрации - самая верхняя зона земной оболочки между дневной поверхностью и зеркалом грунтовых вод.

Зона инфильтрации - зона, через которую происходит просачивание (инфильтрация) воды. Соответствует части зоны аэрации.

Зона подпора подземных вод - зона, в пределах которой происходит повышение уровня подземных вод под влиянием их подпора инфильтрационными сооружениями.

Водный баланс - соотношение между приходом и расходом воды в пределах конкретного района.

Гидравлический или напорный градиент - отношение разности напоров в двух точках гидростатической поверхности к расстоянию между ними, считая по горизонтали

Депрессионная поверхность - пьезометрическая поверхность напорных или свободная поверхность безнапорных вод, снижающаяся к месту их выхода на поверхность земли, к месту перетекания в более глубокие водопроницаемые породы, к пункту откачки (скважина, колодец, шахты и др.)

Инфильтрация - просачивание воды по порам и трещинам. Отношение количества осадков, просочившихся в грунт, к количеству выпавших осадков (в %) называют **коэффициентом инфильтрации**.

Коэффициент фильтрации (по Дарси) - скорость фильтрации при напорном градиенте, равном единице.

Коэффициент уровнепроводности - величина, характеризующая скорость передачи подпора и изменения уровня подземных вод со свободной поверхностью.

Опытная откачка - откачка из скважины, шурфа, колодца или других выработок для определения коэффициента фильтрации пород, установления

зависимости дебита от понижения уровня воды, радиуса влияния, развития воронки депрессии во времени, коэффициентов пьезопроводности, уровнепроводности и пр.

Объемный вес влажного грунта - отношение веса данного объема грунта к весу воды при 4° С, взятой в объеме всего грунта

Водоотдача - способность водонасыщенных горных пород отдавать воду путем свободного стока под действием силы тяжести. **Удельная водоотдача** характеризуется количеством воды, которое можно получить из 1 м³ породы.

Недостаток насыщения - разность между полной влагоемкостью (или пористостью) и естественной влажностью и характеризует способность породы аккумулировать воду.

Обводнение пастбищ - совокупность мероприятий по обеспечению питьевой водой животноводства на безводных и маловодных территориях

Оросительная сеть - гидромелиоративная сеть для подвода воды от водосточника к поливному участку

Модуль дренажного стока - количество воды, принимаемое осушительной сетью с единицы площади осушенных земель в единицу времени

Аллювий - отложения, формирующиеся постоянными водными потоками в речных долинах.

Влагоемкость грунтов - способность вмещать определенное количество воды. Полная влагоемкость численно равна влажности грунта при полном заполнении всех пор водой. Капиллярная влагоемкость грунта равна влажности грунта при его капиллярном насыщении.

Водопроницаемость грунтов - это способность водонасыщенных грунтов пропускать сквозь себя воду за счет градиента напора.

Гранулометрический состав - количественное соотношение частиц различной крупности в дисперсных грунтах. Определяется по ГОСТ 12536.

Делювий - отложения, возникающие в результате накопления смытых со склона дождевыми и тальными снеговыми водами рыхлых продуктов выветривания.

Засоленность грунта - содержание в грунте легко- и среднерастворимых солей. К легкорастворимым солям относятся хлориды натрия, кальция и магния, карбонат натрия, сульфаты натрия и магния. К среднерастворимым солям относятся сульфаты кальция (гипс и ангидрит). Засоленность грунтов характеризуется степенью засоленности

Капиллярная связность грунта - это связность отдельных частиц между собой в результате действия сил поверхностного натяжения содержащейся в порах воды при неполном водонасыщении, т.е. при наличии границ раздела водной и газообразной фаз, образующих вогнутые мениски.

Капиллярное поднятие воды - поднятие воды в капиллярах (капиллярных порах грунта) вследствие действия поверхностного натяжения при вогнутых менисках поверхности воды.

Коэффициент аэрации или воздухосодержания - отношение объема газа в порах к общему объему пор.

Коэффициент влагопроводности - количество влаги, переносимой в грунте в единицу времени через единицу площади при единичном градиенте потенциала влаги. Характеризует способность грунта проводить влагу.

Коэффициент водонасыщения S_R д.е., - степень заполнения объема пор водой.

Коэффициент пористости e - отношение объема пор к объему твердой фазы, д.е.

Плотность грунта - масса единицы объема грунта с естественной влажностью и ненарушенным сложением, г/см³ или кг/м³. Определяется по ГОСТ 5180-84.

Пролувий - отложения временных водных потоков.

Свойства грунтов капиллярные - это особенности грунтов, определяющие характер явлений, происходящих на межфазной границе твердое тело - жидкость - газ. Проявляются в капиллярно-пористых грунтах в виде капиллярного поднятия воды и смачивания. Важную роль в этих процессах играет поверхностное натяжение

Свойства грунтов физико-механические - это те особенности грунтов которые определяют происходящие в них изменения при механическом воздействии на них. Эти свойства проявляются при взаимодействии грунтов с внешними нагрузками.

Свойства грунтов физико-химические. К ним относятся свойства, определяющие изменения химического состава отдельных фаз грунта обусловленные физическими процессами и воздействием физических полей. Для дисперсных грунтов особое значение имеют свойства межфазных границ и физико-химические процессы на этих участках приводящие к изменению концентрации растворов. Значительную роль играют также процессы диффузии, осмотические и электрохимические явления.

К физико-химическим свойствам относятся адсорбционные, ионно-обменные, адгезионные, капиллярные свойства, липкость, набухаемость и усадочность грунтов и их водопрочность.

Состав грунта гранулометрический - количественное содержание в нем первичных, не связанных в агрегаты частиц по фракциям. Гранулометрический состав характеризует грунт, предельно диспергированный, является классификационным признаком.

Степень влажности - коэффициент водонасыщения.

Степень водопроницаемости - характеристика, отражающая способность грунтов пропускать через себя воду и количественно выражающаяся в коэффициенте фильтрации K_f м/сут. Определяется по ГОСТ 25584.

Степень засоленности - характеристика, определяющая количество воднорастворимых солей в грунте $D_{sal}\%$.

Степень неоднородности гранулометрического состава C_d - показатель неоднородности гранулометрического состава.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема нарастающего дефицита водных ресурсов в мире, в том числе и в аридной зоне на территории Казахстана, обусловленная глобальным потеплением климата и усугубляемая большими расстояниями до природных источников воды хорошего качества, требует комбинированного использования поверхностных и подземных вод из местных водоносных горизонтов для снабжения местного населения качественной питьевой водой.

Новой государственной программой управления водными ресурсами предусмотрены меры по сокращению ожидаемого дефицита водных ресурсов за счет модернизации и развития инфраструктуры, эффективного использования водных ресурсов, включая широкомасштабное внедрение систем искусственного восполнения запасов подземных вод (далее ИВЗПВ).

При решении задач децентрализованного хозяйственно-питьевого водоснабжения отдаленных сельских населенных пунктов, обводнения пастбищ, участков оазисного орошения все больший интерес проявляется к методу ИВЗПВ, суть которого заключается в переводе путем инфильтрации или закачки в водоносный горизонт поверхностных в подземные воды.

При помощи специальных инфильтрационных сооружений ИВЗПВ как важнейший инструмент управления водными ресурсами применяется в том числе и в качестве эффективного метода борьбы с истощением водоносных горизонтов в гидрогеологической и водохозяйственной практике и предупреждения сокращения подачи воды потребителям.

Применение методов искусственного пополнения подземных вод может быть эффективным способом только при условии получения позитивных характеристик параметров почв и грунтов зоны аэрации и продуктивных водоносных горизонтов в процессах инфильтрации и кольматации, являющихся одними из определяющих индикаторов по обеспечению в заданном режиме продуктивности и продолжительности работы инфильтрационных бассейнов.

Несмотря на важность рассматриваемой проблемы, в настоящее время отсутствуют методические указания, в которых были бы освещены гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов пресных подземных вод.

Между тем, искусственное восполнение подземных вод, или магазинирование, может стать эффективным способом решения данной проблемы. В процессе восполнения достигается регулирование запасов грунтовых вод, позволяющее впоследствии получить необходимое их количество. Кроме этого в аридных условиях это единственный способ сохранить водоносный горизонт от истощения, увеличить его ёмкостные запасы с расширением площади распространения горизонта с естественным самоочищением воды, что позволит обеспечить потребности населения в питьевой воде. При этом, концепция исследований должна основываться на существующих в мировой практике теоретических и технологических подходах к данной проблеме.

Одним из актуальных исследований, определяющих будущую эффективную работу инфильтрационных сооружений, является выявление особенностей гидродинамики процесса фильтрации. В современной науке этот вопрос является дискуссионным и требующим углубленного изучения.

Теоретический анализ движения подземных вод под инфильтрационными бассейнами, траншеями, каналами (“открытыми” инфильтрационными сооружениями в системах искусственного восполнения) основывается на классической теории насыщенных потоков. Вместе с тем, во многих случаях прогноз отдачи инфильтрационных сооружений не оправдывается, не оправдывается и прогноз уровня поверхности грунтовых вод. Обычно причиной этого считают недостаточно полный учет факторов, влияющих на характер фильтрации под бассейнами. К таким факторам в первую очередь относят образование слабопроницаемой илистой пленки на дне бассейна, ее сжимаемость, кольматацию верхней части фильтрующего слоя, разность температур грунтовых и фильтрующихся вод и т.п.

Перспективным регионом, имеющим практическое значение для повышения водообеспечения сельских населенных пунктов и отдаленных пастбищных участков, являются речные долины Юго-Восточного Казахстана, где наличие открытого зеркала подземных вод и отсутствие перекрывающих водоносный горизонт водоупорных отложений делают метод свободной инфильтрации наиболее эффективным. Они приурочены к участкам, сложенным четвертичными аллювиальными отложениями преимущественно современного и верхнечетвертичного возрастов.

Дефицит водных ресурсов на юго-востоке Казахстана, усугубляемый большими расстояниями до природных источников воды хорошего качества, требует комбинированного использования поверхностных и подземных вод из местных водоносных горизонтов для снабжения местного населения качественной питьевой водой. Аргументировано, что одним из актуальных исследований, определяющих будущую эффективную работу инфильтрационных сооружений, является выявление особенностей гидродинамики процесса фильтрации.

Принимая во внимание перспективы создания установок ИВЗПВ для их дальнейшего практического использования в Юго-Восточном Казахстане, становится очевидной необходимость комплексных полевых исследований по изучению процессов инфильтрации и кольматации на опытных участках.

В связи с этим, **основная цель и направление исследований** были сконцентрированы на вопросах изучения главных факторов, влияющих на процессы кольматации в основаниях инфильтрационных бассейнов, а также основоопределяющих перспективность и эффективность работы систем ИВЗПВ на стадиях технико-экономического обоснования и последующего рабочего одностадийного проектирования. При этом, в работе использованы следующие основные и определяющие критерии:

- наличие потенциального потребителя накопленных вод на участках ИВЗП. Таким потребителем являются те сельские населенные пункты, в

которых жители используют для питьевого водоснабжения, обводнения пастбищ и оазисного орошения либо привозную воду, либо когда имеющиеся поверхностные источники не отвечают санитарно-эпидемиологическим требованиям;

- наличие водовмещающих слоев (горизонтов), обладающих достаточным потенциалом для принятия соответствующего объема накапливаемых запасов подземных вод, требуемого качества и в необходимом количестве;

- возможность использования выбранного участка ИВЗПВ в качестве типового для распространения полученных данных на аналогичные районы для дальнейшего внедрения и использования результатов исследований;

- возможность организации экспериментальных работ на участке;

- стоимостные и другие технико-экономические показатели.

Методология исследований определялась поставленными целями и задачами, и изучение параметров в составе исследований и изучения процессов кольтматации основывалось на существующих в мировой практике современных технологических подходах к данной проблеме.

Гипотеза научных исследований сформулирована как предположение всестороннего изучения такого проблемного и малоизученного вопроса, как процесс инфильтрации в присутствии кольтматирующего слоя, когда в ходе инфильтрации характеристики, параметры и условия этого процесса могут изменяться. Предполагалось, что степень изученности основных параметров процесса кольтматации в результате комплексных научных исследований определит корректность и послужит надежной и реальной основой для будущих проектов инфильтрационных бассейнов при интегрированном использовании водных ресурсов в условиях их нарастающего дефицита и глобального изменения климата.

В связи с этим, основными **задачами настоящей работы** явились разработка организации репрезентативных научно-исследовательских участков, методики проведения комплексных полевых исследований в инфильтрационных мини-бассейнах в пределах речных долин Аксу, Лепсы и Коксу, принятых в качестве типичных для территории Юго-Восточного Казахстана, который наиболее нуждается в повышении водообеспечения сельских населенных пунктов и отдаленных пастбищных массивов.

При организации участков были учтены слабая изученность и незначительные виды и объемы научных и прикладных исследований на территории Юго-Восточного Казахстана в области гидрогеологии, инженерной геологии, поэтому в перечень **первоочередных задач** были поставлены и организованы масштабные комплексные исследования для получения достоверных натурных характеристик и параметров. К этим исследованиям добавилась детальная оценка водно-физических, гидродинамических и фильтрационных свойств покровных отложений и верхних слоев водоносного горизонта.

Наличие гарантированного источника восполнения запасов подземных вод является одним из важных факторов, определяющих схему и эффективность

работы инфильтрационных сооружений, в том числе формирование и влияние процессов кольямации в основаниях инфильтрационных бассейнов на всю систему. Из физических показателей наиболее важным является мутность. В случае показателя мутности воды выше нормы, её использование может привести к серьезной проблеме и вызвать кольямацию отложений в дне инфильтрационных бассейнов, даже несмотря на специальную подготовку воды по снижению мутности до ПДК (от 5 до 20 мг/дм³).

В связи с этим, в **перечень приоритетных задач в работе придано исследованию и последующей** количественной и качественной оценке антропогенных изменений речного стока основных рек как источника натуральных исследований процессов кольямации в основаниях инфильтрационных бассейнов при проектировании систем ИВЗПВ с привлечением базы данных по среднемесячным и средним годовым расходам воды за весь период систематических наблюдений по 2014 год включительно, дополненных и скорректированных с учетом проведенных автором гидрологических наблюдений в течение 2016-2020 годов.

Для аридных условий Юго-Восточного Казахстана ведущую роль имеет механическая кольямация, обусловленная переносом речным стоком и, особенно паводковыми водами, продуктов физического выветривания. Поэтому, в диссертационной работе **первостепенное значение** придано проведению натуральных исследований величины мутности поверхностных вод рек на репрезентативном и экспериментальных участках Юго-Восточного Казахстана по изучению кольямации и оценке ее влияния на процессы кольямации при использовании в качестве источника искусственного восполнения запасов подземных вод.

Защищаемые положения при выполнении данной научно-исследовательской работы:

- изучение процессов кольямации фильтрующего слоя, скоростей формирования илистого слоя и пленки на дне бассейна и их влияния на фильтрационную способность бассейнов. Количественная оценка степени заилиения инфильтрационных сооружений;
- выявление возможных изменений граничных условий во времени и степени гидравлической связи поверхностных и подземных вод — отрыва уровней подземных вод от инфильтрационного бассейна при его заилиении и смене подпертого режима фильтрации дождеванием;
- методы и оборудование для полевых исследований водопрпускной способности ИФБ в зависимости от гранулометрического состава и степени однородности фильтрующего слоя;
- изучение скоростей заилиения и кольямации под влиянием физико-химических и биологических процессов и обоснование периодичности и методов и видов восстановительных работ;
- прогноз качества поверхностных вод, используемых для наполнения инфильтрационных бассейнов, и отбираемых водозабором подземных вод в

условиях их искусственного восполнения; систематический контроль за эффективностью используемой для восполнения воды.

- обоснование оптимальных режимов эксплуатации подземных вод на водозаборе с учетом естественного и нарушенного гидродинамического и гидрохимического режимов поверхностных и подземных вод на участке водозабора;

- оценка изменчивости эффективности искусственного восполнения во времени и обоснование мер по ее повышению;

- разработка конкретных рекомендаций для предотвращения, смягчения либо применения превентивных мер процессам колюматации.

Актуальность научных и натурных экспериментальных исследований заключается в том, что они позволили обосновать особенности и выполнить долгосрочный прогноз гидродинамики процессов инфильтрации и глубинной колюматации, что в первоочередную очередь предопределяет будущую эффективную работу инфильтрационных сооружений. В современной науке этот вопрос является дискуссионным и требующим углубленного изучения.

Для решения прогнозных задач была выполнена разработка и создание численных моделей геофильтрации и массопереноса, т.е. построены системные модели процессов колюматации на основе фактических исходных данных, полученных в результате проведенных многолетних опытных исследований и выполненного долгосрочного прогноза колюматации фильтрующей среды в покровных и аллювиальных отложениях равнинной части водных бассейнов рек Юго-Восточного Казахстана. Для этого были применены часто используемые в исследованиях зарубежными и отечественными учеными и специалистами программные комплексы Visual MODFLOW Pro и HYDRUS-1D.

Использование программного комплекса "Visual MODFLOW Pro" позволило аргументировано обосновать гидродинамические и водно-балансовые характеристики а также выполнить долгосрочный прогноз понижений уровней подземных вод в сети водозаборных скважинах, расположенных на пастбищных массивах в пределах репрезентативного участка.

В процессе моделирования были решены следующие задачи:

- создана и откалибрована численная модель фильтрации подземных вод верхнего безнапорного водоносного горизонта с учетом основных гидрогеолого-мелиоративных условий участка исследований;

- выполнены и научно обоснованы в условиях глобального изменения климата особенности формирования балансовых составляющих потока подземных вод в течение 2018–2020 гг;

- дана прогнозная оценка изменений глубины залегания уровня грунтовых вод, а также балансовых составляющих потока подземных вод в условиях водоотбора из скважин, расположенных на водопойных пунктах.

Опытные исследования скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и изучения процессов колюматации проводились

на каждом из четырех Аксуских участков и по одному в Лепсинском и Каратал-Коксуском регионах Юго-Восточного Казахстана отдельно и дифференцировано в зависимости от водности гидрологического года в период с 2017 по 2020 годы с использованием **методов**, основанных на предпосылках об установившемся и неуставившемся режиме фильтрации.

Научная новизна заключается в том, что для получения необходимых параметров при проведении исследований процессов кольматации в открытых инфильтрационных бассейнов при ИВЗПВ был **выбран инновационный и унифицированный подход** имитации естественных условий инфильтрации воды до полного насыщения испытываемой мощности пород покровных отложений и динамики формирования инфильтрационного потока в верхние слои водонасыщенных отложений первого от поверхности беснапорного водоносного горизонта при близком залегании уровня грунтовых вод на созданных физических моделях инфильтрационных мини-бассейнов в течение пяти лет и дифференцировано в зависимости от водности года.

Проведение широкомасштабных натурных полевых и лабораторных исследований по детальному изучению процессов кольматации на построенных и оборудованных физических моделях мини - бассейнов с инфраструктурой водозаборных и каптажных сооружений, имитирующих оптимальную для условий Юго-Восточного Казахстана систему ИВЗПВ проводились с **привлечением программного моделирования и современных инструментов и инновационных методов и технологий цифровизации.**

Научно - практическая значимость выполненных исследований заключалась в том, что впервые приоритет был отдан натурным полевым и лабораторным работам, результаты которых послужили первичной характеристикой основополагающих параметров формирования и физической активности процессов кольматации.

В ходе опытов, кроме замеров расхода воды производилось определение мутности подаваемой воды, толщины илистого осадка, объемной массы скелета илистого осадка, являющихся исходными параметрами для расчетов фильтрации воды в условиях кольматации.

Опыты проводились с учетом фактической величины основного стока рек, который начинается ежегодно в марте и завершается в в конце октября при разной величине водности гидрологического года: от 25 до 75% - ой водобеспеченности, в связи с чем общая продолжительность срока инфильтрации при использовании систем искусственного восполнения подземных вод составляла ежегодно порядка 8 месяцев в течение четырех лет.

Впервые в практике гидрологических работ натурные исследования мгновенных значений величины мутности поверхностных вод рек проведены фотометрическим методом – точечными замерами с использованием портативного мутномера при взятии проб воды и контрольными лабораторными анализами весовым методом.

Такие широкомасштабные и продолжительные опыты в отечественной практике исследований в Казахстане **выполнены впервые, результаты которых позволили** в итоге выявить как характер изменения скорости инфильтрации, так и переход ее через определенные контрольные значения, условно служащие количественным ориентиром оценки сроков фильтроцикла, и исключить элемент случайности в выявлении вероятностно-статистического характера изменения скорости инфильтрации как по площади, так и по глубине.

Кроме того, наливыв производились в расположенные на разных расстояниях от русел рек и отличающиеся по литологическому и гранулометрическому составу параметрам водопроницаемости и по глубине залегания от поверхности земли грунтов зоны аэрации и подстилающих пород верхней части нерасчлененных современных и верхнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений.

Полевые опытно-фильтрационные исследования **позволили впервые аргументировано выявить** инфильтрующую способность зоны аэрации; установить закономерности развития кольматации; определить параметры инфильтрационных сооружений для ИВЗПВ; оценить эксплуатационные запасы подземных вод с учетом их искусственного восполнения; прогнозировать изменения качества подземных вод. **Это позволило дать более объективную и по площади более масштабную и детальную характеристику процессам инфильтрации** воды и фактической кольматации через грунты зоны аэрации и подстилающие отложения верхней части перспективного для ИВЗПВ водоносного горизонта, что в итоге послужило реальной возможностью унификации полученных данных для однотипных рек Юго – Восточного Казахстана.

Данные полевых и лабораторных исследований гидрохимического режима поверхностных и грунтовых вод были использованы для обоснования созданных моделей геофильтрации.

Так, созданная одномерная модель влагопереноса в зоне неполного насыщения на Аксуском экспериментальном участке и выполненные расчеты балансовых составляющих влагопереноса двух вариантов по программе HYDRUS-1D дала возможность

- оценить объем воды поступающий в ненасыщенную зону почвенного профиля;
- охарактеризовать расход потока воды профильтровавшегося в водоносный горизонт из инфильтрационного бассейна;
- оценить точность и достоверность созданной модели сравнив их с данными полевого эксперимента.
- количественно оценить важнейшие гидрофизические функции грунтов, слагающих почвенный профиль: зависимость влажности и коэффициента насыщения от гидростатического напора;
- проанализировать балансовые составляющие инфильтрационного потока в зоне неполного насыщения и рассчитать объем профильтровавшейся воды,

который в дальнейшем поступит на восполнение запасов подземных вод подстилающего водоносного горизонта.

- аргументировано обосновать, что при создании инфильтрационных бассейнов, вскрывающих песчаные отложения, образование кольматационного слоя за счет оседания взвешенных частиц поверхностных вод р. Аксу существенно не повлияет на процесс инфильтрации.

Созданная геофильтрационная модель подземных вод верхнего безнапорного водоносного горизонта нерасчлененных современных и верхне четвертичных отложений на Аксуском экспериментальном участке с использованием программного комплекса "Visual MODFLOW Pro" **дала возможность:**

- изучить основные параметры, характеризующие процесс фильтрации подземных вод для характерного литологического разреза для условий экспериментального участка на реке Аксу;

- оценить балансовые составляющие потока подземных вод в зоне полного насыщения и роль поверхностного стока р Аксу в формировании подземных вод в пределах экспериментального участка в междуречье рек Аксу и Акозек;

- дать прогнозную оценку обеспеченности эксплуатационного водотбора при заданой схеме расположения проектируемых водопойных пунктов;

- оценить перспективу искусственного поддержания требуемого уровня воды в водозаборных скважинах с использованием инфильтрационных бассейнов.

Степень внедрения и экономическая эффективность.

Выполненные широкомасштабные исследования научно-прикладного характера по изучению процессов кольматации на физических и математических моделях репрезентативного и экспериментальных участков ИВЗПВ несомненно подтвердили оправдываемость и полное соответствие истине выдвинутой и **сформулированной гипотезе научных исследований;** обосновано указывают на **достаточно высокую степень их научно-технического потенциала** в качестве аргументированного инструмента для внедрения небольших систем ИВЗПВ во всех идентичных регионах аридной зоны Республики Казахстан.

Полевые экспериментальные исследования позволили оценить процессы инфильтрации и кольматации, используя комплексный набор полевых экспериментов, мониторинга и лабораторных исследований для типичных профилей почв в юго-восточном регионе Казахстана. Тесты на инфильтрацию с использованием оригинальных мини-бассейнов, имитирующих в миниатюре систему ИВЗПВ, оптимальную для данного региона, позволили изучить процессы стока воды в различных профилях почвы под мини-бассейном и создания засоряющего слоя в местных природных условиях.

Анализ размера частиц образцов почвы позволил достоверно определить механический состав всех основных типов почв - суглинков, супесей и песков, составляющих верхнюю часть почвенного профиля в районах потенциального

строительства инфильтрационных бассейнов. На основе наборов тестов на просачивание были найдены значения гидравлических коэффициентов почвы для насыщенного состояния по всему профилю почвы от поверхности почвы до верхнего неограниченного водоносного горизонта.

Четырехлетние мониторинговые наблюдения позволили обосновать уровенный режим и химический состав подземных вод в верхнем незамкнутом от поверхности земли водоносном горизонте, изменения мутности поверхностных вод рек Аксу, Лепсы и Коксу в годовом разрезе и в зависимости от водности года как потенциального источника воды для инфильтрационных бассейнов.

Полученные позитивные результаты полевых исследований могут служить фактологической основой для проектирования, а также могут быть рекомендованы и приняты в качестве расчетных показателей как на этапе технико-экономического обоснования, так и на этапе детального проектирования систем искусственного восполнения запасов подземных вод без дополнительных трудоемких и затратных изыскательских работ, а утвержденная методика их реализации будет полезна при проведении аналогичных исследований в других регионах.

Рекомендации созданных моделей могут быть использованы в дальнейшем в качестве автоматизированного постояннодействующего математического инструмента органами водного и сельского хозяйств не только на территории проведения исследовательских работ научно-прикладного характера, но и хозяйствующими субъектами при выполнении оперативных эксплуатационных водохозяйственных настроек в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов и глобального потепления климата.

Глобальное потепление, уменьшение стока рек, некоторые причины негативного воздействия в результате увеличивающейся антропогенной нагрузки не могут не оказать прямого либо косвенного воздействия на состав и концентрацию загрязняющих ингредиентов в речной воде, которая прогнозируется в качестве единственного источника ИВЗПВ. На основе проведенных научных и лабораторных инновационных исследований разработаны практические рекомендации по использованию речного стока в качестве источника для установки ИВЗПВ, выполнен долгосрочный прогноз экологических показателей подземных вод при искусственном их восполнении с учетом процессов смешения и самоочищения при инфильтрации. Показана высокая эффективность использования поверхностных инфильтрационных бассейнов для искусственного восполнения запасов подземных вод.

Необходимо особо подчеркнуть, что эти исследования были направлены на разработку необходимых измерений и методов, применимых к местным условиям, а более объективная и по площади более масштабная и детальная характеристика процессов инфильтрации воды и фактической кольматации явились исходной натурной информацией при выполнении соответствующей части проекта на тему «Оценка ресурсов пресных подземных вод, как основного источника и долгосрочного резерва устойчивого питьевого

водообеспечения населения Республики Казахстан», финансируемого Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Grant No. BR10965134).

Отдельные положения диссертационной работы и **результаты научно - исследовательских работ** апробированы в международных и республиканских научных конференциях и были доложены на ряде научно-практических конференций, региональных семинарах и при проведении круглых столов общественных организаций, работников аграрного сектора Министерства сельского хозяйства РК и ученых Республики с участием ряда международных организаций (ЮНЕСКО, ПРООН) и представителей донорских компаний, работающих в Казахстане в области сельского хозяйства.

Так, основные положения, защищаемые в диссертационной работе по экологически безопасным технологиям интегрированного управления водными источниками, направленные на максимально эффективное использование местных ресурсов поверхностных и подземных вод, рассмотрены и одобрены на семинарах, организованных в 2018-2020 годах Акиматом Энбекши-Казахского района Алматинской области для руководителей фермерских хозяйств по инициативе Общественного фонда «Фермер Казахстана» и Республиканской ассоциации сельскохозяйственных кооперативов «АгроСоюз Казахстана» в рамках реализации Проекта «Оказание поддержки в устойчивом управлении земельными ресурсами в степной и полусухой зонах путем продвижения интегрированного территориального планирования и агроэкологических стимулов».

Особую благодарность автор выражает сельским Акиматам за предоставленную возможность проводить исследования на территории Юго-Восточного Казахстана, за выделенные участки для устройства инфильтрационных мини-бассейнов и организации комплексных опытно-экспериментальных площадок, за оказание практической помощи в проведении натурных экспериментов.

Автор хотел бы персонально отметить и поблагодарить д-ра Шакибаева И.И., руководителя Зонального гидрогеолого-мелиоративного центра Министерства сельского хозяйства Республики Казахстан и его специалистов за предоставленное оборудование и оказание практической и методической помощи в лабораторных измерениях и полевых экспериментах, а также Черных А.Л., генерального директора ТОО "ГИСС" и его работников за оказание технической помощи при установке и оснащении наблюдательных пьезометров на экспериментальной площадке.

По результатам выполненных научно-исследовательских работ опубликовано 8 статей и сделано 3 доклада, из которых 2 работы в международных изданиях, входящих в базу данных компаний Scopus и Thomson Reuters, и 3 статьи в научных изданиях, рекомендуемых Комитетом по надзору и аттестации МНВО РК.

Одна статья: М.К.Absametov, E.Zh.Murtazin, V.V.Kulagin, A.T.Makyzhanova, A.Zh. Ismagulova «Infiltration and colmatation dynamics on physical models study

by infiltration basins at artificial groundwater recharge» прошла все процедуры, одобрена и принята к печати в журнале «Water Conservation and Management(WCM), входящий в базу данных компаний Scopus, Малайзия

Две статьи подготовлены к печати в 2022 году по завершении камеральной обработки итоговых результатов полевых исследований и моделирования процессов кольматации, и отправлены на экспертизу в зарубежные издательства, входящие в базу данных компаний Scopus и Thomson Reuters:

1. ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ИСКУССТВЕННОГО ВОСПОЛНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ КОЛЬМАТАЦИИ В ОСНОВАНИЯХ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ БАССЕЙНОВ В КАЗАХСТАНЕ И ЗА РУБЕЖОМ

Потенциал регионов был изучен путем всестороннего обзора и изучения многолетних исследований в области искусственного получения подземных вод из поверхностных источников, а также всестороннего анализа геоэкологических переменных с использованием многочисленных качественных и количественных методов.

Искусственное получение подземных вод из поверхностных источников известно давно. При недостатке воды еще в древности (за 2 тыс. лет до нашей эры) дождевые стоки собирали в емкости. Однако, поскольку вода портилась, то ее стали хранить в цистернах, засыпанных песком с предварительной очисткой воды. В Венеции до устройства централизованного водоснабжения получали воду из 200 общественных и 1200 частных цистерн, заполненных песком, с общей емкостью 200 тыс. м³ воды. Эти цистерны заполнялись атмосферными осадками.

В странах западной Европы первые примеры таких мероприятий относятся к началу 19 столетия (Бизе Ж.и др.,1972) Так, во Франции для водоснабжения г. Тулуза в долине реки Гарона был построен инфильтрационный водозабор руслового типа. Производительность его не обеспечивала требуемого расхода и для его увеличения были созданы плоскодонные котлованы - бассейны, куда подавалась вода из реки и откуда происходила фильтрация, пополняющая запасы подземных вод [1].

По сути, эта схема и сейчас лежит в основе большинства мероприятий по искусственному восполнению запасов подземных вод (ИВЗПВ). Затем этот метод начал быстро применяться в Англии при водоснабжении городов Ноттингем, Терт, Дерби, Ньюарк. Встречаются данные о применении бассейнового метода магазинирования в Шотландии, Германии и др., относящиеся примерно к этому же периоду.

Исследования методов ИВЗПВ активно проводятся в различных регионах мира, испытывающих дефицит водных ресурсов. В разных странах искусственные запасы подземных вод составляют 15-30% от общего количества, потребляемого для водоснабжения.

Из зарубежных опытов по применению искусственного восполнения запасов подземных вод заслуживают внимание работы, проводимые в США, ФРГ, ВНР, Канаде, Румынии, Швейцарии, Центральной и Южной Африке, Индии, Австралии, Кении, Голландии и в Швеции.

Aju et al.,(2021); Dar et al., (2020); Ahani Amineh et al.,(2017); Hashemi et al.,(2013) изучали количественную оценку вклада пополнения как от эфемерного речного русла, так и от введенной искусственной системы пополнения, основанной на распространении паводковых вод в засушливом Иране с использованием модели MODFLOW[2,3,4,5].

Инфильтрационные бассейны стали очень популярными методами управляемого пополнения водоносных горизонтов из-за низкой стоимости их строительства. В исследованиях ИВЗПВ очень важную и решающую роль играет детальная оценка водно-физических, гидродинамических и фильтрационных свойств покровных отложений и верхних слоев водоносного горизонта, особенно при проектировании открытых инфильтрационных бассейнов.

Christy and Lakshmanan, (2017) оценили целесообразность создания инфильтрационного бассейна в соленом водоносном горизонте к северу от Ченнаи, штат Тамилнад, Индия, для увеличения ресурсов и улучшения качества подземных вод. Эти исследования показали, что простые земляные работы без поддержки склона и мощения насыпей помогли улучшить качество грунтовых вод. Очистку пруда путем удаления накопившихся засоряющих отложений необходимо проводить один раз в год [6].

Chu et al.,(2019) выполнили пространственно-временную оценку засорения взвешенными твердыми частицами во время лабораторных испытаний столба грунта с последующим численным моделированием для изучения проблемы засорения[7].

Siriwardene et al.,(2007) представили результаты одномерного эксперимента, проведенного на колонне с гравийным фильтром. Физическое засорение изучалось как при постоянном, так и при переменном уровне воды, а также при различных концентрациях притока наносов[8].

Siegrist (1987) исследовал засорение почвы сточными водами, состав сточных вод и скорость загрузки в структурированном пылеватом суглинке грунта в опытно-промышленных ячейках инфильтрации. Было обнаружено, что развитие засорения почвы сильно коррелирует с кумулятивными массовыми нагрузками общей биохимической потребности в кислороде и взвешенными твердыми частицами[9].

Conley et al.,(2020) были проведены лабораторные и полевые эксперименты по выявлению механизмов засорения и количественной оценке снижения эффективности фильтрации в зависимости от нагрузки отложений в Калифорнии, США. Были построены небольшие инфильтрационные бассейны для оценки скорости инфильтрации. Результаты лабораторных и полевых экспериментов показали, что начальная и конечная скорость инфильтрации в залежи варьировались в зависимости от площади инфильтрационной поверхности и начальной насыщенной гидравлической проводимости грунта[10].

Проведенные Toran and Jedrzejczyk, (2017) полевые исследования и мониторинг уровня воды для оценки эффективности траншей для инфильтрации ливневых стоков показали широкий разброс показателей засорения[11].

На территории России и стран СНГ процент использования искусственно созданных подземных вод пока еще незначителен.

Исследования в области изучения процессов и определяющих параметров кольматации в большей степени относятся к семидесятым - восьмидесятым годам прошлого столетия и носили разовый характер.

К ним можно отнести работы Плотникова Н.А. [12] по проектированию сооружений ИВЗПВ для водоснабжения, Бурдаева В. А. и Медведева М.И. [13], проводивших исследования и анализ факторов, влияющих на скорость кольматации песков в водозаборных сооружениях инфильтрационного типа, Богомолова К.С. и Бурчака Т.В. [14] по определению грязеемкости и характеристики свойств илистой пленки на инфильтрационных сооружениях открытого типа. Как отмечал Н.И.Плотников [15], несмотря на важность рассматриваемой проблемы, в настоящее время отсутствуют методические указания, в которых были бы освещены гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов пресных подземных вод. На наш взгляд, со времени появления этой книги, состояние вопроса изменилось несущественно.

Между тем, искусственное восполнение подземных вод, или магазинирование, может стать эффективным способом решения данной проблемы. В процессе восполнения достигается регулирование запасов грунтовых вод, позволяющее впоследствии получить необходимое их количество. Кроме этого в аридных условиях это единственный способ сохранить водоносный горизонт от истощения, увеличить его ёмкостные запасы с расширением площади распространения горизонта с естественным самоочищением воды, что позволит обеспечить потребности населения в питьевой воде [16,17]. Концепция исследований должна основываться на существующих в мировой практике теоретических и технологических подходах к данной проблеме.

В Казахстане простейшие схемы ИПРПВ начали применять в шестидесятые годы прошлого века, чему во многом способствовало пересыхание береговых инфильтрационных колодцев из-за неравномерного сезонного распределения поверхностного стока в наиболее засушливые годы. Методы ИВЗПВ в той или иной степени применяются на Аягузском, Жангизтобинском, Талдысайском, Жаратасском и других инфильтрационных водозаборах. Особенно в последние десять –пятнадцать лет (с 2008 года по настоящее время), начали активно проводиться большие научно – исследовательские работы, в том числе и на территории Юго - Восточного региона республики по изучению перспектив ИВРПВ для хозяйственно - питьевого водоснабжения сельских населенных пунктов, оазисного орошения и обводнения пастбищ.

Так, Антоненко В.Н (2008) был проведен сбор и обобщение материала, как фондового, так и опубликованного в различных изданиях; его анализ с точки зрения выявления зон и участков с благоприятными условиями для искусственного восполнения подземных вод; сформулированы общие критерии выделения перспективных зон. Данная работа явилась отправной точкой и начальным этапом в масштабном расширении детальных научно-прикладных

исследований по изучению перспектив ИВРПВ для питьевого водоснабжения в Юго-Восточном Казахстане[20].

Антоненко В.Н. и др., (2014) при выполнении проекта в рамках гранта, выделенного Министерством образования и науки РК, было проведено районирование исследуемой территории и составлена карта перспектив искусственного восполнения подземных вод. Разработана методика гидрогеолого-мелиоративного районирования на основе изучения геоморфологических условий региона, имеющих очень важное значение при обосновании оптимального размещения инфильтрационных бассейнов сезонного регулирования открытого типа при ИВЗПВ [21].

Одним из актуальных исследований, определяющих будущую эффективную работу инфильтрационных сооружений, является выявление особенностей гидродинамики процесса фильтрации. В современной науке этот вопрос является дискуссионным и требующим углубленного изучения.

Научное и практическое значение имели опытные исследования и прогноз кольтматации фильтрующей среды в аллювиальных коллекторах Сары-Арки, проведенные Жуматаевым Б.К.(2011). Полевые опытно-фильтрационные исследования позволили выявить инфильтрующую способность зоны аэрации; установить закономерности развития кольтматации; определить параметры инфильтрационных сооружений для ИВРПВ, оценить эксплуатационные запасы подземных вод с учетом их искусственного восполнения[22]. Но необходимо отметить, что небольшие площади инфильтрации приборов и малое количество опытов не исключили элементы случайности в выявлении вероятностно-статистического характера изменения скорости инфильтрации как по площади, так и по глубине.

Теоретический анализ движения подземных вод под инфильтрационными бассейнами, траншеями, каналами (“открытыми” инфильтрационными сооружениями в системах искусственного восполнения) основывается на классической теории насыщенных потоков [23]. Вместе с тем, во многих случаях прогноз отдачи инфильтрационных сооружений не оправдывается, не оправдывается и прогноз уровня поверхности грунтовых вод. Обычно причиной этого считают недостаточно полный учет факторов, влияющих на характер фильтрации под бассейнами К таким факторам в первую очередь относят образование слабопроницаемой илистой пленки на дне бассейна, ее сжимаемость, кольтматацию верхней части фильтрующего слоя, разность температур грунтовых и фильтрующихся вод и т.п.[24].

Кульдеевой Э.М. (2015) при проведении исследований был выбран инновационный и унифицированный подход имитации естественных условий просачивания воды до полного насыщения испытываемой мощности пород покровных отложений с учетом растекания инфильтрационного потока при близком залегании уровня грунтовых вод на созданной физической модели мини-бассейна. На основании полученных результатов натурных исследований процесса ИВРПВ создана одномерная модель влагопереноса, что в комплексе дали возможность изучить основные параметры, характеризующие данный

процесс для условий Каратальского экспериментального участка. Для этой цели применен часто используемый в исследованиях западными учеными и специалистами программный комплекс Visual MODFLOW Pro[25].

Мирлас В.М. и др. (2015) считают, что дефицит водных ресурсов на юго-востоке Казахстана, усугубляемый большими расстояниями до природных источников воды хорошего качества, требует комбинированного использования поверхностных и подземных вод из местных водоносных горизонтов для снабжения местного населения качественной питьевой водой. [26].

По мнению Кульдеева Е.И., Кулагина В.В. и др. (2015), Завалей В.А., Кулагина В.В. и др. (2015), Исмагуловой А.Ж., Кулагина В.В. и др. (2016) детальная оценка водно-физических, гидродинамических и фильтрационных свойств покровных отложений и верхних слоев водоносного горизонта играет весьма существенную и решающую роль для изучения процессов инфильтрации и коагуляции [27,28,29].

Полевые исследования инфильтрационных бассейнов, а также оценка их влияния на процессы засорения проводились на физической модели мини-бассейна в бассейне реки Каратал Юго-Восточного Казахстана (Исмагулова, Мирлас, 2019). В процессе данных исследований были смоделированы естественные условия просачивания воды до полного насыщения исследуемой мощности покровного слоя грунта с учетом растекания инфильтрационного потока при малом уровне залегания грунтовых вод. Толщина образовавшейся закупоривающей мембраны на дне мини-бассейна составила всего 0,9 мм при мутности поверхностных вод реки Каратал до 30 мг/л. Экспериментальные исследования, проведенные на Каратальском опытном полигоне, позволили оценить процессы инфильтрации из инфильтрационного мини-бассейна, изучить процессы засорения и заиливания в инфильтрационном профиле под мини-бассейном [30].

Таким образом, выполненный объемный обзор литературных зарубежных и отечественных источников с сопровождением целевого обсуждения и аргументации по возможным решениям проблемы истощения и ухудшения состояния питьевого обеспечения водой высокого качества в засушливых и полузасушливых регионах в условиях нарастающего дефицита естественных водных ресурсов позволил сделать аргументированный вывод, что искусственное восполнение подземных вод может стать эффективным способом решения данной проблемы.

В аридных условиях это единственный способ сохранить водоносный горизонт от истощения, увеличить его ёмкостные запасы с расширением площади распространения горизонта с естественным самоочищением воды, что позволит обеспечить потребности населения в питьевой воде.

Аргументировано, что одним из актуальных исследований, определяющих будущую эффективную работу инфильтрационных сооружений, является выявление особенностей гидродинамики процесса фильтрации. В современной науке этот вопрос является дискуссионным и требующим углубленного изучения.

Перспективным регионом, имеющим практическое значение для повышения водообеспечения сельских населенных пунктов и отдаленных пастбищных участков, являются речные долины Юго-Восточного Казахстана, где наличие открытого зеркала подземных вод и отсутствие перекрывающих водоносный горизонт водоупорных отложений делают метод свободной инфильтрации наиболее эффективным

Перспективные для ИВЗПВ участки, в основном, приурочены к участкам, сложенным четвертичными аллювиальными отложениями преимущественно современного и верхнечетвертичного возрастов (Кульдеев и др., 2015). Водоносные пласты литологически представлены отложениями гравия, щебня, песка, гравийно-галечника и валунов и распространены в долинах рек Каратал, Аксу, Лепсы, Кескентерек, Коксу, Тентек, Биже [31].

Принимая во внимание перспективы создания установок ИВЗПВ для их дальнейшего практического использования в Юго-Восточном Казахстане, становится очевидной необходимость комплексных полевых исследований по изучению процессов инфильтрации и кольматации на опытных участках.

В связи с этим, основными задачами настоящих исследований являлись разработка и проведение комплексных полевых исследований для оценки процессов инфильтрации и кольматации на экспериментальных участках в пределах речных долин Аксу, Лепсы и Коксу на территории Юго-Восточного Казахстана, который наиболее нуждается в повышении водообеспечения сельских населенных пунктов и отдаленных пастбищных участков.

2. ОБОСНОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ВЫБОРА И КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКОВ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОЦЕССОВ КОЛЬМАТАЦИИ В ОСНОВАНИЯХ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ БАССЕЙНОВ

2.1 Основные критерии выбора и организации участков экспериментальных исследований

Основной из приоритетных и актуальных научных задач является проведение натурных исследований процессов кольматации на построенных физических моделях мини - бассейнов с инфраструктурой водозаборных и каптажных сооружений, имитирующих оптимальную для условий Юго-Восточного Казахстана схему и систему ИВЗПВ (Рис 1.2).

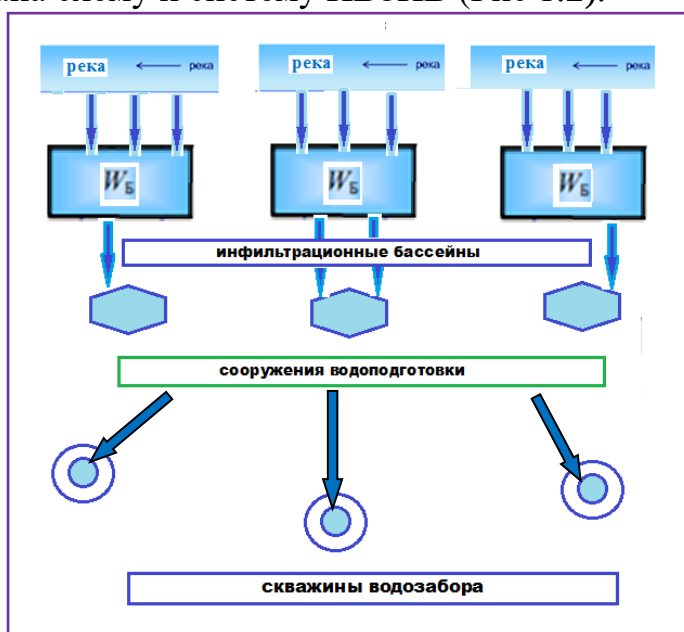


Рис. 1.2 - Принятая оптимальная схема искусственного восполнения запасов подземных вод с помощью инфильтрационных бассейнов на участках научных исследований процессов кольматации

В данной работе выбор участков экспериментальных исследований по изучению процессов кольматации в открытых инфильтрационных бассейнах выполнен на основании материалов по районированию территории Юго-Восточного Казахстана [32,36] по условиям и возможностям применения способов ИВЗПВ.

Для обоснования выбора репрезентативных участков был проведен комплекс работ, включающий сбор материалов в фондах гидрогеологических и водохозяйственных организаций, а также полевые натурные исследования в пределах изучаемой территории[33, 35].

Исследования проводились в регионах, определенных по гидрогеологическому районированию (В.Н. Антоненко) как наиболее перспективных для решения проблемы питьевого водоснабжения сельских населенных пунктов, оазисного орошения и обводнения пастбищ в водных бассейнах междеречья Каратал-Коксу, Аксу и Лепсы.

Данные пластики рельефа, а также характеристики пространственного изменения водно-физических свойств отдельных литологических разностей

пород, были использованы автором настоящей диссертационной работы при обосновании и размещении репрезентативного и перспективных участков на территории Юго-Восточного Казахстана для проведения натурных исследований изучения процессов кольтматации в основаниях смоделированных мини инфильтрационных бассейнов[36,37].

По результатам детального изучения главных критериев для создания небольших систем ИВЗПВ[38,39,40], из проработанных вариантов перспективных регионов, альтернативными объектами исследований избраны два экспериментальных участка, расположенных в междуречьи рек Коксу-самого многоводного притока р. Каратал на предгорной равнине и Лепсы в равнинной части, а в качестве пилотного проекта - репрезентативный участок, расположенный в равнинной части среднего течения р. Аксу(Рис 2.2).



Рис.2.2 – Гидрографическая сеть региона исследований в междуречьи Лепсы-Аксу—Каратал - Коксу



- местоположение репрезентативного и экспериментальных участков по изучению процессов кольтматации

Здесь, в течение пяти лет, осуществлены натурные исследования в физических моделях инфильтрационных бассейнов открытого типа с использованием современных диагностических приборов и лабораторного оборудования и обоснованных на существующих в мировой практике современных технологических подходах к данной проблеме.

2.1.1 Организация Аксуского репрезентативного участка экспериментальных исследований

Участок исследований расположен в северной части территории Аксуского района Алматинской области (Рис.3.2) на территории Матайского сельского округа на левобережье реки Аксу, являющейся первой по водности в данном регионе Юго-Восточного Казахстана и впадающей в восточную часть озера Балкаш.

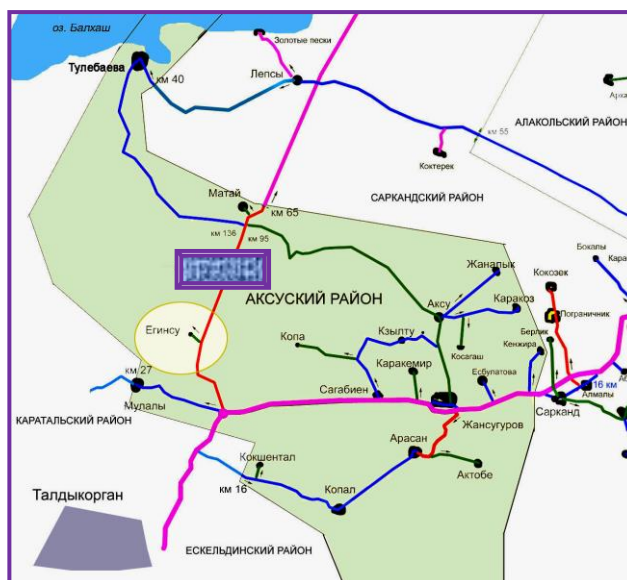


Рис.3.2 - Обзорная карта Аксуского репрезентативного участка научных исследований по изучению процессов кольматации

 - Аксуский репрезентативный участок научных исследований по изучению процессов кольматации

Северная граница участка исследований представлена естественным водоразделом – руслом реки Аксу, а южная – рекой Акозек, имеющей временный в течение расчетного гидрологического года, речной сток. С восточной стороны участок ограничен ординатой в створе и перпендикулярно погребенному руслу р.Аксу, а с западной – ординатой, ограничивающей благоприятные почвенно-растительные условия для перспективного восстановления и развития инфраструктуры культурных пастбищ.

Координаты участка исследований: $78^{\circ} 34' 51''$ - $78^{\circ} 53' 20''$ с.ш.

$45^{\circ} 46' 14''$ - $45^{\circ} 54' 25''$ в.д.

Общая площадь участка исследований в $235,63 \text{ км}^2$ является наиболее перспективной под развитие децентрализованного питьевого водоснабжения имеющихся в данном регионе сельских населенных пунктов, животноводческих ферм, в том числе под развитие культурных пастбищ на площади $162,25 \text{ км}^2$.

При организации репрезентативного участка по изучению процессов кольматации были учтены слабая изученность и незначительные виды и объемы научных и прикладных исследований на территории региона в области гидрогеологии, инженерной геологии, поэтому в перечень актуальных и первоочередных задач были организованы и поставлены масштабные комплексные исследования для получения достоверных натурных характеристик и параметров.

С этой целью была построена система мини - бассейнов, имитирующая оптимальную для данного региона систему ИВЗПВ. На ней проведен полный комплекс полевых работ по инженерной геологии и механике грунтов с проходкой шурфов и отбором образцов пород зоны аэрации, а также гидрологические гидрогеологические и лабораторные исследования

поверхностных как источника пополнения эксплуатационных запасов подземных вод (Рис.4.2).

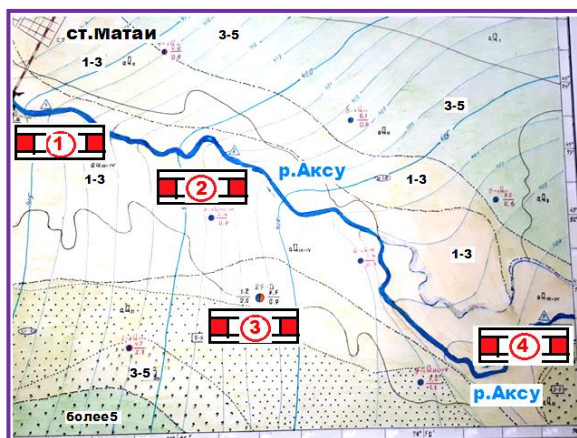


Рис.4.2 – Схема размещения физических мини-моделей инфильтрационных бассейнов открытого типа на избранном репрезентативном участке натурных исследований по изучению процессов кольтмации, на фрагменте составленной автором карты гидрозогипс, глубин залегания и минерализации грунтовых вод по состоянию на январь 2018 года

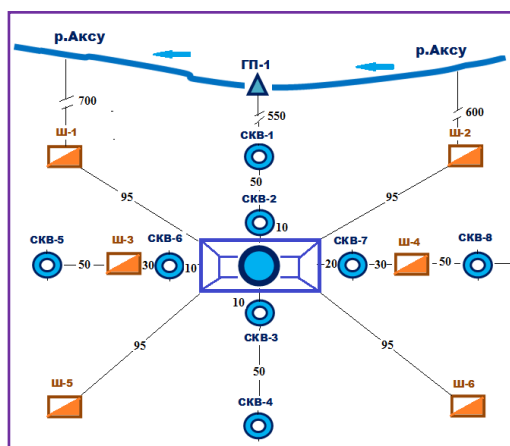


Рис.5.2 - Схема компоновки гидрогеологических, инженерно-геологических и гидрометрических пунктов по изучению процессов инфильтрации и кольтмации на Аксуском репрезентативном участке физической мини- модели инфильтрационного бассейна №1

2.1.2 Организация Лепсинского участка экспериментальных исследований

Участок исследований расположен на территории Саркандского района Алматинской области (Рис.6.2) на левобережьи в концевой части среднего течения реки Лепсы, являющейся второй по водности в данном регионе Юго-Восточного Казахстана и впадающей в восточную часть озера Балкаш.



Рис.6.2 - Обзорная карта Лепсинского экспериментального участка научных исследований по изучению процессов кольтмации
- Лепсинский экспериментальный участок научных исследований по изучению процессов кольтмации

Северная граница участка исследований проходит по естественному водоразделу левобережной части русла реки Лепсы, а южная - по контуру распространения перспективных для ИВЗП водоносных горизонтов,

представленных аллювиальными современными четвертичными отложениями и озерно – аллювиальными верхнечетвертичными отложениями.

С восточной стороны участок ограничен ординатой в створе железнодорожного полотна (ст.Лепсы - ст. Миялы), являющегося антропогенной зоной подпора подземных вод в области их фильтрационного питания речным стоком р.Лепсы, а с западной стороны ограничен контуром перехода низких надпойменных террас и плоской аккумулятивной такыровидной равнины в бугристо- грядовую с эоловым рельефом.

Координаты участка исследований: $78^{\circ} 33' 22''$ - $78^{\circ} 50' 15''$ с.ш.

$45^{\circ} 55' 32''$ - $46^{\circ} 15' 05''$ в.д.

Общая площадь участка исследований составила $144,75 \text{ км}^2$ и является наиболее перспективной под развитие децентрализованного питьевого водоснабжения имеющихся в данном регионе сельских населенных пунктов, животноводческих ферм, в том числе под развитие культурных пастбищ.

Для проведения опытных исследований скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и изучения процессов кольятации, в центре экспериментального участка на расстоянии 650 м от уреза воды в р.Лепсы был пройден и оборудован уникальный шурф, имитирующий в уменьшенном масштабе инфильтрационный бассейн сезонного регулирования.

Для получения натуральных данных по качеству воды реки Лепсы был выбран и организован временный гидрологический пост в створе реки, привязанного к участку наиболее перспективного в части проектирования систем ИВЗПВ(Рис.7.2).

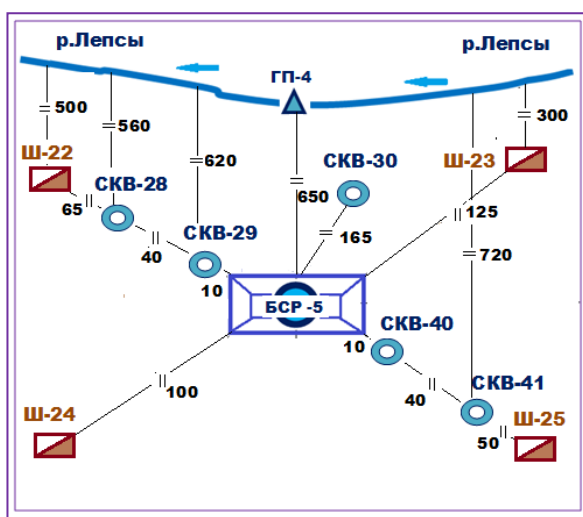


Рис 7.2 - Схема компоновки гидрогеологических, инженерно-геологических и гидрометрических пунктов по изучению процессов инфильтрации и кольятации на Лепсинском репрезентативном участке

2.1.3 Организация Каратал-Коксуского участка экспериментальных исследований

Третьим зональным экспериментальным участком исследований процессов кольятации на территории Юго-Восточного Казахстана избран на альтернативной основе в Коксуском районе, который в северной части граничит с Каратальским районом, на востоке - с городом Талдыкорган, на юге - с Кербулакским, на западе - с Балхашским районами (Рис 8.2).



Рис.8.2.- Обзорная
административная карта Коксуевского
района

Координаты участка исследований: $78^{\circ} 33' 22''$ - $78^{\circ} 50' 15''$ с.ш.
 $45^{\circ} 55' 32''$ - $46^{\circ} 15' 05''$ в.д.

Общая площадь участка исследований составила 468,0 км² и является наиболее перспективной под развитие децентрализованного питьевого водоснабжения имеющихся в данном регионе сельских населенных пунктов, животноводческих ферм при использовании инфильтрационных бассейнов открытого типа для ИВЗПВ(Рис.9.2).

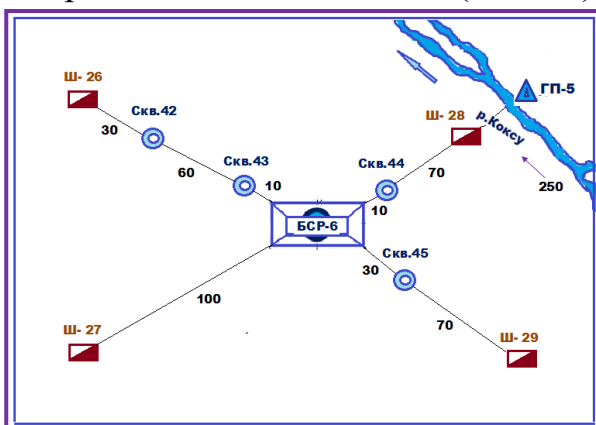


Рис 9.2 - Схема компановки гидрогеологических, инженерно-геологических и гидрометрических пунктов по изучению процессов инфильтрации и кольятации на Каратал-Коксуском репрезентативном участке

2.2 Климатические особенности региона исследований Юго-Восточного Казахстана в условиях глобального потепления

Климат Казахстана, как и глобальный климат, претерпевает существенные изменения, что выражается в повсеместном значительном повышении температуры приземного воздуха. Текущее изменение климата Казахстана, в целом, следует охарактеризовать как продолжающееся потепление со скоростью более чем в 1,5 раза превышающей скорость глобального потепления. При этом тенденция к замедлению потепления, наблюдаемая в глобальном масштабе, для территории Казахстана пока не прослеживается.

В связи с потеплением в горах возрастает верхняя граница осадков, выпадающих в жидком виде, увеличивая тем самым площадь формирования дождевого паводка.

В дальнейшем, доля ледникового и снеготалого стока на горных реках будет снижаться (сокращение и исчезновение ледников, выпадение осадков в высокогорной зоне в жидком виде), что приведет к смещению пика половодья на более ранние сроки, а также к большей изменчивости годового объема стока.

Эти факторы существенно ухудшат условия для водного и сельского хозяйств и гидроэнергетики.

Климат в районе исследований резко континентальный, для которого характерны суровая зима, жаркое лето, короткая весна и осень [41].

Внутригодовое распределение осадков на территории участков исследований, относящейся в большей степени к слабонаклонной пологой равнине Балкаш-Алакольской впадины, неравномерное. Значительно преобладают осадки теплого периода от общей суммы годовых (от 250 до 300 мм), составляющих значения от 90 до 120 мм. Наибольшим количеством осадков характеризуются март, апрель, май, июнь. Второй максимум осадков отмечается в январе, октябре, ноябре, декабре, - от 110 до 135 мм.

Поэтому, основная роль в пополнении запасов подземных вод и создания запасов влаги в корнеобитаемом слое почв принадлежит именно осадкам относительно холодного периода, выпадающим преимущественно в твердой фазе. А осадки теплого периода из-за высокой величины испарения практически не участвуют в формировании влагозапасов за счет инфильтрации [40].

Преобладающее направление ветров – северо-восточное со скоростью 2-4 м/сек.

В 2019 и 2020 годы климатические условия района в вегетационный период характеризовались засушливым и жарким летом. Максимальная среднемесячная температура воздуха отмечалась в июле – 26,9°C. Самым холодным месяцем был декабрь – -9,3°C. Сумма активных температур (сумма среднесуточных температур воздуха выше +15 °C) за период май-август составила 2755 °C [41].

Одним из основных климатических показателей при определении расходных статей водного баланса и оказывающим значительное влияние на формирование уровенно-солевого режима подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта является величина эвапотранспирации, складывающаяся из испарения с грунтовой и водной поверхностей и транспирации растительным покровом.

На территории исследуемых участков средняя многолетняя величина испаряемости с открытого грунта принята равной 650 мм, с водной поверхности рек – 1050 мм.

Величина транспирации по представленным видам растительного покрова приведена ниже в соответствующих подразделах.

2.3 Геоморфологические особенности территории участков исследований

Территория Аксуского репрезентативного участка исследований относится к плоской аккумулятивной равнине [40], где выделены генетические группы: пойменная часть и низкие надпойменные террасы; плоская аккумулятивная такыровидная равнина; мелкобугристая песчаная равнина и равнина с бугристо-грядовым эоловым рельефом.

Пойменная часть и низкие надпойменные террасы сложены нерасчлененными современными и верхнечетвертичными отложениями (aQ_{III-IV}), представленными песками, супесями, песчано-гравийно-галечными отложениями с прослоями суглинков, глин и алевролитов.

Высота террас и поймы как и общий врез долины, изменяется от 2 до 4 м, реже 6 м, а первая надпойменная терраса хорошо выражена уступом высотой 0,5 – 1,2 м.

Плоская аккумулятивная такыровидная и мелкобугристая песчаная равнины сложены среднечетвертичными отложениями (aQ_{II}), представленными тонко и разнозернистыми песками, рыхлыми, слабосцементированными песчаниками с прослоями маломощных суглинков и глин.

Они представляют собой слабонаклонную в западном и юго-западном направлениях при средней величине уклона менее 0,001 и волнистую поверхность с абсолютными отметками от 430 до 413 м. На отдельных участках отмечены слабосхлопленная их поверхность за счет сформировавшихся эоловых песков, высота которой не превышает 2-5 м.

В крайней восточной части объекта исследований выделен участок с бугристо-грядовым эоловым рельефом, сложенный озерно-аллювиальными нижнечетвертичными отложениями (aoQ_I), представленными тонко, мелко, реже среднезернистыми песками и пылеватыми супесями с прослоями глин. Равнина с бугристо-грядовым эоловым рельефом представляет собой относительно плавную поверхность с абсолютными отметками от 438,9 до 425,5 и уклоном на юго-запад порядка 0,0005.

Территория Лепсинского экспериментального участка исследований расположена на плоской аккумулятивной равнине, где выделены генетические группы: пойменная часть; высокие и низкие надпойменные террасы аллювиальной такыровидной равнины; равнина с бугристо-грядовым эоловым рельефом на озерно-аллювиальных отложениях и древняя долина р. Лепсы [9].

Пойменная часть и низкие надпойменные террасы сложены современными аллювиальными отложениями (aQ_{IV}), представленными разнозернистыми песками с прослоями супесей и суглинков.

Равнина с бугристо-грядовым эоловым рельефом сложена озерно-аллювиальными нерасчлененными современными и верхнечетвертичными отложениями (laQ_{III-IV}), представленными тонко- и мелкозернистыми песками.

Равнина с бугристо-грядовым эоловым рельефом представляет собой относительно плавную поверхность с абсолютными отметками от 408,9 до 402,5 и уклоном на юго-запад порядка 0,0004.

Каратал - Коксуский участок исследований расположен на пологой равнине на границе перехода эрозионно-денудационного рельефа предгорных шлейфов конусов выноса в аллювиально-пролювиальную широкую долину реки Коксу, являющейся самым многоводным притоком реки Каратал.

2.4 Гидрологические условия

Общая протяженность реки Аксу составляет порядка 316 километров,

площадь бассейна 4,1 тыс. км². Исток находится в ледниках Джунгарского Алатау, здесь находится множество ледниковых моренных озер, из которых и берет начало река [40].

По выходе из гор Аксу принимает равнинный характер. Впадает в залив Кукан озера Балхаш. Река Аксу имеет 132 притока общей длиной 213 километров.

В равнинной части река меандрирует по широкой пойменной террасе (Рис.10.2,11.2), пересекает песчаную Прибалкашскую равнину, разбиваясь в низовьях на протоки [10].



Рис. 10.2,11.2 - р.Аксу в среднем течении

До озера Балкаш доходят только три рукава реки. Во время половодья дельта реки Аксу соединяется с дельтой реки Лепсы.

Аксу пополняется, в основном, за счет талой воды ледников и снегов, а также благодаря подземным источникам. Сток реки регулируется системой водохранилищ. У поселка Жансугурово на реке построена небольшая ГЭС, вырабатывающая электроэнергию для местных нужд.

Ширина реки в створе исследований составляет 40–50 м. Средний гидравлический уклон 0,0005. Абсолютные отметки дна реки на западной границе участка составляют 411,6, на восточной – 427,9.

Глубина реки в этих створах составляет соответственно от 0,9 до 1,5 м и от 0,6 до 1,15 м в зависимости от водности года.

Река **Лепсы** длиной порядка 415 километров с общей водосборной площадью 8110 км² берет начало в ледниках на северном склоне хребта Джунгарский Алатау высотой свыше 3000 метров над уровнем моря и впадает в озеро Балкаш.

Русло реки Лепсы сильно извилистое. Бассейн реки Лепсы ограничен на востоке Тентекским, а на западе Басканским отрогами.

По характеру водного режима р. Лепсы относится к рекам с весенне-летним половодьем, сток которой формируется в нескольких высотных поясах, а начало и окончание половодья зависит от высотного положения водосбора реки, а также от особенностей распределения снежного покрова в бассейне, наличия ледников и снежников [41].

В пределах участка экспериментальных исследований река имеет ярко выраженный равнинный характер.

Ширина реки в створе исследований составляет 45–50 м (Рис. 12.2). Средний гидравлический уклон 0,0003. Абсолютные отметки дна реки на восточной границе участка составляют 393,5, на западной 374,5. Глубина реки в этих створах составляет соответственно от 0,7 до 1,5 м и от 0,5 до 1,05 м в зависимости от водности года.



Рис. 12.2 Фото: Река Лепсы в створе участка экспериментальных исследований

Река **Коксу** – самый крупный приток реки Каратал. Она берет начало на высоте около 3500 м у основания ледниковых морен и образуется от слияния двух крупных рек: Казан и Караарык. По площади водосбора (4670 км²) и длине (205 км) она больше реки Каратал до слияния с рекой Коксу. В верхнем течении русло реки расположено на дне узкой межгорной долины.

Далее река выходит на Каратальскую долину и пересекает ее параллельно руслу реки Каратал до места слияния с ней (Рис13.2).



Рис13.2 - Фото реки Коксу в среднем течении на Каратальской долине в низовьях до впадения в р.Каратал

Река Коксу, одна из семи рек Семиречья, — левый приток реки Каратал, впадающей в озеро Балхаш. «Коксу» в переводе с казахского означает «голубая вода». Река Коксу относится к рекам смешанного снежно-ледового и грунтового питания.

По характеру водного режима р. Коксу относится к рекам с весенне-летним половодьем, сток которой формируется в нескольких высотных поясах, а начало и окончание половодья зависит от высотного положения водосбора реки, а также от особенностей распределения снежного покрова в бассейне, наличия ледников и снежников[41].

Ширина реки в створе исследований составляет 65-80м. Средний гидравлический уклон 0,002. Абсолютные отметки дна реки на восточной

границе участка составляют 630,8 м, на западной 510,5м. Глубина реки в этих створах составляет соответственно от 1,2 до 1,7 м и от 0,9 до 1,4 м в зависимости от водности года.

2.5 Почвы и растительный покров

Распределение типов почв тесно связано с природно-климатическими, геоморфологическими и гидрогеологическими условиями, сложившимся на участке исследований[40].

В пойменной части и на низких террасах реки Аксу и в меньшей степени реки Акозек, имеющей временный, сезонный и пересыхающий сток, сформировались аллювиально-луговые почвы.

Для верхнего и нижнего горизонтов аллювиально-луговых почв характерны низкая загумусированность, рыхлое и слабо структурное сложение. Профиль и механический состав этих почв непостоянен. На остальной площади участка исследований получили распространение слабосформировавшиеся сероземы песчаных массивов. Они характеризуются небольшой мощностью и невысокой степенью засоленности почвенного профиля.

На участке исследований преобладающее развитие получили характерные для аридной зоны растительные формации пустынного типа.

В пойменной части и на низких террасах реки Аксу и в меньшей степени реки Акозек получили распространение и развитие соответственно разнотравнозлаковые группировки и сообщества тростников. Для этой группировки и сообществ средневзвешенное значение величины транспирации за период вегетации при расчетах водного баланса принимается равным 850мм [53].

На плоской аллювиальной такыровидной равнине, на равнине с бугристо-грядовым эоловым рельефом и на мелкобугристой песчаной равнине получили развитие эркековые формации с полынью, а также тростниково – рангово-полынная ассоциация на бугристо-грядовом эоловом рельефе.

Слабонарушенный растительный покров эркековых формаций представлен двумя типами сообществ: изенев-полынными и полынно-изеневыми сообществами с участием житняка (при близком залегании уровня грунтовых вод - до 3 м.) и житняково-полынными с терескеном, терескено-полынными с житняком сообществами (с более глубоким залеганием уровня грунтовых вод - более 4,5 -5 м). Покрытие представителей первого сообщества составляет 30-35% весной и 40-45 % осенью , а второго сообщества – 30-40 % весной и 30-35 % осенью(Рис.14.2,15.2).



Рис. 14.2 - житняково-полынное с тростником (*Artemisia terrae-albae*, *Agropyron fragile*, *Phragmites australis*) сообщество



Рис.15.2 - житняково-белоземельнопопынное (*Artemisia terrae-albae*, *Agropyron fragile*) сообщество

Для этой формации средневзвешенное значение величины транспирации за период вегетации при расчетах водного баланса принимается равным 650мм.

На Лепсинском участке распределение типов почв тесно связано с природно-климатическими, геоморфологическими и гидрогеологическими условиями, сложившимся на участке исследований [40].

В пойменной части и на низких террасах реки Лепсы сформировались аллювиально-луговые почвы. Для них характерны низкая загумусированность, рыхлое и слабо структурное сложение. Профиль и механический состав этих почв непостоянен.

На основной площади участка исследований получили распространение слабосформировавшиеся сероземы песчаных массивов. Они характеризуются небольшой мощностью и невысокой степенью засоленности почвенного профиля.

В пойменной части и на низких террасах реки Лепсы получили распространение и развитие соответственно разнотравнозлаковые группировки, а на высоких террасах реки – комфоросмовые сообщества и сообщества с кияком и тростником.

Для этой группировки и сообществ средневзвешенное значение величины транспирации за период вегетации при расчетах водного баланса принимается равным соответственно 900 и 820 мм [40].

В отдельную группу выделены сильно нарушенные территории надпойменных террас. Так, на слабонаклонной первой надпойменной террасе отмечены сильно нарушенные полынно-солянково-брунцовые (*Pseudosophora alopecuroides*, *Suaeda linifolia*, *Artemisia nitrosa*) сообщества с группировками лоха (*Eleagnus oxycarpa*), чингила (*Halimodendron halodendton*), тамарикса (*Tamarix ramosissima*) на луговых обсыхающих почвах. Общее проективное покрытие составляет – 50-55 %. Доля сорных видов – 38 % (из ОПП). Валовая урожайность сырой массы, по результатам осенних исследований, – 15,2 ц/га сырого веса.

На плоской аллювиальной такыровидной равнине, на равнине с бугристо-грядовым эоловым рельефом и на мелкобугристой песчаной равнине получили развитие эркековые формации с полынью, с подчиненным распространением боялычной формации с участием кокпека и полыней.

При сильной степени нарушенности растительность представлена метельчатопольным (*Artemisia scoparia*) сообществом с участием изеня, терескена и\или тростника (Рис16.2. Общее проективное покрытие почвы



растительностью осенью составляет 30-35 %, урожайность – 7,5 ц\га (сырого веса), на долю сорных видов приходится 20-30 % (от ОПП). Флористическое разнообразие – 7-8 видов.

Рис.16.2- Фото метельчатопольного (*Artemisia scoparia*) сообщества с участием изеня, терескена и\или тростника

Растительный покров, нарушенный в умеренной степени, представлен житняково-полынными (*Artemisia terrae-alba*, *Agropyron fragile*) сообществами со значительным участием изеня и терескена (*Kochia prostrate*, *Krascheninnikovia ceratoides*) (Рис17.2). Проективное покрытие весной составило в среднем – 25-30 %, осенью – 40-45 %. Весенняя валовая урожайность сообществ составляла – 10,4 ц\га, осенняя – 4,9 ц\га сырого веса (из них 0,7 ц\га сорных видов). Доля сорных видов 4-5 % (от ОПП). Осенью наблюдались сообщества, в которых полынь находилась в угнетенном состоянии (практически сухая), причины визуально не определимы.



Рис.17.2 - Фото житняково-белоземельнополынного (*Artemisia terrae-albae*, *Agropyron fragile*) сообщества

Для этой формации средневзвешенное значение величины транспирации за период вегетации при расчетах водного баланса принимается равным 600мм.

Примечание: подробная характеристика гидрогеологических условий как одного из основных критериев обоснования перспективных участков искусственного восполнения запасов подземных вод при изучении процессов кольматации в Юго-Восточном Казахстане изложена в Разделе 5

3. ХАРАКТЕРИСТИКА АНТРОПОГЕННЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ РЕЧНОГО СТОКА В РЕГИОНАХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ КОЛЬМАТАЦИИ

3.1 Оценка антропогенных и техногенных изменений речного стока основных рек Юго - Восточного Казахстана

Наличие гарантированного источника восполнения запасов подземных вод является одним из важных факторов, определяющих схему и эффективность работы инфильтрационных сооружений, в том числе формирование и влияние процессов кольматации в основаниях инфильтрационных бассейнов на всю систему.

В связи с этим, важное значение имеет количественная и качественная оценки антропогенных изменений речного стока основных рек как источника натуральных исследований процессов кольматации в основаниях инфильтрационных бассейнов при проектировании систем ИВЗПВ, анализ и обобщение которых подробно изложены в магистерской работе автора настоящей докторской диссертации Исмагуловой А.Ж.

В данной работе результаты ранее выполненных исследований годового стока рек Юго-Восточного Казахстана с привлечением базы данных по среднемесячным и средним годовым расходам воды на всех имеющихся гидрологических пунктах за весь период систематических наблюдений по 2014 год включительно[39,41], дополнены и скорректированы с учетом проведенных гидрологических наблюдений в течение 2016-2020 годов.

В результате выполненных автором обобщений и анализа предшествующих исследований влияния хозяйственной деятельности на количественные характеристики стока воды, дополненных последними данными, установлено, что за пятидесятилетний период с 1970 по 2020 годы практически на всех реках региона систематически уменьшался сток воды, а в замыкающих створах наблюдался отрицательный тренд водности за все сезоны.

Суммарный сток зоны формирования в регионе за год и вегетационный период также уменьшался, но незначительно - статистически значимой тенденции выявить не удалось. За зимний период она проявилась: снижение стока составило примерно 14 %. В основном, это обусловлено сменой в восьмидесятые годы прошлого столетия многоводной фазы в многолетнем режиме стока на маловодную, причем отмечена продолжающаяся стабильная тенденция к увеличению количества лет маловодной фазы (от 3-х до 5-ти лет подряд) с 75-90%.

Незначительный объем возвратных вод в настоящее время объясняется тем, что большая часть их отводится не обратно в реку, а в пустыню, где теряется безвозвратно.

Расходная часть в основном представляет собой забор свежей воды из поверхностных источников рассматриваемого водного бассейна. Снижение обусловлено уменьшением площадей орошаемых земель, удорожанием в весенний период нефтепродуктов, горюче-смазочных материалов, что приводит к недоосушению и недополиву сельхозугодий.

За период наблюдений автором настоящей работы были построены графики кривых обеспеченности (Рис1.3) годовых расходов воды рек, Аксу, Лепсы, Коксу (1970 -2020 г.г.), т.е. интегральных кривых, показывающих вероятность превышения, в процентах или долях от единицы данной величины среди общей совокупности ряда.

Для повышения возможной точности, аналитические кривые обеспеченности строились на специальных клетчатках вероятности. Необходимо отметить, что при нанесении аналитических величин в простых координатах, верхний и нижний участки кривых получились изогнутыми, что несколько затруднило их экстраполяцию.

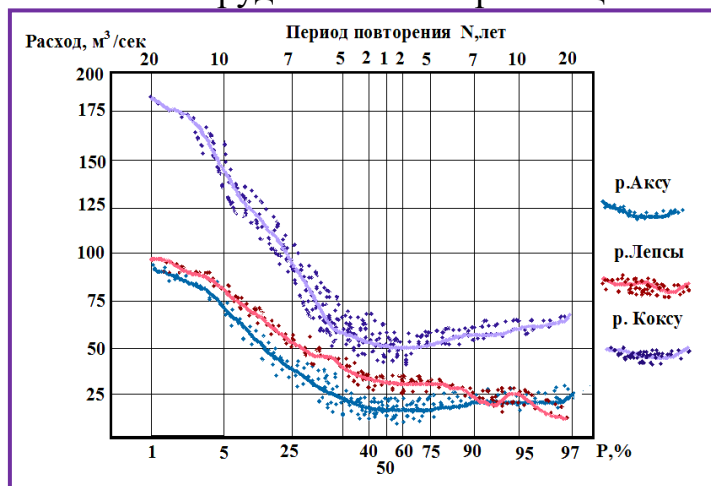


Рисунок 1.3 - Кривые обеспеченности годовых расходов воды рек, Аксу, Лепсы, Коксу за период с 1970 по 2020 годы

Точки вероятности имеют некоторый разброс при обеспеченности менее 50 % и более 90 % и ограничены пределами 5 и 97 %.

Для определения связи обеспеченности, повторяемости, а также характеристики года была составлена таблица 1.3 с вычисленными значениями по соответствующим эмпирическим формулам с использованием вариантно-статистического метода гидрологических расчетов.

Таблица 1.3 – Связь обеспеченности повторяемости и характеристики года

Обеспеченность, %	Характеристика гидрологического года	Гидрологический цикл для рек снежно-ледникового питания	Повторяемость, 1 раз в N лет
Менее 5	Катастрофически Многоводный	20	1
10	Очень многоводный	10	1
25	Многоводный	9	2
50	Средний многоводный	9	2
75	Средний маловодный	9	2
90	Маловодный	9	5
более 97	Очень маловодный	15	3

3.2 Количественная характеристика речного стока основных рек Юго - Восточного Казахстана

Для изучения гидрологического режима речного стока и получения натурных количественных показателей были выбраны и организованы

временные гидрологические посты в створах рек, привязанных к участкам наиболее перспективных в части проектирования систем ИВЗПВ.

Створы исследований были заложены на выпрямленных по рельефу и протяженности участках для уменьшения отрицательного влияния неустановившегося движения воды с выположенными откосами и возможного использования тросово-лодочной переправы.

В створе измерений выбраны и закреплены постоянные вертикали для отбора единичных проб воды на мутность.

Была установлена зависимость скорости течения на постоянной вертикали от уровня воды на гидростворе и определен вид насадок для конкретных уровней воды (Рис 2.3).



Рис.2.3 – Фото автора: откалиброванные водомерные рейки для выполнения полевых гидрологических и балансовых исследований в створах гидрометрических постов

В последующем выполнена поверка откалиброванных водомерных реек:

а) - для установки и проведения системного гидрологического мониторинга за величиной слоя воды вдоль береговой части рек продолжительностью в течение всего фильтрационного цикла опытных исследований в физических моделях инфильтрационных мини-бассейнов;

б) - для установки и последующих гидрологических наблюдений за величиной расхода воды в поперечных створах рек по закрепленным постоянным вертикалям в период использования речного стока в качестве источника для ИВЗПВ на репрезентативном и экспериментальных участках

В результате камеральной обработки и анализа проведенных полевых гидрологических исследований в течение 2016–2020 годов совокупности с обобщенными и обработанными многолетними данными 1970- 2014 годов установлено:

- среднегодовой расход воды реки Аксу в створе участка экспериментальных исследований составляет 25 м³/сек или 0,6 км³/год при 25% обеспеченности, 15 м³/сек или 0,45 км³/год при 50% обеспеченности и 8 м³/сек при 75% обеспеченности или 0,25 км³/год. Среднемноголетний расход составил 18 м³/ сек, максимальный - 28 м³/сек, минимальный - 5 м³/ сек. Паводки наблюдаются в мае, июне и июле с максимумом до 45 м³/ сек, реже - до 65 м³/ сек (Рис.3.3);

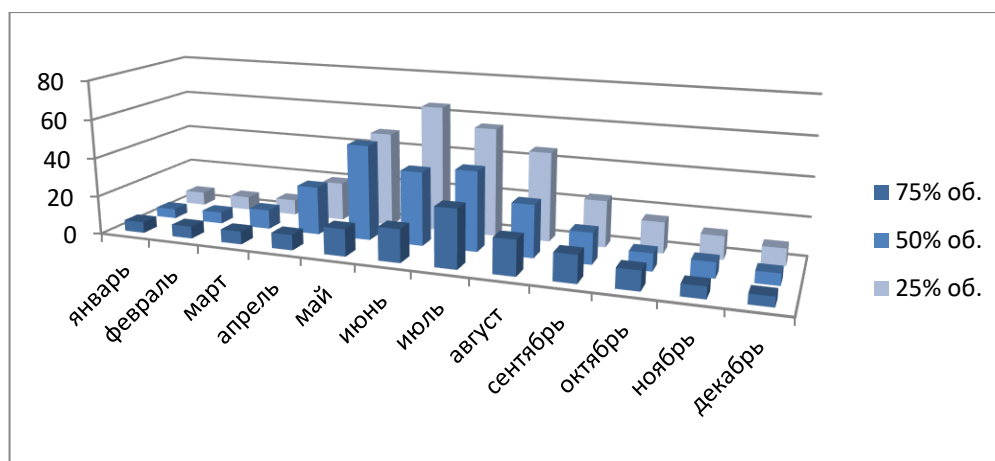


Рис.3.3 - Диаграмма среднегогодового гидрографа реки Аксу при различной водности гидрологического года

- вода в реке насыщена кислородом, наблюдается незначительное содержание взвешенных веществ. По гидробиологическим показателям река Аксу относится к водотокам II класса качества вод олигосапробной зоны ZndS - 1,4; W=6 число микроорганизмов на 1 м² составляет 272 экземпляров.

- воды реки Аксу относятся к чистым рекам (минерализация воды 0,3 - 0,5 г/л, состав гидрокарбонатный кальциевый), и все контролируемые показатели (Таблица 2.3), по данным Талдыкорганской оперативной группы Алматинского облуправления охраны окружающей среды, находятся в пределах допустимых значений и их можно использовать для водоснабжения, орошения и обводнения пастищ;

Таблица 2.3 - Содержание загрязняющих веществ в речной воде р.Аксу региона исследований

Гидрохимический Створ	Индекс загрязненности воды (ИЗВ) – характеристика качества воды		Содержание загрязняющих веществ, превышающих ПДК		
	2017год	2020 год	Ингредиенты	Средняя концентрация, мг/дм ³	Кратность превышения ПДК
станция Матай	1,78 (3 кл.) умеренно загрязненная	1,34 (3 кл.) умеренно загрязненная	Медь Железо общ. Фториды Марганец Сульфаты	0,00389 0,11 0,91 0,01301 106	3,9 1,1 1,2 1,3 1,0

Среднегодовой расход воды реки Лепсы в створе участка экспериментальных исследований составляет 32 м³/сек или 0,77 км³/год при 25% обеспеченности, 18 м³/сек или 0,43 км³/год при 50% обеспеченности и 10,4 м³/сек при 75% обеспеченности или 0,25 км³/год. Среднеголетний расход составил 21,8 м³/ сек, максимальный - 52 м³/сек, минимальный - 6 м³/сек. Паводки наблюдаются в мае, июне и июле и продолжаются в августе с максимумом до 45 м³/ сек, реже - до 54 м³/ сек (Рис.4.3);

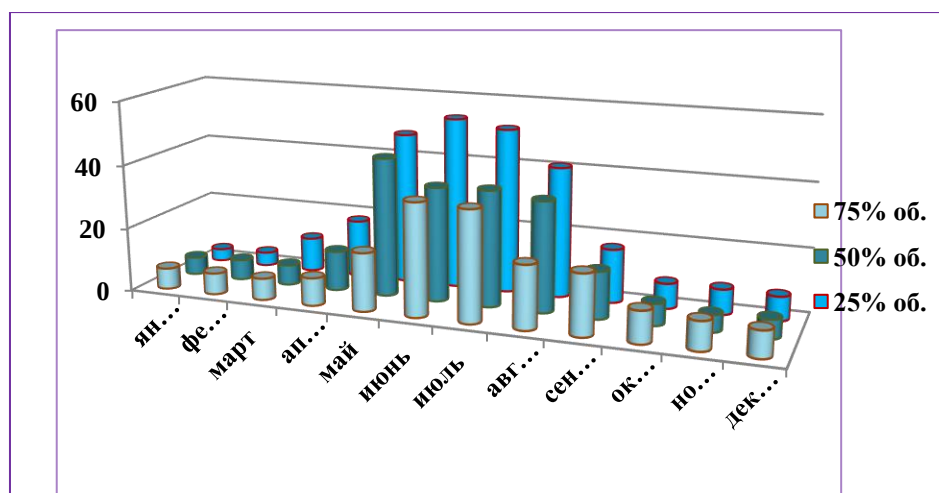


Рис.4.3 - Диаграмма среднегогодового гидрографа реки Лепсы при различной водности гидрологического года

По данным Талдыкорганской оперативной группы Алматинского облуправления охраны окружающей среды все контролируемые показатели находятся в пределах допустимых значений. Воды реки Лепсы относятся к чистым рекам (Таблица 3.3). Вода бассейна реки Лепсы в контрольных зонах по классификации качества относится к водотокам II класса качества вод олигасапробной зоны $Z_{ndS} = 1,7$; $W=6$ число микроорганизмов на 1 м^2 составляет 240 экземпляров. Донная фауна представлена личинками веснянок, поденок. Перифитон представлен диатомовыми, зелеными водорослями. Несмотря на вышеперечисленные выбросы и сбросы, за счет самоочищения рек и большого разведения сбрасываемых вод, гидробиологическая жизнь реки восстанавливается;

Таблица 3.3 - Содержание загрязняющих веществ в речной воде р.Лепсы региона исследований

Гидрохимический Створ	Индекс загрязненности воды (ИЗВ) – характеристика качества воды		Содержание загрязняющих веществ, превышающих ПДК		
	2018 год	2019 год	Ингредиенты	Средняя концентрация, мг/дм ³	Кратность превышения ПДК
река Лепсы, поселок Толебаева	1,87 (3 кл.) умеренно загрязненная	1,53 (3 кл.) умеренно загрязненная	Медь Железо общ. Марганец Фториды	0,00543 0,13 0,01208 0,95	3,9 1,1 1,2 1,3
станция Лепсы	1,72 (3 кл.)	1,82 (3 кл.)	Медь	0,00652	6,5

Среднегодовой расход воды реки Коксу в створе участка экспериментальных исследований составляет 71 м³/сек или 0,77 км³/год при 25% обеспеченности, 66 м³/сек или 0,43 км³/год при 50% обеспеченности и 52,4 м³/сек при 75% обеспеченности или 0,25 км³/год. Среднеголетний расход составил 61,8 м³/сек, максимальный - 152 м³/сек, минимальный - 26 м³/

сек. Паводки наблюдаются в мае, июне и июле и продолжаются в августе с максимумом до 105 м³/сек, реже - до 65 м³/сек (Рис 5.3).

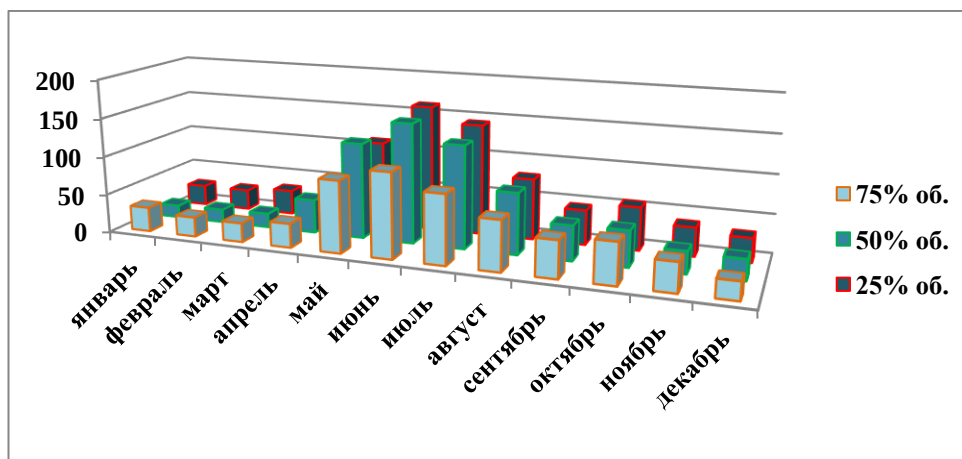


Рис 5.3 - Диаграмма среднееголетнего гидрографа реки Коксу при различной водности гидрологического года

По данным Талдыкорганской оперативной группы все контролируемые показатели находятся в пределах допустимых значений. Воды реки Коксу относятся к чистым естественным источникам (Таблица 4.3).

Таблица 4.3 - Содержание загрязняющих веществ в речной воде р.Коксу региона исследований

Гидрохимический створ	Индекс загрязненности воды (ИЗВ)		Содержание загрязняющих веществ в 2019 году превышающих ПДК		
	2018 год	2019 год	Ингредиенты	Средняя концентрация,	Кратность превышения ПДК
река Коксу, поселок Балпык-Би	1,57 (3 кл.) умеренно загрязненная	1,34 (3 кл.) умеренно загрязненная	Медь	0,00345	3,4
			Железо общ.	0,09	1,0
			Марганец	0,0098	1,1
			Фториды	0,56	1,0

3.3 Натурные исследования величины мутности поверхностных вод рек Юго-Восточного Казахстана и оценка влияния на процессы коагуляции при использовании в качестве источника искусственного восполнения запасов подземных вод

Сток взвешенных наносов и мутность воды - характеристики более сложные, чем сток воды. Кривые стока наносов синтезируют естественные изменения увлажненности, хозяйственные преобразования на водосборе (распашка земель) и уже антропогенно измененный жидкий сток реки. В связи с этим, оценка изменения твердого стока под влиянием хозяйственной деятельности при помощи интегральных кривых затруднена [60].

На реках Юго-Восточного региона наблюдаются, практически, все виды антропогенных изменений твердого стока: - от полного отсутствия значимых изменений в низовьях рек Аксу, Лепсы - до увеличения твердого стока

р.Каратал за счет усиления смыва мелкозема с площадей орошения расположенных в его пойме.

Следовательно, предпаводковый перенос на будущее характеристик по твердому стоку из справочника "Ресурсы поверхностных вод" в большинстве случаев неправомерен [39].

Так, изменения твердого стока рек Аксу, Лепсы и Коксу в первую очередь обусловлены антропогенными изменениями стока воды. В естественных условиях расход взвешенных наносов определяется здесь в основном расходом воды в русле реки. В период максимальных антропогенных нагрузок эта зависимость сохранилась, что дает основание говорить об отсутствии значимых изменений условий формирования твердого стока в бассейне

Для низовий рек исследуемого региона выявлена неоднородность ряда расходов взвешенных наносов по средним значениям (критерий Фишера). Остальные же методы не определяют изменений твердого стока. Это может быть связано с отсутствием изменений собственно твердого стока и его уменьшением только за счет антропогенных изменений стока воды, что произошло за счет удаленности участков экспериментальных исследований от массивов орошения и затухания эффектов антропогенного воздействия по длине рек.

3.3.1 Аналитический обзор применяемых методов и средств измерений мутности речной воды

Мутность воды определяют фотометрически (турбидиметрически – по ослаблению проходящего света или нефелометрически – по светорассеянию в отраженном свете), а также визуально – по степени мутности столба высотой 10–12 см в мутномерной пробирке [61]. Результат измерений выражают в мг/дм³ при использовании основной стандартной суспензии каолина или в ЕМ/дм³ (единицы мутности на дм³) при использовании основной стандартной суспензии формазина. Последнюю единицу измерения называют также Единица Мутности по Формазину (ЕМФ) или в западной терминологии FTU (Formazine Turbidity Unit). 1FTU=1ЕМФ=1ЕМ/дм³.

Многообразие форм и размеров частиц в стандартах на основе формазина приводит к статистически воспроизводимому рассеянию света в турбидиметрах всех типов и моделей. Благодаря воспроизводимости рассеяния и возможности контролировать процесс приготовления формазина, способы калибровки турбидиметров и критерии эффективности были повсеместно приведены к данному стандарту.

В 1955 от выражения мутности в миллионных долях кремнезема окончательно отказались и 10-е и последующие издания "Стандартных методов" (Standard Methods) описывают мутность в терминах рассеяния света на взвешенных частицах. Термины "миллионная доля" и "кремнеземная шкала" упразднили, а мутность стали выражать просто в "единицах мутности".

Все прочие стандарты, альтернативные или вторичные следует контролировать по формазину.

После принятия формазина в качестве образцового первичного стандарта, единицы мутности стали называть единицами мутности по формазину - ЕМФ (formazin turbidity units - FTU)

Большинство современных приборов определяют рассеяние под углом 90°. Такие приборы называются нефелометрами или нефелометрическими турбидиметрами, чтобы показать их отличие от обычных турбидиметров, которые определяют соотношение между количеством прошедшего и поглощенного света.

Благодаря своей чувствительности, точности и применимости в широком диапазоне размеров и концентраций частиц, нефелометр был признан в Стандартных методах как предпочтительный прибор для определения мутности. Также предпочтительными единицами выражения мутности стали нефелометрические единицы мутности NTU.

Чтобы указать разницу между мутностью, определенной нефелометрическим и визуальным способами, результаты, полученные первым способом указывают NTU, а второго в JTU (1 JTU = 4 NTU). Кроме того, используются термины FNU (formazin nephelometric unit - нефелометрические единицы по формазину) и FAU (formazin attenuation unit - единицы затухания по формазину). FNU применяется при нефелометрических измерениях, а FAU при измерениях проходящего света.

Традиционно в качестве стандартной взвеси использовалась взвесь каолина (глины), а результат измерений выражался в миллиграммах (каолина) на литр (или кубический дециметр). В настоящее время в качестве стандартной популярна взвесь формазина (полимера) при этом мутность измеряют в ЕМ/литр (единицы мутности на литр, также единицы мутности по формазину (ЕМФ), англ. FTU, formazine turbidity unit).

Для измерения мутности используется фотометрическая методика (стандарт ISO 7027, англ. Water quality - Determination of turbidity) с единицей измерения мутности англ. FNU (formazine Nephelometric Unit). Агентство защиты окружающей среды США и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) используют для измерения мутности единицу англ. NTU (Nephelometric Turbidity Unit). Кроме того, используется англ. Jackson Turbidity Unit (JTU), которая определяется как величина, обратная минимальной толщине воды, сквозь которую не видно пламени свечи.

В настоящее время в мутномерах применяются различные источники света, но самый распространенный - лампа накаливания. Такие лампы имеют широкий спектр, они просты, недороги и надежны. Свет от лампы количественно характеризуется цветовой температурой - температурой, которую должно иметь идеально черное тело, чтобы светиться таким же цветом. Цветовая температура белого каления и, следовательно, спектр свечения лампы зависят от приложенного к лампе напряжения. Для стабильного белого свечения лампы требуется хорошо регулируемый источник питания.

Производимые НАСН турбидиметры для достижения максимальной стабильности используют комбинацию оптических устройств: детектор, расположенный под углом 90° , комбинацию детекторов проходящего света, прямого и обратного рассеяния и зеркала, отражающие только ИК излучение. В практических применениях помехи и погрешности представляют серьезную проблему, поскольку снижают точность любого прибора. Чтобы убедиться, что прибор работает должным образом и обеспечивает наиболее верный результат, важно проверять калибровку прибора.

Традиционный анализ содержания взвешенных веществ обычно заканчивается гравиметрией, которая требует много времени и чувствительна к методике эксперимента. Обычно, для завершения анализа требуется от двух до четырех часов. Таким образом, даже если проблема и найдена, время для ее решения зачастую уже упущено. Это приводит к дорогостоящему простоя и ремонту. При этом мутность можно использовать как замену продолжительным гравиметрическим анализам. Необходимо установить взаимосвязь между мутностью и общим количеством твердых частиц (содержанием взвешенных веществ) в пробе. Если зависимость существует, то турбидиметр (мутномер) можно использовать для контроля за содержанием взвешенных веществ и получать быстрый результат. Использование турбидиметра позволяет сократить время ожидания результата с часов до секунд. Для определения зависимости мутности от общего содержания твердых частиц разработана соответствующая процедура.

Методика подготовки пробы и выполнения измерений должна быть одинакова при изучении зависимости и при изучении образцов во время контроля технологического процесса.

Определяют мутность каждого образца. Необходимо придерживаться одинаковой методики для определений мутности всех образцов. Например, каждый образец переворачивать одинаковое количество раз, выдерживать интервал между смешиванием и снятием показаний и т.д.

Строят график зависимости между общим содержанием твердых частиц и мутностью. Для нахождения корреляции пользуются методом наименьших квадратов (МНК). МНК – это статистический метод для определения зависимостей. Коэффициент корреляции 0,9 или более свидетельствует о применимости найденной зависимости между мутностью и общим содержанием твердых частиц. Построив график, можно определить чувствительность найденной корреляции. Чем круче наклон, тем выше чувствительность турбидиметрии и тем лучше зависимость будет описывать реальный образец.

Кроме того, мутность воды определяют весовым методом и фотоэлектрическим колориметром. Весовой метод заключается в том, что 500-1000 мл мутной воды профильтровывают через плотный фильтр диаметром 9-11 см. Фильтр предварительно высушивается и взвешивается на аналитических весах. После фильтрования фильтр с осадком высушивают при температуре 105- 110 градусов в течение 1,5 - 2 часов, охлаждают и вновь взвешивают. По

разности масс фильтра до и после фильтрования рассчитывают количество взвешенных веществ в исследуемой воде.

Могут измеряться мгновенные и осредненные по времени значения мутности, что обычно практикуется при срочных наблюдениях на речных гидрометрических станциях и постах. При научных исследованиях мгновенные значения мутности измеряют при взятии проб воды.

Пробы на мутность для определения расхода берут точечным, суммарным и интеграционным способами.

При точечном способе пробы отбирают в отдельных точках на скоростных вертикалях, причем число точек изменяется от 5 до 1 с уменьшением глубины на вертикалях.

При мутности реки менее 50 г/м^3 можно применить суммарный способ — пробы, взятые в двух точках на каждой вертикали (на 0,2d и 0,8d), сливаются вместе, и определяется средняя мутность. Если мутность реки менее 20 г/м^3 , то пробы сливаются со всех точек живого сечения, и определяется средняя мутность реки.

Интеграционный способ заключается в том, что проба воды забирается при равномерном перемещении батометра вниз и вверх по вертикали. При этом мутность усредняется по вертикали. Способ рекомендуется использовать при неустановившемся движении, когда требуется быстро определить мутность на вертикали. При мутности реки менее 20 г/м^3 пробы со всех вертикалей сливаются вместе, и определяется средняя мутность реки. Мутность (кг/м^3) проб вычисляют по формуле:

$$S = m_{all} / V$$

(2) где m_{all} — масса наносов в пробе кг;
 V — объем проб, м^3 .

Расход взвешенных наносов вычисляется по данным измерений мутности графическим или аналитическим способом.

Аналитический метод определения расхода применяют при измерении мутности в двух и в одной точке по вертикали; при измерении расхода в пяти точках аналитический метод дает меньшую точность, чем графический.

3.3.2 Организация, методы и методология проведения натурных исследований величины мутности поверхностных вод рек Юго-Восточного Казахстана

Для аридных условий Юго-Восточного Казахстана ведущую роль имеет механическая кольматация, обусловленная переносом речным стоком и, особенно паводковыми водами, продуктов физического выветривания.

Поэтому, в диссертационной работе первостепенное значение придано проведению натурных исследований величины мутности поверхностных вод рек на репрезентативном и экспериментальных участках Юго-Восточного Казахстана по изучению кольматации и оценке ее влияния на процессы кольматации при использовании в качестве источника искусственного восполнения запасов подземных вод.

При мутности рек по нашим данным менее 50 г/м^3 применялся суммарный способ — пробы, взятые в двух точках на каждой вертикали, сливались вместе, и в последующем, определялась средняя мутность (Рис.6.3.) Если мутность реки была менее 20 г/м^3 , то пробы сливались со всех точек живого сечения, и потом определялась средняя мутность реки [61].



Рис.6.3: фото автора- Отбор пробы воды из р.Аксу для определения мутности речного стока

Отборы проб и последующая их подготовка к анализу на мутность, исходя из технических и материальных возможностей, проводились с частотой один раз в месяц в течение всей продолжительности проведения опытных исследований процессов коагуляции на физических мини- моделях инфильтрационных бассейнов. При этом, определение величин мутности осуществлялась непосредственно сразу после отбора и подготовки проб.

Натурные исследования мгновенных значений величины мутности поверхностных вод рек проведены в соответствии с РД 52.08.104-2002 фотометрическим методом — точечными замерами с использованием портативного мутномера российского производства при взятии проб воды и контрольными лабораторными анализами весовым методом.

Пересчёт в мг/л зависит от материала и сильно варьирует, от $1 \text{ NTU} = 0.13 \text{ мг/литр}$ (кремнезём в виде диатомита) до 1 мг/л (каолин).

Переносной мутномер (Рис.7.3) работает в широком диапазоне от 0 до 1000 FTU (NTU), для большей точности измерительный диапазон разбит на два поддиапазона: от 0 до 50 FTU с разрешением 0.01 FTU и от 50 до 1000 FTU с разрешением 1 FTU .



Рис.7.3 - Внешний вид портативного мутномера Turb 350 IR WTW

В связи с этим, выполненная калибровка прибора порекомендовала использование Российского ГОСТ 3351-74, устанавливающая соотношение $1 \text{ ЕМ/литр} = 0.58 \text{ мг/литр}$ для каолина.

Необходимо отметить, что прибор Мутномер Turb 350 IR WTW с суспензией каолина и выполненной калибровкой был впервые использован в качестве научного эксперимента оперативного получения мгновенных значений мутности.

Часть исследований, выполненных фотометрическим методом, продублировались контрольными определениями мутности традиционным весовым методом[19]. Для выполнения исследований были использованы лабораторное оборудование, химическая посуда и материалы, предоставленные РГУ Зональный гидрогеолого-мелиоративный центр МСХ РК.

3.3.3 Результаты натурных исследований и оценка влияния величины мутности поверхностных вод на процессы коагуляции при использовании в качестве источника ИВЗПВ искусственного восполнения запасов подземных вод

Полученные значения с контрольными анализами проб, выполненными традиционным весовым методом в полевой лаборатории (Приложение А), были сопоставлены с результатами исследований, выполненных по рекомендациям российских и отечественных специалистов, а также ученых консультантов фотометрическим экспресс-методом, с использованием портативного турбидиметра (мутномера) Turb 350 IR WTW, с диапазоном измерения от 0 до 1100 NTU (Приложение Б).

Натурные экспериментальные научные исследования мгновенных значений величины мутности поверхностных вод рек Лепсы и Коксу проведены в полном соответствии с методами, по методологии и с использованием тех же приборов и лабораторного оборудования, что и при проведении научных исследований на Аксуском репрезентативном участке, результаты которых приведены в Таблицах и построенных графиках[60].

Кроме того, чтобы учесть все факторы, влияющие на процессы анализов, которые теоретически учесть довольно трудно, для установления соответствия полученных данных значений мутности воды фотометрическим и весовым методами, были проведены дополнительные исследования путем измерения оптической плотности приготовленной суспензии с концентрацией каолина 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0 мг/л.

Натурные исследования определения зависимости оптической плотности от мутности выполнены на спектрофотометре в лаборатории РГУ Зональный гидрогеолого-мелиоративный центр МСХ РК.

В каждом стандартном растворе измерялся аналитический сигнал спектрофотометром при длине волны 530 нм, который использовался в данном виде анализа. По результатам измерений был построен график в координатах: аналитический сигнал – содержание вещества в стандартном растворе. Построенный график является калибровочным. Далее были проведены

измерения в анализируемом растворе, в котором следовало узнать концентрацию определяемого вещества. Получив величину аналитического сигнала, с помощью калибровочного графика, находилась концентрация, которая соответствует этому сигналу. Измерение мутности проводилось в неотфильтрованных пробах воды. В качестве раствора сравнения использовалась отфильтрованная вода исследуемой пробы.

По результатам измерений оптической плотности стандартных рабочих суспензий и полученным данным (Таблица 5.3) был построен калибровочный график зависимости оптической плотности от мутности (Рис.8.3).

Оптическая плотность окрашенных растворов находится в линейной зависимости от концентрации окрашенного вещества в растворе. Об этом свидетельствует закон Бугера-Ламберта-Бера:

$$A = \varepsilon \times C \times J,$$

где: A - оптическая плотность;

ε – молярный коэффициент погашения;

C – молярная концентрация раствора, моль/л;

J – толщина кюветы, см.

Таблица 5.3 – Результаты измерений оптической плотности в зависимости от мутности

Мутность, мг/л	5	12,5	20	27,5	35	42,5	50
Оптическая плотность, ед.	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6	0,8	1,0

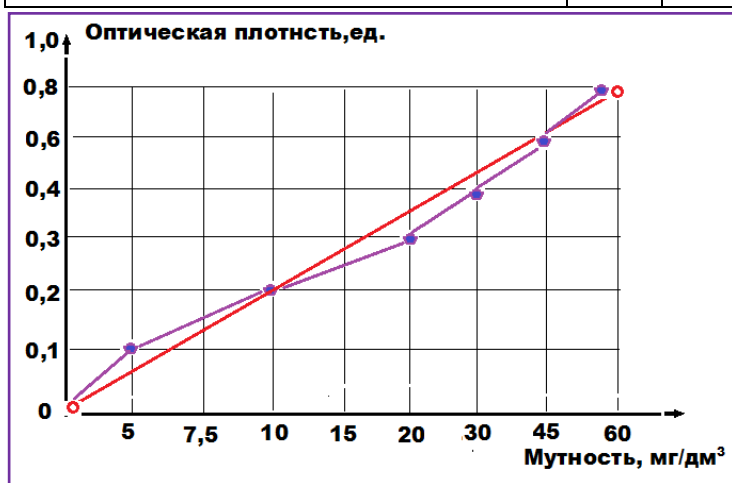


Рис.8.3 - Калибровочный график зависимости оптической плотности от мутности

Построенный калибровочный график выражен прямой линией, исходящей практически из нуля, а это дает нам основание для утверждения, что результаты замеров величины мутности речной воды вполне достоверны, проверены современными методами спектрофотометрии и сопоставимы с традиционными гравитационными весовыми методами с высоким коэффициентом корреляции.

Данные сравнения показали реальную возможность применения современных методов, технологий и приборов, обеспечивающих получение мгновенной и достаточно достоверной информации о величине мутности речной воды. Так, коэффициент корреляции составил значения 0,83 для речного стока реки Аксу, что является очень высоким показателем и указывает

на очень низкую погрешность замеренных значений мутности фотометрическим методом(Рис.9.3).

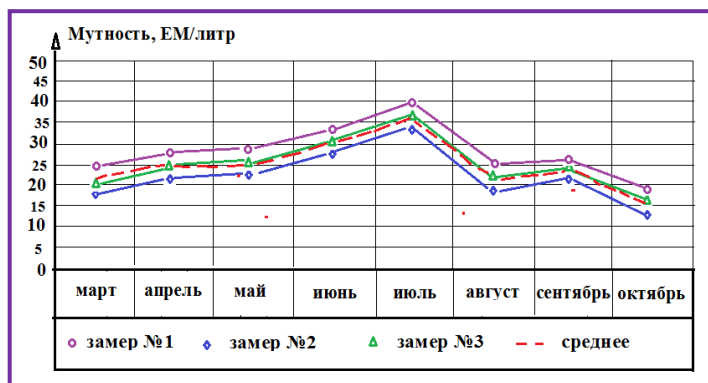


Рис.9.3 - График корреляции измеренных значений мутности реки Аксу на репрезентативном участке исследований кольматации при 75% водообеспеченности (маловодные условия)

Коэффициент корреляции для речного стока реки Лепсы составил значения 0,90, что является очень высоким показателем и указывает на очень низкую погрешность замеренных значений мутности фотометрическим методом(Рис10.3).

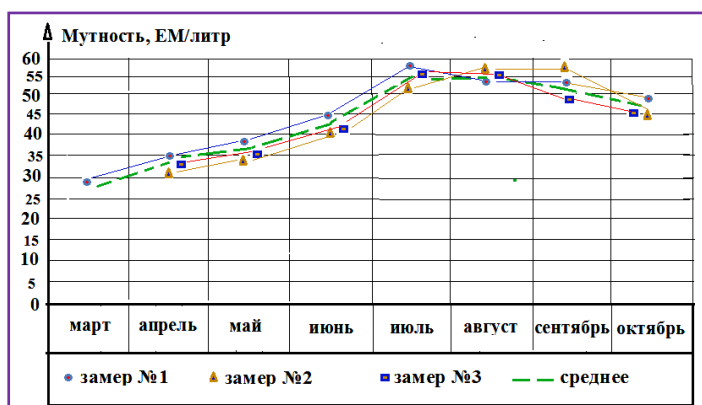


Рис.10.3 - График корреляции измеренных значений мутности реки Лепсы на участке исследований кольматации при 50% водообеспеченности (средние по водности гидрологические условия)

Натурные экспериментальные научные исследования мгновенных значений величины мутности поверхностных вод реки Коксу проведены в соответствии с РД 52.08.104-2002 фотометрическим методом – точечными замерами с использованием портативного мутномера российского производства при взятии проб воды и контрольными лабораторными анализами весовым методом(Приложение Б).

Данные сравнения показали высокий показатель коэффициента корреляции, составившего значения 0,95 для речного стока реки Коксу, что указывает на

очень низкую погрешность замеренных значений мутности фотометрическим методом(Рис11.3).

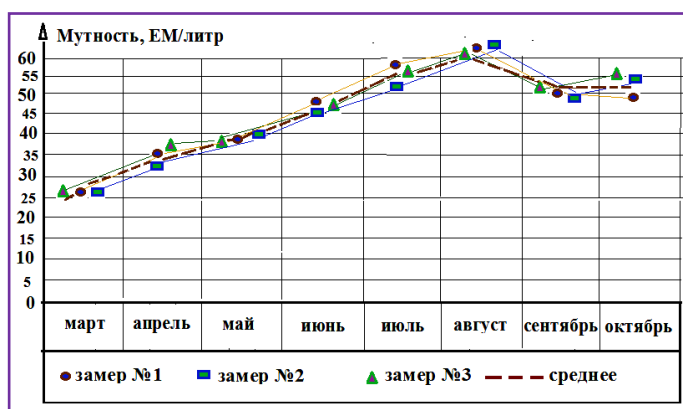


Рис. 11.3. - График корреляции измеренных значений мутности реки Коксу на участке исследований кольматации при 50% водообеспеченности (средние по водности гидрологические условия)

Выводы по Разделу 3

- для всех рек исследуемого региона характерна большая асимметрия речного стока в гидрологическом цикле, составляющем в многолетнем разрезе в среднем 9 лет: один год многоводный, два года подряд средних по водности, а 3-5 года могут быть подряд маловодными;

- наиболее высокие расхождения характерны для всех рек в предпаводковые периоды в меньшей степени и значительно - при прохождении паводков. Это вероятнее всего связано с повышением турбулентности водного потока и его разными скоростными характеристиками;

- интегральные и разностные интегральные кривые стока воды рек Аксу, Лепсы, Каратал и Коксу в замыкающих створах в общем повторяют ход кривых стока зоны формирования и осадков, но интенсивность прироста или спада с 1974 г. по ним значительно изменилась, т.е. на естественное уменьшение водности рек в замыкающих створах наложился потери за счет влияния хозяйственной деятельности на водосборе, и немалая роль принадлежит глобальному потеплению и уменьшению ледниково- снежного питания рек исследуемого региона;

- водопотребление формирования речного стока необходимо ориентировать на сток 75% обеспеченности и в диссертационной работе все исследования и их результаты ориентированы на маловодные условия;

- воды рек Аксу, Лепсы и Коксу относятся к чистым рекам. Воды бассейна в контрольных зонах по классификации качества относятся к водотокам II класса качества вод олигасапробной зоны $Z_{ndS} = 1,7$; $W=6$ число микроорганизмов на 1 м^2 составляет 240 экземпляров. Донная фауна представлена личинками веснянок, подянок. Перифитон представлен диатомовыми, зелеными водорослями. Несмотря на вышеперечисленные выбросы и сбросы, за счет самоочищения рек и большого разведения сбрасываемых вод, гидробиологическая жизнь рек восстанавливается;

- результаты замеров величины мутности речной воды вполне достоверны, проверены современными методами спектрофотометрии и сопоставимы с традиционными гравитационными весовыми методами с высоким коэффициентом корреляции, который составил значения 0,83 для речного стока реки Аксу, 0,90 (р.Лепсы) и 0,95 (р.Коксу), что является очень высокими показателями и указывают на очень низкую погрешность замеренных значений мутности фотометрическим методом

- данные сравнения показали реальную возможность применения современных методов, технологий и приборов, обеспечивающих получение мгновенной и достаточно достоверной информации о величине мутности речной воды.

4. ХАРАКТЕРИСТИКА И ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ, СВОЙСТВ ПОКРОВНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ВЕРХНИХ СЛОЕВ ВОДОВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД ВОДОНОСНОГО ГОРИЗОНТА НА ПРОЦЕССЫ КОЛЬМАТАЦИИ

При исследовании процессов инфильтрации и кольматации в бассейнах суточного регулирования при искусственном восполнении запасов подземных вод, детальная характеристика водно-физических, гидродинамических и фильтрационных свойств покровных отложений и верхних слоев водовмещающих пород водоносного горизонта играет очень существенную и определяющую роль[33,34,35].

При организации экспериментальных участков были учтены слабая изученность и незначительные виды и объемы научных и прикладных исследований на территории региона в области инженерной геологии, поэтому в перечень актуальных и первоочередных задач были поставлены масштабные комплексные исследования, для получения достоверных натурных характеристик и параметров.

С этой целью были построены системы мини - бассейнов с инфраструктурой водозаборных и каптажных сооружений, имитирующих в миниатюре оптимальную для данного региона систему ИВЗПВ. На них проведены полные комплексы полевых работ по инженерной геологии и механике грунтов с проходкой шурфов и отбором образцов пород зоны аэрации.

Полевые опытно-фильтрационные исследования по определению расчетных параметров являются неотъемлемой составной частью обоснования и создания подземных водохранилищ и искусственного восполнения их запасов. Они позволяют: выявить инфильтрующую способность зоны аэрации; установить закономерности развития кольматации; определить параметры инфильтрационных сооружений для искусственного восполнения подземных вод; оценить эксплуатационные запасы подземных вод с учетом их искусственного восполнения; прогнозировать изменения качества подземных вод[42,47,48].

В зависимости от стадийности разработки, местных условий, типа и капиталности рекомендуемых систем и сооружений, были предусмотрены следующие основные виды опытно-фильтрационных работ: опытные наливов в шурфы; опытно-фильтрационные исследования в опытных бассейнах; комплексные опытно-фильтрационные исследования с одновременной откачкой и наливов в инфильтрационные бассейны[22].

Для получения достоверной характеристики водно-физических, водно-химических, гидродинамических и фильтрационных свойств пород зоны аэрации исследования проводились отдельно по каждому генетическому горизонту покровных отложений на всю вскрытую мощность.

При этом предварительно были проанализированы все существующие методы, приборы и оборудование, используемые для этих целей.

4.1 Методы, методология и результаты натурных исследований литологического состава покровных отложений и верхних слоев водовмещающих пород водоносного горизонта



Объемный вес, естественная влажность (весовая), максимальная молекулярная влагоемкость и другие водно-физические и фильтрационные свойства пород определялись с помощью полевой лаборатории Литвинова (ППЛ-9), (Рис.1.4).

Рис.1.4 - Фото автора: Отбор проб грунта с ненарушенной структурой в бюксы из шурфа №2, оборудованном в составе инженерно-геологических сооружений на инфильтрационном бассейне Аксуского репрезентативного участка

Для определения гранулометрического состава мелко гравелистых и разнотернистых песчаных грунтов, а также крупнозернистой части пылевато-глинистых грунтов был использован ситовый метод [46,49] - один из основных в практике исследований грунтов, который занимает промежуточное положение между прямыми и косвенными методами и широко используется в практике самостоятельно или в комбинации с другими методами.



Для разделения грунта на фракции ситовым методом без промывки водой применялись сита с отверстиями диаметром 10; 5; 2; 1; 0,5 мм (Рис.2.4); с промывкой водой – сита с размером отверстий 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,1 мм.

Рис.2.4 - Фото автора: Определение гранулометрического состава разнотернистых песков с включением до 30% гравия ситовым методом на Аксуском репрезентативном участке

Ситовый метод с промывкой водой был применен для определения гранулометрического состава мелких и пылеватых песков.

Для определения содержания в грунте частиц диаметром менее 0,1 мм был использован ареометрический метод, основанный на последовательном определении плотности суспензии грунта через определенные промежутки времени с помощью ареометра. По результатам определений были рассчитаны диаметр и количество определяемых частиц.

Для определения гранулометрического состава глинистых грунтов использовался пипеточный метод в комбинации с ситовым. Этот метод основан на разделении частиц грунта по скорости их падения в спокойной воде. Через

определенные интервалы времени пипеткой из суспензии грунта с различных глубин отбирались пробы, которые затем высушивались и взвешивались.

Для определения гранулометрического состава покровных отложений была использована следующая классификация осадочных пород и размер фракций в мм: гравий крупный 7 — 5, мелкий 5 — 2; песок очень крупный 2 — 1, крупный 1 — 0,5, средний 0,5 — 0,25, мелкий 0,25 — 0,10, тонкозернистый 0,10 — 0,05, пыль 0,05 — 0,005; глина <0,005.

Содержание в породе частиц крупнее 2 мм устанавливалось просеиванием навески грунта через сито с отверстиями 2 мм. Количество же песчаных фракций (диаметром 0,05... 1 мм) определялось путем удаления из грунта глинистых и пылеватых частиц, т. е. его отмучиванием. Для этого порцию грунта помещали в мензурку с водой и энергично взбалтывали. Затем после оседания на дно пробирки песчаных частиц мутную воду, содержащую во взвешенном состоянии пылеватые и глинистые частицы, сливали. Процедуру повторяли несколько раз до полного просветления сливаемой жидкости, после чего измеряли объем песчаного осадка.

Зерновой состав является одной из важнейших характеристик грунта, имеющей существенное значение для оценки его физико-механических свойств при изучении процессов, определяющих формирование кольматации и масштаб профилактических мероприятий и капитальных сооружений по предотвращению и снижению ее воздействия на режим эксплуатации систем ИВЗПВ.

Для определения зернового состава грунтов были выполнены анализы, заключающиеся в расчленении взятой для исследования порции грунта (навески) на составляющие первичные элементы — от самых крупных (размером в несколько миллиметров) до самых мелких (размером в тысячные доли миллиметра) — и последующем весовом определении содержания отдельных групп частиц. Затем были найдены процентные отношения каждой фракции к общей массе навески.

Результаты гранулометрического анализа грунтов на репрезентативном (Аксуком) и экспериментальных участках (Лепсинском и Каратал-Коксуком) по изучению кольматации (Таблицы 1.4, 2.4, 3.4) были камерально обработаны и нашли отражение на построенных графиках, где зерновой состав грунтов изображен в виде суммарной кривой.

Таблица 1.4 – Гранулометрический состав пород покровных и нерасчлененных аллювиально-пролювиальных современных и верхнечетвертичных отложений на Аксуком репрезентативном участке исследований

Литологический состав пород	Гранулометрический состав фракций, %						
	7,0-5,0	5,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,05	0,05-0,005	Менее 0,005
Песок разнотернистый, с включением до 30 % мелкого гравия	-	17,2	10,8	15,3	34,4	12,8	9,5
		12,6	20,4	27,4	32,6	5,3	1,7
Песок среднетернистый	-	6,8	31,0	19,5	36,4	3,1	3,2
	-	4,9	26,8	19,8	44,8	2,0	1,7
Песок мелкозернистый,	-	-	-	-	87,1	6,8	4,1
	-	-	-	11,6	82,4	4,7	1,3

Песок разномерный с включением линз средних суглинков	-	-	59,6	12,8	2,1	3,6	12,5
Супесь песчаная	-	-	-	15,5	35,5	24,8	24,2
			2,8	12,5	48,7	31,4	4,9
Суглинок с включением линз среднезернистого песка	-	-	9,8	16,5	9,0	31,2	42,7
Суглинок средний	-	-	-	-	56,0	32,2	11,8
Суглинок тяжелый	-	-	-	3,7	20,5	58,7	17,5

Таблица 2.4 – Гранулометрический состав пород покровных и нерасчлененных аллювиально-пролювиальных современных и верхнечетвертичных отложений на Лепсинском экспериментальном участке исследований

Литологический состав пород	Гранулометрический состав фракций, %						
	5,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25 - 0,05	0,05-0,005	Менее 0,005
Песок светлосерый, разномерный, средней плотности сложения, с включением мелкого гравия до 20%	2,5	12,5	36,1	24,8	13,0	6,4	4,7
	2,6	14,6	30,8	27,4	12,6	8,9	3,1
Песок мелкозернистый, глинистый, светло желтый, слоистый	-		-	4,5	29,6	51,8	14,1
	-		-	3,7	20,5	58,3	17,5
Супесь песчаная светло-серая, легкая, слабо пластичная	-		-	2,5	49,2	31,8	16,5
	-		-	3,6	48,4	36,7	11,3
Суглинок легкий средней плотности сложения.	-		-	-	6,1	51,2	42,7
Суглинок тяжелый	-		-	-	32,2	56,0	11,8
	-		-	-	38,3	41,4	20,3

Таблица 3.4 Гранулометрический состав пород покровных и подстилающих водоносный горизонт аллювиальных четвертичных отложений на Каратал-Коксуском экспериментальном участке исследований

Литологический состав пород	Гранулометрический состав фракций, %							
	7,0 - 5,0	5,0-2,0	2,0-1,0	1,0-0,5	0,5-0,25	0,25 - 0,05	0,05-0,005	Менее 0,005
Гравийно-галечник с песчаным заполнителем	8,2	22,2	18,6	24,1	14,9	5,0	1,7	5,3
	7,6	25,7	18,5	22,6	12,8	6,4	1,3	4,5
Гравийно-галечник с супесчаным заполнителем								
	2,6	13,2	8,8	25,7	13,4	10,5	18,3	7,5
Супесь песчаная, слабо пластичная	-	-	2,8	12,6	23,4	24,9	4,9	31,4
	-	-	-	-	3,6	48,4	36,7	11,3
Суглинок легкий средней плотности сложения.	-	-	1,4	8,6	12,4	28,2	21,5	27,9
Суглинок тяжелый	-	-	2,3	6,1	10,0	32,2	17,2	64,4
	-	-	3,7	12,5	10,0	6,1	17,1	58,7

В этом случае ординаты суммарной кривой соответствуют не содержанию отдельных функций, а сумме фракций частиц менее определенного диаметра. На одну и ту же сетку нанесено несколько кривых для различных видов

грунтов,- суглинка, супеси и песка, как наиболее распространенные в разреза покровных отложений участков экспериментальных исследований (Рис3.4,4.4).

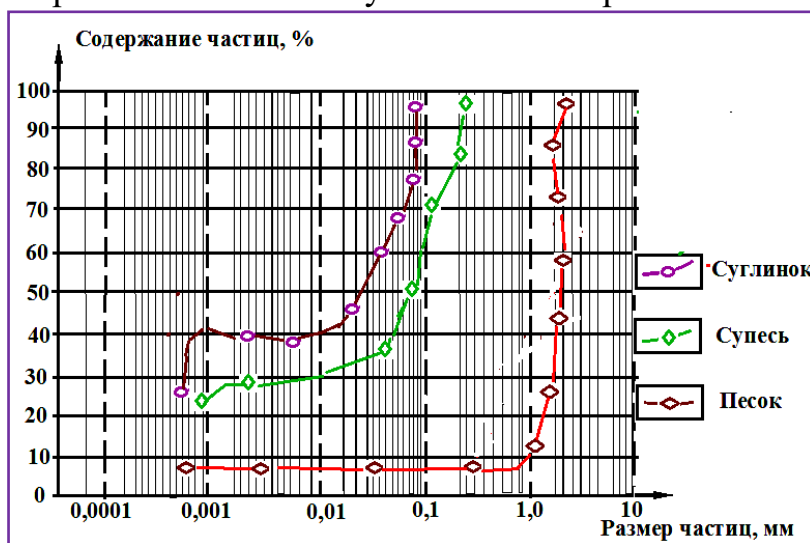


Рис. 3.4 - График суммарной кривой зернового состава покровных отложений на Аксуском репрезентативном участке исследований

По суммарной кривой можно находить так называемый действующий (эффективный) диаметр частиц грунта (d_{10} , мм), меньше которого в грунте содержится частиц не более 10 %. Эту условную величину используют при расчетах так называемой грязеемкости, в прямой зависимости влияющей на формирование илистой пленки в основаниях инфильтрационных бассейнов, а следовательно и на величину развития процессов колюматации.

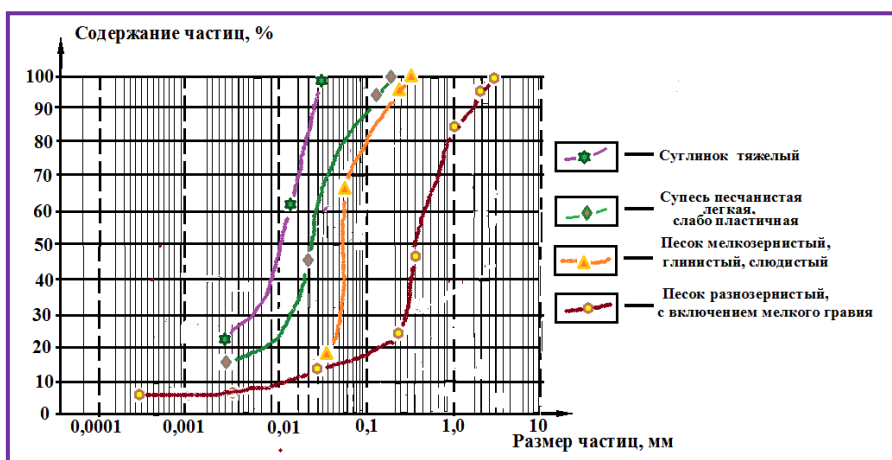


Рис.4.4- График суммарной кривой зернового состава покровных отложений на Лепсинском экспериментальном участке исследований

По суммарной кривой можно находить так называемый действующий (эффективный) диаметр частиц грунта (d_{10} , мм), меньше которого в грунте содержится частиц не более 10 %. Эту условную величину используют при расчетах так называемой грязеемкости, в прямой зависимости влияющей на формирование илистой пленки в основаниях инфильтрационных бассейнов, а следовательно и на величину развития процессов колюматации.

Таким образом, проведенные инженерно-геологические работы позволили определить литологический и гранулометрический состав и дать подробную характеристику породам покровных отложений и верхних слоев водовмещающих пород водоносных горизонтов на репрезентативном и

экспериментальны участках, рекомендованным в качестве перспективных объектов для создания небольших систем ИВЗПВ.

4.2 Методы, методология и результаты натурных исследований фильтрационных свойств грунтов зоны аэрации на репрезентативном и экспериментальном участках исследований

Для оценки фильтрационных свойств грунтов зоны аэрации опытные наливов в шурфы на репрезентативном и экспериментальном участках исследований проводились с использованием известных традиционных методов, основанных на предпосылках об установившемся и не установившемся режиме фильтрации[50].

При оценке фильтрационных свойств пород зоны аэрации по результатам опытных наливов для для слабопроницаемых грунтов использован метод Нестерова Н.С. [48,50,63], а для водопроницаемых грунтов - метод Болдырева А.К.(Рис. 5.4,6.4).



Рис.5.4 - Фото автора : проведение налива в покровные отложения - слабопроницаемые суглинки, методом Нестерова Н.С. в подготовленном шурфе №1 на Аксуском репрезентативном участке

Рис.6.4 - Фото автора: Завершающая подчистка шурфа, установка оборудования и проверка подачи воды для выполнения налива методом Болдырева А.К в литологический слой –разнозернистые пески с включением гальки на глубине 2.1м геологического разреза мини-бассейна № 1 Аксуского репрезентативного участка

Определение коэффициента фильтрации покровных грунтов зоны аэрации и подстилающих водоносный горизонт отложений, по результатам наливов воды в шурфы выполнено по формуле (..):

$$K = \frac{Q \times Z}{W_x(H_k + Z + h)} \quad \text{где: } Q - \text{фильтрационный расход, м}^3/\text{сутки}$$

Z - глубина промачивания после опыта, м

H_k - величина капиллярного давления, м

W - площадь фильтрационного сечения, м²

h - высота столба воды в кольце (зумпфа), м

По результатам опытных наливов в шурфы и расчетам коэффициента фильтрации по всем литологическим слоям зоны аэрации на репрезентативном и экспериментальных участках исследований, сведенных в таблицы (Приложение В), построены графики зависимости фильтрационного расхода во времени (Рис 7.4, 8.4, 9.4).

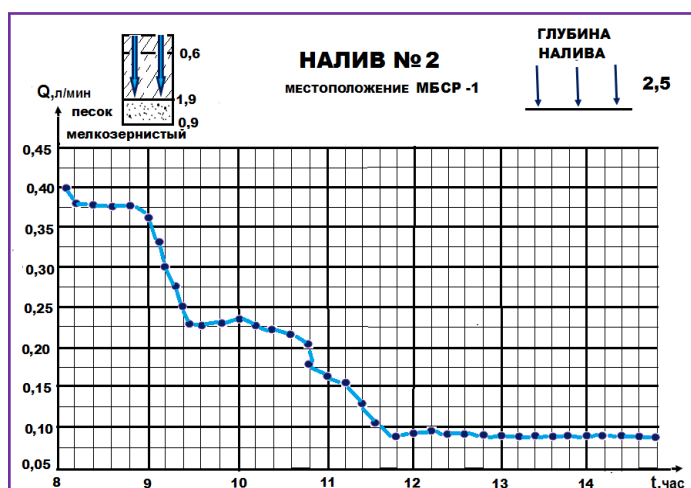


Рис.7.4 - График зависимости фильтрационного расхода во времени и расчет коэффициента фильтрации по результатам налива в литологический слой –разнозернистые пески с включением до 30% гравия на глубине 2.5м геологического разреза мини-бассейна № 1 Аксуского репрезентативного участка

$$K_f = \frac{0,125 \times 0,9}{0,04 \times (0,9 + 0,9 + 0,1)} = 3,135 \text{ м/сутки}$$

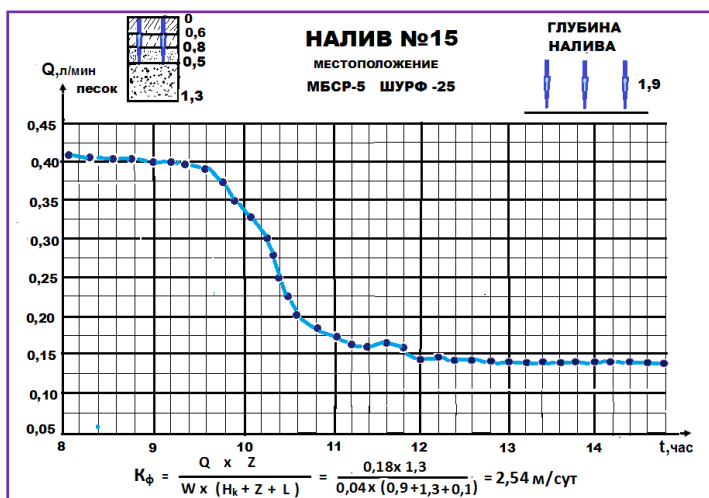


Рис.8.4 - График зависимости фильтрационного расхода во времени и расчет коэффициента фильтрации по результатам налива в литологический слой –среднезернистые пески с включением мелкого гравия до 20% на глубине 1.9 м геологического разреза мини-бассейна № 5 Лепсинского репрезентативного участка

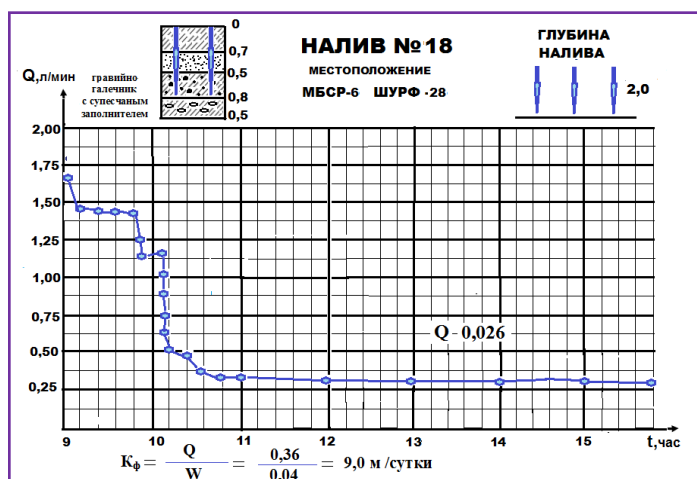


Рис 9.4 - График зависимости фильтрационного расхода во времени и расчет коэффициента фильтрации по результатам налива в литологический слой – гравийно-галечник с супесчаным заполнителем на глубине 2.0 м геологического разреза мини-бассейна № 6 Каратал-Коксуского о репрезентативного участка

Таблица 4.4 - Сопоставительные данные значений коэффициентов фильтрации по результатам наливов и расчетам по эмпирической формуле Хазена на Аксуском репрезентативном участке исследований

Литологический состав пород	коэффициент фильтрации, м/сутки		абс. разница, =,-	Разница, %
	по результатам наливов	по расчетам		
Песок разнoзернистый, с включением до 30 % мелкого гравия	3,13	4,50	+1,37	+6,9
	4,32	5,05	+0,73	+8,5
Песок среднезернистый	1,49	1,91	+0,42	+7,8
	1,64	1,95	+0,01	+8,4
Песок мелкозернистый,	1,32	1,36	+0,04	+1
	1,38	1,35	-0,03	-1
Песок разнoзернистый с включением линз средних суглинков	0,93	0,94	+0,01	+0,8
Супесь песчанистая	1,10	1,12	+0,02	+1
	1,18	1,18	0	0
Суглинок с включением линз среднезернистого песка	0,79	0,81	+0,02	+1
Суглинок средний	0,71	0,73	+0,02	+1
Суглинок тяжелый	0,11	0,12	+0,01	+1

Таблица 5.4 - Сопоставительные данные значений коэффициентов фильтрации по результатам наливов и расчетам на Лепсинском экспериментальном участке по эмпирической формуле Хазена

Литологический состав пород	коэффициент фильтрации, м/сутки		абс. разница, =,-	Разница , %
	по результатам наливов	по расчетам		
Песок разнoзернистый, с включением до 30 % мелкого гравия	3,13	3,50	- 0,37	-11,8
	4,32	4,05	+ 0,73	+6,6
Песок среднезернистый	1,49	1,71	- 0,22	-14,7
	1,64	1,85	- 0,21	-12,8
Песок мелкозернистый	1,32	1,46	-0,14	-10,6
	1,38	1,33	+0,05	+3,8
Песок разнoзернистый с включением линз средних суглинков	0,93	0,88	+0,05	+5,7
Супесь песчанистая	1,10	1,06	+0,04	+3,8
	1,18	1,12	+0,06	+5,4
Суглинок с включением линз среднезернистого песка	0,79	0,75	+0,04	+5,3
Суглинок средний	0,71	0,73	-0,02	- 2,8
Суглинок тяжелый	0,11	0,12	+0,01	-1,1

4.3 Методы, методология и результаты натурных исследований одномерной объемной влажности грунтов зоны аэрации и подстилающих первый от поверхности водоносный горизонт на репрезентативном и экспериментальном участках исследований

Для проведения исследований по определению объемной влажности покровных и подстилающих водоносный горизонт отложений, наполнение

каждого из пройденных шурфов водой из речного стока рек Аксу, Лепсы и Коксу осуществлялось из мерной емкости объемом 2м³, оборудованной поплавковой системой и расходомером, и постоянно пополняемой с помощью авто-водовоза с емкостью цистерны 3 м³.

Для получения достоверной характеристики, исследования проводились отдельно по каждому генетическому горизонту отложений на всю вскрытую мощность.

Наблюдения велись в течение от 60 до 78 часов со следующими интервалами измерений расхода воды в единицу времени: на начало исследований, по истечению 8, 10 и 12 часов и затем - по завершении опытов.

Одновременно производился поинтервальный отбор проб водонасыщенного грунта с ненарушенной структурой для определения объемной влажности. Пробы на влажность отбирались сразу после вскрытия очередного слоя, чтобы избежать потери из него влаги.

По результатам выполненных полевых, лабораторных исследований и камеральной обработки, по каждому геолого- генетическому горизонту грунтов покровных отложений и подстилающих пород водоносного горизонта получены натурные характеристики (Приложение Г) и построены графики профилей и хроноизоплет (Рис.10.4,11.4,12.4) одномерной объемной влажности грунтов зоны аэрации и подстилающих первый от поверхности водоносный горизонт, вскрытых на физических моделях инфильтрационных бассейнов №1 на Аксуском репрезентативном участке, № 5 и №6 на соответственно Лепсинском и Каратал-Коксуском экспериментальных

участках по изучению процессов кольматации[17,32,63],

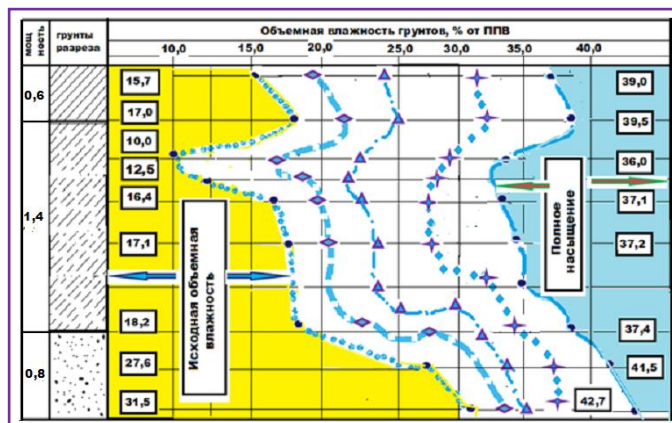


Рис. 10.4 - График профилей и хроноизоплет одномерной объемной влажности грунтов зоны аэрации, вскрытых на физической модели инфильтрационного бассейна №1 и подстилающих первый от поверхности водоносный горизонт на Аксуском репрезентативном участке исследований процессов кольматации

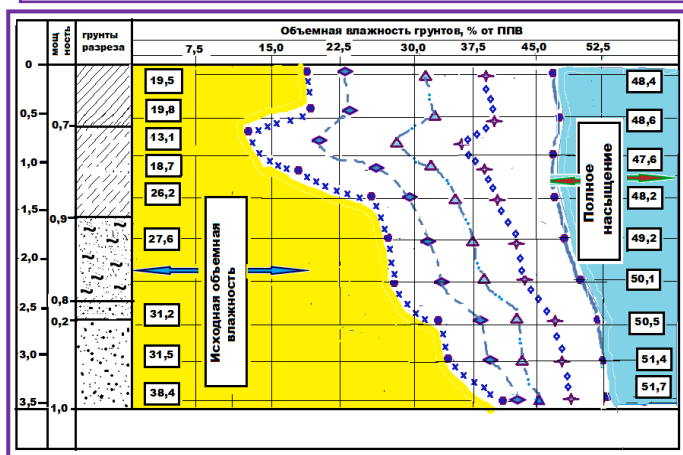


Рис. 11.4. - График профилей и хроноизоплет одномерной объемной влажности грунтов зоны аэрации, вскрытых на физической модели инфильтрационного бассейна №5 и подстилающих первый от поверхности водоносный горизонт на Лепсинском репрезентативном участке исследований процессов кольматации

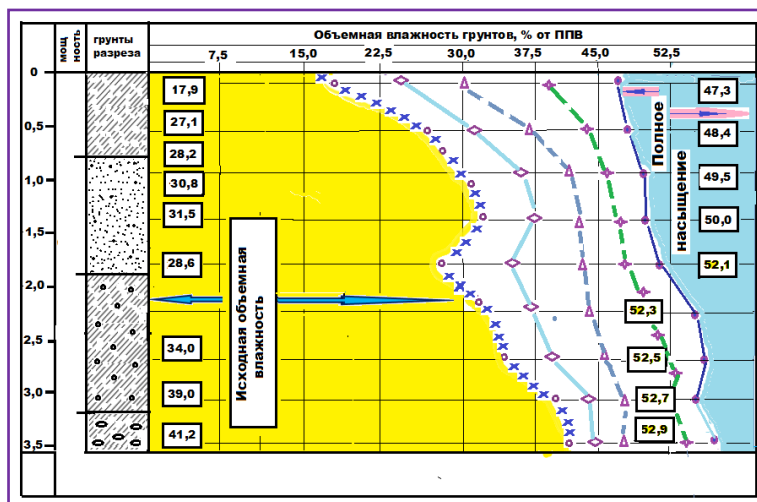


Рис. 12.4 - График профилей и хроноизоплет одномерной объемной влажности грунтов зоны аэрации, вскрытых на физической модели инфильтрационного бассейна №6 и подстилающих первый от поверхности водоносный горизонт на Каратал – Коксуском репрезентативном участке исследований процессов кольматации

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- хроноизоплеты исходной одномерной объемной влажности грунтов зоны аэрации:



1. на начало опытных полевых исследований;



2. по истечении 10-часов с начала опыта,



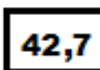
3. по истечении 24-часов с начала опыта,



4. по истечении 3-х суток с начала опыта,



5. в условиях полного насыщения при завершении опытных полевых исследований



- значения одномерной объемной влажности грунтов зоны аэрации в % от предельной полевой влагоемкости

Таблица 6.4 - Натурные значения величины объемной влажности по профилю при проведении опыта в физической модели инфильтрационного мини-бассейна №5, доли единицы

Глубина отбора пробы от дна мини-бассейна, см	Начальная влажность перед опытом, доли ед.	Значение объемной влажности до стадии полного насыщения, доли единицы					На время полного насыщения через 50-52 часа
		через 10 часов	через 24 часа	через 48 часов	через 72 часа	через 96 часов	
240	0,28	0,29	0,37	0,52	0,47	0,51	0,50
260	0,30	0,31	0,38	0,47	0,48	0,52	0,51
300	0,32	0,36	0,41	0,48	0,48	0,53	0,52
325	0,35	0,38	0,42	0,49	0,49	0,53	0,53
350	0,38	0,39	0,43	0,50	0,50	0,52	0,53

Таблица 7.4 - Почвенный профиль от дна физической модели инфильтрационного мини-бассейна №5 до уровня грунтовых вод

№ слоя	Глубина на кровли слоя, см	Глубина подошвы слоя, см	Описание литологического состава слоя	Опытное значение коэффициента фильтрации при полном насыщении, м/сутки
1	240	260	Песок мелкозернистый, слюдистый, средней плотности	1,30
2	260	360	Песок разнотернистый, с включением до 20 % мелкого гравия	3,40

Таблица 8.4 - Натурные значения величины объемной влажности по профилю при проведении опыта в физической модели инфильтрационного мини-бассейна №6, доли единицы

Глубина отбора пробы от дна мини-бассейна, см	Начальная влажность перед опытом, доли ед.	Значение объемной влажности до стадии полного насыщения, доли единицы					На время полного насыщения через 50-52 часа
		через 10 часов	через 24 часа	через 48 часов	через 72 часа	через 96 часов	
170	0,29	0,29	0,36	0,41	0,50	0,50	0,52
260	0,34	0,36	0,38	0,45	0,52	0,51	0,53
320	0,39	0,38	0,44	0,47	0,51	0,52	0,53
360	0,40	0,41	0,45	0,48	0,53	0,53	0,54

Таблица 9.4 - Почвенный профиль от дна физической модели инфильтрационного мини-бассейна №6 до уровня грунтовых вод

№ слоя	Глубина на кровли слоя, см	Глубина подошвы слоя, см	Описание литологического состава слоя	Опытное значение коэффициента фильтрации при полном насыщении, м/сутки
1	170	320	Гравийно-галечник с супесчаным заполнителем	6,0
2	320	360	Гравийно-галечник с песчаным заполнителем	9,00

Выводы по Разделу 4

Для оценки фильтрационных свойств грунтов зоны аэрации опытные наливов в шурфы на репрезентативном и экспериментальном участках исследований проводились с использованием известных традиционных методов, основанных на предпосылках об установившемся и не установившемся режиме фильтрации.

При оценке фильтрационных свойств пород зоны аэрации по результатам опытных наливов для слабопроницаемых грунтов использован метод Нестерова Н.С, а для водопроницаемых грунтов - метод Болдырева А.К.

С целью проверки полученных результатов по водопроницаемости тех пород, коэффициенты которых были определены по данным наливов, нами

проводились расчеты по эмпирической формуле Хазена. Из сопоставленных данных следует, что наибольшая разница между расчетными коэффициентами фильтрации, определенными в результате опытных наливов на Аксуском участке исследований, достигают в песчанистых, хорошо фильтрующих породах + 7-8 % и наименьшими в супесчано-суглинистых породах - +1%.

Преобладающей фракцией являются средне и крупнозернистые пески с размерами зерен 0,5-2 мм. Коэффициенты неоднородности грунтов колеблются от 1,10 до 1,70.

Молекулярная влагоемкость минимальная у песков (1,5-10%) и максимальная - у суглинков и глин (15-20%).

Коэффициенты фильтрации исследованных грунтов зависят от литологического состава пород и составляют для гравийно-галечниковых отложений от 5,6 до 8,5 м/сутки (Каратал-Коксуский участок), для песков значения от 1,5 до 4,5 м/сутки, для супесей: 1,1-1,2 м/сутки, для суглинков: 0,11-0,79 м/сутки (Аксуский репрезентативный участок).

Коэффициенты фильтрации исследованных грунтов на Лепсинском участке исследований составляют для разномызернистых песков, с включением до 30 % мелкого гравия значения от 3,13 до 4,32 м/сутки; для среднезернистых песков: от 1,49 до 1,64; для мелкозернистых песков: от 1,32 до 1,38; для песчанистых супесей: от 1,10 до 1,18 и , для суглинков: от 0,11-0,79 м/сутки.

Наибольшая разница между расчетными коэффициентами фильтрации, определенными в результате опытных наливов, достигают в песчанистых, хорошо фильтрующих породах: от +, - 3,8 до 14,7 % и наименьшими в супесчано-суглинистых породах: от +, - 1,1 до 5,4 %.

Дополнительным подтверждением высоких водопротускных способностей песчано-гравийно-галечниковых отложений долин рек Аксу, Лепсы и Коксу является относительная однородность их гранулометрического состава, который характеризуется более или менее равномерным распределением крупных фракций и малой долей суглинков и супесей.

Для оценки динамики процесса инфильтрации через зону неполного насыщения до уровней грунтовых вод на экспериментальных участках были получены следующие характеристики:

- исходный профиль объемной влажности (перед затоплением бассейна);
- глубина промачивания по завершению опыта;
- профиль объемной влажности по завершению опыта и промежуточные по времени профиля объемной влажности.

Результаты экспериментальных исследований были оформлены табличным и графическим материалом, из которых следует:

- участки экспериментальных исследований сложены относительно однородными по площади распространения и по литологическому составу, маломощными слабо и средневодонепроницаемыми покровными отложениями, средней плотности сложения;

- верхним литологическим слоем покровных отложений зоны аэрации на Аксуском репрезентативном участке является суглинок серый, легкий, средней

плотности. Интервалы исследований 0,0-0,35 и 0,35-0,60 м. Продолжительность опыта составила 74 часа при поданном объеме воды 3,147 м³ на величину промачивания в 600 мм. Устойчивый расход воды наступил через 48 часов от начала опыта; относительно стабильная инфильтрация – через 46 часов; плотность сложения грунта – 1,42 г/см³, начальная объемная влажность суглинков - 15,7 % от полевой влагоемкости, при полном насыщении- 39,5% при полной влагоемкости. Средневзвешенный расчетный коэффициент фильтрации составил 0,4 м/сутки;

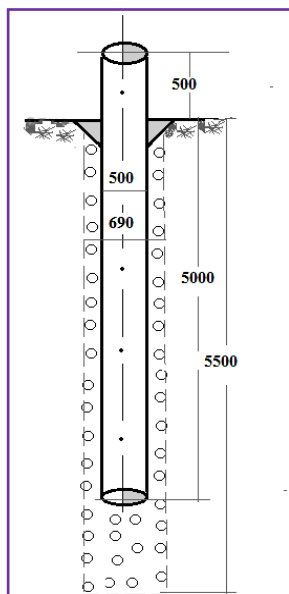
- вторым от поверхности земли опробован литологический слой покровных отложений зоны аэрации в интервале 0,60 -2,00м, представленный супесью светло-серой, тонкопесчаной, средней плотности. Продолжительность опыта составила 78 часов при поданном объеме воды 6,436 м³ на величину промачивания в 1200 мм. Устойчивый расход воды наступил через 54 часа от начала опыта; относительно стабильная инфильтрация – через 54 часа; плотность сложения грунта – 1,47 г/см³, начальная объемная влажность суглинков - 10,2 % от полевой влагоемкости, при полном насыщении- 37,4% при полной влагоемкости. Средневзвешенный расчетный коэффициент фильтрации составил 1,10 м/сутки;

- Песок разнозернистый с включением мелкого гравия до 30% опробован в интервале 2,00-2,80 м. Продолжительность опыта составила 64 часа при поданном объеме воды 5,234 м³ на величину промачивания в 800 мм. Устойчивый расход воды наступил через 56 часов от начала опыта; относительно стабильная инфильтрация – через 55 часов; плотность сложения грунта – 1,34 г/см³, начальная объемная влажность литологического слоя - 27,1 % от полевой влагоемкости, при полном насыщении- 42,74% при полной влагоемкости. Средневзвешенный расчетный коэффициент фильтрации составил 3,75 м/сутки.

Результаты экспериментальных исследований по Лепсинскому и Каратал-Коксускому участкам при проведении опытов в физических моделях инфильтрационных мини-бассейнов №№5,6 в наглядной форме представлены в выше приведенных таблицах полученных значений величины объемной влажности по профилю в долях единицы.

5. ХАРАКТЕРИСТИКА ОСОБЕННОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА УЧАСТКАХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ КОЛЬМАТАЦИИ

5.1 Состав и методика проведения гидрогеологических исследований на участках экспериментальных исследований



Для изучения гидрохимического режима грунтовых вод в течение всего гидроцикла работы инфильтрационных бассейнов суточного регулирования в условиях постоянного наполнения речной водой [69,72.74] были пробурены и оборудованы временные наблюдательные пьезометры (Рис. 1.5).

Рис.1.5 - Конструктивные элементы временных наблюдательных пьезометров для проведения мониторинга за гидрохимическим режимом грунтовых вод при выполнении экспериментальных исследований процессов кольматации на репрезентативных участках в физических моделях инфильтрационных бассейнов сезонного регулирования

Наблюдательные пьезометры были размещены таким образом, чтобы данные наблюдений по ним могли дать полную региональную характеристику особенностей формирования гидрохимического режима грунтовых вод не только в зоне влияния инфильтрационного бассейна суточного регулирования, но и в границах и на всей площади экспериментальных участков исследований (см. Раздел 2, Рис. 5.2, 7.2, 9.2).

Наблюдательные скважины были оборудованы для полного обеспечения измерений уровней, температуры и отбор проб подземных вод стандартным классическим оборудованием и инновационными цифровыми экспресс-приборами, для устойчивости против коррозии и химической суффозии; антивандальным устройством.

Все наблюдательные пьезометры относятся к несовершенным по способу вскрытия водоносного горизонта, с забоем на 3-4 м ниже минимального уровня грунтовых вод наблюдаемого в течение последних 3-5 лет.

Для выполнения измерений уровня грунтовых вод верхняя часть обсадной трубы (оголовок) наблюдательных скважин выведена на поверхность земли, на высоту не более 1 м, но с учетом их возможного затопления в паводок или занесения снегом зимой.

При оборудовании скважин - пьезометров, работающих дном, произведена строгая изоляция подземных от поверхностных вод. В пробуренные ручным буром скважины были вдавлены, либо забиты обсадные трубы с заостренным на конус нижним концом и внешним диаметром, превышающим диаметр

бурения. При оборудовании выполнена обязательная отсыпка из крупного песка и мелкого гравия на дно пьезометра.

В существовавших и частично восстановленных скважинах, использованных в качестве опорной наблюдательной сети, в течение года замеры уровня производились ежедекадно с вычислением средне взвешенной месячной величины УГВ, с использованием стандартного классического метода – электрическим уровнемером (Рис.2.5).



Рис.2.5– Замер УГВ в скважине с использованием электрического уровнемера (производство Канада) со звуковым и световыми сигналами - индикаторами при контакте с водой.

Контрольные замеры УГВ в наблюдательных пьезометрах выполнялись с использованием электрического уровнемера (производство Канада) со звуковым и световыми сигналами - индикаторами при контакте с водой, а в пьезометрах №№ 2,4 БСР -1; №№ 10,11 БСР-2; №№16,18 БСР-3; №№ 24,25 БСР-4; №№ 29,30 БСР-5; №№43,45 БСР-6 с установкой в них уровнемеров - регистраторов EIJELKAMP P 11.11 для грунтовых вод « **MiniDiver**», **производитель – фирма: «EIJELKAMP»**. Частота измерений от 0,5 с до 99 часов, (только фиксированная) Объем памяти, число измерений- 24 000 (долговременная память) Диапазон температур, С° от –20° до +80°.

Позволяет автоматически проводить измерения и регистрацию уровня и температуры грунтовых вод в скважинах(Рис.3.5).



Рис.3.5 – Внешний вид MiniDiver и снятие с него показаний УГВ через разъем USB в наблюдательном пьезометре №2

Перед производством замеров уровня грунтовых вод выполнялась проверка измерительных приборов и подготовка рабочего места путем расчистки подходов к скважине, открытия запорного устройства устья скважины и извлечения контрольной бирки.

Замеры уровня грунтовых вод в скважинах осуществлялись в соответствии с прилагаемой к прибору инструкцией.

Замер уровня воды в скважине производился от постоянной марки - фиксированного горизонтального верхнего среза обсадной трубы или оголовка скважины.

Результаты измерений уровней заносятся в полевой журнал, в котором глубина залегания уровня грунтовых вод вычислялась с учетом поправок измерительного инструмента и высоты наземной части скважины.

Измерения температуры воды в наблюдательных скважинах выполнялись одновременно с измерением уровня воды. Температура грунтовых вод определялась с помощью «ленивого» или другого термометра, опускаемого в скважину на тросе или рулетке на 1-2 см ниже уровня воды.

Одновременно с замером температуры воды в полевой журнал вносились сведения о погоде в момент замера.

Химический состав грунтовых вод определялся содержанием наиболее распространенных анионов: HCO_3 , SO_4 , Cl и катионов - Ca , Mg и Na , которые были выражены в г/дм^3 или мг/экв. Сумма анионов и катионов определяла минерализацию или количество солей в воде. По степени минерализации грунтовые воды классифицировались на пресные (концентрация солей до 1 г/дм^3), слабосоленоватые (1-3), сильносоленоватые (3-5), и соленые (более 5).

Химический состав и минерализация воды выражены формулой солевого состава. По этой формуле по преобладающим анионам и катионам определен химический тип воды. Тип воды устанавливался в начале по содержанию анионов, а затем катионов в убывающем порядке. При содержании компонентов менее 10%/экв., они не участвовали в определении типа воды.

Определение химического состава и минерализации грунтовых вод выполнялось в аккредитованных лабораториях РГУ Зональный гидрогеолого-мелиоративный центр МСХ РК, института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина и Каз. НИИТУ им. А.К. Сатпаева путем лабораторного анализа проб, отобранных из всех скважин и наблюдательных пьезометров одновременно и в установленные сроки:

Отбор проб из наблюдательных скважин производился после их предварительной прокачки. Из скважины откачивалось не менее 2-3 объемов столба воды в скважине. После откачки производилось восстановление уровня.

Отбор проб воды из наблюдательных скважин, учитывая небольшой столб воды (до 5 м) и диаметр до 100 мм, выполнялся с помощью желонки типа "стакан", то есть без нижнего клапана, с тем, чтобы не поднимать и захватывать взвесь, обычно присутствующую в забое скважин (Рис. 4.5).

Для отбора пробы прибор опускался в скважину на глубину не менее 1-2 м ниже уровня воды. Объем каждой пробы воды был не менее 2 л.

Перед заливкой пробы емкость и пробка споласкивались исследуемой водой 2-3 раза, а затем доставлялись в лабораторию для выполнения химических анализов.



Рис.4.5 – фото автора: отбор пробы грунтовых вод с помощью желонки типа "стакан", из существующей скважины №26 на Аксуском репрезентативном участке для выполнения сокращенного лабораторного анализа

Емкости с пробами воды были промаркированы и надежно закупорены. К пробе прикладывался паспорт (этикетка) установленной формы, на которой быть отражены основные сведения о виде лабораторного анализа, местоположении водопункта, дате и глубине отбора, объеме пробы, способе консервирования, наличии осадка и др.

Для получения промежуточных данных о степени общей минерализации грунтовых вод и очень важного индикатора, – величины водородного показателя (pH), при проведении комплексных исследований динамики формирования гидрохимического режима грунтовых вод в реальных условиях восполнения их запасов за счет инфильтрации речного стока из мини-бассейнов сезонного регулирования, масштабно использовались современные экспресс - методы и цифровые приборы импортного производства, такие как:

-откалиброванный портативный базовый прибор pH-метров - кондуктометр от компании Sartorius (Германия) для измерений в полевых условиях величины

водородного показателя воды (Рис.5.5).



Рис. 5.5 – Фото одного из комплекта откалиброванных портативных базовых приборов pH-метров от компании Sartorius (Германия) для измерений в полевых условиях величины водородного показателя воды

- откалиброванный прибор «testo 240», Германия, для измерений в полевых условиях величины электропроводности, солевого баланса (NaCl) и температуры воды.

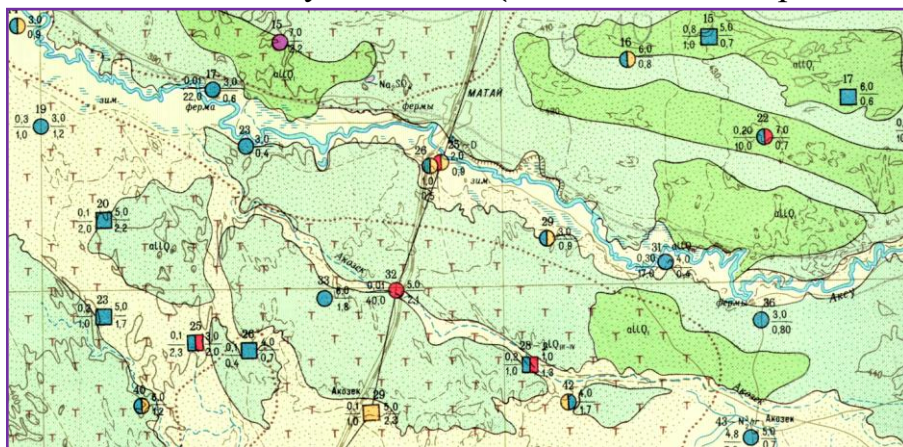


Рис. 6.5 - Фото автора: Выполнение мониторинга формирования гидрохимического режима грунтовых вод в наблюдательном пьезометре, оборудованном в зоне влияния и во время работы мини бассейна №1 на Аксуском репрезентативном участке с использованием цифрового экспресс-прибора – кондуктометра

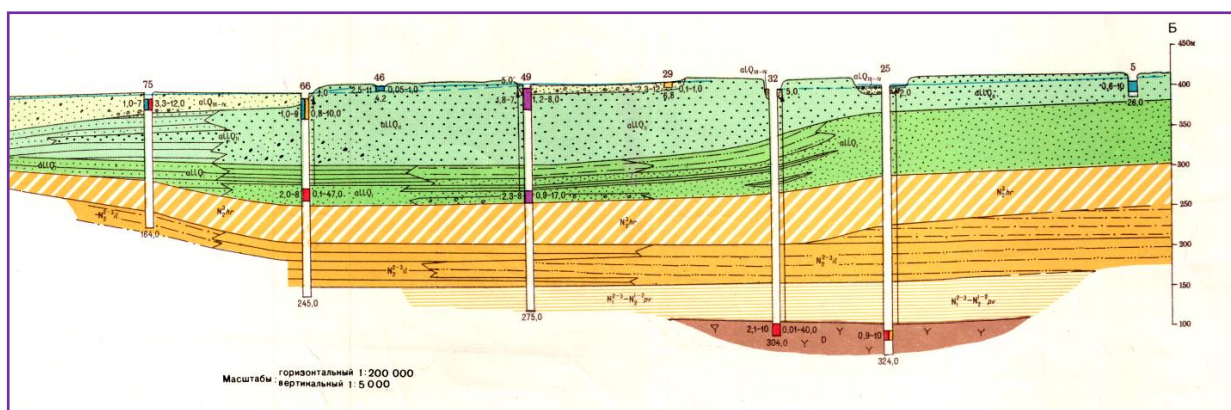
5.2 Особенности формирования гидрохимического режима грунтовых вод на участках экспериментальных исследований процессов кольтматации

5.2.1 Характеристика и особенности формирования уровенно-солевого режима грунтовых вод на Аксуском участке исследований

Изучение особенностей формирования гидрохимического режима грунтовых вод в граничных условиях естественных и искусственных водоразделов Аксуского репрезентативного участка выполнялось на основании всестороннего анализа результатов государственной гидрогеологической съемки масштаба 1: 200 000, (серия Джунгарская, лист L – 44- XIX, гидрогеологическая карта (Рис.30,31) составлена в Южно-Казахстанском геологическом Управлении, автор А.А.Кежегалиев,1966г.), дополненных данными из монографии Смоляра В.А. и Мустафаева С.Т. по гидрогеологии бассейна озера Балхаш[68], а также результатов проведения точечных замеров, отбора проб и выполненных химических анализов в течение проведения экспериментальных исследований из существующих по состоянию на 2017-2020 годы водозаборных сооружений (скважин, шахтных колодцев, временных буровых выработок и др.), а также построенной автором настоящей работы карты гидроизогипс, глубин залегания и минерализации грунтовых вод по состоянию на весну 2018 года (Рис 7.5,8.5,9.5, Приложение Д).

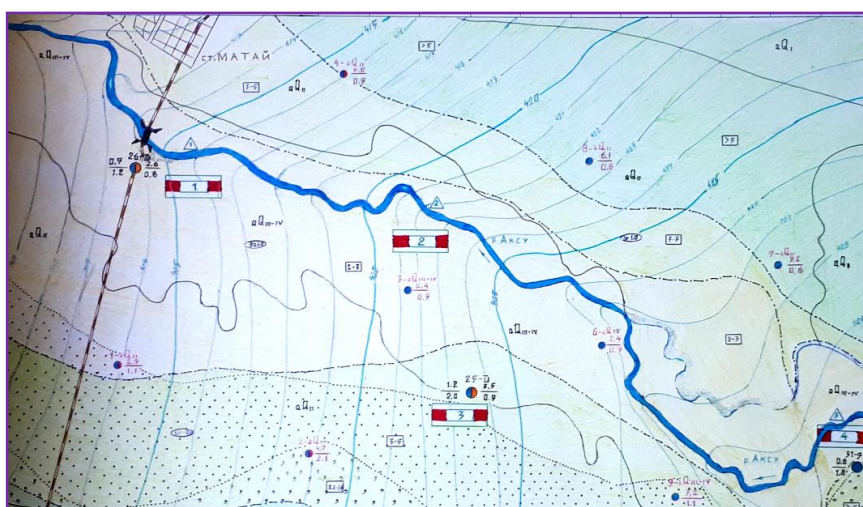


*Рис.7.5 -
Фрагмент
гидрогеологической
карты (серия
Джунгарская, лист L
– 44- XIX,1966г.)
Аксуского
репрезентативного
участка*



Масштабы: вертикальный 1:2000
горизонтальный 1:200 000

Рис.8.5- Аксуский репрезентативный участок: Гидрогеологический разрез по линии А-В



*Рис.9.5 -
Фрагмент карты
гидроизогипс, глубин
залегания и
минерализации
грунтовых вод
масштаба 1:50000 на
Аксуском
репрезентативном
участке по состоянию
на январь 2018 года*

Изучение влияния скорости и объема инфильтрации поверхностных вод из мини-бассейнов суточного регулирования №№1,2,3,4 в подстилающие грунты первого от поверхности водоносного горизонта на гидрохимический режим грунтовых вод, замеры УГВ производились в оборудованных временных наблюдательных пьезометрах по нижеследующей схеме:

- при неустановившемся режиме высокой скорости инфильтрации и до достижения полной влагоемкости, замеры УГВ в марте и апреле –месяцах проводились через 15, 30 и 45 мин., затем через 1,4, 6 и 8 часов, затем через 14 и 15 суток;
- при неустановившемся режиме инфильтрации с незначительным изменением скорости, замеры УГВ в мае и июне –месяцах проводились через 6-7 суток;
- при установившемся режиме спада скорости инфильтрации с постоянной амплитудой, замеры УГВ в последующие месяцы отработки фильтроцикла с 1 июля по 31 октября –месяцах проводились через 6-7 суток;

Определение химического состава и минерализации грунтовых вод выполнялось путем лабораторного анализа проб, отобранных из всех скважин и наблюдательных пьезометров одновременно и в установленные сроки:

- в наблюдательных пьезометрах №№ 1,2,3,4,5,8 отбор проб грунтовых вод проводился четыре раза : 1 марта, 12 июня, 18 августа и 30 октября;
- в скважинах сторонних организаций, №№ 23, 26, 25,31,33,36, 37,42,43 отбор проб грунтовых вод проводился три раза: 1 марта, 18 августа и 30 октября.

Данные режимных наблюдений за уровнем, минерализацией и химическим составом подземных вод за период с 2017 по 2020 годы сведены и приведены в таблицах(Приложения Е,Ж) и построенных совмещенных графиках динамики уровня грунтовых вод в существующих скважинах и временных наблюдательных пьезометрах, речного стока р.Аксу и атмосферных осадков на Аксуском участке до и при проведении опытно-исследовательских работ((Рис10.5).

Выводы по Подразделу 5.2.1

В результате детального изучения сложившихся гидрогеологических условий и динамики формирования гидрохимического режима грунтовых вод, установлено, что на репрезентативном участке исследований получили распространение и перспективны:

- для искусственного восполнения запасов подземных вод путем строительства инфильтрационных бассейнов сезонного регулирования открытого типа: *водоносный горизонт аллювиальных нерасчлененных современных и верхне четвертичных отложений (aQ_{III-IV})*, представленных песками, супесями, песчано-гравийно-галечными отложениями с прослоями суглинков, глин и алевролитов.

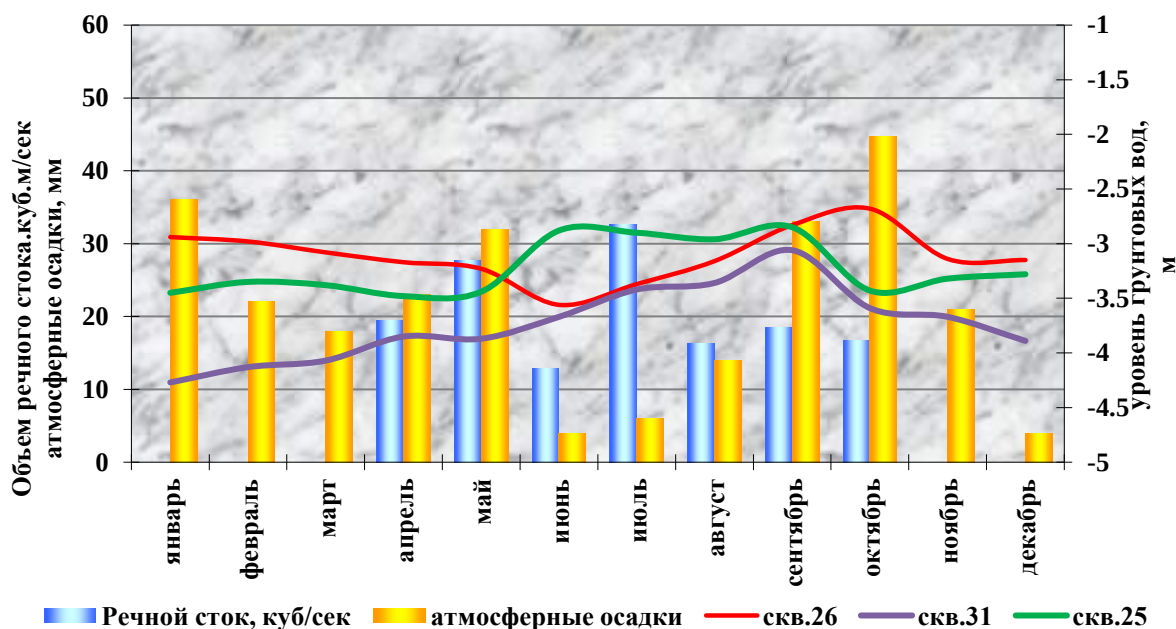


Рис.10.5 - Динамика уровня грунтовых вод, речного стока р.Аксу и атмосферных осадков на Аксуском участке до начала опытно-исследовательских работ

Глубина залегания уровня безнапорных грунтовых вод составляет значения от 3 – до 5 метров в весенний период и от 5 до 7м в летний период при водности года 75% -ой обеспеченности; от 2 до 3 м и от 4 до 5,5 м соответственно при водности года 25% -ой обеспеченности (Рис.11.5 - 15.5).

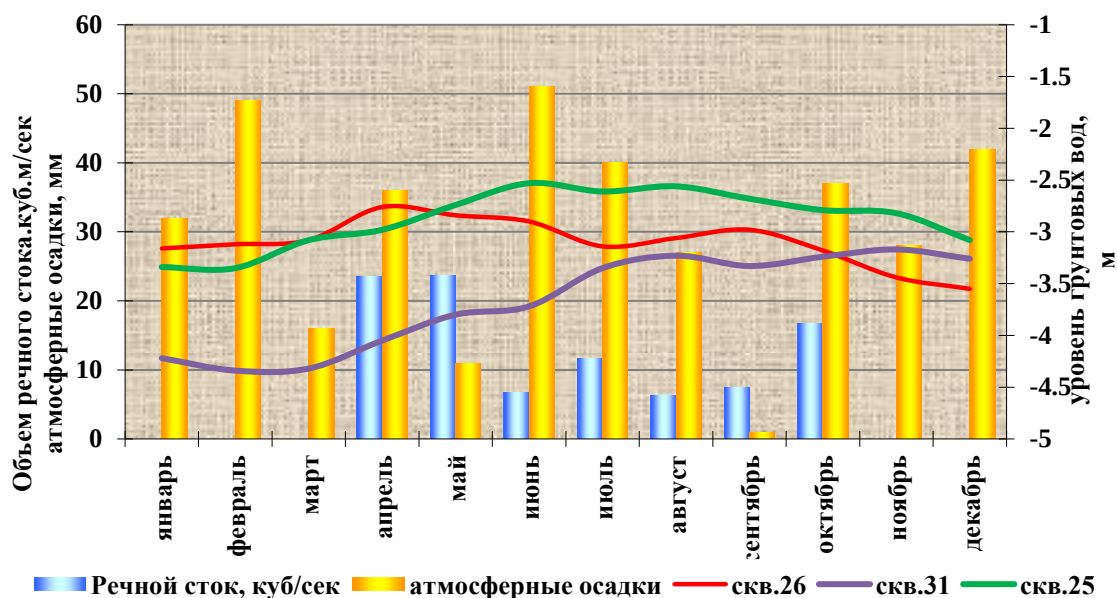


Рис. 11.5 - Динамика уровня грунтовых вод в существующих скважинах, речного стока р.Аксу и атмосферных осадков на Аксуском репрезентативном участке (мини-инфильтрационный бассейн №1) при проведении опытно-исследовательских работ (2017 год)

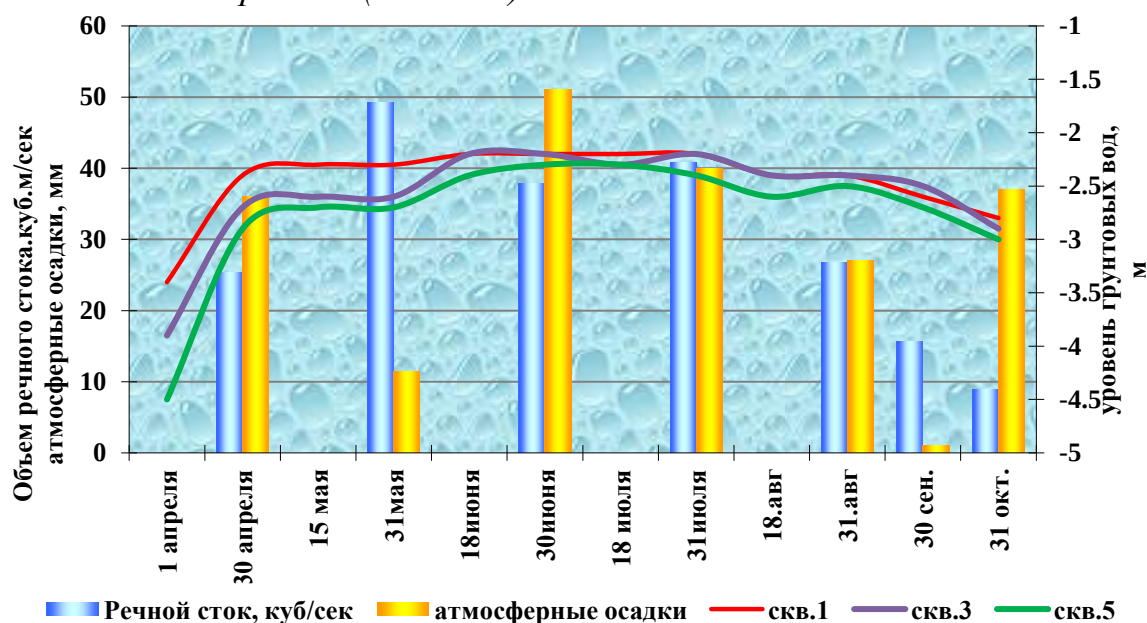


Рис. 12.5 - Динамика уровня грунтовых вод в наблюдательных пьезометрах, речного стока р.Аксу и атмосферных осадков на Аксуском репрезентативном участке (мини-инфильтрационный бассейн №1) при проведении опытно-исследовательских работ (2018 год)

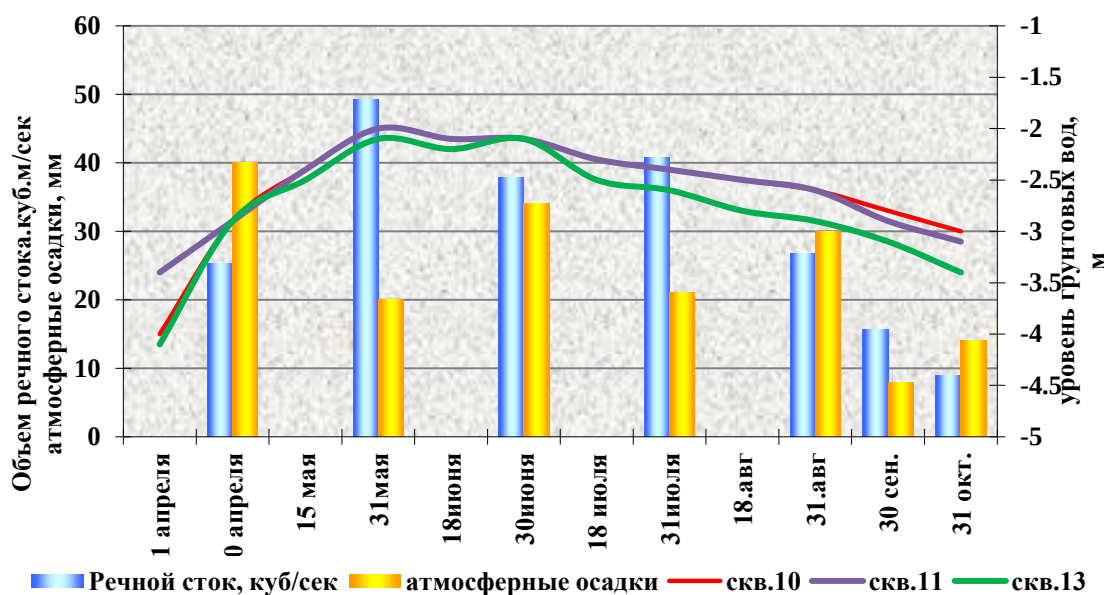


Рис. 13.5 - Динамика уровня грунтовых вод в наблюдательных пьезометрах, речного стока р.Аксу и атмосферных осадков и на Аксуском репрезентативном участке (мини-инфильтрационный бассейн №2) при проведении опытно-исследовательских работ (2019 год)

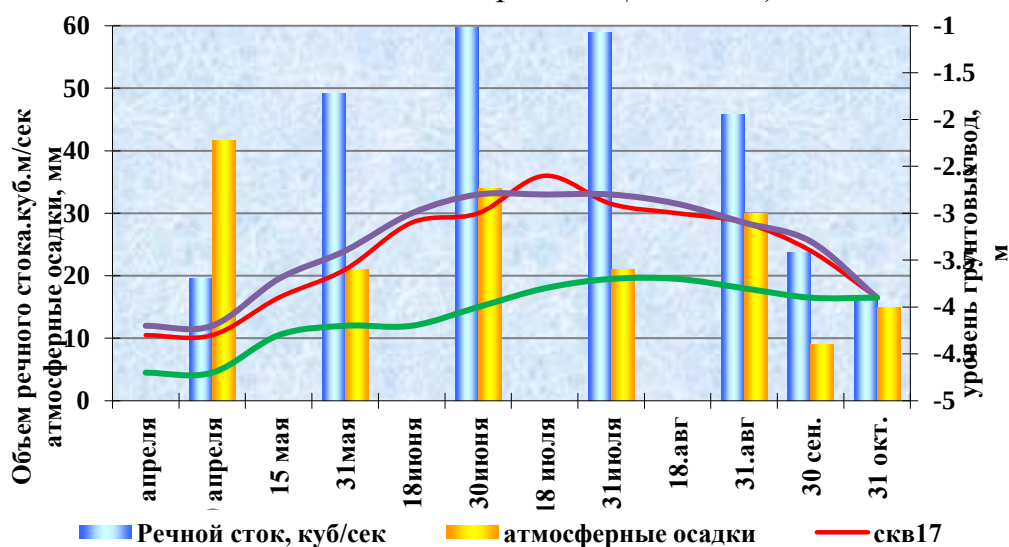


Рис. 14.5 - Динамика уровня грунтовых вод в наблюдательных пьезометрах, речного стока р.Аксу и атмосферных осадков на Аксуском репрезентативном участке (мини-инфильтрационный бассейн №3) при проведении опытно-исследовательских работ (2018 год)

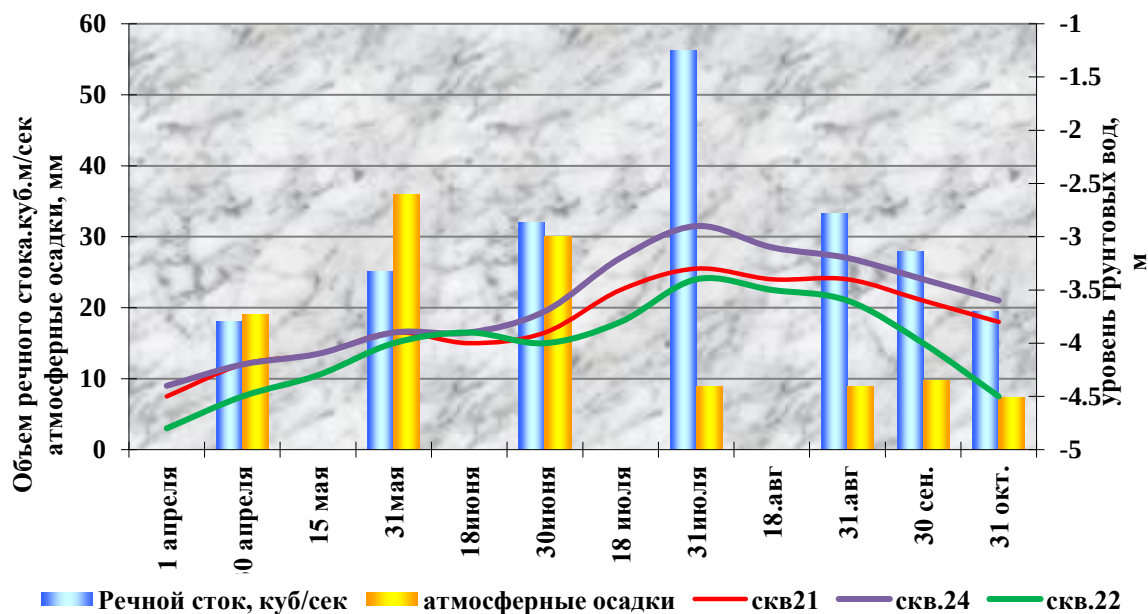


Рис. 15.5 - Динамика уровня грунтовых вод в наблюдательных пьезометрах, речного стока р.Аксу и атмосферных осадков на Аксуском репрезентативном участке (мини-инфильтрационный бассейн №4) при проведении опытно-исследовательских работ (2019 год)

Минерализация грунтовых вод в течение года практически не меняется и составляет значения до 1 г/дм^3 при преобладающим гидрокарбонатно-сульфатном натриевом составе.

Мощность водоносного горизонта небольшая: от 15 до 25 м. Коэффициент фильтрации: 3,15 – 4,5 м/сутки. Водопроницаемость отложений водоносного горизонта: 50 - 115 $\text{м}^2/\text{сутки}$.

Дебиты скважин при выполнении опытных эрлифтных откачек и данных ранее проведенных фильтрационных работ составили значения 0,6-0,9 л/сек при понижениях уровня грунтовых вод 1,5 – 2,5 м. Удельный дебит составил 0,4 – 0,35 л/сек на 1 м понижения УГВ.

- для обводнения пастбищных массивов отгонного животноводства сооружением водопойных шахтных и трубчатых колодцев и забора воды:

• водоносный горизонт аллювиально – озерных среднечервичных (aQ_{II}) отложений, представленных тонко и разнорезнистыми глинистыми песками, рыхлыми, слабосцементированными песчаниками с прослоями маломощных суглинков и глин.

Глубина залегания уровня безнапорных грунтовых вод составляет значения от 3 до 4 метров в весенний период и от 4 до 5 м в летний период при водности года 25% -ой обеспеченности; от 4 до 5 м и от 5 до 7 м соответственно при водности года 75% -ой обеспеченности.

Минерализация грунтовых вод составляет значения от 1 до 2 г/дм^3 в северной части и по мере удаления от р.Аксу до южной водораздельной границы – временного русла р.Акозек: от 2 до 2,5 г/дм^3 при преобладающем

соответственно гидрокарбонатно хлоридном натриевом и хлоридно гидрокарбонатном натриевом составе.

Мощность водоносного горизонта : от 60 до 70 м ближе к верхней водораздельной границе - руслу р. Аксу до 100 м по мере приближения к нижней южной водораздельной границы – временного русла р.Акозек.

Коэффициент фильтрации: 1,65 – 2,5 м/сутки.

Водопроводимость отложений водоносного горизонта: 120 - 250 м²/сутки.

Дебиты скважин при выполнении опытных эрлифтных откачек и данных ранее проведенных фильтрационных работ составили значения 0,2-0,9 л/сек при понижении уровня грунтовых вод 1,0 – 3,2м. Удельный дебит составил 0,2 – 0,28 л/сек на 1 м понижения УГВ.

В крайней восточной части объекта исследований на равнине с бугристо-грядовым эоловым рельефом, озерно-аллювиальные нижнечетвертичные отложения представлены тонко, мелко, реже среднезернистыми песками и пылеватыми супесями с прослоями глин.

Глубина залегания уровня безнапорных грунтовых вод составляет значения от 2 до 3 метров в весенний период и от 3 до 5 м в летний период при водности года 25% -ой обеспеченности; от 3 до 5 м и от 5 до 7 м соответственно при водности года 75% -ой обеспеченности.

Минерализация грунтовых вод составляет значения от 1 до 2 г/дм³ при преобладающим гидрокарбонатно хлоридном натриевом химическом составе.

Мощность водоносного горизонта : от 50 - 75 м.

Коэффициент фильтрации: 1,32 – 1,5 м/сутки.

Водопроводимость отложений водоносного горизонта: 75 -120 м²/сутки.

Дебит скважин при выполнении опытных эрлифтных откачек и данных ранее проведенных фильтрационных работ составлял значения 0,5 л/сек при понижении уровня грунтовых вод 2,0м. Удельный дебит составил 0,25 л/сек на 1 м понижения УГВ.

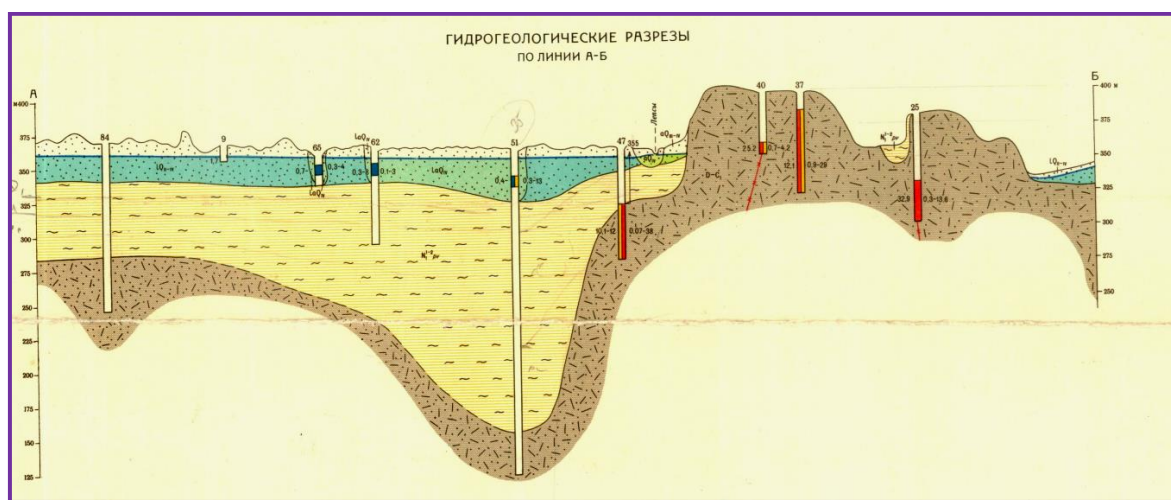
Все выше охарактеризованные водоносные горизонты и комплексы имеют гидравлическую связь и представляют собой в целом единый грунтовый поток.

5.2.2 Характеристика и особенности формирования уровенно-солевого режима грунтовых вод на Лепсинском участке исследований

При гидрогеологических исследованиях на Лепсинском участке основное внимание также было уделено в работе тщательному изучению уровенно-солевого режима первых от поверхности земли водоносных горизонтов с глубиной залегания зеркала безнапорных грунтовых вод не более 5-7м как наиболее перспективных под развитие децентрализованного питьевого водоснабжения имеющих в данном регионе сельских населенных пунктов, животноводческих ферм, в том числе под развитие культурных пастбищ на основе искусственного восполнения запасов подземных вод с использованием инфильтрационных бассейнов сезонного регулирования открытого типа.

Изучение особенностей формирования гидрохимического режима грунтовых вод в граничных условиях естественных и искусственных

Управлении (Прибалхашская серия, лист L 44 XIII, , автор Олонцев
В.Н., 1973 год)



горизонтальный 1:200 000

До начала проведения экспериментальных исследований автором построена карта гидроизогипс, глубин залегания УГВ и минерализации грунтовых вод (Рис 18.5, Приложение И)

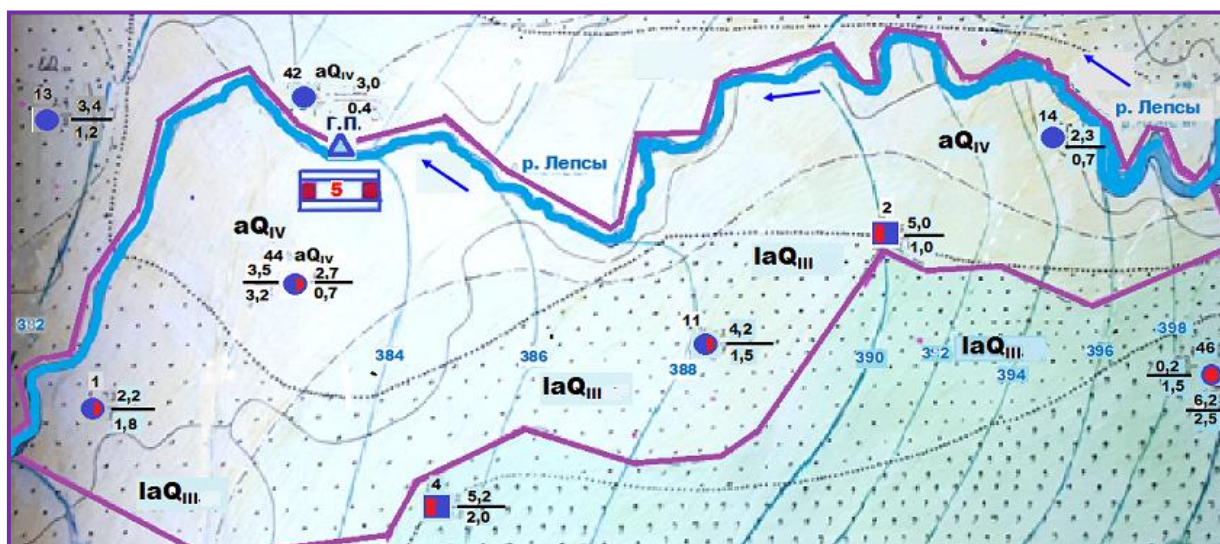


Рис.18.5 - Фрагмент составленной автором карты гидроизогипс, глубин залегания и минерализации грунтовых вод Лепсинского экспериментального участка исследований процессов кольтматации в масштабе 1: 50 000 по состоянию на январь 2019 года

Для изучения гидрохимического режима грунтовых вод в течение всего гидроцикла работы инфильтрационного бассейна суточного регулирования в условиях постоянного наполнения речной водой и получения региональной характеристики грунтовых вод были пробурены и оборудованы временные наблюдательные пьезометры №№ 28,29,30,40,41 (см. Схему компоновки гидрогеологических пунктов по изучению процессов инфильтрации и кольтматации на Лепсинском репрезентативном участке).

Наблюдательные скважины были оборудованы для полного обеспечения измерений уровней, температуры и отбор проб подземных вод стандартным классическим оборудованием и инновационными цифровыми экспресс-приборами, для устойчивости против коррозии и химической суффозии; антивандальным устройством.

В оборудованных на Лепсинском участке временных наблюдательных пьезометрах №№ 28,29,30,40,41 для изучения влияния скорости и объема инфильтрации поверхностных вод из мини-бассейна №5 в подстилающие грунты первого от поверхности водоносного горизонта на гидрохимический режим грунтовых вод, замеры УГВ производились по схеме, изложенной в методической части настоящей диссертации в Разделе....

Детальная характеристика динамики уровня, минерализации и химического состава подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта на Лепсинском участке при проведении экспериментальных исследований инфильтрации приведена в таблице (Приложение К) и построенном совмещенном графике (Рис19.5). динамики УГВ уровня грунтовых вод, речного стока р.Лепсы и атмосферных осадков при проведении опытно-исследовательских работ).

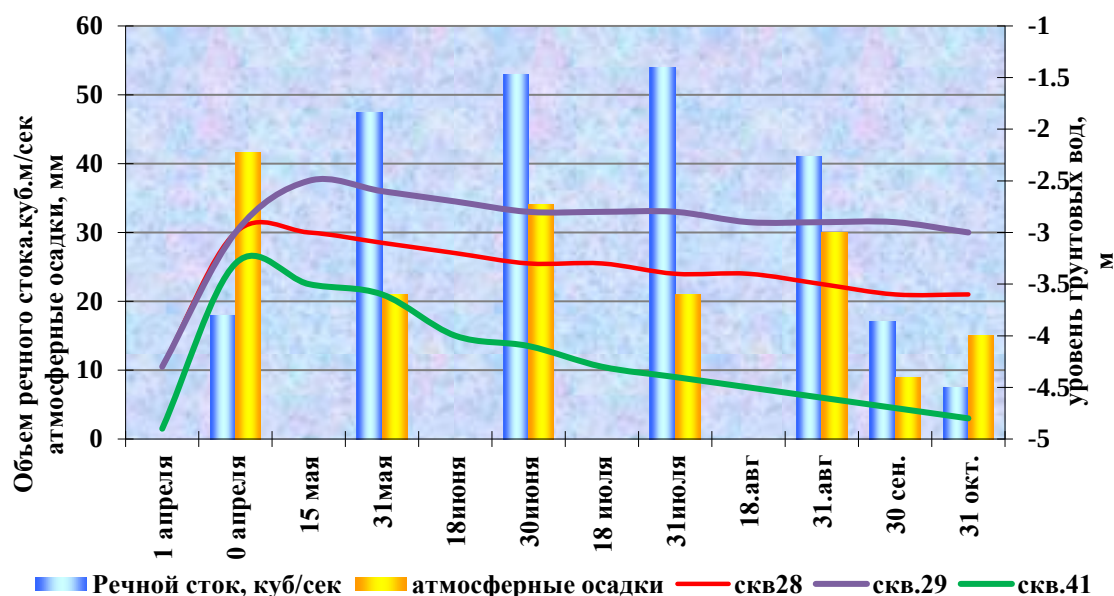


Рис.19.5 - Динамика уровня грунтовых вод во временных наблюдательных скважинах – пьезометрах, речного стока р.Лепсы и атмосферных осадков на Лепсинском репрезентативном участке (мини - инфильтрационный бассейн № 5) при проведении опытно-исследовательских работ (2018 год)

Выводы по Подразделу 5.2.2

В результате детального изучения сложившихся гидрогеологических условий и динамики формирования гидрохимического режима грунтовых вод, установлено, что на территории участка экспериментальных исследований для ИВЗПВ наиболее перспективны:

- водоносный горизонт аллювиальных современных отложений (aQ_{IV}), водовмещающие породы которого представлены разномерными, преимущественно, среднезернистыми песками с прослоями супесей, суглинков и глин;

- водоносный горизонт озерно- аллювиальных верхнечетвертичных отложений (IaQ_{III}), водовмещающие породы которого представлены песками с прослоями и линзами супесей, суглинков и глин;

Выше перечисленные водоносные горизонты имеют гидравлическую связь и представляют собой в целом единый грунтовый поток.

Водоносный горизонт аллювиальных современных отложений в пределах участка исследований имеет повсеместное распространение узкой полосой разной ширины, - от 500 до 1800м, в пойменной части и на низких (I- ой и II – ой надпойменных террасах р.Лепсы.

Глубина залегания уровня безнапорных грунтовых вод составляет значения от 2,5 – до 3- х метров в весенний период и от 3,5 до 4,5 м в летний период при водности года 75% -ой обеспеченности; от 2 до 2,7 м и от 2,5 до 3,5 м соответственно при водности года 25% -ой обеспеченности(Рис. ..).

Минерализация грунтовых вод в течение года практически не меняется и составляет значения до 0,5 до 0,7 г/дм³ при преобладании гидрокарбонатного аниона.

Мощность водоносного горизонта небольшая: от 30 до 60 м.

Коэффициент фильтрации: 1,75 – 2,74 м/сутки.

Водопроницаемость отложений водоносного горизонта: 52 - 164 м²/сутки.

Дебит скважин при выполнении опытных эрлифтных откачек и данных ранее проведенных фильтрационных работ составил значения 2,2,-3,8 л/сек при понижении уровня грунтовых вод 1,8 – 3,2м. Удельный дебит составил 1,18 – 1,77 л/сек на 1 м понижения УГВ.

Наибольшим распространением на участке являются подземные безнапорные воды, приуроченные к водоносному горизонту озерно-аллювиальных верхнечетвертичных отложений (IaQ_{III}), водовмещающие породы которого представлены мелкозернистыми песками с прослоями и линзами супесей, суглинков и глин.

Глубина залегания уровня безнапорных грунтовых вод составляет значения от 3,5 до 4-х метров в весенний период и от 4,5 до 5,5 м в летний период при водности года 25% -ой обеспеченности; от 4 до 5 м и от 5 до 7 м соответственно при водности года 75% -ой обеспеченности.

Минерализация грунтовых вод составляет значения от 1,1 до 2,2 г/дм³ в северной части участков, прилегающих к высоким террасам р.Лепсы и по мере удаления от реки в южном направлении от 2,2 до 2,7 г/дм³ при преобладающем соответственно гидрокарбонатно сульфатном магниевым и гидрокарбонатно сульфатном натриевом составе.

Мощность водоносного горизонта: от 45-70 м на границе ближе к пойменной части и надпойменным террасам р.Лепсы с постепенным увеличением в юго-западном направлении до 100 -180 м.

Коэффициент фильтрации: 1,05 – 1,55 м/сутки.

Водопроницаемость отложений водоносного горизонта: 65 - 230 м²/сутки.

Дебит скважин по результатам опытных наливов и эрлифтных откачек, а также по данным ранее проведенных фильтрационных работ составлял значения 0,2-0,4 л/сек при понижении уровня грунтовых вод 1,4 – 2,4 м. Удельный дебит составил 0,15 – 0,25 л/сек на 1 м понижения УГВ.

Таким образом:

- приведенные количественные и качественные показатели безнапорных подземных вод первого от поверхности водоносного горизонта аллювиальных современных отложений (IaQ_{IV}), водовмещающие породы которого представлены разномзернистыми, преимущественно, среднезернистыми песками с включением мелкой гальки до 20%, являются наиболее перспективными и востребованными в качестве приоритетного водного источника для децентрализованного питьевого водоснабжения имеющихся в данном регионе сельских населенных пунктов, животноводческих ферм на основе искусственного восполнения запасов подземных вод с использованием инфильтрационных бассейнов сезонного регулирования открытого типа;

- количественные и качественные показатели безнапорных подземных вод, приуроченных к первому от поверхности водоносному горизонту озерно-аллювиальных верхнечетвертичных отложений (IaQ_{III}), дают основание считать их в качестве наиболее приоритетного источника при решении проблем водообеспечения пастбищ отгонного животноводства с сооружением водопойных шахтных и трубчатых колодцев и забора воды из них с использованием классической схемы ИВЗПВ из инфильтрационных бассейнов сезонного регулирования открытого типа.

5.2.3 Характеристика и особенности формирования уровенно-солевого режима грунтовых вод на Каратал-Коксуском участке исследований

Изучение особенностей формирования гидрохимического режима грунтовых вод в граничных условиях естественных и искусственных водоразделов экспериментального участка выполнялось на основании всестороннего анализа результатов государственной гидрогеологической съемки масштаба 1: 200 000, (серия: Южно-Прибалхашская, 1977г., лист: L-44-XV)), дополненного проведением точечных замеров и отбора проб из существующих эксплуатационных скважин и построенных временных наблюдательных пьезометров (Рис.20.5, Приложение М).

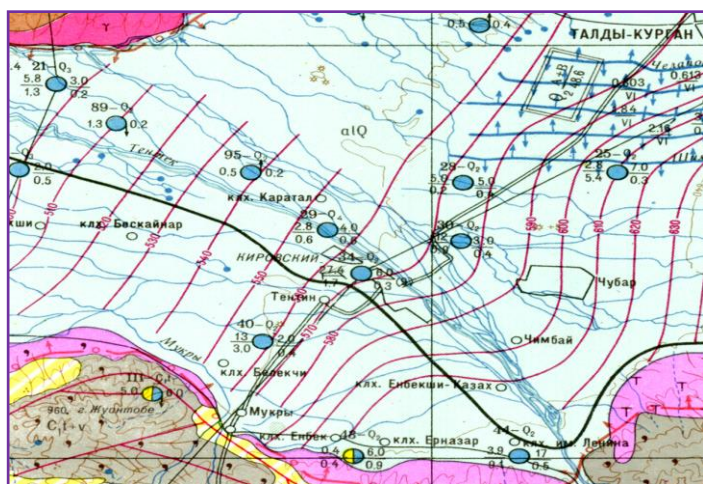


Рис. 20.5- Фрагмент гидрогеологической карты Каратал-Коксуского участка исследований. Масштаб 1 :200 000,серия: Южно-Прибалхашская,1977г., лист: L 44 XV

Для этого, в зоне влияния инфильтрационного мини- бассейна суточного регулирования №6 в течение всего гидроцикла его работы в условиях постоянного наполнения речной водой, были пробурены и оборудованы 4 временных наблюдательных пьезометра по направлению и поперек грунтового потока, формирующегося в зоне влияния инфильтрационного питания, поступающего из мини-бассейна сезонного регулирования открытого типа(Рис.21.5).

В оборудованных на участке временных наблюдательных пьезометрах №№ 42,43,44 и 45 замеры УГВ производились по нижеследующей схеме:

- при неустановившемся режиме высокой скорости инфильтрации и до достижения полной влагоемкости, замеры УГВ в марте и апреле –месяцах проводились через 15. 30 и 45 мин.,затем через 1,4, 6 и 8 часов, затем через 14 и 15 суток;

- при неустановившемся режиме инфильтрации с незначительным изменением скорости, замеры УГВ в мае и июне –месяцах проводились через 6-7 суток;

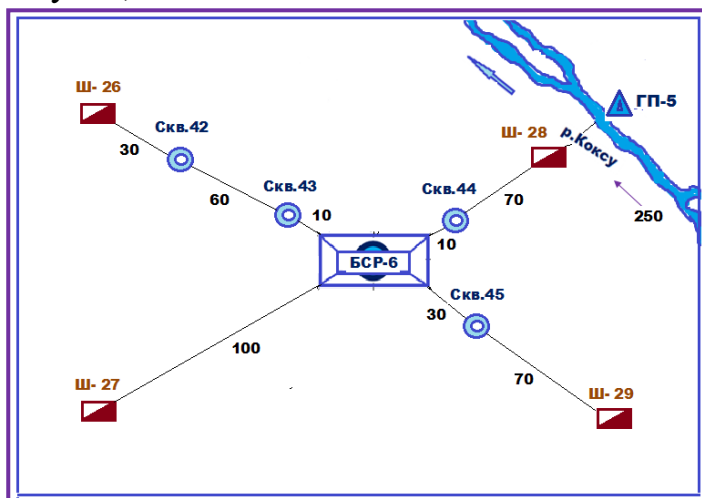


Рис. 21.5.. - Схема компоновки гидрогеологических, инженерно-геологических и гидрометрических пунктов по изучению процессов инфильтрации и кольятации на Каратал-Коксуском репрезентативном участке

- при установившемся режиме спада скорости инфильтрации с постоянной амплитудой, замеры УГВ в последующие месяцы отработки фильтроцикла с 1 июля по 31 октября –месяцах проводились через 6-7 суток.

Предварительно был выполнен единовременный замер УГВ перед началом проведения экспериментальных исследований во временно оборудованных наблюдательных пьезометрах №№ 42,43,44 и 45, а также в существовавших и действовавших в этот период эксплуатационных скважинах и шахтных колодцах в границах участка научно-исследовательских работ.

Результаты мониторинга гидрохимического режима грунтовых вод в зоне влияния инфильтрации обработаны, проанализированы и представлены в табличной и графической формах.

По результатам была составлена карта гидроизогипс, глубин залегания уровня, минерализации и химического состава грунтовых вод (Рис22.5 ,Приложение М).



Рис. 22.5...- Фрагмент Карты гидроизогипс, глубин залегания уровня, минерализации и химического состава грунтовых вод Каратал - Коксуского экспериментального участка исследований (2018 год) масштаб 1 : 50 000

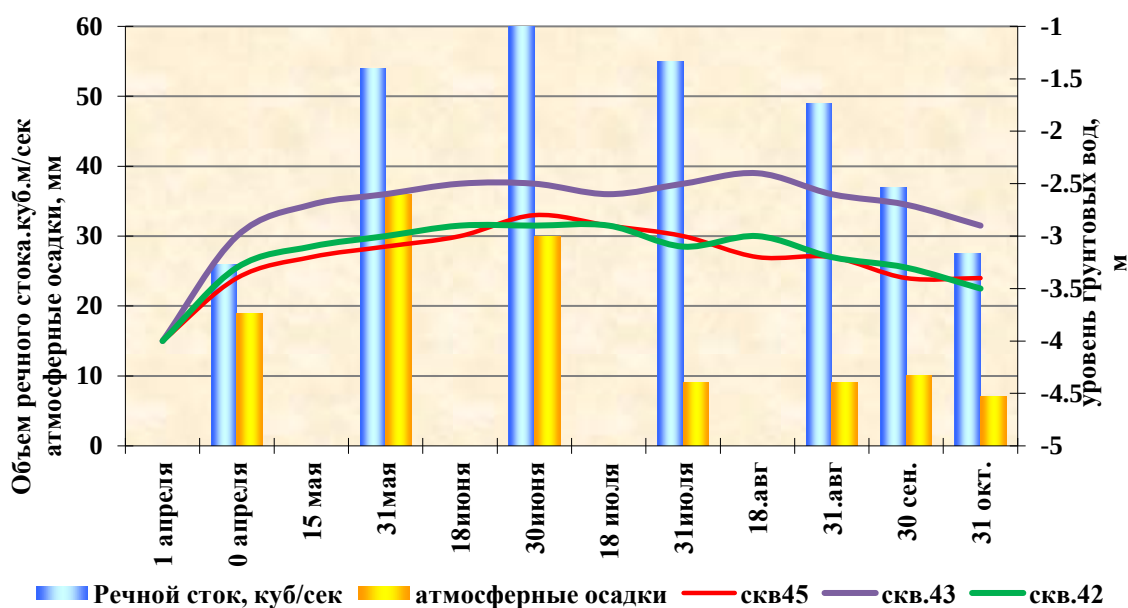


Рис.26.5 - Динамика уровня грунтовых вод во временных наблюдательных скважинах – пьезометрах, речного стока притока Коксу реки Каратал, атмосферных осадков на Коксу - Каратальском репрезентативном участке (мини - инфильтрационный бассейн № 6) при проведении опытно-исследовательских работ (2019 год)

Выводы по Подразделу 5.2.3

В результате установлено, что на территории участка экспериментальных исследований для ИВЗПВ наиболее перспективны площади, главным образом, приуроченные к участкам, сложенным аллювиальными отложениями преимущественно современного и верхнечетвертичного возраста.

В долине реки Коксу водовмещающие породы литологически представлены гравием, щебнем, песками, гравийно-галечниками, валунами.

Мощность отложений изменяется от нескольких до 40 м., достигая на некоторых участках 270м.

Уровни грунтовых вод залегают на глубине от 0,8 до 10 м, преимущественно от 3,5 до 5-6 метров.

Водообильность аллювиальных отложений высокая. Расходы скважин составляют 5,0-75 дм³/сек, при понижениях уровня соответственно 0,2-9,8 м.

Воды пресные, с минерализацией 0,2-0,4 г/дм³, химический состав гидрокарбонатный кальциевый.

Основным источником питания подземных вод являются фильтрационные потери поверхностного стока рек и ручьев.

6. ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ КОЛЬМАТАЦИИ НА ФИЗИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ ИНФИЛЬТРАЦИОННЫХ БАССЕЙНОВ СУТОЧНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

6.1 Организация участков, состав, методы и методология проведения исследований

Для проведения натурных опытных исследований процессов кольматации были обоснованы и избраны три региона в Юго-Восточном Казахстане: в качестве репрезентативного участка в пределах граничных условий Аксуского региона в долине и вдоль р.Аксу и в качестве экспериментальных 2 участка: в долине р.Лепсы и на предгорной равнине в граничных условиях основного притока реки Каратал, - р.Коксу.

На избранных участках были пройдены и оборудованы шурфы, имитирующие в уменьшенном масштабе инфильтрационные бассейны суточного регулирования, где были предусмотрены основные виды опытно-фильтрационных работ, - это опытные наливов в шурфы и опытно-фильтрационные исследования в опытных бассейнах. При этом инфильтрационные бассейны были разделены на две секции:

- в левой части в условных границах бассейна были оборудованы три шурфа для последовательного изучения фильтрационных свойств всех геолого-литологических разностей грунтов покровных и подстилающих водоносный горизонт отложений с ненарушенной структурой;

- в правой части в условных границах бассейна с целью обеспечения наиболее большей площади инфильтрации ($0,44\text{м}^2$), при поддержании постоянного уровня ($0,2\text{ м}$) и столба воды ($1,8\text{м}$), в качестве инфильтрометра использована асбоцементная труба с внутренним металлическим сердечником диаметром 760 мм и длиной 2200мм (Рис. 1.6).



Рис. 1.6 - Схема состава и параметров оборудования для проведения опытных исследований скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и изучения процессов кольматации

На схеме:

- 1- инфильтрационный мини- бассейн открытого типа;
- 2- шурфы для изучения водно-физических и физико-механических свойств грунтов зоны аэрации;
- 3 – трубчатый колодец для проведения исследований скорости инфильтрации, удельной водоотдачи, поверхностей инфильтрации и изучения процессов кольтматации;
- 4 – оголовок трубчатого колодца с установленным оборудованием по автоматическому управлению подачи речной воды;
- 5 – емкость для наполнения и отстоя речной воды;
- 6 – бурение ствола скважины под обсадную трубу;
- 7 – гравийная подсыпка под обсадную асбоцементную трубу с внутренним металлическим сердечником;
- 8 – суглинок средней плотности, легкий;
- 9 – супесь легкая песчаная;
- 10 – песок разнотернистый, с включением редкого гравия.

Бурение трубчатого колодца было выполнено механическим вращательным способом с использованием шурфобуровой установки шнеком большого диаметра (960мм), с последующей обсадкой асбоцементной трубой диаметром 760 мм и обсыпкой забоя оптимальной гравийной смесью диаметром 15мм

В качестве наливной емкости для речной воды с предварительным ее отстоем была использована металлическая цистерна объемом 16м³, установленная на металлических опорах на высоте 1.0м и периодически наполняемая из рек в створе фиксированных сечений на гидрометрических постах с помощью автоводовоза.

Для обеспечения автоматизированной и фиксированной водоподачи в мини-бассейны и при постоянном уровне воды (столб воды 1800 мм) на оголовке с запорной арматурой были смонтированы уникальные собственной оригинальной конструкции капельные системы с набором поплавковых клапанов(Рис.2.6,3.6,4.6).



Рис.2.6,3.6,4.6 - Фото автора: бурение и монтажные работы по установке обсадной асбоцементной трубы и оборудования на оголовке запорной арматуры с системой поплавковых клапанов для обеспечения автоматизированной и фиксированной водоподачи в инфильтметр мини-бассейна

Опытные исследования скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и изучения процессов кольтматации проводились на каждом из четырех Аксуских участков и по одному в Лепсинском и Каратал-Коксуском регионах отдельно и дифференцировано в зависимости от водности гидрологического года в период с 2016 по 2020 годы с использованием известных традиционных методов, основанных на предпосылках об установившемся и неуставившемся режиме фильтрации[38,46,74,77,78].

В ходе опытов, кроме замеров расхода воды производилось определение мутности подаваемой воды, толщины илистого осадка, объемной массы скелета илистого осадка, являющихся исходными параметрами для расчетов фильтрации воды в условиях кольтматации.

Скорость инфильтрации по результатам экспериментальных натурных исследований определялась по общепринятой формуле [22] :

$$V = \frac{Q}{F}$$

V - скорость инфильтрации, м/сутки;

Q - расход речной воды, подаваемой в инфильтромтр на поддержание постоянного уровня, м3/сут;

F - площадь круга основания инфильтромтра, м²

Опыты проводились с учетом фактической величины основного стока рек, который начинается ежегодно в марте и завершается в в конце октября при разной величине водности гидрологического года: от 25 до 75% - ой водобеспеченности, в связи с чем общая продолжительность срока инфильтрации при использовании систем искусственного восполнения подземных вод составляла ежегодно порядка 8 месяцев в течение четырех лет.

Необходимо подчеркнуть, что такие продолжительные опыты в отечественной практике исследований в Казахстане выполнены впервые, позволившие в итоге выявить как характер изменения скорости инфильтрации, так и переход ее через определенные контрольные значения, условно служащие количественным ориентиром оценки сроков фильтроцикла, и исключить элемент случайности в выявлении вероятно-статистического характера изменения скорости инфильтрации как по площади, так и по глубине.

Кроме того, наливыв производились в расположенные на разных расстояниях от русел рек и отличающиеся по литологическому и гранулометрическому составу параметрам водопроницемости и по глубине залегания от поверхности земли грунтов зоны аэрации и подстилающих пород верхней части нерасчлененных современных и верхнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений.

Это позволило дать более объективную и по площади более масштабную и детальную характеристику процессам инфильтрации воды и фактической кольтматации через грунты зоны аэрации и подстилающие отложения верхней части перспективного для ИВЗПВ водоносного горизонта, что в итоге

послужило реальной возможностью унификации полученных данных для однотипных рек Юго –Восточного Казахстана.

6.2 Натурные опытные исследования скорости инфильтрации, удельной водоотдачи, поверхностей инфильтрации и их результаты при изучении процессов кольятации на Аксуском опытно-экспериментальном участке

Как отмечалось в Разделе 2, в качестве пилотного проекта и репрезентативным объектом исследований избран экспериментальный участок в равнинной части среднего течения р. Аксу, где в течение четырех лет осуществлены натурные исследования скорости инфильтрации, удельной водоотдачи, поверхностей инфильтрации в граничных условиях физических моделей инфильтрационного бассейна открытого типа (Рис. 5.6), с использованием современных диагностических приборов и лабораторного оборудования.

Для проведения опытных натурных работ по изучению скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и процессов кольятации, в центре каждого из четырех экспериментальных участков в долине и вдоль р.Аксу в пределах граничных условий Аксуского региона исследований были пройдены и оборудованы шурфы, имитирующие в уменьшенном масштабе инфильтрационные бассейны суточного регулирования

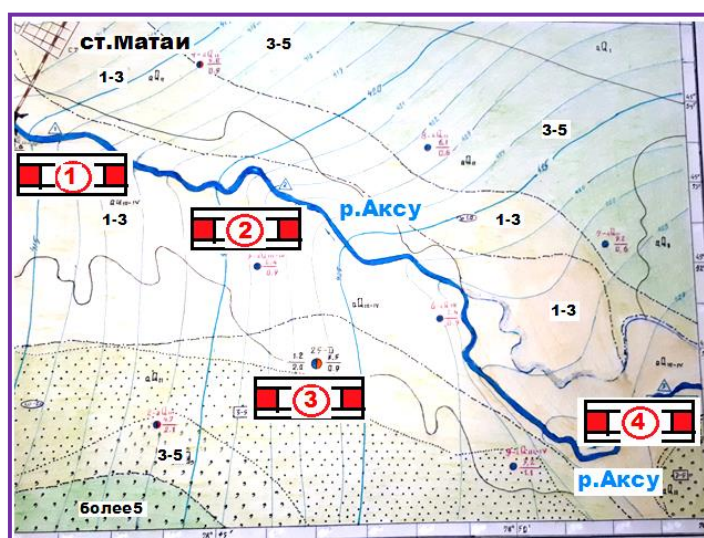


Рис 5.6 – Схема размещения физических мини-моделей инфильтрационных бассейнов открытого типа на избранном репрезентативном участке натурных исследований по изучению процессов кольятации

Кроме того, наливыв производились в расположенные на разных расстояниях от русла реки и отличающиеся по литологическому и гранулометрическому составу параметрам водопроницаемости и по глубине залегания от поверхности земли грунтов зоны аэрации и подстилающих пород верхней части нерасчлененных современных и верхнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений.

Это позволило дать более объективную и по площади более масштабную и детальную характеристику процессам инфильтрации воды и фактической кольятации через грунты зоны аэрации и подстилающие отложения верхней

части перспективного для ИВЗПВ водоносного горизонта, что в итоге послужило реальной возможностью унификации полученных данных для однотипных рек Юго –Восточного Казахстана.

Результаты опытов оформлены журналами наблюдений (Приложение Н), и в виде совмещенных графиков динамики скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации, суммарной инфильтрации, среднемесячных расходов и величин мутности речного стока по изучению процессов кольтмации на Аксуском репрезентативном участке показаны на Рис.6.6,7.6,8.6,9.6.

Из них следует, что по характеру динамики вычисленных значений по данным замеренных расходов воды на инфильтрацию в единицу времени и кривых изменения скоростей инфильтрации за весь период проведения опытно-экспериментальных исследований установлено три основные стадии в режиме работы всех четырех инфильтрометров.

Первая начальная стадия характеризуется неустановившимся режимом работы инфильтрометров, включая период насыщения и достижения полной влагоемкости с наиболее высокими скоростями инфильтрации, причем ее продолжительность и значения изначальной скорости инфильтрации имеют определенные различия в результатах исследований в четырех мини-бассейнах, проведенных в разные годы и для отличных по составу грунтах.

Так, в БСР-1 (исследования проводились в 2017 году), первая стадия с неустановившимся режимом работы инфильтрометра, установленного в разнотернистых песках с включением гравия до 30% (с вычисленным коэффициентом фильтрации 3,15 м/сутки; относительной однородности гранулометрического состава при коэффициенте неоднородности состава 1,8) продолжалась с 15 марта по 30 апреля и составила 47 суток, а среднесуточная величина скорости инфильтрации за этот период имела стабильную тенденцию к снижению от 12 до 4 м/сутки.

В БСР-2 (исследования проводились в 2018 году), первая стадия с неустановившимся режимом работы инфильтрометра, установленного в среднетернистых песках с включением крупнозернистого песка и мелкой гальки до 20% (коэффициент фильтрации 4,2 м/сут., относительная однородность гранулометрического состава при коэффициенте неоднородности состава 2,4) продолжалась с 1 по 30 апреля и составила 30 суток, а среднесуточная величина скорости инфильтрации за этот период имела стабильную тенденцию к снижению от 14 до 5,4 м/сутки.

В БСР-3 (исследования проводились в 2019 году)), расположенном на значительном удалении от р.Аксу (1650м), с распространением водоносного горизонта аллювиально –озерных среднетертичных (aQ_{II}) отложений, первая стадия с неустановившимся режимом работы инфильтрометра, установленного в глинистых среднетернистых песках с прослойками супесей (коэффициент фильтрации 1,32 м/сут., неоднородность состава 2,56), продолжалась с 1 по 30 апреля и составила 30 суток, а среднесуточная величина скорости

инфильтрации за этот период имела стабильную тенденцию к снижению от 6,0 до 1,81 м/сутки.

В БСР-4 (исследования проводились в 2020 году), первая стадия с неустойчивым режимом работы инфильтromетра, установленного в среднезернистых песках (коэффициент фильтрации 1,24 м/сут., относительная однородность гранулометрического состава при коэффициенте неоднородности состава 2,0) продолжалась с 1 апреля по 6 мая и составила 36 суток, а среднесуточная величина скорости инфильтрации за этот период имела стабильную тенденцию к снижению от 14 до 4,3 м/сутки.

Причем, повсеместно установлено, что в самом начале опытов, после быстрого снижения расхода воды на инфильтрацию и соответственно скорости инфильтрации происходит резкое его повышение, обусловленное процессами увлажнения грунтов в зоне аэрации под инфильтromетром и образования так называемой “водяной завесы” [50]. Это наглядно продемонстрировано на совмещенных графиках динамики скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и суммарной инфильтрации, построенных по результатам опытных исследований процессов кольматации в физической модели инфильтрационного бассейна БСР-2 на Аксуском репрезентативном участке (Рис.7.6).

Вторая стадия характеризуется продолжающимся неустойчивым режимом работы инфильтromетра и процессами полного насыщения грунтов исследуемого слоя зоны аэрации в условиях постепенного и относительно равномерного спада расхода на инфильтрацию и скорости инфильтрации (БСР-1 от 3,9 до 1,5 м/сутки; БСР-2 от 5,3 до 4,0 м/сутки; БСР-3 от 1,8 до 1,27 м/сутки; БСР-4 от 4,2 до 2,0 м/сутки) и соответствующей продолжительности: 61 сутки (БСР-1, БСР-2 и БСР-3 с 1 мая по 30 июня) и 117 суток (БСР-4 с 7 мая по 31 августа).

В третью стадию наблюдалось формирование установившегося режима работы инфильтromетров в условиях постепенного и относительно равномерного спада и незначительных изменений скорости инфильтрации: БСР-1 от 1,4 до 1,3 м/сутки; БСР-2 от 3,9 до 1,6 м/сутки; БСР-3 от 1,27 до 0,7 м/сутки; БСР-4 от 1,9 до 1,0 м/сутки), который продолжался 107 суток с 1 июля по 15 октября (БСР-1); 104 суток с 1 июля по 12 октября (БСР-2); 107 суток с 1 июля по 12 октября (БСР-3); 50 суток с 1 августа по 20 октября (БСР-4).

В завершающий отрезок времени гидроцикла, - до 31 октября, независимо от водности гидрологического года и при обязательном предварительном снижении величины мутности путем отстаивания используемой для исследований воды речного стока р.Аксу, при проведении натурных опытов в долине реки во всех мини-бассейнах сезонного регулирования происходило повсеместное увеличение снижения скорости инфильтрации и уменьшения расхода инфильтрующейся воды:

- в БСР-1 от 1,30 до 0,81 м/сутки в течение 16 суток времени с 16 по 31 октября; в БСР-2 от 1,50 до 0,50 м/сутки в течение 18 суток времени с 13 по 31 октября;

-в БСР-3 от 0,70 до 0,50 м/сутки в течение 16 суток времени с 16 по 31 октября

в БСР-4 от 0,90 до 0,60 м/сутки) в течение 11 суток времени с 21 по 31 октября.

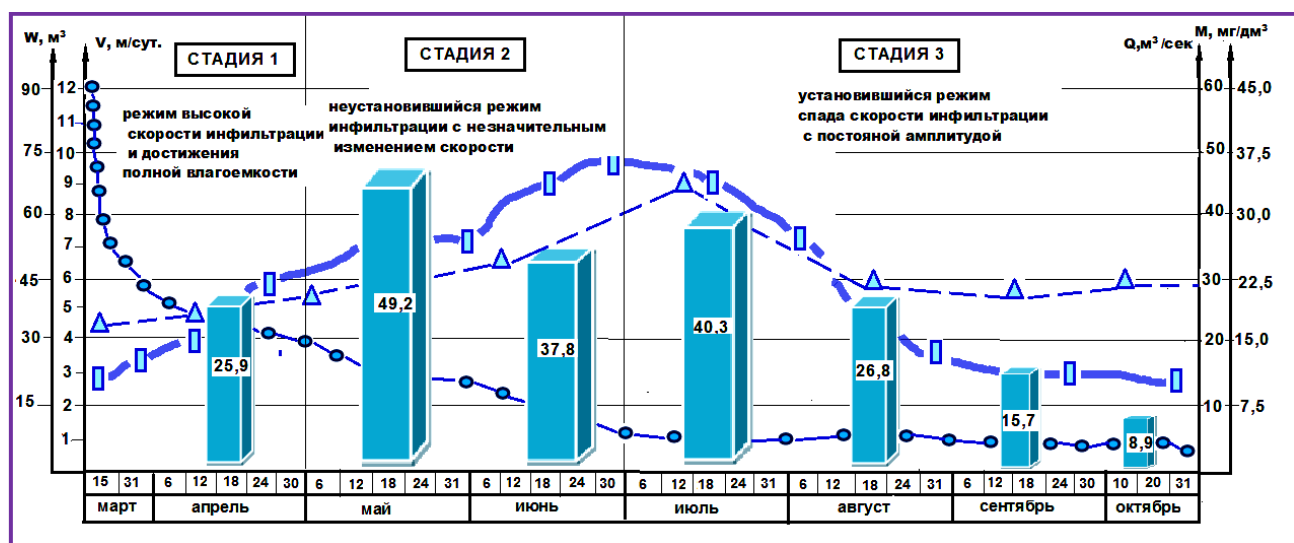


Рис. 6.6 - Совмещенные графики динамики скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и суммарной инфильтрации, построенные по результатам опытных исследований процессов колюматации в физической модели инфильтрационного бассейна на Аксуском репрезентативном участке (БСР-1), 2017 год

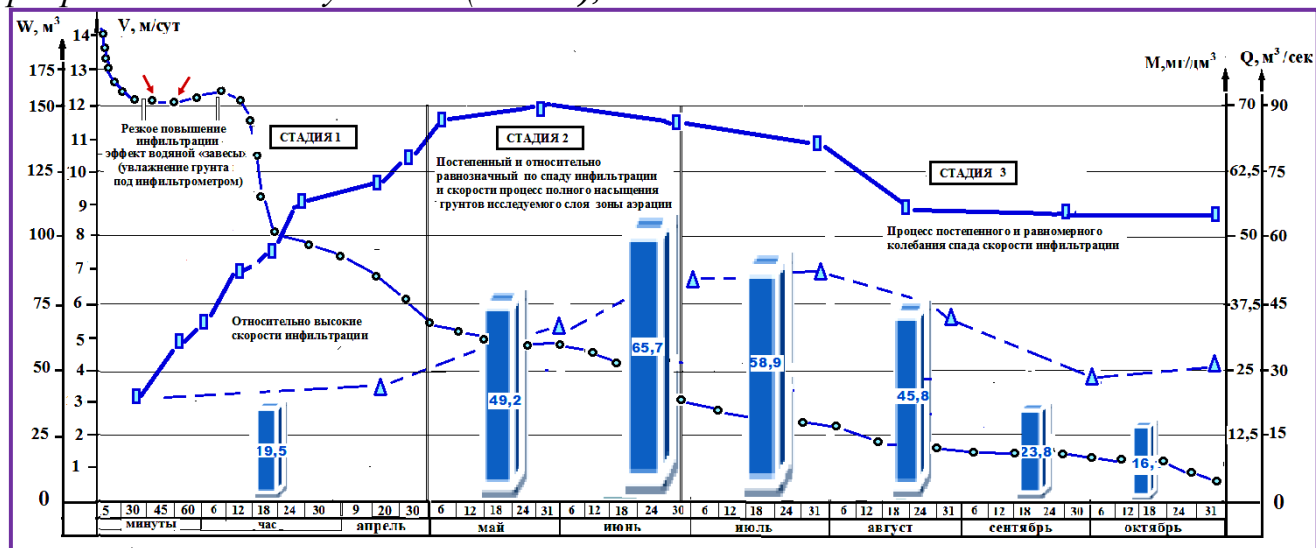


Рис. 7.6 - Совмещенные графики динамики скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и суммарной инфильтрации, построенные по результатам опытных исследований процессов колюматации в физической модели инфильтрационного бассейна на Аксуском репрезентативном участке (БСР-2) 2018 год

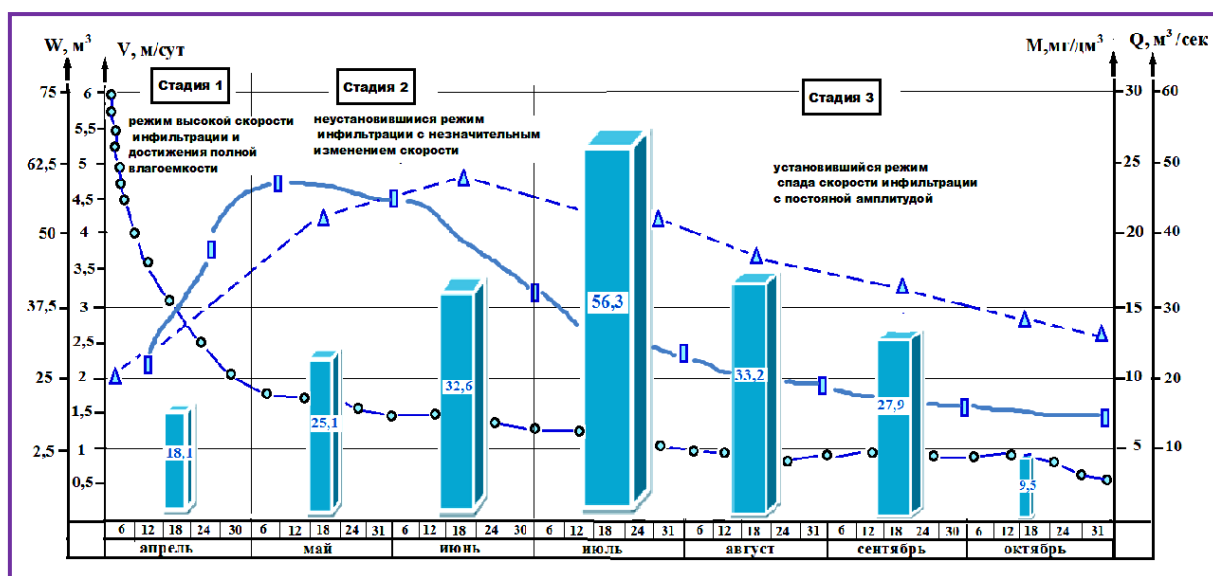


Рис. 8.6 - Совмещенные графики динамики скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и суммарной инфильтрации, построенные по результатам опытных исследований процессов кольматации в физической модели инфильтрационного бассейна на Аксуском репрезентативном участке (БСР-3) 2019 год

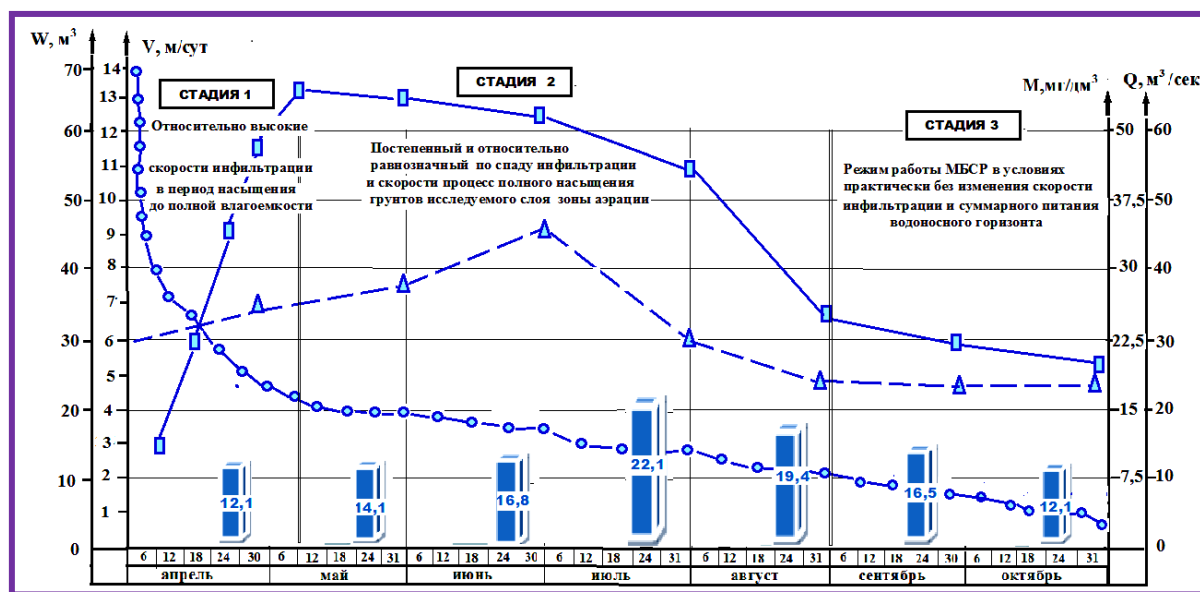


Рис. 9.6 - Совмещенные графики динамики скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и суммарной инфильтрации, построенные по результатам опытных исследований процессов кольматации в физической модели инфильтрационного бассейна на Аксуском репрезентативном участке (БСР-4) 2020 год

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

W - суммарная инфильтрация с 1 м² приведенной площади, м³

V - среднесуточная скорость инфильтрации, м/сутки,

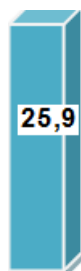
Q - среднемесячный расход воды речного стока р.Аксу, $\text{м}^3/\text{сек}$

M – среднемесячная величина мутности воды речного стока р.Аксу при средней водности, $\text{мг}/\text{дм}^3$

 - изолинии среднесуточной скорости инфильтрации, $\text{м}/\text{сутки}$,

 - изолинии суммарной инфильтрации с 1 м^2 приведенной площади, м^3

 - изолинии среднемесячной величины мутности воды речного стока р.Аксу, $\text{мг}/\text{дм}^3$

 - блок и среднемесячный расход воды речного стока р.Аксу при средней водности года, $\text{м}^3/\text{сек}$

Дополнительным подтверждением высоких водопропускных способностей нерасчлененных современных и верхнечетвертичных (aQ_{III-IV}) песчаных отложений, слагающих низкие надпойменные террасы р.Аксу, а также среднечетвертичных отложений (aQ_{II}), слагающих плоскую аккумулятивную и мелкобугристую равнину, является относительная однородность их гранулометрического состава (коэффициент неоднородности как значение выраженное отношением диаметра шестидесяти (d_{60}) к действующему диаметру (d_{10}) гранулометрического состава всех исследуемых грунтов не превышал 3,0), который характеризуется равномерным распределением крупных фракций и малой долей суглинков и супесей.

Выводы по подразделу 6.2

Полученные параметры научных прикладного характера натурных исследований формирования динамики инфильтрации в физических моделях инфильтрационных бассейнов для ИВЗПВ дают полное основание констатировать о сохранении хорошей водопропускной способности исследуемых грунтов зоны аэрации и подстилающих водоносный горизонт отложений, сложенных разнородными песками с включениями гравия, гальки.

Об этом же свидетельствуют и полученные расчетные значения удельных расходов, которые в завершающий отрезок времени гидроцикла (31 октября) при проведении исследований составляли от 0,86 (БСР-4) до 0,75 – 0,80 (БСР-1, БСР-2) $\text{м}^3/\text{сутки}$ с одного квадратного метра приведенной поверхности инфильтрации. Исключение составили грунты БСР-3, где этот показатель снижается до 0,50 $\text{м}^3/\text{сутки}$ с 1 м^2 приведенной поверхности инфильтрации, так как литологический разрез представлен глинистыми песками с прослойками супесей, обладающими средней водопропускной способностью.

Таким образом, значения скорости инфильтрации и удельной водоотдачи, полученные к концу опытных работ, отражают в полной мере позитивные фильтрационные возможности грунтов зоны аэрации и постилающих пород первых от поверхности водоносных горизонтов в течение всего фильтоцикла работы инфильтрационных бассейнов сезонного регулирования в долине р.Аксу на всем протяжении в граничных условиях репрезентативного участка, позволяющие обосновано рекомендовать применение унифицированных полученных данных для однотипных рек Юго-Восточного Казахстана.

6.3 Результаты опытных исследований скорости инфильтрации, удельной водоотдачи, поверхностей инфильтрации при изучении процессов кольтматации на Лепсинском опытно-экспериментальном участке

Для проведения опытных исследований скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и изучения процессов кольтматации, в центре экспериментального участка на расстоянии 650 м от уреза воды в р. Лепсы был пройден и оборудован уникальный шурф (Рис 10.6), имитирующий в уменьшенном масштабе инфильтрационный бассейн суточного регулирования (детальная характеристика организации участков, состава и методики проведения опытных исследований процессов кольтматации приведена в разделе).

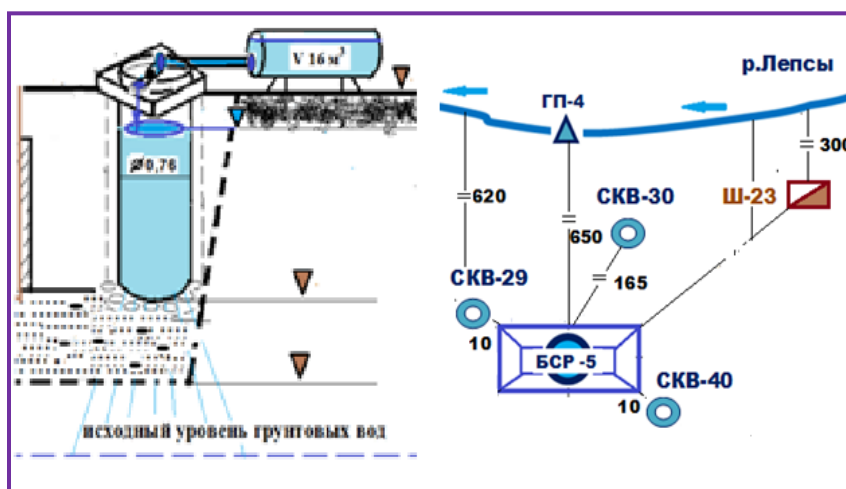


Рис10.6 Фрагменты совмещенных схем компоновки гидрогеологических, инженерно-геологических и гидрометрических пунктов, оборудования по изучению процессов инфильтрации и кольтматации на Лепсинском репрезентативном участке

Результаты опытов в табличной форме (Приложение П) и в виде совмещенных графиков динамики скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации, суммарной инфильтрации, среднемесячных расходов и величин мутности речного стока по изучению процессов кольтматации на Лепсинском экспериментальном участке показаны на Рис11.6.

Из них следует, что по характеру динамики вычисленных значений по данным замеренных расходов воды на инфильтрацию в единицу времени и кривых изменения скоростей инфильтрации за весь период проведения опытно-экспериментальных исследований они практически идентичны полученным данным на Аксуском участке исследований, который и был избран как

репрезентативный в режиме работы всех инфильтрометров и сделанные выводы позволяют обосновано рекомендовать применение унифицированных полученных данных для однотипных рек Юго-Восточного Казахстана.

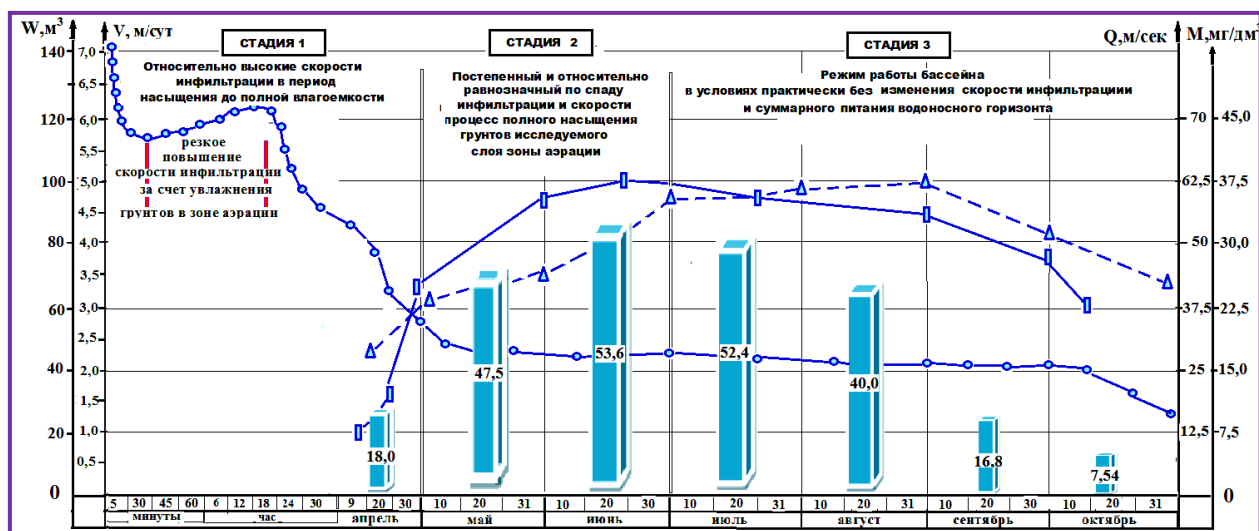


Рис.11.6.- Совмещенные графики динамики скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и суммарной инфильтрации, построенные по результатам опытных исследований процессов кольятации в физической модели инфильтрационного бассейна на Лепсинском репрезентативном участке (БСР-5) 2019 год

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

W - суммарная инфильтрация с 1 м² приведенной площади, м³

V - среднесуточная скорость инфильтрации, м/сутки,

Q - среднемесячный расход воды речного стока р.Лепсы, м³/сек

M – среднемесячная величина мутности воды речного стока р.Лепсы при средней водности, мг/дм³

—●— - изолинии среднесуточной скорости инфильтрации, м/сутки,

—■— - изолинии суммарной инфильтрации с 1 м² приведенной площади, м³

—▲— - изолинии среднемесячной величины мутности воды речного стока р.Лепсы, мг/дм³

25.9 - блок и среднемесячный расход воды речного стока р.Лепсы при средней водности года, м³/сек

6.4. Результаты опытных исследований скорости инфильтрации, удельной водоотдачи, поверхностей инфильтрации при изучении процессов кольтмации на Каратал-Коксуском экспериментальном участке

Изучение скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и процессов кольтмации выполнялись в специально оборудованном инфильтрационном мини-бассейне на выбранном оптимальном для этих целей выравненном участке, расположенном на II – ой надпойменной террасе в 80 метрах в юго-западном направлении от русла реки Коксу (Рис 12.6).

Опытные исследования были проведены с 1 апреля по 31 октября 2019 года при 50% - ой водобеспеченности гидрологического года.

Наливы велись при поддержании постоянного уровня 0,2 м и столба воды 1,8 м в инфильтрометре диаметром 760 мм, с площадью сечения инфильтрации 0,44 м².

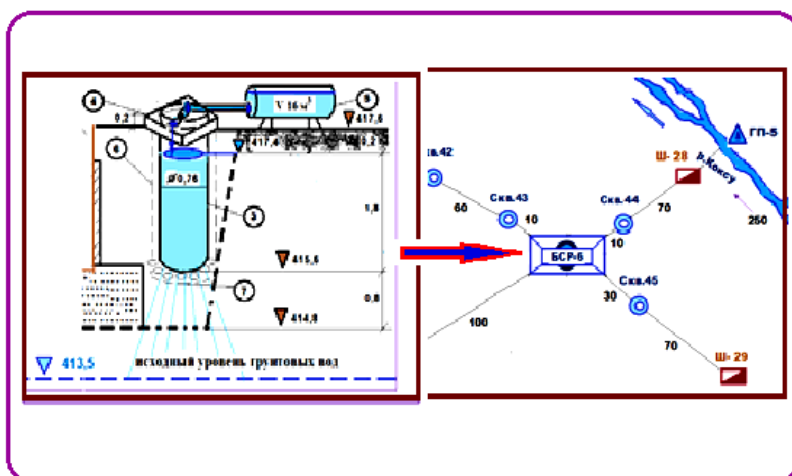


Рис 12.6 - Схема состава и параметров оборудования для проведения опытных исследований скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и изучения процессов кольтмации на Каратал-Коксуском участке.

Результаты опытов и совмещенные графики динамики скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации, суммарной инфильтрации, среднемесячных расходов и величин мутности речного стока по изучению процессов кольтмации на Каратал-Коксуском экспериментальном участке показаны в табличной форме (Приложение Р) и на Рис. 13.6.

Из них следует, что по характеру динамики вычисленных расходов воды на инфильтрацию в единицу времени и кривых изменения скоростей инфильтрации за весь период проведения опытно-экспериментальных исследований установлены три основные стадии в режиме работы инфильтрометра:

- первая начальная стадия характеризуется неустановившимся режимом работы инфильтрометра, включая период насыщения и достижения полной влагоемкости, но с более высокими скоростями инфильтрации и более меньшей продолжительностью, чем в аналогичных исследованиях, проведенных на Аксуском репрезентативном и Лепсинском экспериментальном участках по изучению процессов кольтмации. В частности, в БСР-1 (исследования проводились в 2017 году), первая стадия с неустановившимся режимом работы

инфильтрометра, установленного в разнородных песках с включением гравия до 30% продолжалась с 15 марта по 30 апреля и составила 47 суток, а среднесуточная величина скорости инфильтрации за этот период имела стабильную тенденцию к снижению от 12 до 4 м/сутки. В БСР-5 (исследования проводились в 2018 году), первая стадия с неустойчивым режимом работы инфильтрометра, установленного в разнородных песках с включением до 20 % мелкого гравия продолжалась с 1 по 30 апреля и составила 30 суток, но изначальная среднесуточная скорость инфильтрации была всего 7 м/сутки и за этот же период снизилась до 2,7 м/сутки.

В нашем случае, неустойчивый режим работы инфильтрометра в гравийно-галечниках с супесчаным заполнителем за этот же период составила более высокие значения и снизилась от 12 до 6 м/сутки;

- вторая стадия характеризовалась продолжающимся неустойчивым режимом работы инфильтрометра и процессами полного насыщения грунтов исследуемого слоя зоны аэрации в течение двух месяцев в условиях постепенного и относительно равномерного спада расхода на инфильтрацию и скорости инфильтрации от 6,0 до 4,1 м/сутки с 1 мая по 30 июня;

- в третью стадию наблюдалось продолжающийся неустойчивый режим работы инфильтрометра в условиях постепенного и относительно равномерного спада и изменений скорости инфильтрации от 4,1 до 2,0 м/сутки продолжительностью 92 суток с 1 июля по 30 сентября. В завершающий отрезок времени гидроцикла до 31 октября было зафиксировано интенсивное снижение скорости инфильтрации и уменьшение расхода инфильтрующейся воды от 2,0 до 0,8 м/сутки.

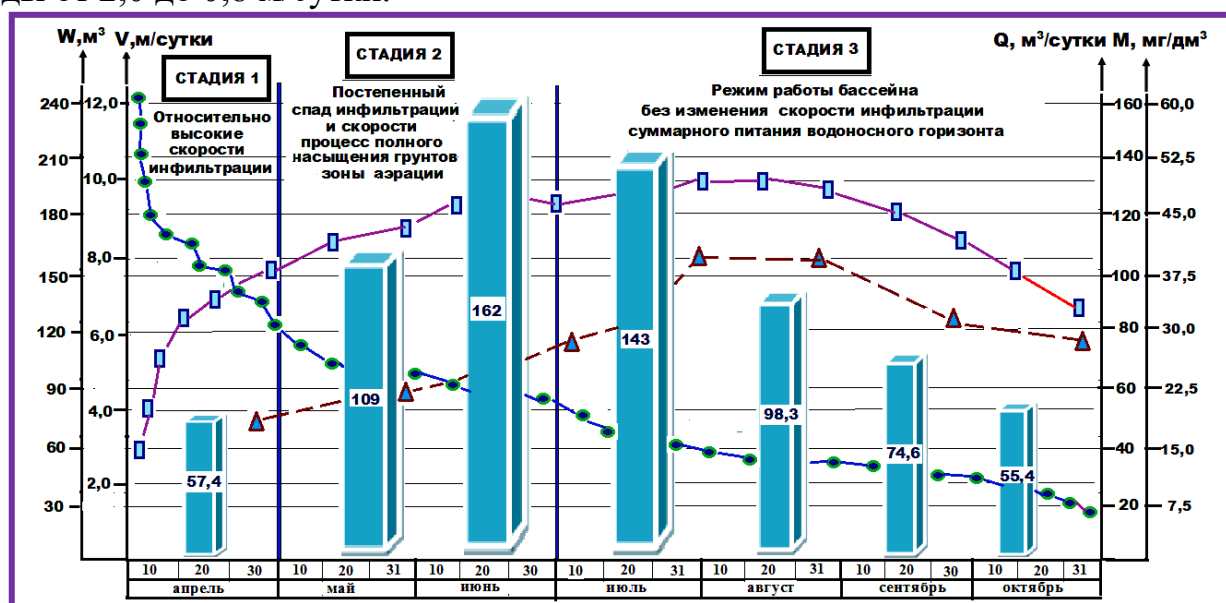


Рис. 13.6.- Совмещенные графики динамики скорости инфильтрации, удельной водоотдачи поверхностей инфильтрации и суммарной инфильтрации, построенные по результатам опытных исследований процессов кольтации в физической модели инфильтрационного бассейна на Каратал –Коксуском репрезентативном участке исследований процессов кольтации

6.5 Натурные исследования динамики формирования осадочного слоя на дне инфильтрометров, процессов глубинной кольтматации фильтрующего слоя и их влияния на производительность инфильтрационных сооружений

В практике искусственного восполнения подземных вод следует различать такие понятия, как грязеемкость, кольтматация, заиление, схема пленочной фильтрации, фильтроцикл и т.д.

На всех типах инфильтрационных сооружений в процессе искусственной подачи сырой воды проявляются процессы кольтматации фильтрующего слоя и заиления пород зоны аэрации [46,33,55,56,22 и др.].

При проведении экспериментальных исследований по изучению процессов кольтматации на созданных системах мини-бассейнов в равнинной части стока рек Аксу, Лепсы и Коксу, регионы которых являются наиболее перспективными для ИВЗПВ в условиях нарастающего дефицита водных ресурсов в Юго-Восточном Казахстане, в течение ряда лет выполнен комплексный мониторинг исходных параметров таких как режимные замеры расхода воды, определение мутности подаваемой воды, толщины и объемной массы скелета илистого осадка, грязеемкости подстилающих первый от поверхности водоносный безнапорный горизонт, или величины удельной площадной насыщенности грунта илистой и глинистой массой при фильтрации речной воды отложений объемной массы скелета илистого осадка и т.д.

Количественная оценка степени заиления инфильтрационных сооружений позволила установить закономерности изменения во времени инфильтрационного расхода в зависимости от мутности подаваемой воды, высоты напора, фильтрационных свойств закольтмированного слоя пород и других факторов, а также определить продолжительность периода работы инфильтрационных сооружений от начала восполнения до их завершения.

Натурные исследования в граничных условиях физических моделей инфильтрационных бассейнов открытого типа выполнены с использованием современных диагностических приборов и лабораторного оборудования и обоснованных на существующих в мировой практике современных технологических подходах к данной проблеме.

Многообразие факторов, оказывающих решающее значение на кольтматацию пород и сооружений искусственной инфильтрации, позволяет выделить несколько видов процесса кольтматации: механическую, физико-химическую и биологическую. В свою очередь, каждый из названных видов имеет свои особенности, связанные с глубиной развития процесса и обуславливающими его причинами

Для аридных условий Юго-Восточного Казахстана ведущую роль имеет механическая кольтматация, обусловленная переносом паводковыми водами продуктов физического выветривания[22].

Мощность зоны кольтматации зависит от гранулометрического состава рыхлых грунтов, их грязеемкости, напора подаваемой на инфильтрацию-воды, ее мутности и гранулометрического состава взвешенных частиц.

При постоянстве создаваемого напора воды глубина проникания кольматирующей взвеси зависит в основном от размера пор фильтрующего слоя и гранулометрического состава взвешенных частиц.

Количественное определение в образовавшихся осадках на дне инфильтрометров после завершения фильтроциклов во всех физических моделях инфильтрационных мини - бассейнах содержания элементарных механических частиц выполнено пипеточным методом в аккредитованной лаборатории института гидрогеологии и геоэкологии имени У.М. Ахмедсафина.

При выделении фракций пыли и ила в основу была положена скорость падения частиц в воде, т.е. их гидравлическая крупность, которая определена по формуле Стокса[58].

Для классификации грунтов по механическому составу использован метод Н.Б. Сибирцева, который ввел деление частиц на физический песок – частицы более 0,05 мм и физическую глину- частицы менее 0,05 мм, широко используемый в настоящее время[58].

При обработке полученных данных механического анализа процентного содержания фракций сформировавшихся осадков в основании инфильтрометров физических моделей мини - инфильтрационных бассейнов использована классификация Н.А.Качинского[57]:

0,25 – 0,05 песок мелкий
 0,05- 0,01 пыль крупная
 0,01- 0,005 пыль средняя
 0,005 -0,001 пыль мелкая
 Менее 0,001 ил
 0,001 – 0,0005 глинистый ил

Вычисления содержания фракций в % были выполнены по формуле[57]:

$$X = \frac{a \times 1000 \times 100}{b \times m} \% \quad \text{где:}$$

X - искомая фракция в % меньше нужного размера (к примеру: меньше 0,05мм; меньше 0,01 и т.д.);

a — вес фракции меньше искомого размера, грамм;

b – объем пипетки, мл;

m – вес абсолютно сухой навески, взятой для проведения анализа, грамм.

Вес фракций определенного размера (0,05-0,01мм; 0,01- 0,005 мм; 0,005 - 0,001 мм и менее 0,001 мм) находился путем вычитания из веса или процентного содержания предыдущей фракции веса или процентного содержания последующей [57,62].

Таблица 1.6 -Данные механического анализа процентного содержания фракций сформировавшихся осадков в основании инфильтрометров физических моделей мини инфильтрационных бассейнов

№, № п/п	Мини- бассейн	Наименование осадка	Эффективный диаметр механических элементов	Размер фракций,мм					Сумма частиц	
				0,25- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	менее 0,001	более 0,01	менее 0,01

			осадка							
1	БСР-1 р.Аксу	Илистая глина	0,001-0,0005	14,20	23,60	6,80	24,65	30,75	37,80	62,20
2	БСР-2 р.Аксу	Илистая глина	0,001-0,0005	15,15	20,46	9,10	26,13	29,16	35,61	64,39
3	БСР-3 р.Аксу	Глинистый ил	0,001-0,0005	7,30	16,40	10,20	19,60	46,50	23,70	76,30
4	БСР-4 р.Аксу	Илистая глина	0,001-0,0005	11,44	22,15	8,65	29,60	28,16	33,59	66,41
5	БСР-5 р.Лепсы	Глинистый ил	0,001-0,0005	6,95	19,84	12,45	17,33	43,43	26,79	73,21
6	БСР-6 Р.Коксу	Илистая глина	0,001-0,0005	12,10	20,80	8,95	32,99	25,16	32,90	67,10

По полученным результатам о грязеемкости песка, установленным экспериментальным путем на физических моделях инфильтрационных бассейнов открытого типа, была определена продолжительность периода глубинной кольматации для всех вскрытых и опробированных геолого-литологических горизонтов по зависимости [46]:

$$T_k = \frac{G}{V_{cp} \times M}$$

где:

T_k – продолжительность периода глубинной кольматации грунта, сут. ;

V_{cp} - средняя скорость инфильтрации для данного периода, определенная по построенным графикам результатов камеральной обработки полевых экспериментальных исследований процессов кольматации в наиболее перспективных регионах Юго-Восточного Казахстана в бассейнах рек Аксу, Лепсы и Коксу, м/сут.;

M - мутность поступающей воды, кг/м³,

G - грязеемкость пород, подстилающих первый от поверхности водоносный безнапорный горизонт, кг/м².

Грязеемкость пород или величина удельной площадной насыщенности грунта илистой и глинистой массой при фильтрации мутной воды была определена, исходя из общего баланса поступившей в мини инфильтрационные бассейны массы взвешенных в воде частиц(46):

$$G = \frac{Q \times T \times M}{1000 \times F} - 10^3 \times m_0 \times \delta$$

где: Q - средний расход на инфильтрацию, м³/сут;

T - общая продолжительность подачи воды, сут;

M - средняя мутность, мг/л;

F - фильтрующая поверхность грунта, м²;

m - средняя фактическая толщина илистого осадка, м;

δ - объемная масса скелета илистого осадка, г/см³.

Объемная масса скелета определена в аккредитованной лаборатории термостатно-весовым методом на образцах осадочного слоя, отобранных без

нарушения его структуры в трехкратной повторности после завершения фильтроцикла и опорожнения остаточной сырой воды с поверхности основания из инфильтрометров, с помощью стального режущего кольца и последующей транспортировки в опечатанных и герметизированных маркированных бьюксах для выполнения лабораторных и аналитических исследований [56].

Объемный вес илистого осадка определен по формуле [56]):

$$Y = \frac{P_1 - P_2}{V}$$

где: P_1 - вес влажного грунта с бьюксом и крышкой, г;

P_2 - вес пустого бьюкса с крышкой, г;

V - объем илистого осадка, см³.

Весовая влажность осадка определена высушиванием пробы до постоянного веса.

Затем была подсчитана объемная масса скелета илистого осадка [56] :

$$Y_{ск} = \frac{Y}{1 + \frac{W}{100}}$$

где W - весовая влажность грунта, %.

Ниже приведены выполненные расчеты грязеемкости пород или величины удельной площадной насыщенности грунта илистой и глинистой массой (кг/м²) с использованием фактических натурных данных всех параметров, входящих в состав эмпирической формулы, по результатам камеральной обработки полевых экспериментальных исследований процессов кольматации в наиболее перспективных регионах Юго-Восточного Казахстана в бассейнах рек Аксу, Лепсы и Коксу:

1. Аксуский экспериментальный участок исследований кольматации

$$\text{- БСР-1} \quad \frac{0,75 \times 230 \times 23}{1000 \times 0,44} - 10^3 \times 0,004 \times 0,75 = 5,25$$

$$\text{- БСР -2} \quad \frac{0,60 \times 213 \times 29}{1000 \times 0,44} - 10^3 \times 0,006 \times 0,75 = 3,92$$

$$\text{- БСР - 3} \quad \frac{0,50 \times 214 \times 25}{1000 \times 0,44} - 10^3 \times 0,003 \times 0,75 = 3,83$$

$$\text{- БСР - 4} \quad \frac{0,64 \times 214 \times 24}{1000 \times 0,44} - 10^3 \times 0,0050 \times 0,75 = 3,72$$

2. Лепсинский экспериментальный участок исследований кольматации

$$\frac{0,75 \times 214 \times 30}{1000 \times 0,44} - 10^3 \times 0,064 \times 0,81 = 5,76$$

- БСР - 5

3. Каратал-Коксуский экспериментальный участок исследований кольматации

$$\text{- БСР - 6} \quad \frac{1,08 \times 214 \times 28}{1000 \times 0,44} - 10^3 \times 0,0138 \times 0,83 = 3,74$$

Продолжительность периода глубинной кольматации в сутках для всех вскрытых и опробованных геолого-литологических горизонтов составила:

1 Аксуский экспериментальный участок исследований кольматации

$$\text{- БСР -1} \quad \frac{5,25}{1,12 \times 0,023} = 114$$

$$\text{- БСР - 2} \quad \frac{3,92}{1,38 \times 0,029} = 98$$

$$\text{- БСР -3} \quad \frac{3,83}{0,68 \times 0,025} = 168$$

$$\text{- БСР - 4} \quad \frac{3,72}{1,00 \times 0,024} = 155$$

2 Лепсинский экспериментальный участок исследований кольматации

$$\text{- БСР - 5} \quad \frac{5,76}{0,98 \times 0,030} = 195$$

3. Каратал-Коксуский экспериментальный участок исследований кольматации

$$\text{- БСР - 6} \quad \frac{3,74}{1,05 \times 0,028} = 127$$

Величина сформировавшейся толщины илистой пленки была определена инструментальным способом непосредственно сразу после завершения подачи в инфильтрометры физических моделей и естественного стока сырой воды из мини - инфильтрационных бассейнов.

Динамика формирования илистой пленки на дне бассейнов в течение всей продолжительности фильтроцикла и по его завершении была прослежена и в последующем вычислена по основным параметрам, исходя из следующей зависимости [56].

где:

$$d\delta = \frac{M \times q \times d \times t}{Y_{ск}}$$

δ - толщина пленки, м;

M - содержание взвешенных частиц (ее мутность), кг/ м³ ;

$Y_{ск}$ - объемная масса скелета пленки, кг /м³;

t - время, сутки.

q - скорость инфильтрации (расход, отнесенный к единице площади), м/сутки;

Сводные характеристики основных параметров формирования динамики инфильтрации, кольматации и илистого слоя при проведении натурных исследований в физических моделях инфильтрационных бассейнов для искусственного восполнения запасов подземных вод на территории Юго-Восточного Казахстана приведены в Таблице(Приложение С).

Результаты выполненных мониторинговых исследований и расчетов формирования илистой пленки на дне бассейнов в течение всей продолжительности фильтроцикла с использованием полученных натурных значений параметров использованы при составлении наглядных графиков динамики формирования толщины илистой пленки, интегрированной по стадиям режимов работы физических моделей инфильтрационных бассейнов на репрезентативных участках научных исследований процессов кольматации в Юго-Восточном Казахстане (Рис 14.6,15.6)

Результаты выполненных расчетов сформировавшейся толщины илистой пленки с использованием полученных натурных значений параметров, входящих в состав вышеприведенной эмпирической формулы, в конце фильтроцикла при прекращении подачи воды в инфильтрометр и после завершения его опорожнения естественным путем приведены ниже:

1 Аксуский экспериментальный участок исследований кольматации

$$\text{- БСР -1} \quad \frac{0,75 \times 230 \times 23 \times 0,001}{0,75} = 0,0053$$

$$\text{- БСР - 2} \quad \frac{0,60 \times 213 \times 29 \times 0,001}{0,75} = 0,0049$$

$$\text{- БСР -3} \quad \frac{0,50 \times 214 \times 25 \times 0,001}{0,75} = 0,0036$$

$$\text{- БСР - 4} \quad \frac{0,64 \times 214 \times 24 \times 0,001}{0,75} = 0,0044$$

2 Лепсинский экспериментальный участок исследований кольматации

$$\text{- БСР - 5} \quad \frac{0,95 \times 214 \times 30 \times 0,001}{0,81} = 0,0075$$

3. Каратал-Коксуский экспериментальный участок исследований кольматации

$$\text{- БСР - 6} \quad \frac{1,82 \times 214 \times 28 \times 0,001}{0,83} = 0,0132$$

Для сопоставления результатов определения величины илистого слоя, образовавшегося в течение полного времени поддержания в инфильтрометрах мини- бассейнов постоянного уровня (гидравлического напора) использовано два метода – непосредственного отбора пробы с ненарушенной структурой в основании прибора и последующего замера ее толщины, и путем вычисления по выше приложенному детальному расчету с использованием натурных параметров, полученных в процессе проведения опытных исследований(Таблица ..).

Таблица 2.6 - фактические и расчетные данные значения толщины илистого слоя

№.№ БСР	Наименование осадка	Полученные значения толщины илистого слоя,мм			Значения коэффициента корреляции
		фактически замеренный	по эмпирической формуле	Разница с фактическим замером(+,-)	
1	Илистая глина	40,4	53,0	+ 12,6	0,76
2	Илистая глина	60,0	49,0	-11,0	0,82
3	Глинистый ил	30,0	27,0	-3,0	0,90
4	Илистая глина	50,0	53,0	+3,0	0,90
5	Глинистый ил	64,0	125,0	+61,0	0,51
6	Илистая глина	112,0	126,0	+14,0	0,89

Приведенные фактические и расчетные данные показывают, что полученные значения толщины илистого слоя удовлетворительно согласуются; практически все значения коэффициента корреляции находятся в пределах допустимых (расхождения до 10 – 14 %); полевые натурные исследования вполне достоверны и выполнены с достаточно высокой степенью точности.

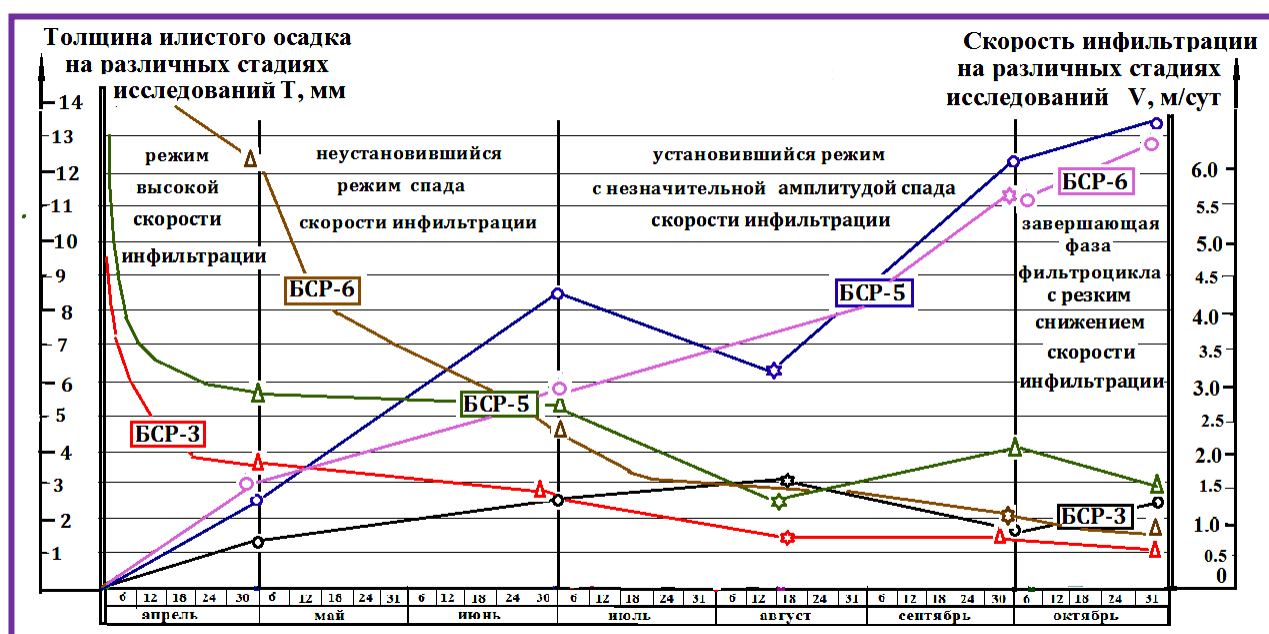
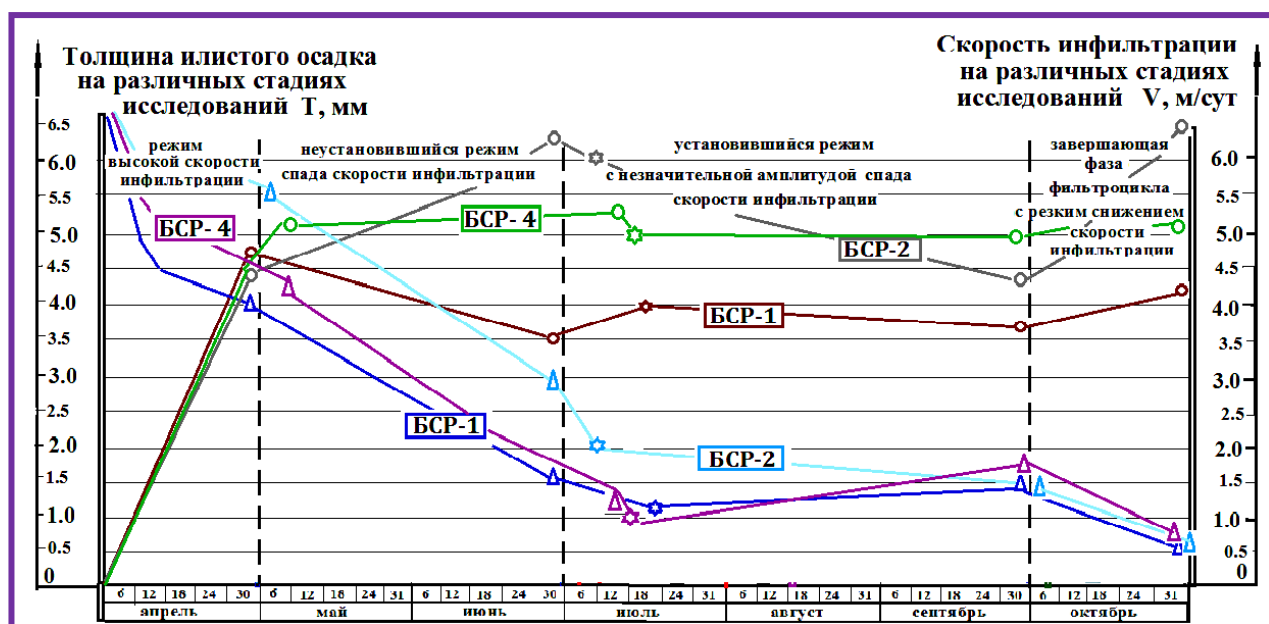


Рис.14.6,15.6 – Графики динамики формирования толщины илистой пленки, интегрированной по стадиям режимов работы физических моделей инфильтрационных бассейнов на репрезентативных участках научных исследований процессов коагуляции в Юго-Восточном Казахстане

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1. Изолинии динамики формирования толщины осадочного слоя в основании инфильтрометров физических моделей мини-инфильтрационных бассейнов:

— - БСР-1

— - БСР-2

— - БСР-3

 - БСР- 4

 - БСР- 5

 - БСР-6

2. Изолинии динамики скоростей инфильтрации по стадиям режимов работы физических моделей инфильтрационных бассейнов

 - БСР-1

 - БСР-2

 - БСР - 3

 - БСР- 4

 - БСР -5

 - БСР – 6

3. Точечные значения замеренных соответственно скоростей инфильтрации и рассчитанных значений толщины осадочного слоя в завершающую стадию формирования глубинной кольтмации фильтрующей поверхности в подстилающих водоносный горизонт отложениях зоны аэрации

 БСР-1  БСР - 2  БСР-3  БСР- 4  БСР-5  БСР-6
     

7. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИНФИЛЬТРАЦИИ НА АКСУСКОМ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОМ УЧАСТКЕ НА БАЗЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА HYDRUS-1D

7.1 Основные цели и задачи моделирования

Основной целью моделирования с использованием программного комплекса "Visual MODFLOW Pro" являлось уточнение гидродинамических и водно-балансовых характеристик экспериментального участка, а также прогноз понижений уровней подземных вод в сети водозаборных скважинах, расположенных на пастбищных массивах в пределах участка [76,78].

В процессе моделирования решались следующие задачи:

- создание и калибровка численной модели фильтрации подземных вод верхнего безнапорного водоносного горизонта с учетом основных гидрогеолого-мелиоративных условий участка исследований;
- оценка изменения балансовых составляющих потока подземных вод в течение 2018-2020 гг;
- прогнозная оценка изменений глубины залегания уровня грунтовых вод, а также балансовых составляющих потока подземных вод, в условиях водоотбора из скважин, расположенных на водопойных пунктах.

Модель гидрогеологических условий экспериментального участка создавалась на основании исходных данных, включающих в себя:

- карту фактического материала, обзорную гидрогеологическую карту масштаба 1: 200000, карту гидроизогипс и отметок подошвы водоносного горизонта аллювиальных нерасчлененных современных и верхне четвертичных отложений (al Q_{III-IV});
- данные по значениям коэффициента фильтрации, водоотдачи и пористости водоносного горизонта, полученным по результатам опытно-фильтрационных работ и полевых исследований, выполненных в разное время на участке;
- данные режимных наблюдений за уровнем подземных вод по сети наблюдательных скважин за период с 2018 по 2020 годы;
- данные по атмосферным осадкам в районе, среднемесячные значения эвапотранспирации по отдельным зонам, выделенным в пределах экспериментального участка на основании распространения растительности, за период с 2018 по 2020 годы.
- данные по отметкам уровня воды, ширины русла и средней мощности водного потока в русле р. Аксу и р. Акозек в отдельных створах в пределах экспериментального участка.
- схему расположения и режим водоотбора из проектируемых эксплуатационных скважин на пастбищных массивах.

7.2 Геофильтрационная схематизация области фильтрации

Фильтрационная схема модели включает один водоносный горизонт (модельный слой). Водоносный слой модели представляет собой нерасчлененные современные и верхнечетвертичные отложения, представленные песками, супесями, песчано-гравийно-галечными отложениями

с прослоями суглинков, глин и алевролитов.

Общая мощность водоносного слоя четвертичных отложений колеблется от 50-60 до 100-110 м, постепенно увеличиваясь к югу от русла р. Аксу до р. Аkozек.

Нижняя граница (подошва) модели проходит по кровле глинистых слабопроницаемых средне и нижнечетвертичных отложений, а также Илеской свиты неогена, представленных плотными глинами, являющихся региональным относительным водоупором.

Геофльтрационная компьютерная модель экспериментального участка была создана в пределах следующих границ (Рис 1.7). Северная граница модели представлена руслом реки Аксу, а южная – рекой Аkozек. С восточной стороны участок ограничен ординатой в створе и перпендикулярно погребенному руслу р.Аксу, а с западной –устьем р. Аkozек, впадающей в реку Аксу.

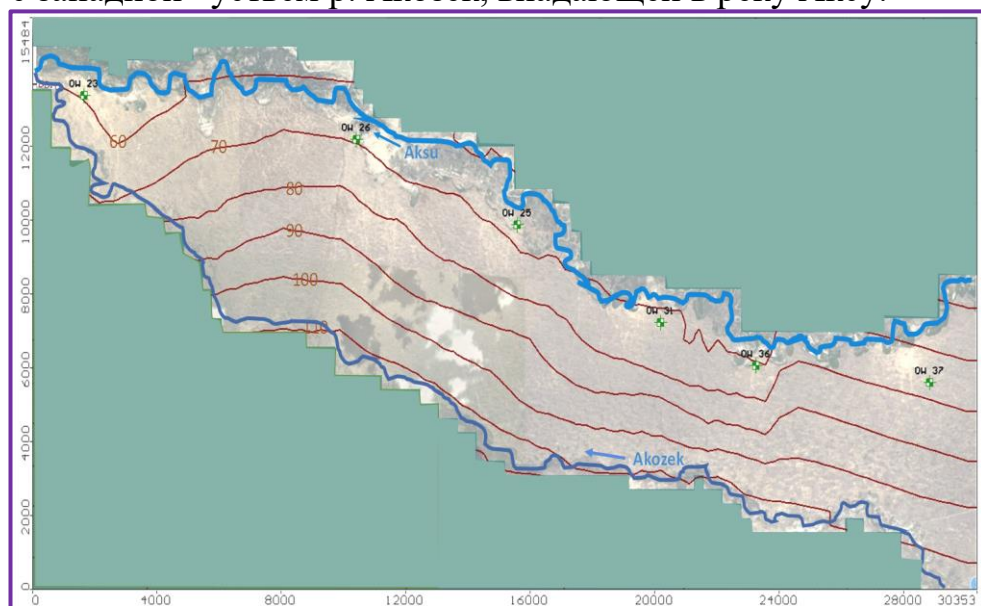


Рис. 1.7 - Внешние границы модели Аксуского экспериментального участка и мощности моделируемого водоносного горизонта.

Область модели была разбита на прямоугольную сетку размерностью 81 на 37 вычислительных блоков и составляла в сумме 2997 вычислительных блоков. Шаги сетки по осям неравномерные и изменяются от 590 до 310 м по оси X и от 740 до 370 м по оси Y. Таким образом, максимальная площадь вычислительного блока составляла 0.4366 кв. км, а минимальная – 0,1147 кв.км. Минимальный шаг вычислительной сетки задавался там, где требовалось получение детальной информации, а максимальный шаг сетки задавался в восточной и западной областях модели экспериментального участка.

В качестве граничных условий на модели были заданы:

- расход потока грунтовых вод водоносного горизонта поступающего в модель через восточную границу;
- разгрузка/питание подземных вод в/из рек Аксу и Аkozек;
- инфильтрация жидких атмосферных осадков в период с апреля по ноябрь месяц;
- эвапотранспирация или внутригрунтовое испарение с уровня подземных

вод;

Расход потока, поступающий в модель через западную границу модели задавался в виде граничных условий 1-го рода (постоянный напор) с отметками напора, отражающих их изменение по границе, в соответствии с картой гидроизогипс на начало 2018 года. Так как в многолетнем разрезе эти отметки напоров подземных вод оставались практически неизменными во времени, эти значения напоров были приняты постоянными для всего временного периода расчетов на модели.

Учитывая тесную гидравлическую связь между уровнем воды в реке Аксу и уровнями грунтовых вод водоносного горизонта, северная граница модели (по реке Аксу) схематизировалась в виде линейной границы с переменным по длине реки напором, как граничное условие 1-го рода (ГУ- I). Значения напоров по границе принималось равным среднемноголетним значениям уровня воды в реке (в абсолютных отметках) и оставались постоянными для всего временного периода расчетов на модели.

Южная граница модели по реке Акозек, учитывая, временный в течение года речной сток, задавалась в виде граничных условий 3 -го рода – “ Река “ (ГУ – III), в соответствии с требованиями программного комплекса "Visual MODFLOW Pro". Данные граничные условия имитировали разгрузку или питание подземных вод из реки или в реку. Расход воды поступающий в водоносный горизонт из реки (питание) или поступающий в реку из водоносного горизонта (разгрузка) рассчитывался программой в зависимости от разности отметок уровня воды в реке и отметкой дна речного русла в данном граничном блоке модели.

Эвапотранспирация на модели задавалась по всей площади модели в виде граничного условия (ET) в соответствии с требованиями программного комплекса "Visual MODFLOW Pro". Граничное условие "эвапотранспирация" учитывает связь между количеством воды, расходуемой на эвапотранспирацию и глубиной залегания уровня грунтовых вод от поверхности земли в виде прямолинейной зависимости. Расход воды на эвапотранспирацию рассчитывался автоматически программным комплексом на каждый временной шаг в зависимости от глубины залегания УГВ. Максимальный расход воды на эвапотранспирацию рассчитывался при условии подъема УГВ на дневную поверхность и соответствовал величине испаряемости с водной поверхности. При снижении УГВ расход воды на эвапотранспирацию сокращался в прямолинейной зависимости от глубины залегания УГВ и при достижении критической глубины залегания УГВ, расход воды на эвапотранспирацию составлял нулевое значение. Значение критической глубины залегания УГВ ($h_{кр}$) было задано равным 1.5 м от поверхности земли и соответствовало преобладающему литологическому составу зоны аэрации. Среднемноголетние значения испаряемости задавались по месяцам с марта по ноябрь месяц, в мм/год по зонам, учитывающим распределение растительного покрова, и варьировало от 63 до 72 мм/год для ноября месяца и от 1215 до 1989 мм/год в августе.

Атмосферные осадки задавались на модель как распределенное по площади питание, поступающее на УГВ. Учитывая глубину залегания УГВ на участке и высокие температуры в летний период, начальная величина площадного питания задавалось в размере 15% от суммарного месячного слоя, выпавших атмосферных осадков и в дальнейшем корректировалась в процессе решения задачи идентификации модели. Принималось также, что в зимний период с декабря по март месяц питание подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков отсутствовало, а 25% от суммы осадков зимнего периода добавлялись с питанию подземных вод в апреле за счет инфильтрации талых вод.

Схематизация области моделирования с граничными условиями и с разбивкой на вычислительные блоки показана на Рис 2.7.

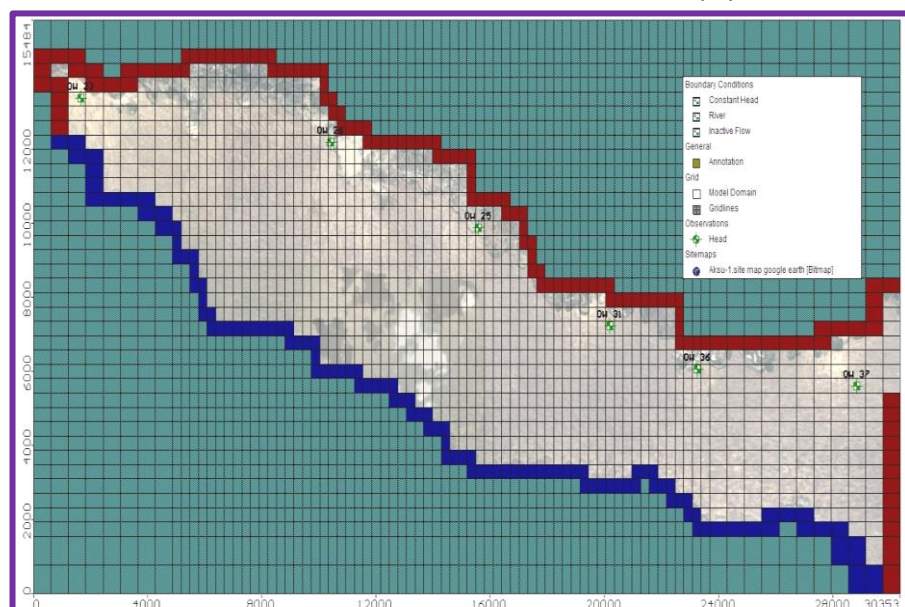


Рис.2.7 - Схематизация области моделирования Аксуйского экспериментального участка с разбивкой на вычислительные блоки.

Временной шаг на модели задавался в сутках. Начало модельных расчетов (0 суток) соответствовал 1 января 2018 г. - началу наблюдений. Конечное время модельного расчета составляло 3650 суток (10 лет). Это даст возможность для дальнейшего использования модели в будущем. Промежуточные временные шаги задаются программой автоматически в зависимости от времени изменения граничных условий и периодов наблюдений (стресс - периоды).

7.3 Создание компьютерной модели процесса геофильтрации на Аксусском экспериментальном участке

7.3.1 Математическое представление модели

Математическая модель геофильтрации (движения подземных вод) описывается дифференциальным уравнением в частных производных, для безнапорного режима геофильтрации, в соответствии с геофильтрационной схематизацией гидрогеологических условий экспериментального участка.

Для безнапорного водоносного горизонта математическая модель описывается следующим уравнением:

$$\partial/\partial x[Kx(Hx-\eta x)(\partial H/\partial x)] + \partial/\partial y[Ky(Hy-\eta y)(\partial H/\partial y)] \pm W = Sy(\partial H/\partial t), \quad (1)$$

где: Kx , Ky , - коэффициенты фильтрации по направлениям осей координат модели X и Y , соответственно;

H – напор подземных вод в соответствующих водоносных горизонтах в абсолютных отметках;

ηx , ηy – абсолютные отметки подошвы водоносного горизонта в направлении осей координат модели X и Y , соответственно;

W –расходы воды, поступающей в/или отбираемой из водоносного горизонта, за счет дождей, орошения и эвапотранспирации;

Sy – гравитационная водоотдача безнапорного водоносного горизонта;

t - время.

Уравнение (1) совместно с соответствующими граничными условиями, описанными выше, и начальными условиями по распределению абсолютных отметок уровней подземных вод по состоянию 1 января 2018 г, представляет собой математическую модель процесса геофильтрации экспериментального участка. Для представления пространственной изменчивости (аппроксимации по площади) гидрогеологический условий экспериментального участка, его площадь разбивалась прямоугольной сеткой с неравномерным шагом на вычислительные блоки. Каждый блок представлял собой точку в центре данного блока с соответствующими фильтрационными, емкостными свойствами и уровнями (напорами) подземных вод. На основании данного математического представления процесса геофильтрации была создана вычислительная (компьютерная) модель гидрогеологических условий экспериментального участка на базе программного комплекса "Visual MODFLOW Pro".

7.3.2 Ввод исходных данных и компьютерное представление модели геофильтрации гидрогеологических условий экспериментального участка левобережья р..Аксу

В соответствии с принятой схематизацией, компьютерная модель состоит из одного горизонтального слоя, представляющего собой безнапорный водоносный горизонт (слой 1). Нижняя граница модели проходит по кровле плотных глин и принята в качестве водонепроницаемой границы. Прямоугольная область модели имеет размерность 30353м по оси X и 15184м по оси Y . Начало координат модели расположено в нижнем левом углу прямоугольной области и соответствует точке, с географическими координатами 45град.46мин.14 сек. северной широты и 78 град. 34 мин. 35 сек восточной долготы. Ось Y модели ориентирована на север. Реальная конфигурация области геофильтрации по площади выделена путем задания не активных блоков за пределами её внешних границ. Временной период вычислений на модели составляет 3650 суток или 10 лет.

Коэффициенты фильтрации ($Kф$) и водоотдачи задавались по зонам, в пределах которых их значения были равными по всем направлениям пространственных координат как по горизонтали, так и по вертикали. Тем

самым было реализовано гомогенное (однородное) представление фильтрационных и емкостных параметров внутри каждого вычислительного блока.

На Рис.3.7 представлена карта коэффициентов фильтрации после задания в модель и их корректировки на этапе калибровки модели. Окошко в верхнем левом углу рисунка представляет собой базу данных модели с указанием значений K_f по направлениям осей координат, а цвет соответствует выделенной зоне.

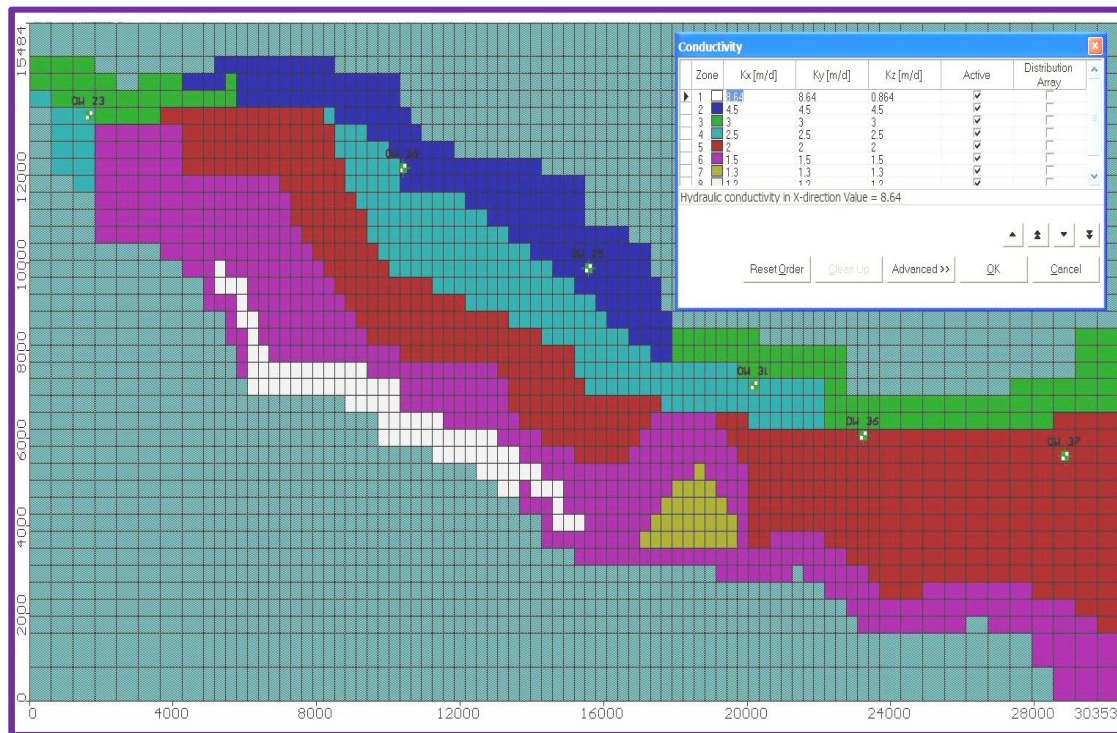


Рис.3.7 - Карта коэффициентов фильтрации, заданная в модель

Ввод данных режимных наблюдений за уровнями подземных вод на экспериментальном участке осуществлялся с целью их использования для калибровки и идентификации созданной модели.

На участке, в пределах границы модели, расположено 6 наблюдательных скважин: OW 23; OW 26; OW 25; OW 31; OW 36; OW 37. Для ввода на модель использовались данные по значениям уровней подземных вод в абсолютных отметках на среднюю дату каждого месяца за период с 1 января 2018 по 1 января 2020 года.

В качестве начальных условий на модели задавалась карта гидроизогипс на январь 2018 года, построенная на основании отметок уровней грунтовых вод по наблюдательным скважинам и граничным условиям 1-го рода, путем интерполяции значений по вычислительным блокам модели с использованием инструментов программного комплекса "Visual MODFLOW Pro" (Рис.4.7).



Рис.4.7 - Карта гидроизогипс и векторов направления потока подземных вод по состоянию на январь 2018, используемая в качестве начальных условий для расчета на модели.

7.3.3 Идентификация и калибровка геофильтрационной модели гидрогеолого-мелиоративных условий экспериментального участка

На данном этапе моделирования осуществлялся комплексный подбор фильтрационных параметров и элементов водного баланса водоносных горизонтов, обеспечивающих совпадение динамики уровней подземных вод (замеренных на участке и рассчитанных на модели) в пределах заданной точности.

Учитывалось также совпадение элементов водного баланса (полученных по данным полевых измерений и рассчитанных на модели) в пределах их гидрогеологической достоверности. Для оценки точности калибровки модели использовались данные режимных наблюдений за уровнями подземных вод по 6-ти наблюдательным скважинам, расположенным на экспериментальном участке. Точность совпадения замеренных по скважинам уровней и рассчитанных на модели не должна была превышать 0,2м, что обусловлено детальностью схематизации литологического разреза и точностью пространственной дискретизации.

Принимая во внимание, что амплитуда колебания УГВ в наблюдательных скважинах достигала 0.8м, заявленная точность решения не должна была превышать 25%. Временной отрезок решения задачи идентификации модели охватывал период с 1 января 2018 по 1 января 2020 года (1095 дней) для которых имелись данные замеров уровней подземных вод на участке.

На первом этапе решения задачи идентификации осуществлялась проверка чувствительности модели на изменение различных параметров.

Было получено, что изменение значений коэффициентов фильтрации и емкостных параметров в пределах 1-го порядка практически не влияет на уровни подземных вод, рассчитываемые на модели. В то же время, изменение площадного питания оказывало существенное влияние на подземные воды, что подтверждает гидрогеологическое представление о формировании режима

подземных вод на массиве.

Таким образом, основным параметром, который подбирался при решении задачи калибровки и идентификации модели, являлось суммарное питание подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков.

Результаты решения задачи калибровки модели показаны на Рис 5.7.

На нем отражено сопоставление между средними значениями уровней подземных вод, замеренных по скважинам и рассчитанным на модели, а также статистическая оценка результатов сопоставления. Среднее отклонение составило 0,13 м, стандартная ошибка равна 0,044 м и стандартная квадратичная ошибка была равна 0,163 м.

Коэффициент корреляции между замеренными и модельными уровнями подземных вод составил 1,0.

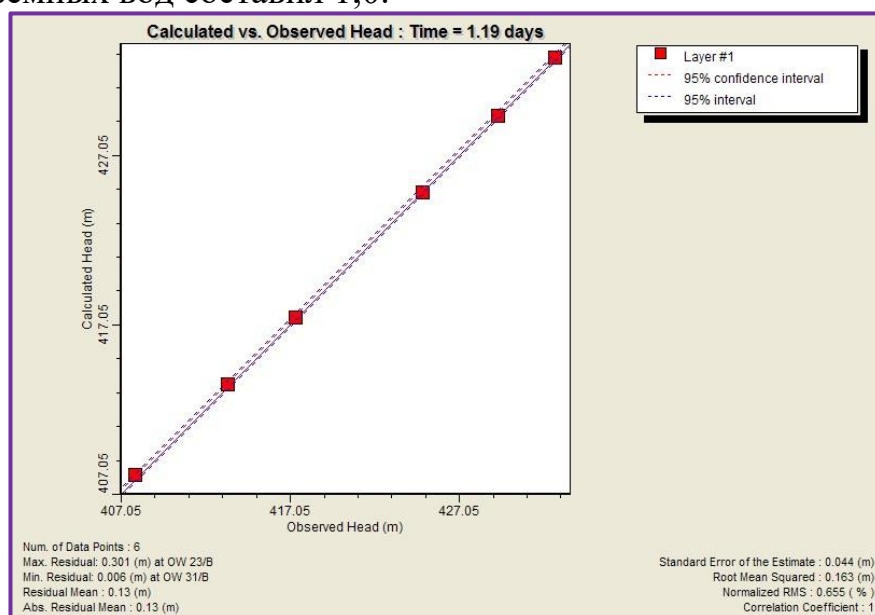


Рис. 5.7 - Сопоставление замеренных и полученных на модели уровней подземных вод

Сопоставление динамики изменений уровней грунтовых вод (УГВ) по данным замеров в наблюдательных скважинах и полученной на модели, показаны на рисунках 6.7 - 11.7

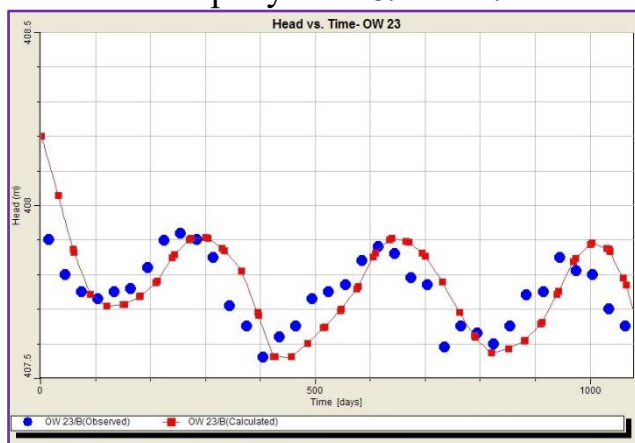


Рис. 6 -7 Сопоставление УГВ по скв. OW 23.

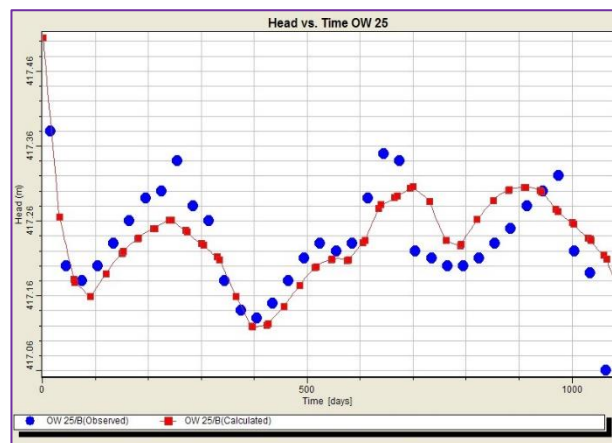


Рис. 7 -7 Сопоставление УГВ по скв. OW 25.

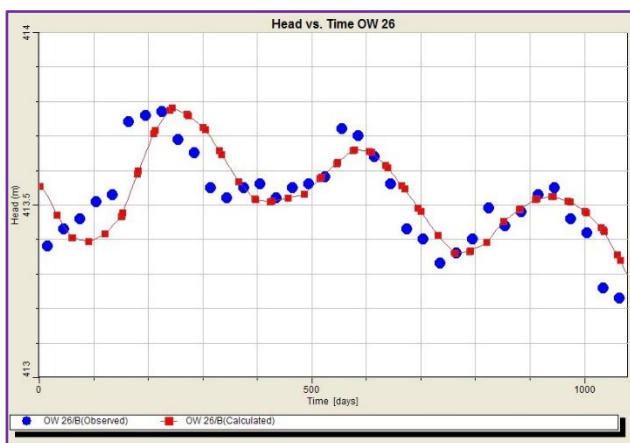


Рис. 8 -7 Сопоставление УГВ по скв. OW 26.

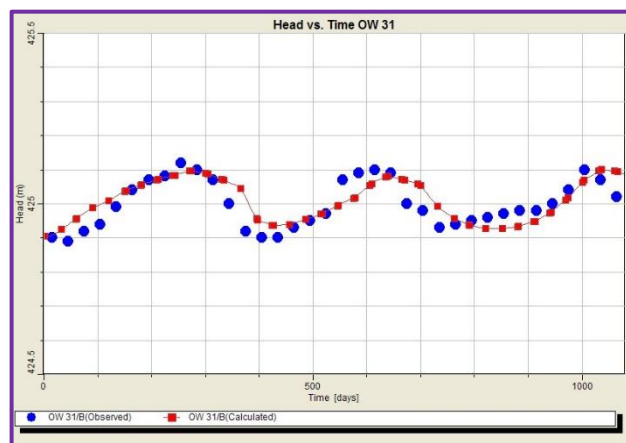


Рис. 9 -7 Сопоставление УГВ по скв. OW 31.

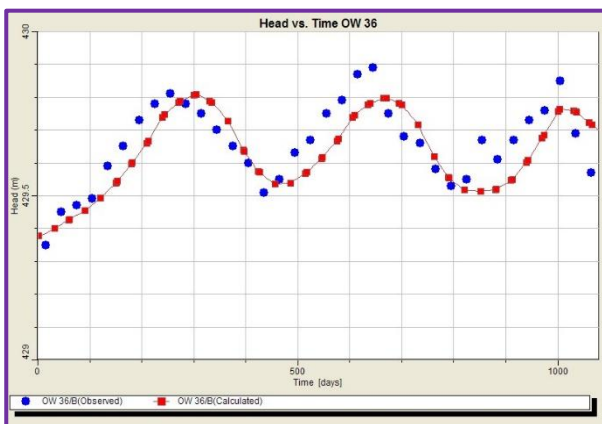


Рис. 10 -7 Сопоставление УГВ по скв. OW 36.

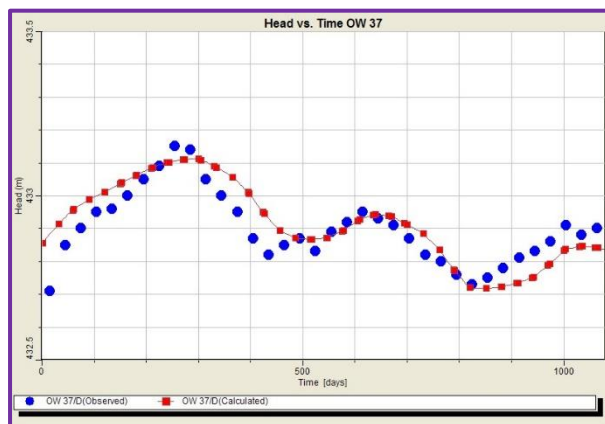


Рис. 11 -7 Сопоставление УГВ по скв. OW 37.

Рисунки 5.7 – 11.7 демонстрируют хорошее совпадение между динамикой УГВ, по результатам наблюдений на массиве и полученной на модели.

Значения фильтрационных параметров, подобранных на модели, также лежат в пределах гидрогеологической достоверности. Величина расхождений между уровнями ПВ, по результатам наблюдений на массиве и полученными на модели, лежат в пределах заданной точности решения задачи. Рассчитанные на модели балансы подземных вод по состоянию на июль 2020 (таблица 1.7) и на декабрь 2020 (таблица 2.7) также соответствует водному балансу участка, полученному по данным полевых измерений.

Таблица 1.7- Баланс подземных вод (в расходах потока) по состоянию на июль 2020 года

Статьи баланса	Показатели баланса	
	м ³ /сутки	% от суммы
Приходные статьи баланса		
Пополнение за счет сработки емкостных запасов	10622	25.1
Фильтрация из р. Аксу	5013	11.8
Инфильтрация атмосферных осадков	25746	60.8
Фильтрация из р. Аkozек	66	0.2
Подземный приток через восточную границу модели	907	2.1
Сумма приходных статей баланса	42354	100.0
Расходные статьи баланса		
Восполнение емкостных запасов	17906	42.2

Разгрузка в р. Аксу	3985	9.4
Эвапотранспирация	20528	48.4
Подземный отток через внешние границы	34	0.1
Сумма расходных статей баланса	42453	100.0
Невязка баланса (приход - расход)	-99	-0.2

Таблица 2.7 - Баланс подземных вод (в расходах потока) по состоянию на декабрь 2020 года

Статьи баланса	Показатели баланса	
	м ³ /сутки	% от суммы
Приходные статьи баланса		
Пополнение за счет сработки емкостных запасов	52257	90.7
Фильтрация из р. Аксу	4241	7.4
Площадное питание	215	0.4
Фильтрация из р. Аkozек	66	0.1
Подземный приток через восточную границу модели	854	1.5
Сумма приходных статей баланса	57633	100.0
Расходные статьи баланса		
Восполнение емкостных запасов	2774	4.8
Разгрузка в р. Аксу	3324	5.7
Эвапотранспирация	51908	89.4
Подземный отток через внешние границы	39	0.1
Сумма расходных статей баланса	58045	100.0
Невязка баланса (приход - расход)	-412	-0.7

В расходных статьях баланса преобладают восполнение емкостных запасов (42.2%) и потери на эвапотранспирацию (48.4%). Разгрузка подземных вод в р.Аксу составляет 9.4% от суммы расходных статей.

В зимний период подавляющее значение в приходных статьях баланса подземных вод играет пополнение за счет сработки емкостных запасов (90.7%), а в расходных частях баланса превалирует площадная разгрузка за счет зимнего испарения и транспирации в прибрежной зоне р Аксу и оттока в нижележащие водоносные горизонты (89.4%).

Расходы потока на пополнение подземных вод из реки Аксу и их разгрузку в реку в зимний период соответственно меньше по сравнению с летним периодом за счет снижения уровня воды в реке.

Невязка баланса (разница между приходными и расходными статьями) не превышает 0.7% и лежит в пределах заданной точности расчетов.

Таким образом, созданная геофильтрационная модель гидрогеологических условий экспериментального участка отвечает заданным требованиям по точности и достоверности модельных решений.

7.3.4 Оценка динамики потока и глубины залегания подземных вод экспериментального участка реки Аксу по результатам решения задачи идентификации модели

По результатам решения задачи идентификации были построены модельные карты гидроизогипс и глубин залегания уровня грунтовых вод от дневной поверхности, используя инструментальные возможности программного комплекса. Карты гидроизогипс, совмещенные с векторами направления потока подземных вод характеризуют гидродинамическую сетку потока

грунтовых вод на экспериментальном участке (рис. 12.7,13.7), были построены на 2 характерных периода года: летний (июль 2020 года) и зимний (декабрь 2020).

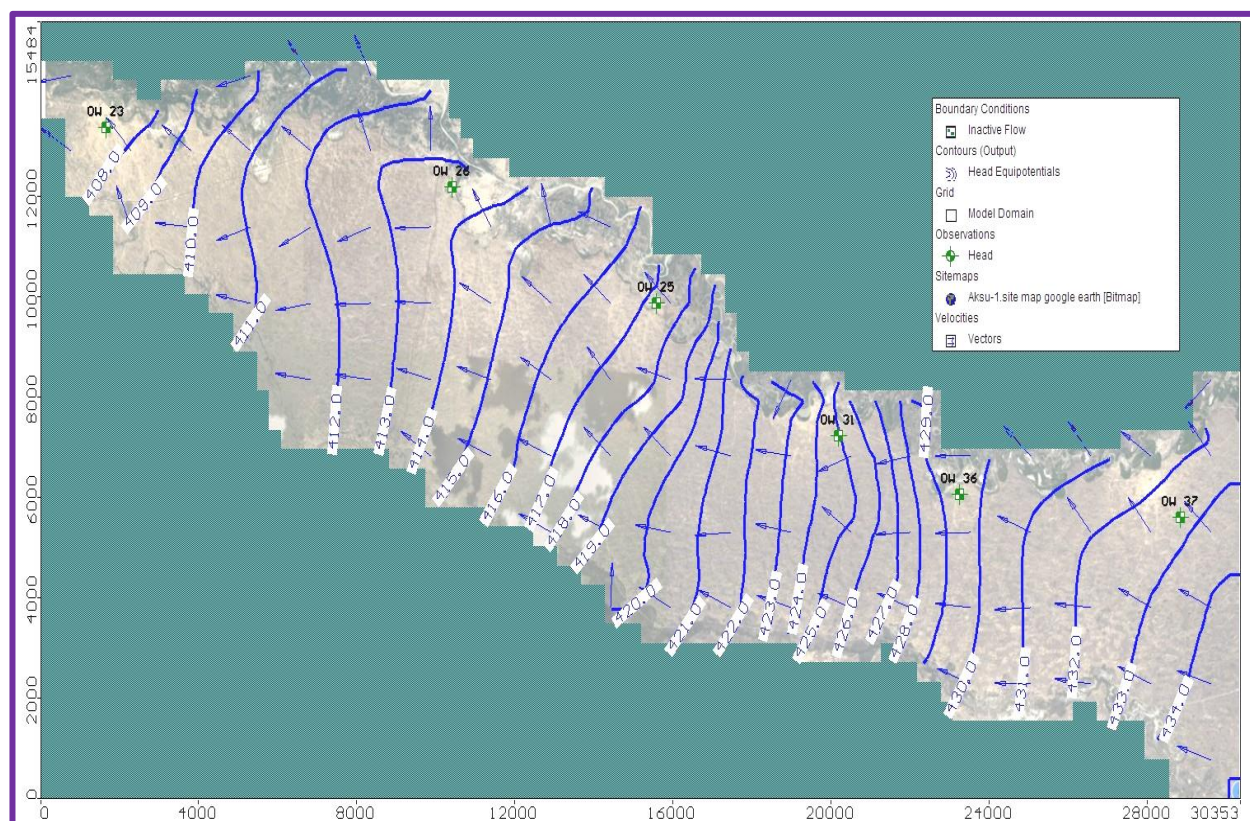


Рис. 12.7 - Модельная карта гидроизогипс и направления потока подземных вод по состоянию на июль 2020 г.

Общее направление потока подземных вод совпадает с уклоном рельефа в северо-западном направлении вдоль течения рек Аксу и Аkozек. Направление линий потоков вблизи реки Аксу характеризуют участки питания или разгрузки подземных вод из / в реку. Река Аkozек практически не оказывает влияния на направление потока подземных вод и лишь в районе ее слияния с р.Аксу принимает участие в дренировании потока подземных вод. Гидродинамические уклоны потока подземных вод колеблются от 0.0005 в восточной и западной областях участка до 0.0027 в центральной части экспериментального участка, в зависимости от топографических условий и фильтрационной способности водоносного слоя.

Гидродинамическая картина потока подземных вод в зимний период практически не меняется. Направление потока и градиент потока остаются прежними. Сравнение этих карт, а также сопоставление с картой гидроизогипс на начало 2018 года (Рис. 4.7), принятой в качестве начальных условий, свидетельствует о формировании ненарушенных условий движения подземных вод и стабильности потока на протяжении всего гидрологического цикла на экспериментальном участке.

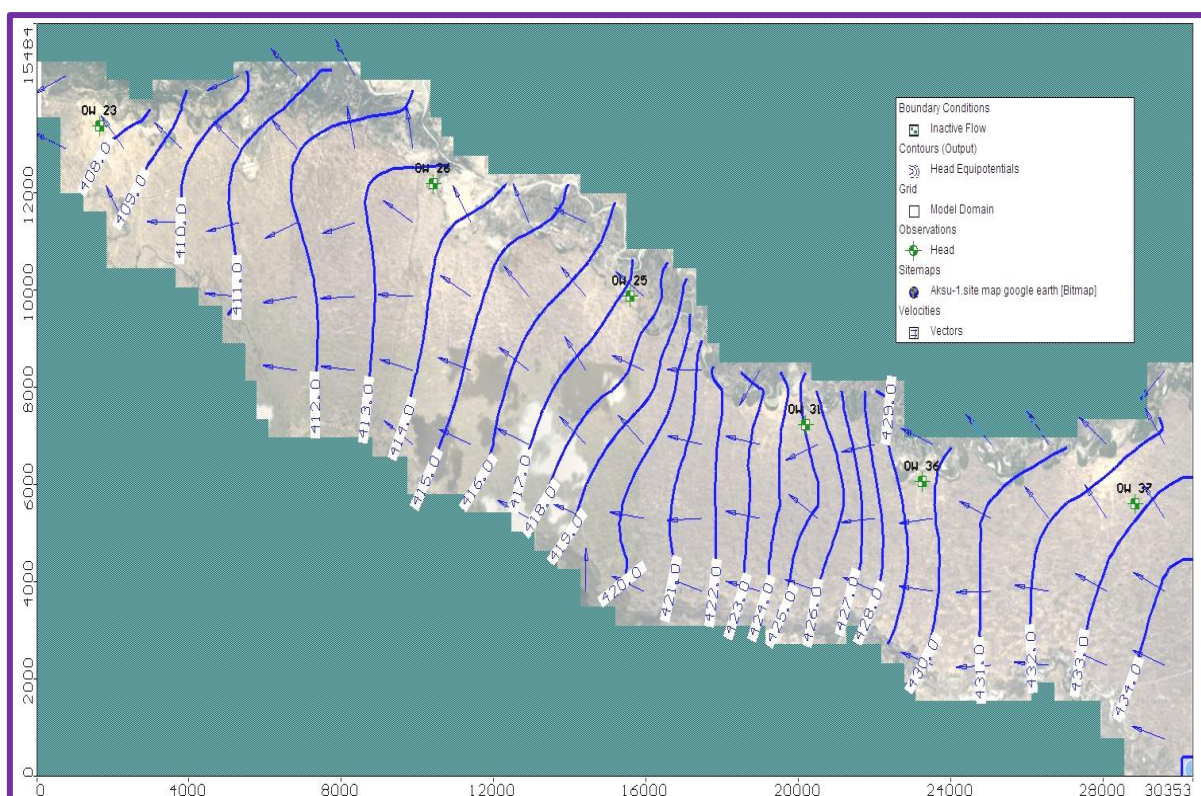


Рис. 13.7 - Модельная карта гидроизогипс и направления потока подземных вод по состоянию на конец декабря 2020 г.

На рисунках 14.7 и 15.7 представлены карты глубин залегания уровня подземных вод от поверхности земли, построенные по результатам решения задачи идентификации модели на эти же периоды времени.

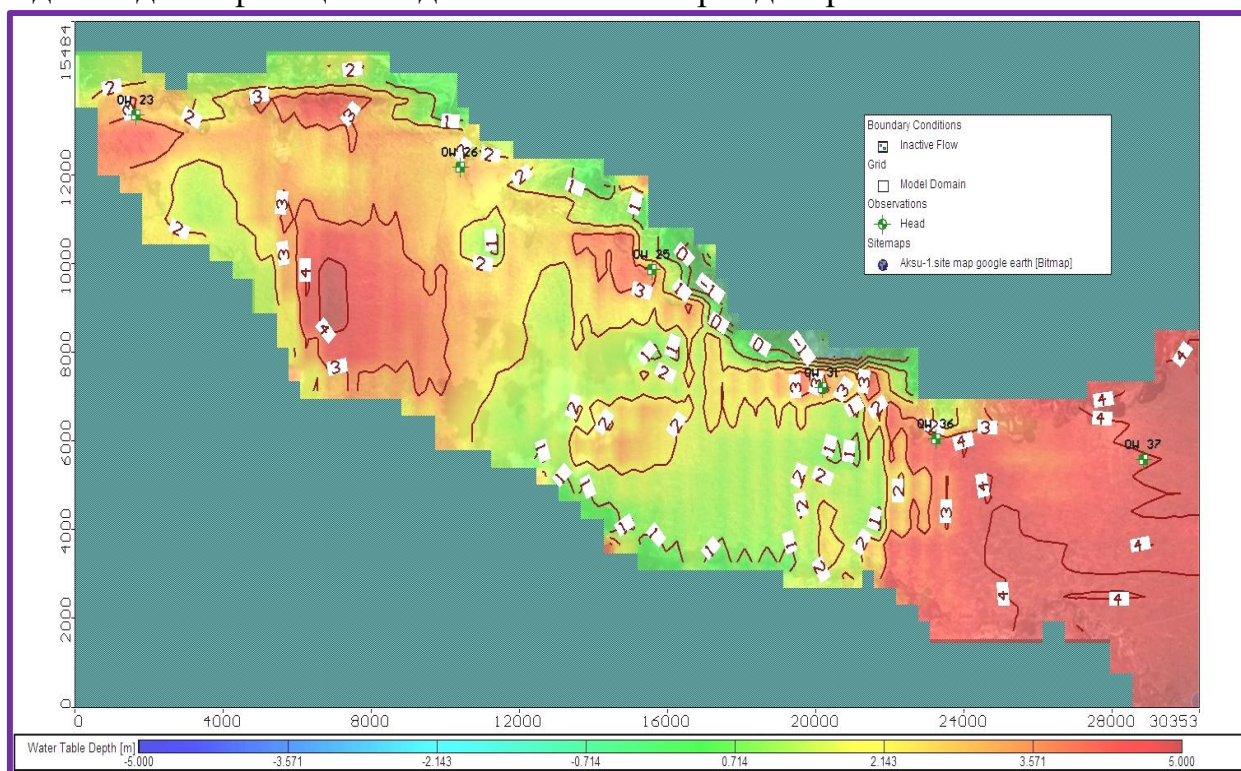


Рис. 14.7 - Модельная карта глубины залегания уровня подземных вод по состоянию на июль 2020 г.

Глубина залегания уровня ПВ колеблется от 1 до 2-х метров вблизи русла р. Аксу. Центральная часть участка в междуречье рек характеризуется глубиной залегания уровня ПВ от 1.5 до 2.5 м. На остальной площади участка преобладают глубины залегания уровня ПВ от 2.5 м до 4-5 м от поверхности земли. В зимний период (конец декабря) общая картина распределения площадей с различной глубиной залегания уровней ПВ практически не меняется (рис.15.7).

Глубина залегания уровня ПВ в зимний период увеличивается в пределах режимных колебаний уровней ПВ менее 1 м.

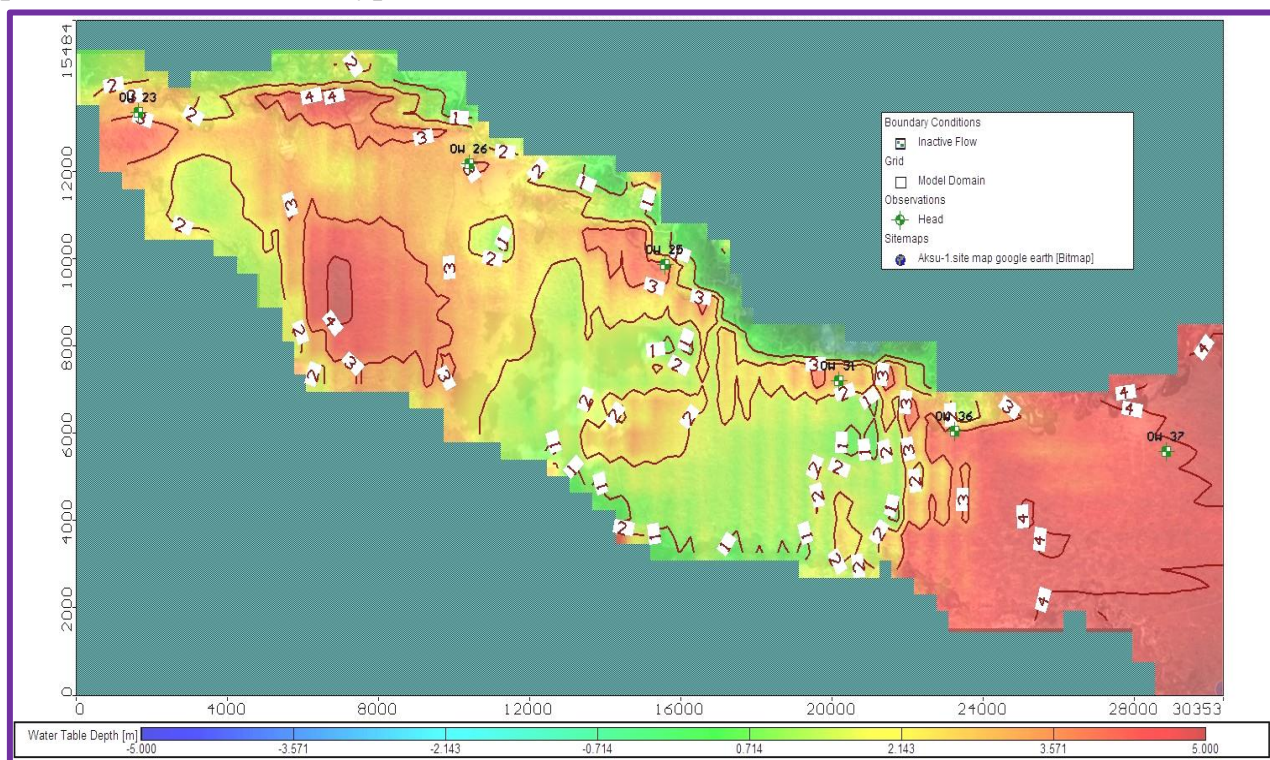


Рис. 15.7- Модельная карта глубины залегания уровня подземных вод по состоянию на конец декабря 2020 г.

Выводы по Разделу 7

Созданная геофильтрационная модель подземных вод верхнего безнапорного водоносного горизонта нерасчлененных современных и верхне четвертичных отложений на Аксуйском экспериментальном участке дала возможность:

- Изучить основные параметры, характеризующие процесс фильтрации подземных вод для характерного литологического разреза для условий экспериментального участка на реке Аксу;
- оценить балансовые составляющие потока подземных вод в зоне полного насыщения и роль поверхностного стока р Аксу в формировании подземных вод в пределах экспериментального участка в междуречье рек Аксу и Акозек.

8. ТЕХНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И РАЗВИТИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ ОТДАЛЕННЫХ ПАСТБИЩНЫХ УЧАСТКОВ (на примере Аксуского района Алматинской области)

8.1 Основные положения Государственной Программы с целью вовлечения в оборот отдаленных пастбищных участков и развитие инфраструктуры пастбищ

Для развития отгонного животноводства в Казахстане Глава Государства поручил обводнить пастбища с целью вовлечения в оборот отдаленных пастбищных участков и развитие инфраструктуры пастбищ. Организация строительства колодцев требует больших финансовых ресурсов, что до настоящего времени сдерживало реализацию мероприятий по обводнению пастбищ и развитию отгонного животноводства.

Для снижения капиталоемкости и сроков окупаемости инвестиционных проектов Министерство сельского хозяйства РК в рамках отраслевой программы «Агробизнес-2020» предложило внедрение государственной поддержки в виде частичной компенсации расходов при инвестиционных вложениях, направленных на развитие инфраструктуры пастбищ.

Программой предусматривается субсидирование затрат сельхозтоваропроизводителей, занимающихся отгонным животноводством в размере до 80% от общей стоимости на строительство инфраструктуры пастбищ.

Данные меры поддержки охватят организованные, крестьянские, фермерские хозяйства, имеющие пастбищные угодья.

Во исполнение принятой Государственной Программы решением Аксуского районного маслихата Алматинской области от 3 апреля 2018 года № 27-130, зарегистрированным Департаментом юстиции Алматинской области 19 апреля 2018 года № 4651, утвержден План по управлению пастбищами и их использованию по Аксускому району на 2018-2019 годы.

Настоящий План по управлению пастбищами и их использованию по Аксускому району на 2018-2019 годы (далее - План) разработан в соответствии с Законом Республики Казахстан от 20 февраля 2017 года "О пастбищах", приказом Заместителя Премьер-Министра Республики Казахстан-Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 24 апреля 2017 года № 173 "Об утверждении Правил рационального использования пастбищ" (зарегистрирован в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов № 15090), приказом Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 14 апреля 2015 года № 3-3/332 "Об утверждении предельно допустимой нормы нагрузки на общую площадь пастбищ" (зарегистрирован в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов № 11064).

План принят в целях рационального использования пастбищ, устойчивого обеспечения потребности в кормах и предотвращения процессов деградации пастбищ[80,81].

8.2 Основные показатели по управлению пастбищными угодьями и их использованию в Аксуском районе

Общая площадь земель Аксуского района 1259293 тысяч гектаров, из них пастбищные земли - 967595 тысяч гектаров, в том числе сенокосы - 56162 тысяч гектаров.

В Аксуском районе действуют 17 ветеринарно-санитарных объектов, из них: 49 скотомогильников, 10 сибирский очагов, 17 ветеринарных пунктов, 49 мест для обработки животных, 10 пунктов осеменения крупного рогатого скота.

Общая площадь пастбищных угодий - 1031 тыс.га.

Возможно-допустимое количество поголовья скота на пастбищных угодьях - 59,4 тыс.поголовья

Прогнозная потребность в питьевой воде живодноводческой отрасли на пастбищных угодьяхАлматинской области: суточный расход воды на содержание поголовья на пастбищных угодьях 2435,4 м³/сут

На территории района распространены 87 видов растений. Средняя урожайность пастбищных угодий составляет 3,5 центнер/гектар.

Фонд кормов пастбищ используется в пастбищный период продолжительностью 200-220 дней.

Календарный график по использованию пастбищ, устанавливающий сезонные маршруты и передвижения сельскохозяйственных животных,

I – ая декада марта I – ая декада июня I – ая декада декабря

II - ая декада мая II - ая декада августа II - ая декада февраля

Таким образом, выявленные ресурсы и запасы подземных вод пастбищных территорий не вполне достаточны для обеспечения животноводческих хозяйств для водопоя скота.

Одним из выводов, полученных в результате комплексных исследований по оценке кормозапасов и водообеспеченности пастбищ является необходимость восстановления водной инфраструктуры.

8.3 Технические условия для организации культурных пастбищ на основе получения дополнительных водных ресурсов за счет искусственного восполнения запасов грунтовых вод

По результатам выполненного анализа крайне ограниченных фондовых, отчетных и опубликованных материалов установлено, что район исследований по степени водообеспеченности ресурсами подземных вод преимущественно с минерализацией до 3 г/л относится к удовлетворительно водообеспеченным. Модули эксплуатационных ресурсов подземных вод составляли 30-250 м³/сут при непрерывном процессе извлечении воды.

Поэтому, для обводнения, вовлечения в оборот отдаленных пастбищных участков и развития инфраструктуры на основе получения дополнительных водных ресурсов путем искусственного восполнения запасов грунтовых вод на базе создания инфильтрационных бассейнов суточного регулирования, автором диссертационной работы были проработаны альтернативные варианты на основе которых:

- подготовлена исходная база данных для разработки подпроектного технического задания на стадии технико-экономического обоснования.

- составлена карта фактического материала обводнения пастбищ отгонного животноводства в Аксуском районе (Приложение Т)

В качестве наиболее перспективного и имеющего практическое значение по обводнению, вовлечению в оборот отдаленных пастбищных участков и развитию инфраструктуры избран малоосвоенный массив за счет получения дополнительных водных ресурсов путем искусственного восполнения запасов грунтовых вод на базе создания инфильтрационных бассейнов суточного регулирования.

Карта содержит:

1. расположение на территории административно-территориальной единицы и номер сезонных культурных пастбищ и объектов пастбищной инфраструктуры с обозначением внешних и внутренних границ и площадей пастбищ;

2. геоморфологическое строение, почвенный и растительный покров участка исследований ;

3. местоположение и абсолютная отметка устья проектируемого водозаборного сооружения для водопоя скота;

4. схемы доступа пастбища - пользователей к проектируемым водоисточникам согласно норм водопотребления;

5. местоположение и абсолютная отметка верхнего основания проектируемого инфильтрационного бассейна сезонного регулирования для искусственного восполнения ресурсов подземных вод.

8.4 Исходные данные и расчет потребности водных ресурсов для обеспечения питьевой водой поголовья на рекомендованных к использованию пастбищах, устойчивого обеспечения потребности в кормах и предотвращения процессов деградации пастбищ.

Растительный покров представлен:

- Серополынно-черносаксаулово-солянковые на такыровидных почвах, полынно-кейреуковые или солянково-кейреуковые на суглинистых и супесчаных почвах, иногда с закустаренными серополынными и еркековыми на бугристых песках до 30 %. Продуктивность: 4-5 ц/га.

- Еркеково-изенево-кустарниковые, еркековые, реже терескеново-изеневые с зелеными полынными и серополынно-терескеновые и серополынные до 30 % по мелкобугристым пескам. Продуктивность: 5-6 ц/га.

- Волоснецово-чиевые, волоснецово-разнотравные луга на солонцах луговых с шренкианово полынными пастбищами на солонцах до 30 %. Продуктивность: 6 -7 ц/га.

Фонд кормов пастбищ используется в пастбищный период продолжительностью 200-220 дней.

Средняя площадь фонда кормов в пастбищный период продолжительностью 200-220 дней на единицу поголовья принята в 10 гектар.

Среднее поголовье в пастбищный период продолжительностью 200-220 дней принято: пастбищный массив №1 – 7500 га – 750 голов; пастбищный массив №2 – 10000 га – 1000 голов; пастбищный массив №1 – 14950 га – 1495 голов;

Календарный график по использованию пастбищ, устанавливающий сезонные маршруты и передвижения сельскохозяйственных животных,

I – ая декада марта I – ая декада июня I – ая декада декабря

II – ая декада мая II – ая декада августа II – ая декада февраля

Перспективная рекомендуемая общая площадь пастбищных угодий – 32450 гектар.

Рекомендуемая возможность допустимого количества поголовья скота на пастбищных угодьях - 3245 голов .

Нормы расхода воды на поение в л/сут : КРС -65 ; овцы - 8; лошади 50.

Принятый в расчетах средний расход воды на содержание поголовья - 50 л/сут.

Общая потребность в воде для водопоя поголовья в пастбищный период продолжительностью 200-220 дней составит 63318 м³, а суточный расход воды на содержание поголовья на пастбищных угодьях 302,4 м³/сутки из расчета:

- пастбищный массив №1- (0,3+0,2 + 0,2) =0,7 л/сек x 86,4 = 60,48 м³/сутки x200суток = 12096 м³ ;

- пастбищный массив №2- (0,3+0,3 + 0,2 + 0,2) =1,0 л/сек x 86,4 = 86,4 м³/сутки x220 суток = 19008 м³ ;

- пастбищный массив №3- (0,2+0,2 + 0,2 + 0,2+ 0,5+0,5) =1,8 л/сек x 86,4 = 155,52 м³/сутки x220 суток = 34214,4 м³ .

Таблица1.8 - Основные рекомендуемые проектные технические и эксплуатационные показатели водозаборных сооружений (трубчатых или шахтных колодцев)

№/№ п.п	Местоположе ние	Абс. отметка устья,м	Глубина,м	Уровень воды,м	Дебит, л/сек	Пониже ние ,м	Минерализ ация, г/дм ³	Режим работы, сутки
1	Пастбищный массив №1	414,9	7,0	3,5	0,3	1,5	0,55	180
2		414,3	8,0	4,0	0,2	1,5	0,68	180
3		413,7	9,0	4,5	0,2	1,5	1,2	180
4	Пастбищный массив №2	418,0	7,0	3,5	0,3	1,5	0,55	200
5		421,7	7,0	3,5	0,3	1,5	0,55	200
6		417,2	9,0	4,5	0,2	1,5	1,2	200
7		420,3	9,0	4,5	0,2	1,5	1,2	200
8	Пастбищный массив №3	428,0	8,0	4,0	0,2	1,5	0,68	200
9		425,3	9,0	4,5	0,2	1,5	1,2	200
10		424,3	9,0	4,5	0,2	1,5	1,2	200
11		430,6	8,0	4,0	0,2	1,5	0,68	200
12		428,1	10,0	5,0	0,5	2,0	0,75	200
13		431,2	9,0	4,0	0,5	2,0	1,45	200

9. ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КАК ИСТОЧНИКА ВОДОПОЯ НА ОТГОННЫХ ПАСТБИЩНЫХ МАССИВАХ В ГРАНИЦАХ РЕПРЕЗЕНТАТИВНОГО УЧАСТКА

Прогнозные оценки на созданной модели осуществлялись с целью определения величины понижения уровней воды в проектируемых эксплуатационных скважинах при заданном режиме водоотбора и сравнении полученных значений с предельно допустимыми понижениями уровней воды при откачке. В случае, если величина прогнозных понижений превысит допустимые, то рассмотреть вариант с использованием инфильтрационных бассейнов для поддержания требуемого уровня воды в эксплуатационных скважинах[76].

9.1. Постановка прогнозной задачи для определения возможных понижений уровня воды в эксплуатационных скважинах

На участке задавались 8 эксплуатационных скважин. Их размещение по площади участка учитывало: площадь фонда кормов в пастбищный период; поголовье скота и календарный график по использованию пастбищ, устанавливающий сезонные маршруты передвижения сельскохозяйственных животных.

Размещение эксплуатационных скважин показано на карте постановки прогнозной задачи (Рис. 1.9).

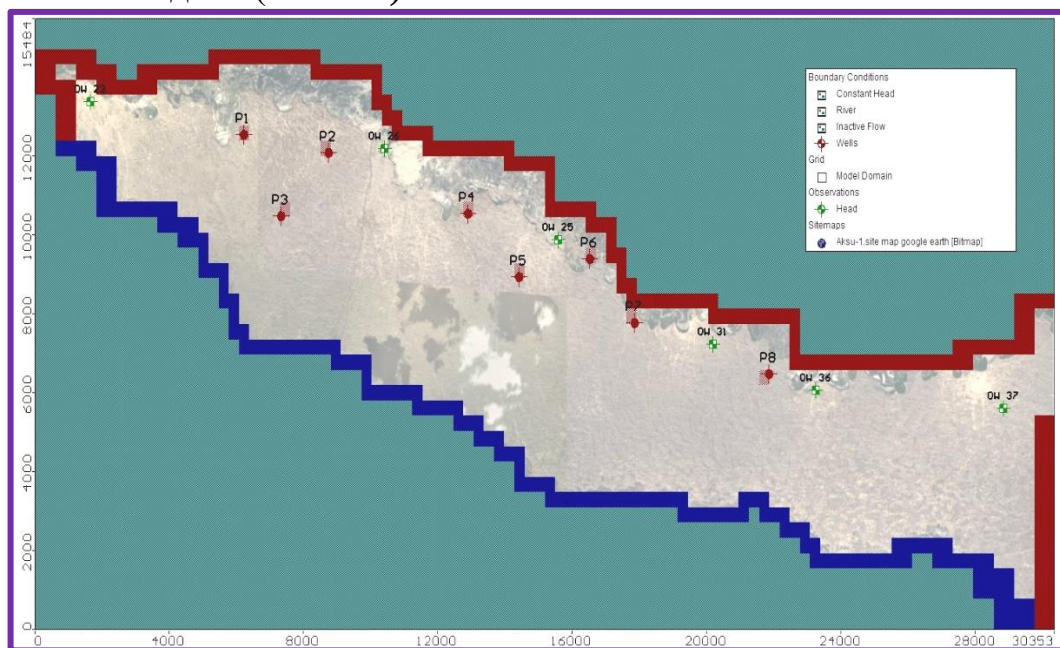


Рис. 1.9 - Размещение проектируемых эксплуатационных скважин (постановка прогнозной задачи).

Режим задания водоотбора из эксплуатационных скважин был идентичен для всех скважин. Расход откачки выбирался из рассчитанной потребности в воде и учета технических данных проектируемых насосов и был задан равным 288 м³/сут в течении всего периода водотбора в течении водопойного сезона. Данный расход задавался в течении следующих временных интервалов: с 1.03

по 20.05 (81сут); с 1.06 по 20.08 (81сут) и с 1.12 по 20.02 (51сут). В промежутках между ними из скважин задавался расход равный 95 м³.сут, представляющий собой кранового режима работы скважин вне водопойного сезона. Окно задания на модели водотбора из проектируемой водозаборной скважины представлено на рис.2.9.

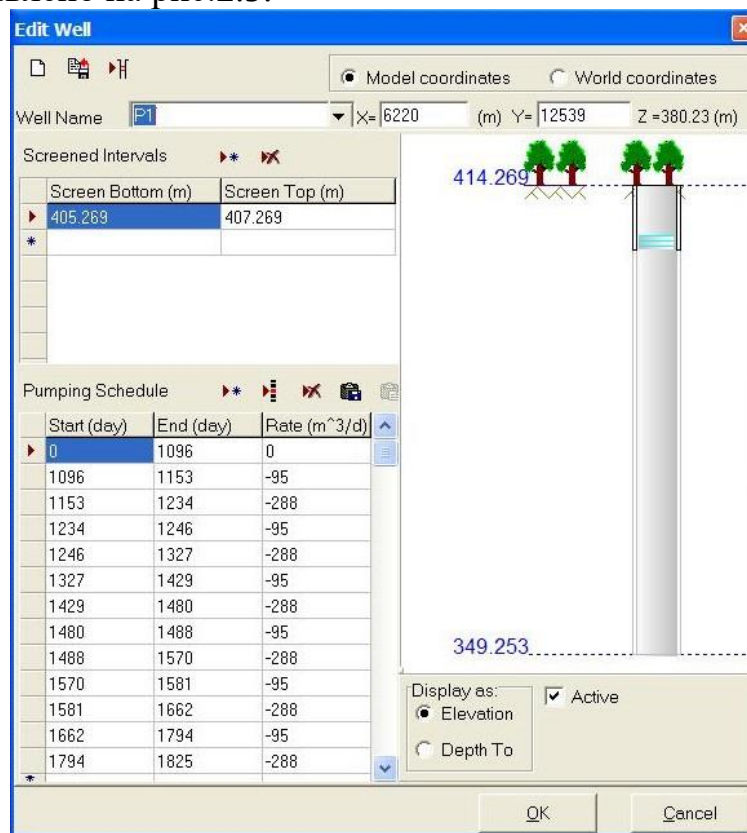


Рис. 2.9 - Эксплуатационная скважина P1. Окно модели, показывающее задание расходов откачки по времени, интервал установки фильтра), имя и координаты расположения скважины в модели.

Прогноз выполнялся на двухлетний период. Начало прогнозных расчетов соответствовало концу эпигнозного периода 31.12.2020 г. (1095 сут), конец прогнозного расчета соответствовал 1825 суткам (2 года). Граничные условия и распределение площадного питания в годовом разрезе были заданы идентичными 2020 году.

Сопоставление рассчитанных на модели и фактических понижений в эксплуатационных скважинах проводилось с учетом срезов (поправок) на переход от площади вычислительного блока к размерам реальной скважины по формуле «большого колодца»

$$\Delta S = (Q/2\pi km) * (\ln(R/r)) \quad (2)$$

Где: ΔS – добавочное понижение уровня воды в скважине, м

Q – расход откачки из скважины, м³/сут

k – коэффициент фильтрации, м/сут

m – мощность водоносного горизонта, м

R – приведенный радиус эквивалентный площади вычислительного блока модели, м

r – радиус фильтра эксплуатационной скважины

9.2 Результаты решения данного варианта прогнозной задачи

Рассчитанная поправка на срезку уровня составила 3.0 м при следующих расчетных значениях: расход откачки – 288 м³/сут; коэффициента фильтрации равном 2 м/сут; мощности водоносного горизонта – 60 м; приведенный радиус – 191 м (площадь блока модели – 114700 м² (310X370) и радиус скважины – 0.075 м.

На рисунках 3.9-5.9 представлены графики изменения глубины воды в эксплуатационных скважинах для водопоя скота на пастбищных массивах в сопоставлении с предельно допустимой (критической) глубиной урона воды с учетом рассчитанной выше поправки. Предельно допустимой глубины уровня воды в скважинах была определена равной 6 м от поверхности земли, исходя из технико-экономических показателей насосного оборудования водопойных пунктов.

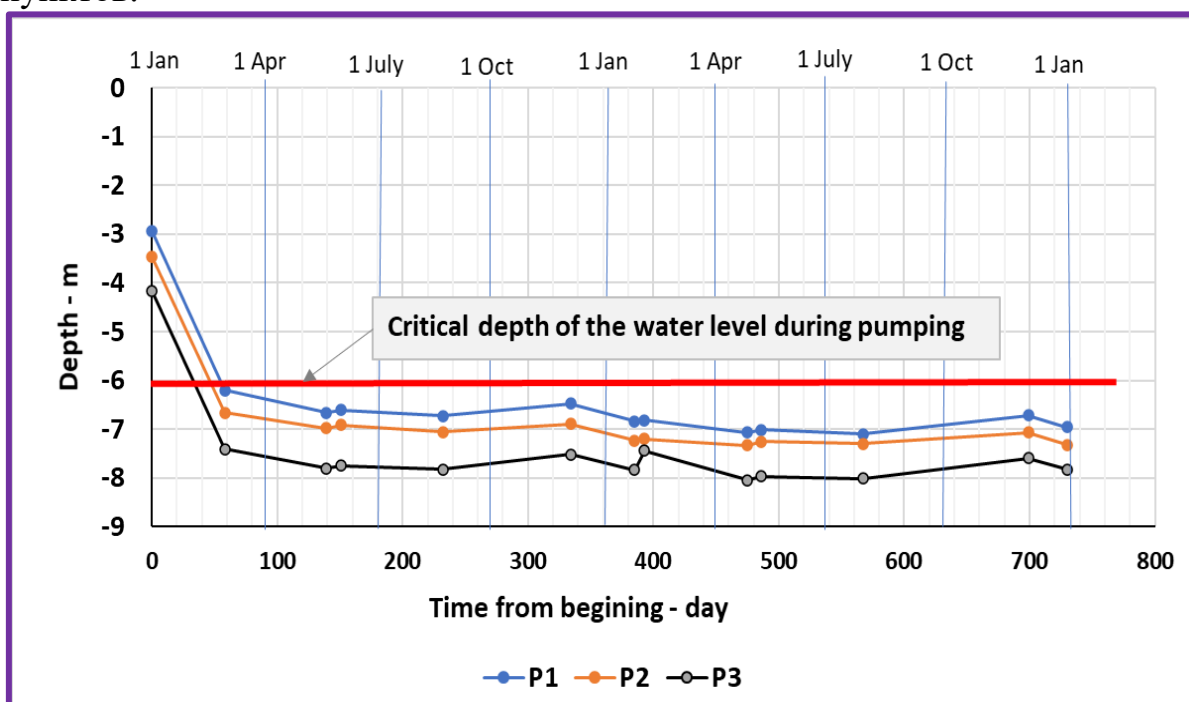


Рис 3.9 - Пастбищный массив №1

Результаты прогнозной задачи свидетельствуют о том что, на пастбищном массиве № 1 уровни воды в скважинах (P1, P2, P3) при откачке в заданном режиме (12 м³/час (288 м³/сут) и при крановом режиме между откачками (95 м³/сут)) будут находиться ниже на 1-2 м. от предельно допустимой глубины. На пастбищных массивах 2 и 3 уровни воды в скважинах будут выше критической глубины.

Таким образом, эксплуатационный водоотбор на пастбищных массивах 2 и 3 может считаться обеспеченным, даже учитывая, хоть и незначительный, тренд к снижению уровня воды в течение прогнозного периода.

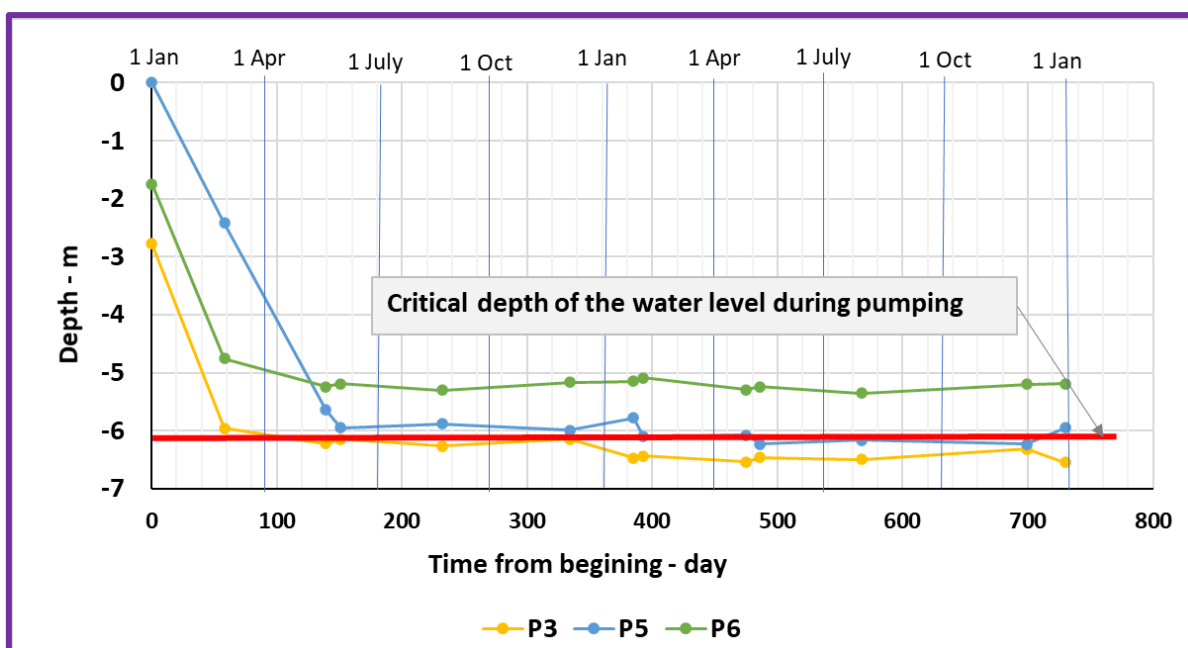


Рис 4.9 - Пастбищный массив №2

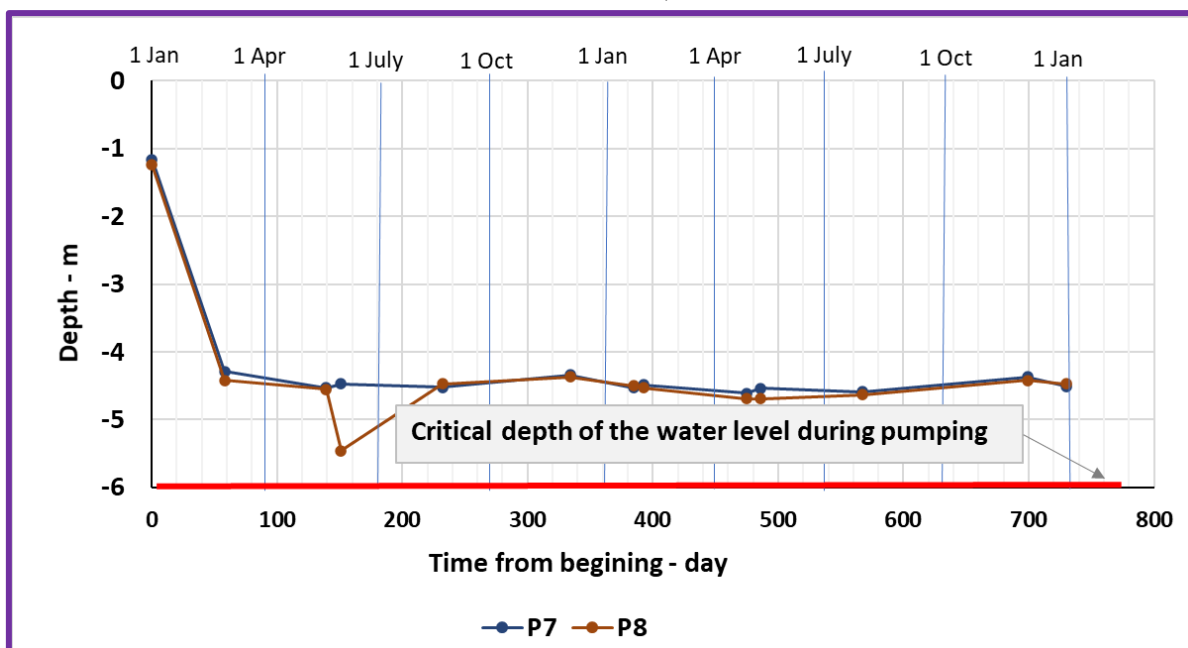


Рис. 5.9 - Пастбищный массив №3

Рисунки 3.9-5.9 - Глубина уровня воды в водозаборных скважинах от поверхности земли, с учетом дополнительного понижения (поправки) при переходе от площади вычислительного блока модели к размеру реальной скважины, и сравнение с предельно допустимой глубиной воды в скважинах (По результатам решения прогнозной задачи на двухлетний период).

На пастбищном массиве №1 требуется поддержание уровня воды на отметках выше критического уровня. На детализированной карте-врезке пастбищного массива №1 (рис. 6.9) показана гидродинамическая сетка потока подземных вод, позволяющая оценить изменение динамики потока подземных вод в условиях работы проектируемых водозаборных скважин.

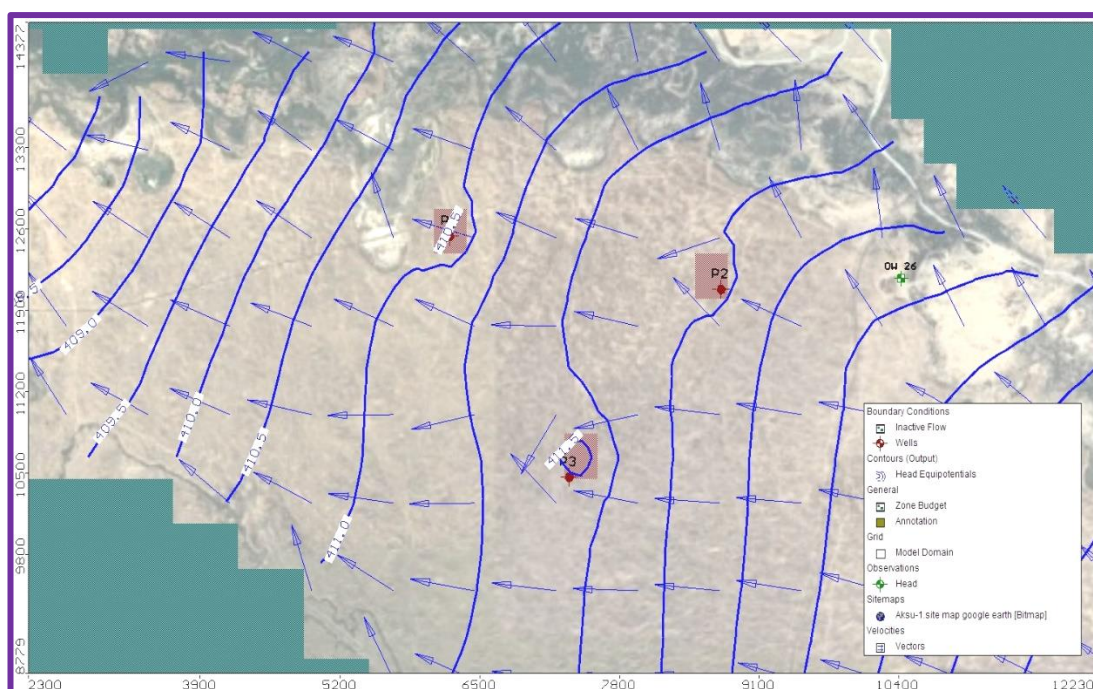


Рис. 6.9 - Модельная карта гидроизогипс и направления потока подземных вод по состоянию на летний период при откачке на 2-ой год прогнозного решения.

Как следует из рис. 6.9 в течение 2-х летнего периода откачки, депрессионная воронка будет отмечаться на расстоянии до 200-300 м от скважины, а максимальное понижение не превысит 1 м.

Баланс подземных вод на данном пастбищном массиве, рассчитанный на конец прогнозного периода, показан в таблице 1.9.

Таблица 1.9 - Баланс подземных вод (в расходах потока) на конец прогнозного периода

Статьи баланса	Показатели баланса	
	м ³ /сутки	% от суммы
Приходные статьи баланса		
Пополнение за счет сработки емкостных запасов	28,86	0,3
Фiltrация из р. Аксу	19,42	0,2
Площадное питание	7868,4	91,1
Фiltrация из р. Аkozек	2,08	0,0
Подземный приток через восточную границу модели	714,55	8,3
Сумма приходных статей баланса	8633,31	100
Расходные статьи баланса		
Восполнение емкостных запасов	6214,8	71,9
Разгрузка в р. Аксу	852,95	9,9
Эвапотранспирация	342,83	4,0
Подземный отток через внешние границы	372,17	4,3
Откачка из скважин	864,0	10,0
Сумма расходных статей баланса	8646,73	100
Невязка баланса (приход - расход)	- 13,42	0,2

Анализ баланса показывает, что большая часть потока подземных вод формируется и расходуется непосредственно на площади самого массива за счет площадного питания и разгрузки. Подземный приток на по восточной границе массива примерно в 2 раза превышает подземный сток за пределы массива по западной границе.

9.3 Оценка возможности поддержания уровня воды в эксплуатационных скважинах путем искусственного восполнения запасов подземных вод путем создания небольших инфильтрационных бассейнов

На созданной модели просчитывался вариант возможного использования небольших инфильтрационных бассейнов для поддержания требуемого уровня воды в эксплуатационных скважинах на пастбищном массиве №1. С этой целью в блок модели с координатами $X=8375$, $Y=11475$, была задана нагнетательная скважина с постоянным расходом 1000 м³/сут. Скважина иммитировала небольшой инфильтрационный бассейн площадью 100 м², с инфильтрации равной 10 м³/сут на 1 м² площади бассейна, что соответствовало величине инфильтрации, полученной для опытных мини-бассейнов (Глава 6 данной работы).

На детализированной карте-врезке пастбищного массива №1 (Рис. 7.9) показана гидродинамическая сетка потока подземных вод, позволяющая оценить изменение динамики потока подземных вод в условиях работы проектируемых водозаборных скважин и инфильтрационного бассейна.

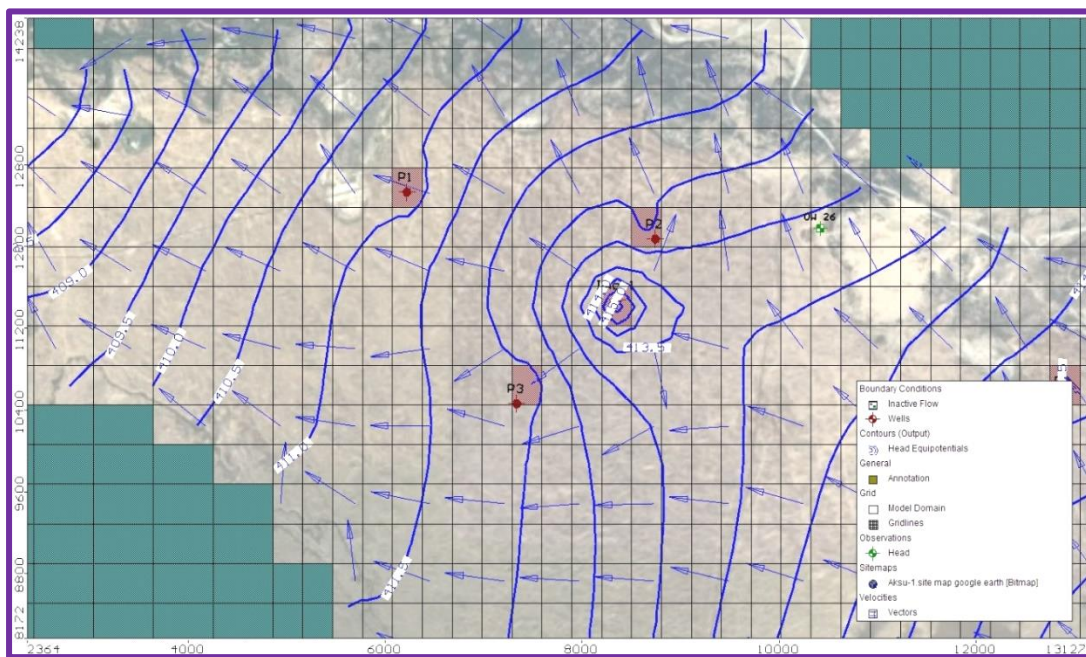
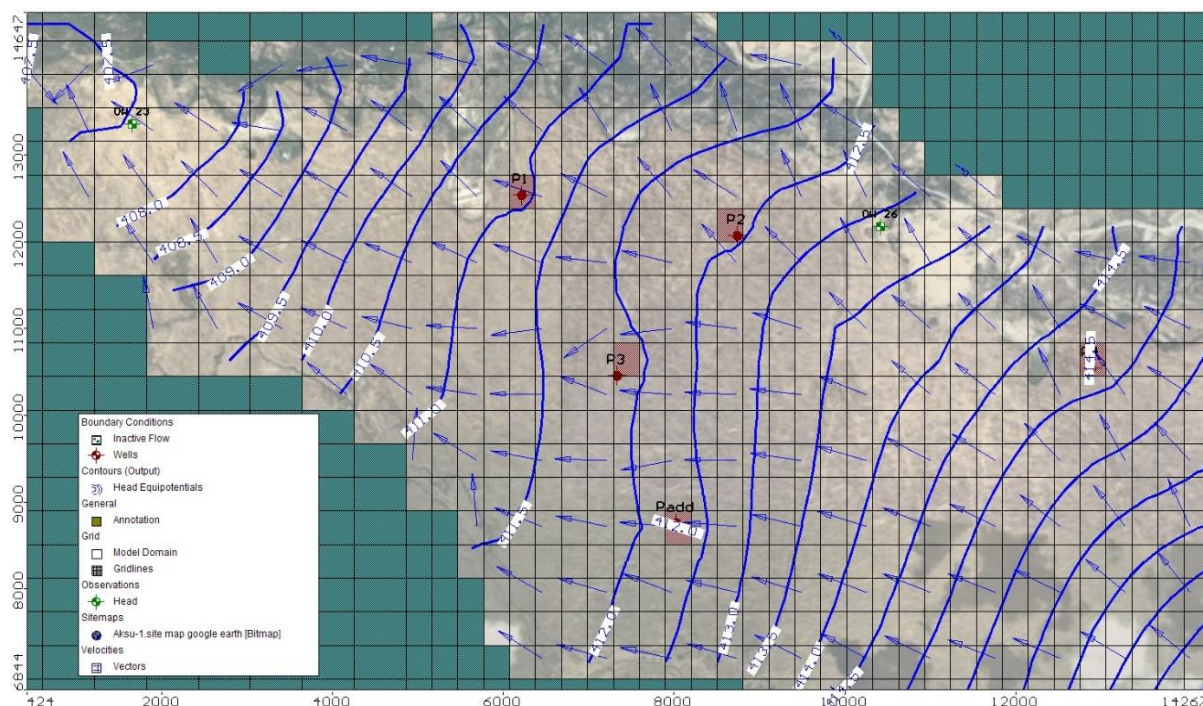


Рис.7.9 - Модельная карта гидроизогипс и направления потока подземных вод на пастбищном массиве №1, в условиях откачки из эксплуатационных скважин P1, P2, P3 и нагнетательной скважины (Inj.1) (иммитация инфильтрационного бассейна) по состоянию на конец прогнозного решения.

9.4. Размещение дополнительной эксплуатационной скважины на пастбищном массиве №1 при сохранении заданного режима водоотбора. Решение дополнительного варианта прогнозной задачи

Учитывая, что при первоначальном варианте размещения проектируемых 3-х эксплуатационных скважин и заданном дебите откачки на пастбищном массиве №1 понижения воды в них превышают их критические значения (раздел 5.2), на модели был просчитан дополнительный вариант прогнозной

задачи. На модели была задана дополнительная эксплуатационная скважина в южной части пастбищного массива. В этом случае, при сохранении общей величины требуемого водоотбора в сумме 864 м³/сут, была уменьшена нагрузка на каждую скважину, которая составила 216 м³/сут и 70 м³/сут при крановом режиме. Временной режим водоотбора из скважин не менялся. При этих расходах, поправка на переход от площади вычислительного блока к размерам реальной скважины по формуле «большого колодца», составила 2 м. На рис 23 представлена модельная карта-врезка гидроизогипс и направления потока подземных вод на пастбищном массиве №1, в условиях откачки из эксплуатационных скважин P1, P2, P3 и дополнительной эксплуатационной скважины Padd по состоянию на конец прогнозного решения.



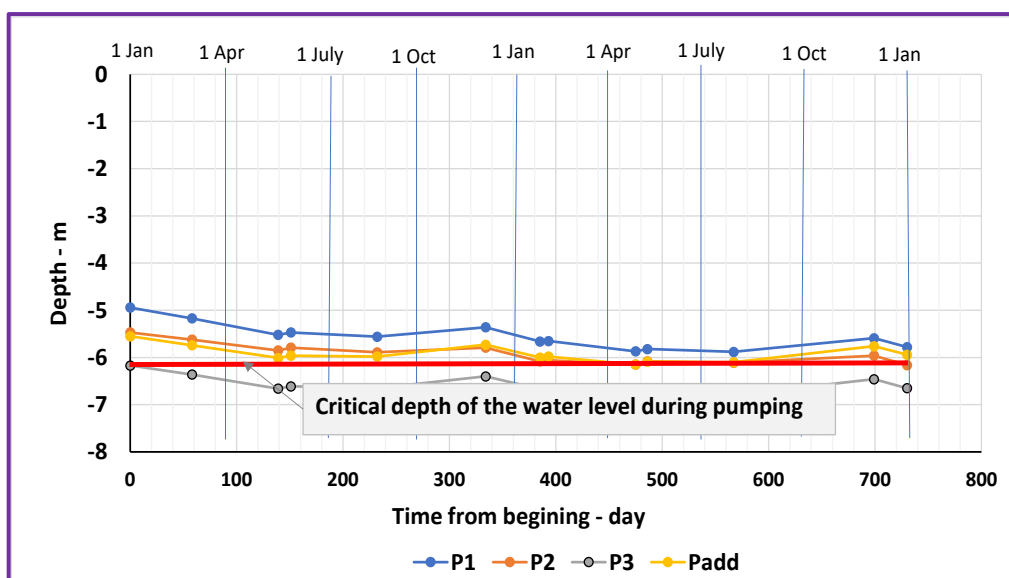


Рис. 24. График понижения уровня воды в эксплуатационных скважинах на пастбищном массиве №1 в сопоставлении с предельно допустимой (критической) глубиной урона воды с учетом рассчитанной поправки.

Лишь в скв. Р3 уровень воды опустится незначительно (до 0.5 м) ниже критического допустимого понижения, но это можно предупредить за счет небольшого заглубления фильтра.

Таким образом, добавление всего лишь 1-ой эксплуатационной скважины позволит решить вопрос водообеспечения пастбищного массива №1.

Выводы по Разделу 9

Прогнозные оценки на созданной модели осуществлялись с целью определения величины понижения уровней воды в проектируемых эксплуатационных скважинах при заданном режиме водоотбора в сравнении полученных значений с предельно допустимыми понижениями уровней воды при откачке. В случае, если величина прогнозных понижений превысит допустимые, то рассмотреть вариант с использованием инфильтрационных бассейнов для поддержания требуемого уровня воды в эксплуатационных скважинах.

Несмотря на то, что инфильтрационный бассейн располагается надалеко от эксплуатационных скважин вверх по потоку подземных вод, его влияние на уровень воды в эксплуатационных скважинах окажется незначительным. Дополнительный подъем уровня воды в наиболее близко расположенной скважине Р2 составит лишь 0.4 м. Непосредственно в самой нагнетательной скважине уровень воды поднимется практически до земной поверхности. Однако радиус влияния инфильтрации из бассейна не превысит 200-400 м., причем существенный подъем уровня подземных вод (более 1 м) будет наблюдаться примерно в радиусе 50-100 м от центра бассейна в зависимости от общего направления потока подземных вод.

Таким образом, в существующих условиях формирования подземных вод и их эксплуатации для водоснабжения водопойных пунктов на пастбищном массиве №1, применение небольших инфильтрационных бассейнов для поддержания заданного уровня воды в эксплуатационных скважинах является целесообразным.

Созданная геофильтрационная модель подземных вод верхнего безнапорного водоносного горизонта нерасчлененных современных и верхне четвертичных отложений на Аксуйском экспериментальном участке дала возможность:

- дать прогнозную оценку обеспеченности эксплуатационного водотбора при заданой и альтернативной схемах расположения проектируемых водопойных пунктов.
- оценить перспективу искусственного поддержания требуемого уровня воды в водозаборных скважинах с использованием инфильтрационных бассейнов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной из приоритетных и актуальных научных задач является проведение натурных исследований процессов кольматации на построенных физических моделях мини - бассейнов с инфраструктурой водозаборных и каптажных сооружений, имитирующих оптимальную для условий Юго-Восточного Казахстана схему и систему ИВЗПВ.

В данной работе выбор участков экспериментальных исследований по изучению процессов кольматации в открытых инфильтрационных бассейнах выполнен на основании материалов по районированию территории Юго-Восточного Казахстана по условиям и возможностям применения способов ИПЗПВ.

Для обоснования выбора репрезентативных участков был проведен комплекс работ, включающий сбор материалов в фондах гидрогеологических и водохозяйственных организаций, а также полевые натурные исследования в пределах изучаемой территории.

По результатам детального изучения главных критериев для создания небольших систем ИВЗПВ, из проработанных вариантов перспективных регионов, альтернативными объектами исследований избраны два экспериментальных участка, расположенных в междуречьи рек Коксу- самого многоводного притока р. Каратал на предгорной равнине и Лепсы в равнинной части, а в качестве пилотного проекта - репрезентативный участок, расположенный в равнинной части среднего течения р. Аксу.

Здесь, в течение пяти лет, осуществлены натурные исследования в физических моделях инфильтрационных бассейнов открытого типа с использованием современных диагностических приборов и лабораторного оборудования и обоснованных на существующих в мировой практике современных технологических подходах к данной проблеме.

С этой целью были построены уникальные системы мини - бассейнов, имитирующие оптимальную для избранных регионов систему ИВЗПВ. На них были проведены полные комплексы полевых исследований по инженерной геологии и механике грунтов с проходкой шурфов и отбором образцов пород зоны аэрации, а также гидрологические, гидрогеологические и лабораторные работы.

Наличие гарантированного источника восполнения запасов подземных вод является одним из важных факторов, определяющих схему и эффективность работы инфильтрационных сооружений, в том числе формирование и влияние процессов кольматации в основаниях инфильтрационных бассейнов на всю систему.

Количественная и качественная оценки антропогенных изменений речного стока основных рек как источника натурных исследований процессов кольматации в основаниях инфильтрационных бассейнов при проектировании систем ИВЗПВ, изложены в магистерской работе автора настоящей докторской диссертации Исмагуловой А.Ж.

В данной работе результаты ранее выполненных исследований годового стока рек Юго-Восточного Казахстана с привлечением базы данных по среднемесячным и средним годовым расходам воды на всех имеющихся гидрологических пунктах за весь период систематических наблюдений по 2014 год включительно, дополнены и скорректированы с учетом проведенных гидрологических наблюдений в течение 2016-2020 годов.

В результате выполненных автором обобщений и анализа предшествующих исследований влияния хозяйственной деятельности на количественные характеристики стока воды, дополненных последними данными, установлено:

- для всех рек исследуемого региона характерна большая асимметрия речного стока в гидрологическом цикле, составляющем в многолетнем разрезе в среднем 9 лет: один год многоводный, два года подряд средних по водности, а 3-5 года могут быть подряд маловодными;

- наиболее высокие расхождения характерны для всех рек в предпаводковые периоды в меньшей степени и значительно - при прохождении паводков. Это вероятнее всего связано с повышением турбулентности водного потока и его разными скоростными характеристиками;

- интегральные и разностные интегральные кривые стока воды рек Аксу, Лепсы, Каратал и Коксу в замыкающих створах в общем повторяют ход кривых стока зоны формирования и осадков, но интенсивность прироста или спада с 1974 г. по ним значительно изменилась, т.е. на естественное уменьшение водности рек в замыкающих створах наложился потери за счет влияния хозяйственной деятельности на водосборе, и немалая роль принадлежит глобальному потеплению и уменьшению ледниково- снежного питания рек исследуемого региона;

- водопотребление формирования речного стока необходимо ориентировать на сток 75% обеспеченности;

Для аридных условий Юго-Восточного Казахстана ведущую роль имеет механическая кольматация, обусловленная переносом речным стоком и, особенно паводковыми водами, продуктов физического выветривания.

Поэтому, в диссертационной работе особое значение придано проведению натурных исследований величины мутности поверхностных вод рек на репрезентативном и экспериментальных участках Юго-Восточного Казахстана.

Натурные исследования мгновенных значений величины мутности поверхностных вод рек проведены в соответствии с РД 52.08.104-2002 фотометрическим методом – точечными замерами с использованием портативного мутномера российского производства при взятии проб воды и контрольными лабораторными анализами весовым методом, результаты которых дают основание констатировать:

- на реках Юго-Восточного региона наблюдаются, практически, все виды антропогенных изменений твердого стока: - от полного отсутствия значимых изменений в низовьях рек Аксу, Лепсы - до увеличения твердого стока

р.Каратал за счет усиления смыва мелкозема с площадей орошения расположенных в его пойме;

- воды рек Аксу, Лепсы и Коксу относятся к чистым рекам. Величина мутности за весь период мониторинга не превысила значений 20-25 мг/дм³ в маловодные годы и 40-45 мг/дм³ в годы с 35-50%- ой водообеспеченностью, что способствовало образованию незначительных по мощности (от 0,05 до 7-8мм) илистых пленок в основании физических мини-бассейнов сезонного регулирования и обеспечения продолжительности их работы в течение всего инфильтрационного периода;

- величины полученных значений мутности речной воды вполне достоверны, проверены современными методами спектрофотометрии и сопоставимы с традиционными гравитационными весовыми методами с высоким коэффициентом корреляции, который составил значения 0,83 для речного стока реки Аксу, 0,90 (р.Лепсы) и 0,95 (р.Коксу), что является очень высокими показателями и указывают на очень низкую погрешность замеренных значений мутности фотометрическим методом.

По результатам выполненных полевых, лабораторных исследований и камеральной обработки, по каждому геолого- генетическому горизонту грунтов покровных отложений и подстилающих пород водоносного горизонта получены натурные характеристики и построены графики профилей и хроноизоплет одномерной объемной влажности грунтов зоны аэрации и подстилающих первый от поверхности водоносный горизонт, вскрытых на физических моделях инфильтрационных бассейнов №1 на Аксуском репрезентативном участке, № 5 и №6 на соответственно Лепсинском и Каратал-Коксуском экспериментальных участках по изучению процессов кольматации

При оценке фильтрационных свойств пород зоны аэрации по результатам опытных наливов для слабопроницаемых грунтов использован метод Нестерова Н.С, а для водопроницаемых грунтов - метод Болдырева А.К.

Полученные значения коэффициентов фильтрации исследованных грунтов зависят от литологического состава пород и составляют для гравийно-галечниковых отложений от 5,6 до 8,5 м/сутки (Каратал-Коксуский участок), для песков значения от 1,5 до 4,5 м/сутки, для супесей 1,1-1,2 м/сутки, для суглинков 0,11-0,79м/сутки (Аксуский репрезентативный участок).

Коэффициенты фильтрации исследованных грунтов на Лепсинском участке исследований составляют для разнозернистых песков, с включением до 30 % мелкого гравия значения от 3,13 до 4,32 м/сутки; для среднезернистых песков: от 1,49 до 1,64; для мелкозернистых песков: от 1,32 до 1,38; для песчанистых супесей: от 1,10 до 1,18 и , для суглинков: от 0,11-0,79 м/сутки.

Весьма важным и дополнительным подтверждением высоких водопропускных способностей песчано-гравийно-галечниковых отложений долин рек Аксу, Лепсы и Коксу является установленная в процессе исследований относительная однородность их гранулометрического состава, который характеризуется более или менее равномерным распределением крупных фракций и малой долей суглинков и супесей.

Изучение влияния скорости и объема инфильтрации поверхностных вод из мини-бассейнов суточного регулирования в подстилающие грунты первого от поверхности водоносного горизонта на гидрохимический режим грунтовых вод выполнялся по всем наблюдательным пьезометрам в зоне влияния мини-бассейнов и по существующим скважинам в граничных условиях участков исследований.

В результате детального изучения сложившихся гидрогеологических условий и динамики формирования гидрохимического режима грунтовых вод установлено, что на Аксуском репрезентативном участке исследований получили распространение и перспективны:

- для искусственного восполнения запасов подземных вод путем строительства инфильтрационных бассейнов сезонного регулирования открытого типа: *водоносный горизонт аллювиальных нерасчлененных современных и верхне четвертичных отложений (aQ_{III-IV})*, представленных песками, супесями, песчано-гравийно-галечными отложениями с прослоями суглинков, глин и алевролитов.

- для обводнения пастбищных массивов отгонного животноводства сооружением водопойных шахтных и трубчатых колодцев и забора воды *водоносный горизонт аллювиально –озерных среднечетвертичных (aQ_{II}) отложений*, представленных тонко и разнотекстурными глинистыми песками, рыхлыми, слабосцементированными песчаниками с прослоями маломощных суглинков и глин.

На территории Лепсинского участка экспериментальных исследований под развитие децентрализованного питьевого водоснабжения имеющих в данном регионе сельских населенных пунктов, животноводческих ферм, в том числе под развитие культурных пастбищ наиболее перспективны:

- *водоносный горизонт аллювиальных современных отложений (aQ_{IV}), водовмещающие породы которого представлены разнотекстурными, преимущественно, среднетекстурными песками с прослоями супесей, суглинков и глин;*

- *водоносный горизонт озерно- аллювиальных верхнечетвертичных отложений (laQ_{III}), водовмещающие породы которого представлены песками с прослоями и линзами супесей, суглинков и глин;*

На территории Каратал-Коксуского участка экспериментальных исследований наиболее перспективны и востребованы в качестве приоритетного водного источника для децентрализованного питьевого водоснабжения имеющих в данном регионе сельских населенных пунктов, животноводческих ферм *подземные воды, приуроченные к участкам, сложенным аллювиальными отложениями, преимущественно современного и верхнечетвертичного возраста.*

При организации участков по изучению процессов кольматации были учтены слабая изученность и незначительные виды и объемы научных и прикладных исследований на территории Юго-Восточного Казахстана в области гидрогеологии, инженерной геологии, поэтому в перечень актуальных

и первоочередных задач были поставлены и организованы масштабные комплексные исследования для получения достоверных натуральных характеристик и параметров.

Основной целью и задачей научной работы является проведение широкомасштабных натуральных полевых и лабораторных исследований по детальному изучению процессов кольтмации на построенных и оборудованных физических моделях мини - бассейнов с инфраструктурой водозаборных и каптажных сооружений, имитирующих оптимальную для условий Юго-Восточного Казахстана систему ИВЗПВ с привлечением программного моделирования и современных инструментов и инновационных методов и технологий цифровизации.

Актуальность научных и натуральных экспериментальных исследований в представленной к защите диссертации заключается в том, что они позволили обосновать особенности и выполнить долгосрочный прогноз гидродинамики процессов инфильтрации и глубинной кольтмации, что в первостепенную очередь предопределяет будущую эффективную работу инфильтрационных сооружений. В современной науке этот вопрос является дискуссионным и требующим углубленного изучения. Для исследования данного процесса в работе проведена разработка и создание численной модели геофильтрации и массопереноса, т.е. построена системная модель процессов кольтмации на основе фактических исходных данных, полученных в результате проведенных многолетних опытных исследований и выполненного долгосрочного прогноза кольтмации фильтрующей среды в покровных и аллювиальных отложениях равнинной части водных бассейнов рек Юго-Восточного Казахстана. Для реализации этой цели были применены часто используемые в исследованиях западными учеными и специалистами программные комплексы Visual MODFLOW Pro и HYDRUS-1D.

Основной целью моделирования с использованием программного комплекса "Visual MODFLOW Pro" являлось уточнение гидродинамических и водно-балансовых характеристик экспериментального участка, а также прогноз понижений уровней подземных вод в сети водозаборных скважинах, расположенных на пастбищных массивах в пределах участка.

В процессе моделирования решались следующие задачи:

- создание и калибровка численной модели фильтрации подземных вод верхнего безнапорного водоносного горизонта с учетом основных гидрогеолого-мелиоративных условий участка исследований;
- оценка изменения балансовых составляющих потока подземных вод в течение 2018-2020 гг;
- прогнозная оценка изменений глубины залегания уровня грунтовых вод, а также балансовых составляющих потока подземных вод, в условиях водоотбора из скважин, расположенных на водопойных пунктах.

Так, созданная одномерная модель влагопереноса в зоне неполного насыщения на Аксуском экспериментальном участке и выполненные расчеты

балансовых составляющих влагопереноса двух вариантов по программе HYDRUS-1D дала возможность

- оценить объем воды поступающий в ненасыщенную зону почвенного профиля;
- охарактеризовать расход потока воды профильтровавшегося в водоносный горизонт из инфильтрационного бассейна;
- оценить точность и достоверность созданной модели сравнив их с данными полевого эксперимента.
- количественно оценить важнейшие гидрофизические функции грунтов, слагающих почвенный профиль: зависимость влажности и коэффициента насыщения от гидростатического напора;
- проанализировать балансовые составляющие инфильтрационного потока в зоне неполного насыщения и рассчитать объем профильтровавшейся воды, который в дальнейшем поступит на восполнение запасов подземных вод подстилающего водоносного горизонта.
- аргументировано обосновать, что при создании инфильтрационных бассейнов, вскрывающих песчаные отложения, образование кольматационного слоя за счет оседания взвешенных частиц поверхностных вод р. Аксу существенно не повлияет на процесс инфильтрации.

Созданная геофильтрационная модель подземных вод верхнего безнапорного водоносного горизонта нерасчлененных современных и верхне четвертичных отложений на Аксуском экспериментальном участке с использованием программного комплекса "Visual MODFLOW Pro" дала возможность:

- изучить основные параметры, характеризующие процесс фильтрации подземных вод для характерного литологического разреза для условий экспериментального участка на реке Аксу;
- оценить балансовые составляющие потока подземных вод в зоне полного насыщения и роль поверхностного стока р Аксу в формировании подземных вод в пределах экспериментального участка в междуречье рек Аксу и Акозек;
- дать прогнозную оценку обеспеченности эксплуатационного водотбора при заданой схеме расположения проектируемых водопойных пунктов;
- оценить перспективу искусственного поддержания требуемого уровня воды в водозаборных скважинах с использованием инфильтрационных бассейнов.

Для получения необходимых параметров при проведении исследований процессов кольматации в открытых инфильтрационных бассейнов при ИВЗПВ был выбран инновационный и унифицированный подход имитации естественных условий инфильтрации воды до полного насыщения испытываемой мощности пород покровных отложений и динамики формирования инфильтрационного потока в верхние слои водонасыщенных отложений первого от поверхности беснапорного водоносного горизонта при

близком залегании уровня грунтовых вод на созданных физических моделях инфильтрационных мини-бассейнов.

Научно - практическая значимость выполненных исследований заключалась в том, что впервые приоритет был отдан натурным полевым и лабораторным работам, результаты которых послужили первичной характеристикой основополагающих параметров формирования и физической активности процессов кольматации.

В ходе опытов, кроме замеров расхода воды производилось определение мутности подаваемой воды, толщины илистого осадка, объемной массы скелета илистого осадка, являющихся исходными параметрами для расчетов фильтрации воды в условиях кольматации.

Опыты проводились с учетом фактической величины основного стока рек, который начинается ежегодно в марте и завершается в в конце октября при разной величине водности гидрологического года: от 25 до 75% - ой водобеспеченности, в связи с чем общая продолжительность срока инфильтрации при использовании систем искусственного восполнения подземных вод составляла ежегодно порядка 8 месяцев в течение четырех лет.

Такие широкомасштабные и продолжительные опыты в отечественной практике исследований в Казахстане выполнены впервые, результаты которых позволили в итоге выявить как характер изменения скорости инфильтрации, так и переход ее через определенные контрольные значения, условно служащие количественным ориентиром оценки сроков фильтроцикла, и исключить элемент случайности в выявлении вероятностно-статистического характера изменения скорости инфильтрации как по площади, так и по глубине.

Кроме того, наливов производились в расположенные на разных расстояниях от русел рек и отличающиеся по литологическому и гранулометрическому составу параметрам водопроницаемости и по глубине залегания от поверхности земли грунтов зоны аэрации и подстилающих пород верхней части нерасчлененных современных и верхнечетвертичных аллювиально-пролювиальных отложений.

Полевые опытно-фильтрационные исследования позволили выявить инфильтрующую способность зоны аэрации; установить закономерности развития кольматации; определить параметры инфильтрационных сооружений для ИВЗПВ; оценить эксплуатационные запасы подземных вод с учетом их искусственного восполнения; прогнозировать изменения качества подземных вод.

Результаты выполненных мониторинговых исследований и расчетов формирования илистой пленки на дне бассейнов в течение всей продолжительности фильтроцикла с использованием полученных натурных значений параметров использованы при составлении наглядных графиков динамики формирования толщины илистой пленки, интегрированной по стадиям режимов работы физических моделей инфильтрационных бассейнов

на репрезентативных участках научных исследований процессов кольматации в Юго-Восточном Казахстане.

Для сопоставления результатов определения величины илистого слоя, образовавшегося в течение полного времени поддержания в инфильтрометрах мини- бассейнов постоянного уровня (гидравлического напора) использовано два метода – непосредственного отбора пробы с ненарушенной структурой в основании прибора и последующего замера ее толщины, и путем вычисления по приложенному детальному расчету с использованием натуральных параметров, полученных в процессе проведения опытных исследований.

Приведенные фактические и расчетные данные показывают, что полученные значения толщины илистого слоя удовлетворительно согласуются; практически все значения коэффициента корреляции находятся в пределах допустимых (расхождения до 10 – 14 %); полевые натурные исследования вполне достоверны и выполнены с достаточно высокой степенью точности.

Это позволило дать более объективную и по площади более масштабную и детальную характеристику процессам инфильтрации воды и фактической кольматации через грунты зоны аэрации и подстилающие отложения верхней части перспективного для ИВЗПВ водоносного горизонта, что в итоге послужило реальной возможностью унификации полученных данных для однотипных рек Юго –Восточного Казахстана.

Данные полевых и лабораторных исследований гидрохимического режима поверхностных и грунтовых вод были использованы для обоснования созданных моделей геофильтрации.

Степень внедрения и экономическая эффективность заключается в том, что полученные результаты исследований процессов кольматации на физической и математической моделях репрезентативного участка ИВЗПВ дают полное основание рекомендовать использование полученных данных на аналогичные районы для возможного дальнейшего внедрения небольших систем ИВЗПВ в аридной зоне Республики Казахстан.

Кроме того, для развития отгонного животноводства в Казахстане Глава Государства поручил обводнить пастбища с целью вовлечения в оборот отдаленных пастбищных участков и развитие инфраструктуры пастбищ.

Поэтому, для обводнения, вовлечения в оборот отдаленных пастбищных участков и развития инфраструктуры на основе получения дополнительных водных ресурсов путем искусственного восполнения запасов грунтовых вод на базе создания инфильтрационных бассейнов суточного регулирования, автором диссертационной работы были проработаны альтернативные варианты на основе которых:

- подготовлена исходная база данных для разработки подпроектного технического задания на стадии технико-экономического обоснования.
- составлена карта фактического материала обводнения пастбищ отгонного животноводства в Аксуском районе.

В качестве наиболее перспективного и имеющего практическое значение по обводнению, вовлечению в оборот отдаленных пастбищных участков и

развитию инфраструктуры избран малоосвоенный массив за счет получения дополнительных водных ресурсов путем искусственного восполнения запасов грунтовых вод на базе создания инфильтрационных бассейнов суточного регулирования.

С целью определения величины понижения уровней воды в проектируемых эксплуатационных скважинах при заданном режиме водоотбора и сравнении полученных значений с предельно допустимыми понижениями уровней воды при откачке выполнены прогнозные оценки на созданной модели. В случае, если величина прогнозных понижений превысит допустимые, то рассмотреть вариант с использованием инфильтрационных бассейнов для поддержания требуемого уровня воды в эксплуатационных скважинах.

На участке задавались 8 эксплуатационных скважин. Их размещение по площади участка учитывало: площадь фонда кормов в пастбищный период; поголовье скота и календарный график по использованию пастбищ, устанавливающий сезонные маршруты передвижения сельскохозяйственных животных.

Результаты прогнозной задачи свидетельствуют о том что, на пастбищном массиве № 1 уровни воды в скважинах (P1, P2, P3) при откачке в заданном режиме (12 м³/час (288 м³/сут) и при крановом режиме между откачками (95 м³/сут)) будут находиться ниже на 1-2 м. от предельно допустимой глубины. На пастбищных массивах 2 и 3 уровни воды в скважинах будут выше критической глубины.

Таким образом, эксплуатационный водоотбор на пастбищных массивах 2 и 3 может считаться обеспеченным, даже учитывая, хоть и незначительный, тренд к снижению уровня воды в течение прогнозного периода.

На пастбищном массиве №1 требуется поддержание уровня воды на отметках выше критического уровня. На детализированной карте-врезке пастбищного массива №1 показана гидродинамическая сетка потока подземных вод, позволяющая оценить изменение динамики потока подземных вод в условиях работы проектируемых водозаборных скважин.

Кроме того, на созданной модели просчитывался вариант возможного использования небольших инфильтрационных бассейнов для поддержания требуемого уровня воды в эксплуатационных скважинах на пастбищном массиве №1. С этой целью в блок модели с координатами X=8375, Y=11475, была задана нагнетательная скважина с постоянным расходом 1000 м³/сут. Скважина имитировала небольшой инфильтрационный бассейн площадью 100 м², с инфильтрации равной 10 м³/сут на 1 м² площади бассейна, что соответствовало величине инфильтрации, полученной для опытных мини-бассейнов.

Таким образом установлено, что в существующих условиях формирования подземных вод и их эксплуатации для водоснабжения водопойных пунктов на пастбищном массиве №1, применение инфильтрационных бассейнов для поддержания заданного уровня воды в эксплуатационных скважинах является целесообразным.

В качестве частного решения на модели был просчитан дополнительный вариант прогностической задачи путем размещения дополнительной эксплуатационной скважины на пастбищном массиве №1 при сохранении заданного режима водоотбора, учитывая, что при первоначальном варианте размещения проектируемых 3-х эксплуатационных скважин и заданном дебите откачки на пастбищном массиве №1 понижения воды в них превышают их критические значения.

В этом случае, при сохранении общей величины требуемого водоотбора в сумме 864 м³/сут, была уменьшена нагрузка на каждую скважину, которая составила 216 м³/сут и 70 м³/сут при крановом режиме. Временной режим водоотбора из скважин не менялся. При этом установлено, что лишь в скв. РЗ уровень воды опустится незначительно (до 0.5 м) ниже критического допустимого понижения, но это можно предупредить за счет небольшого заглубления фильтра.

Таким образом, добавление всего лишь 1-ой эксплуатационной скважины позволит решить вопрос водообеспечения пастбищного массива.

Полученные результаты апробированы в международных и республиканских научных конференциях. Отдельные положения диссертационной работы были доложены на ряде научно-практических конференций, региональных семинарах и при проведении круглых столов общественных организаций (Общественный Фонд «Фермер Казахстана», Республиканская ассоциация сельскохозяйственных кооперативов «АгроСоюз Казахстана»), работников аграрного сектора Министерства сельского хозяйства РК и ученых республики с участием ряда международных организаций (ЮНЕСКО, ПРООН) и представителей донорских компаний, работающих в Казахстане в области сельского хозяйства.

По результатам выполненных научно-исследовательских работ опубликовано 8 статей и сделано 3 доклада, из которых 2 работы в международных изданиях, входящих в базу данных компаний Scopus и Thomson Reuters, и 3 статьи в научных изданиях, рекомендуемых Комитетом по надзору и аттестации МОН РК. Две статьи подготовлены к печати в 2021 году по завершении камеральной обработки итоговых результатов полевых исследований и моделирования процессов кольматации, и отправлены на экспертизу в зарубежные издательства, входящие в базу данных компаний Scopus и Thomson Reuters.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бизе Ж., Бурке Л., Лемуан Ж. Искусственное питание подземных водоносных горизонтов. Издательство Massonet Co., Париж, 1972 г.).
2. Aju, C.D., Achu, A.L., Raicy, M.C., Reghunath, R., 2021. Identification of suitable sites and structures for artificial groundwater recharge for sustainable water resources management in Vamanapuram River Basin, South India. *HydroResearch* 4, 24–37. <https://doi.org/10.1016/j.hydres.2021.04.001>
3. Dar, T., Rai, N., Bhat, A., 2020. Delineation of potential groundwater recharge zones using analytical hierarchy process (AHP). *Geol. Ecol. Landscapes* 00, 1–16. <https://doi.org/10.1080/24749508.2020.1726562>
4. Ahani Amineh, Z.B., Hashemian, S.J.A.D., Magholi, A., 2017. Integrating Spatial Multi Criteria Decision Making (SMCDM) with Geographic Information Systems (GIS) for delineation of the most suitable areas for aquifer storage and recovery (ASR). *J. Hydrol.* 551, 577–595. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.05.031>
5. Hashemi, H., Berndtsson, R., Kompani-Zare, M., Persson, M., 2013. Natural vs. artificial groundwater recharge, quantification through inverse modeling. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 17, 637–650. <https://doi.org/10.5194/hess-17-637-2013>
6. Christy, R.M., Lakshmanan, E., 2017. Percolation pond as a method of managed aquifer recharge in a coastal saline aquifer: A case study on the criteria for site selection and its impacts. *J. Earth Syst. Sci.* 126, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s12040-017-0845-8>
7. Chu, T., Yang, Y., Lu, Y., Du, X., Ye, X., 2019. Clogging process by suspended solids during groundwater artificial recharge: Evidence from lab simulations and numerical modelling. *Hydrol. Process.* 33, 3226–3235. <https://doi.org/10.1002/hyp.13553>
8. Siriwardene, N.R., Deletic, A., Fletcher, T.D., 2007. Clogging of stormwater gravel infiltration systems and filters: Insights from a laboratory study. *Water Res.* 41, 1433–1440. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.12.040>
9. Siegrist, R., 1987. Soil Clogging During Subsurface Wastewater Infiltration as Affected by Effluent Composition and Loading Rate. *J. of Environmental Quality* , Vol.16, Issue 2, 181-187
10. Conley, G., Beck, N., Riihimaki, C.A., Tanner, M., 2020. Quantifying clogging patterns of infiltration systems to improve urban stormwater pollution reduction estimates. *Water Res.* X 7, 100049. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2020.100049>
11. Toran, L., Jedrzejczyk, C., 2017. Water level monitoring to assess the effectiveness of stormwater infiltration trenches. *Environ. Eng. Geosci.* 23, 113–123. <https://doi.org/10.2113/gseegeosci.23.2.113>
12. Плотников Н.А. Проектирование сооружений искусственного восполнения подземных вод для водоснабжения // Москва.Стройиздат.1983г.

13. Бурдаев В. А., Медведев М.И. О факторах, влияющих на скорость кольматации песков в водозаборных сооружениях инфильтрационного типа // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. 1972. № 6. С. 112-117.
14. Богомолов К.С., Бурчак Т.В. Свойства илистой пленки на инфильтрационных сооружениях открытого типа // ГиНГеО, серия «Гидрогеология». Выпуск 52. М.1976 стр.241
15. Плотников Н.И., Плотников Н.А., Сычев К.И. Гидрогеологические основы искусственного восполнения запасов подземных вод. - М.: Недра, 1978. - 311 с.
16. M.A. Mukhamedzhanov, A.T. Makyzhanova, V.V. Kulagin Justification and identification of prospective facilities for use of groundwater for lands irrigation, fodder production and stockwater development in Kazakhstan // Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Geology and engineering sciences series. #3 2017, P.72-83
17. Мирлас В., Антоненко В., Кулагин В., Кульдеева Е., 2015. Оценка искусственного пополнения запасов подземных вод на орошаемых землях с использованием модели MODFLOW. наук о Земле. Рез. 4. <https://doi.org/10.5539/esr.v4n2p16>
18. Абсаметов М.К., Касымбеков Д.А., Муртазин Е.Ж. Подземные воды - стратегический ресурс устойчивого развития Казахстана // Вестник Казахской Национальной Академии естественных наук - 2013. - № 3. С. 115-116.
19. Мухамеджанов М.А., Арыстанбаев Я.У., Искаков Н.К., Казанбаева Л.М., Абсаметова А.Е., Подземные воды аридных районов Казахстана и их использование в условиях изменения климата и роста водопотребления. Сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции 23-24 сентября 2016 года. Глобализация и интеграция традиционной и инновационной науки в современном мире. Санкт-Петербург 2016.
20. V.N. Antonenko Perspectives of groundwater induced recharge in South-East Kazakhstan Papers of International Conference "Water: resources, quality, monitoring, use and water conservation". – Almaty: 2008. - P. 152-155.
21. Антоненко В.Н., Мирлас В.М., Кульдеев Е.И., Кулагин В.В., Кульдеева Э.М. Разработка метода искусственного восполнения запасов подземных вод и исследования перспектив его использования для питьевого водоснабжения в Юго-Восточном Казахстане: отчет о НИР.Э Астана, 2014. – С.12-56.
22. Жуматаев Б.К. Опытное исследование и прогноз кольматации фильтрующей среды в аллювиальных коллекторах Сары-Арки, профессор КазНТУ им.К.И.Сатпаева, г. Алматы //Материалы международной научно-практической конференции - Повышение эффективности водопользования и улучшения мелиоративного состояния орошаемых земель//, г. Шымкент,2011, УДК 556.3.013/.3.072/.38/.3.01
23. Мирлас В.М., Кулагин В.В., Кульдеева Э.М. Оценка условий формирования и возможности искусственного пополнения ресурсов подземных

вод территории южного Казахстана для их рационального использования // Сб. матер. междунар. науч.-практ. конф. Подготовка инженерных кадров в контексте глобальных вызовов XXI века. – Алматы, 2013. – С. 59-62.

24. Кулагин В.В., Кульдева Э.М., Исмагулова А.Т. Исследование мутности воды р. Каратал и влияния на процессы кольтматации основания физической модели инфильтрационного бассейна ИВЗПВ. // Труды Международных Сатпаевских чтений Том III «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана» Алматы, 2015, С.295-30114.

25. Кульдеева Э.М. УДК 556.3.013/.3.072/.38/.3.01 Исследование процесса искусственного восполнения запасов подземных вод в Юго-Восточном Казахстане //6D075500–Гидрогеология и инженерная геология Диссертация на соискание ученой степени доктора философии (PhD)// Республика Казахстан.Алматы. 2015 С119

26. Vladimir Mirlas, Valery Antonenko, Vitaly Kulagin, Elmira Kuldeeva Assessing Artificial Groundwater Recharge on Irrigated Land Using the MODFLOW Model A Case Study from Karatal Agricultural Area, Kazakhstan. Earth Science Research. Published by Canadian Center of Science and Education, 2015 .Vol. 4, No.

27. Kuldeev E., Kulagin V.,Kuldeeva E., Zapparov M.,Ismagulova A. Field studies of artificial ground water spreading processes in the boundary conditions of the infiltration basin physical model (by example of the Karatal area of experimental studies in the South-East Kazakhstan) EM Enternational journal, Maharastra IndiaSeries Ecology, Environment and conservationEEC-F-1273, (2015) ISSN 0971-765X Scopus

28. Исмагулова А.Ж., Кулагин В.В., Заппаров М.Р. Исследования влияния на процессы кольтматации литологического состава пород покровных отложений в инфильтрационных бассейнах открытого типа. //Сборник трудов конференции. Казахский Национальный Исследовательский Технический университет имени К.И. Сатпаева.2016.с 8-14

29. V.A. Zavalei, V.V. Kulagin, E.M. Kuldeeva Organizing, methodology and results of studies of blanket deposits filtration properties at pilot site of groundwater reserves artificial spreading // WORLD Science II International Scientific and Practical Conference “Science and Education - Our Future. November 22-23, - Ajman: UAE, 2015. - Vol.1, № 4(4). – P. 6-11.

30. Ismagulova A., Mirlas V., 2019. Researches of hydrodynamics of infiltration and colmatations processes in basins of daily regulation under artificial replacement of groundwater reserves. N E W S of the National Academy of the Science of the Republic of Kazakhstan,Geology and Technical Sciences,Vol.3, Number435,85 – 95.

31. Kuldeyev E. I., Kulagin V. V., Kuldeyeva E. M., 2015. The study of hydrogeological and water management conditions in the area of groundwater artificial replenishment research. N E W S of the National Academy of the Science of the Republic of Kazakhstan, Geology and Technical Sciences,, Vol.6, Number 414, 121 – 131, (in Russian with English abstract) <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.72>
32. Антоненко В.Н. Перспективы магазинирования подземных вод в Юго-Восточном Казахстане // Труды международной конференции «Вода: ресурсы, качество, мониторинг, использование и охрана вод». – Алматы: 2008. - С. 152-155.
33. Антоненко В.Н., Кульдеев Е.И. Исследование процесса искусственного восполнения подземных вод // Мат. межд.конференции, посвященной памяти В.И.Хаина, МГУ. - М., 2011. – С 105-112.
- 34.Антоненко В.Н., Кульдеев Е.И. Особенности магазинирования подземных вод. Геология в XXI веке // Материалы межд. науч.прак.конф. «Сатпаевские чтения». – Алматы: 2011. – С 35- 40.
35. Антоненко В.Н., Кульдеев Е.И., Тынбаев М.М. Гидрогеологические основы магазинирования подземных вод. // Вестник КазНТУ. -№3. – 2012. –С. 145-148
36. Антоненко В.Н., Мирлас В.М., Кульдеев Е.И., Кулагин В.В., Кульдеева Э.М. Разработка метода искусственного восполнения запасов подземных вод и исследования перспектив его использования для питьевого водоснабжения в Юго-Восточном Казахстане //Отчет о научно-исследовательской работе, УДК:551.49626.01, ГРНТИ:38.61.05.,Астана:2014 – С. 61-82
37. Кулагин В.В., Антоненко В.Н., Шакибаев И.И. Искусственное восполнение запасов подземных вод - основа рационального использования водных ресурсов. // Сборник научных трудов КазНИВХ. – Тараз:2010. Т.47. - вып.1.– С. 3-9.
38. Мирлас В.М., Кулагин В.В., Кульдеева Э.М. Исследования процесса инфильтрационного питания подземных вод для прогноза перспектив искусственного восполнения запасов. //Сб. матер. междунар. науч.-прак. конф. «Проблемы и перспективы развития геологического кластера: образование-наука-производство», посвященная 80-летию К.Турысова. – Алматы, 2014. – С. 55-61.
39. Ливень Е.Н. Оценка антропогенных изменений стока основных рек Или-Балхашского региона.- //11.00.07 — Гидрология суши, водные ресурсы и гидрохимия. Диссертации о Земле <http://earthpapers.net/otsenka-antropogennyh-izmeneniy-stoka-osnovnyh-rek-ili-balhashskogo-regiona#ixzz3PW8Z9hhd>
40. Бакирова Н.А. Диссертация « Гидрогеолого-мелиоративные условия северных предгорий Джунгарского Алатау и прилегающих пустынных территорий», Академия наук Казахской ССр,Алма-Ата,1978,218 стр.
41. Отчет о НИР. Оценить и дать прогноз возобновляемых водных ресурсов поверхностных вод в речных системах бассейнов юга и юго-востока Казахстана с учетом влияния климатических и антропогенных факторов. Оценить качество

поверхностных вод в речных системах, // Институт географии. 2010 г. Алматы: 2010. 183 с.

42. Шестаков В.М. и др. Опыт-фильтрационные работы //М.: Недра, 1974. 204 с.

43. Мирлас В.М., Кулагин В.В., Кульдеева Э.М. Оценка условий формирования и возможности искусственного пополнения ресурсов подземных вод территории южного Казахстана для их рационального использования // Сб. матер. междунар. науч.-практ. конф. Подготовка инженерных кадров в контексте глобальных вызовов XXI века. – Алматы, 2013. – С. 59-62.

44. Мухамеджанов М.А., Макыжанова А.Т., Кулагин В.В. Обоснование и определение перспективных объектов по использованию подземных вод для орошения земель, кормопроизводству и обводнению пастбищ Казахстана //Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. Серия геологии и технических наук. №3 2017,С.72-83

45. Кулагин В.В., Исмагулова А.Ж., Левин В.Г. Натурные исследования условий и перспектив интегрированного использования подземных вод для орошения земель. // Международная научно-практическая конференция «Генезис научных воззрений в контексте парадигмы устойчивого развития», Россия, Санкт-Петербург, (2018), с. 198-20424

46. Богомолов К.С., Бурчак Т.В. Определение грязеемкости инфильтрационных бассейнов // Экспресс- информация ОНТИ « Гидрогеология и инженерная геология». Выпуск 2. М.1978 стр 56

47. Исмагулова А.Ж., Кулагин В.В., Запбаров М.Р. Исследования влияния на процессы коьматации литологического состава пород покровных отложений в инфильтрационных бассейнах открытого типа. //Сборник трудов конференции. Казахский Национальный Исследовательский Технический университет имени К.И. Сатпаева.2016.с 8-14

48. Завалей В.А., Кулагин В.В., Кульдеева Э.М. Организация, методика и результаты исследований фильтрационных свойств покровных отложений на экспериментальном участке искусственного восполнения запасов подземных вод // WORLD Science II International Scientificand Practical Conference "Science and Education - Our Future". November 22-23, - Ajman: UAE, 2015. - Vol.1, № 4(4). – Р. 6-11.

49. Кожназаров А.Д. Справочник по инженерной геологии // Министерство образования и науки Республики Казахстан. Казахский национальный технический университет им. К.И.Сатпаева (Рекомендовано Комитетом геологии и недропользования). Алматы. 2010. С. 235

50. Завалей, Д.К. Калитов Определение параметров водоносных горизонтов по результатам опытно-фильтрационных работ // Учебное пособие для студентов специальностей 180440 – «Гидрогеология, инженерная геология и геоэкология», 050706 – «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых», 451140 и 050805 – «Водные ресурсы и водопользование»

51. Замарин Е.А. О коьматации водоемов суглинком. Научные записки МГМИ, т. 14, 1948. С. 145.

52. Kulydeev E., Kulagin V., Kuldeeva E., Zapparov M., Ismagulova A. Field studies of artificial ground water spreading processes in the boundary conditions of the infiltration basin physical model (by example of the Karatal area of experimental studies in the South-East Kazakhstan) EM International journal, Maharashtra India Series Ecology, Environment and conservation EEC-F-1273, (2015) ISSN 0971-765X Scopus

53. УДК 556.3:574 Оценка кормозапасов и водообеспеченности пастбищных территорий Южного Казахстана для развития животноводства на основе использования естественных пастбищных угодий и организации водоснабжения // Отчет (промежуточный) ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М.Ахмедсафина, Алматы, 2015. С. 34-56

54. Шестаков В.М. Постановка опытно-фильтрационных работ вблизи водотоков // Разведка и охрана недр. – М.: Недра, 1977. - № 9, - С. 38

55. Замарин Е.А. О кольматации водоемов суглинком. Научные записки МГМИ, т. 14, 1948. С. 145.

56. Веселов В.В., Мирлас В. М., Спивак Л.Ф., Степаненко В.П. Принципы создания автоматизированной системы моделирования процессов геофильтрации на ЭВМ. // ж. "Водные ресурсы". - М., 1985г. - № 4. - С. 178-183.

57. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы определения физических свойств почв и грунтов // Государственное издательство, Высшая школа, г. Москва, 1961, 235с.

58. // Научные исследования в области инженерной гидрогеологии // ВНИИВодГео. Выпуск 74. М. 1978г. стр 213

59. Методические рекомендации по изучению стока наносов на реках с малой мутностью. - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 21 с.

60. Методические Указания. Мутность воды. Методика выполнения измерений. РД 52.08.104-2002

61. Алексеев В. С., Боголюбов К. С., Никольская Е. А. Отечественный и зарубежный опыт искусственного пополнения запасов подземных вод. В кн.: Итоги науки и техники, серия «Гидрогеология и инженерная геология» Т. 3, М., 1964, (ВИНИТИ).

62. Бабушкин В.Д., Плотников И.И. Чуйко В.М. Методы изучения фильтрационных свойств неоднородных пород. - М.: Недра, 1974. - 208 с.

63. Бурчак Т. В. Искусственное пополнение подземных вод. Расчет бассейнов и их систем. Киев, 1986.

64. Веселов В.В., Мирлас В. М., Спивак Л.Ф., Степаненко В.П. / Принципы создания автоматизированной системы моделирования процессов геофильтрации на ЭВМ. // ж. "Водные ресурсы". - М., 1985г. - № 4. - С. 178-183.

65. Веригин Н.Н., Васильев С.В., Саркисян В.С., Шержуков Б.С. Гидродинамические и физико-химические свойства горных пород. - М.: Недра, 1977. - 271 с.

66. Григорьев В. М. Из опыта эксплуатации инфильтрационных водозаборов. - «Труды института ВОДГЕО». М., Госстройиздат 1958

67. Джаксымуратов К.М. Гидрогеологические условия магазинирования и опреснения линз грунтовых вод в южном Приаралье: автореф..... канд. геол.-минер. наук. -Алматы, 1997. -19
68. Кошелева Н.Е., Пашковский И.О. Определение инфильтрационного питания по данным режимных наблюдений с использованием функций влияния. - М.: Наука, 1986. – С. 46-51.
69. Крайнов С. Р., Швец В. М. Гидрогеохимия. М., Недра, 1992. Краткое руководство по проектированию инфильтрационных сооружений для искусственного пополнения подземных вод с целью хозяйственно-питьевого водоснабжения. АКХ РСФСР. М., 1972.
70. Мырзахметов М.М., Орман А., Джарболов Н.М. Технологические исследования по искусственному пополнению запасов подземных вод г.Шымкента. Жур. Вода и технология, Санкт - Петербург №2, 2007г., стр. 14-22
71. Отчеты РГУ Зональный гидрогеолого-мелиоративный центр МСХ РК. - Алматы, 2008-2020.
72. Рекомендации по проектированию сооружений для искусственного пополнения подземных вод с целью хозяйственно-питьевого водоснабжения. М., Изд. АКХ, 1976.
73. Сергеев Е.М., Куприна Г.А. Исследование кольматации песков на опытных котловинах. //Труды совещания по теоретическим основам технической мелиорации грунтов. - М.: Изд. МГУ, 1961. - С. 388–396.
74. Сычев К.И., Волосевич Ю.И. Вопросы методики гидрогеологического обоснования искусственного пополнения подземных вод //Гидрогеологическое обоснование искусственного пополнения подземных вод. - М., 1973. – 80 с.
75. Сычев К.М. Условия формирования и оценка ресурсов подземных вод в долинах Центрального Казахстана в связи с решением проблемы централизованного водоснабжения: автореферат канд.геол.-минер.наук. - Новочеркасск: НПИ, 1968.- 23 с.
76. Mirlas, V., Kulagin, V., Ismagulova, A., Anker, Y. MODFLOW and HYDRUS Modeling of Groundwater Supply Prospect Assessment for Distant Pastures in the Aksu River Middle Reaches. Sustainability, 14(24),16783. 2022 (Switzerland)
77. Mirlas, V., Kulagin, V., Ismagulova, A., Anker, Y. Field Experimental Study on the Infiltration and Clogging Processes at Aksu Research Site, Kazakhstan, Sustainability, 14(23),15645, 2022 (Switzerland)
78. Absametov, M.K., Murtazin, E.Zh., Kulagin, V.V., Makyzhanova A., Ismagulova, A.Zh. Infiltration and colmatation dynamics on physical models study by infiltration basins at artificial groundwater recharge, Water Conservation and Management [this link is disabled](#), 2023, 7(1), pp. 45–54
79. Закон Республики Казахстан от 20 февраля 2017 года //О пастбищах//
80. Приказ Заместителя Премьер-Министра Республики Казахстан-Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 24 апреля 2017 года № 173 //Об утверждении Правил рационального использования пастбищ//,

зарегистрированный в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов № 15090

81. Приказ Министра сельского хозяйства Республики Казахстан от 14 апреля 2015 года № 3-3/332 //Об утверждении предельно допустимой нормы нагрузки на общую площадь пастбищ//, зарегистрированный в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов № 11064.

82..Таниев К.Г. Испарение и инфильтрационное питание грунтовых вод. – Ташкент: "Фан", 1979. - 210 с.

83. Лебедев А.В. Методические рекомендации по оценке баланса грунтовых вод с использованием данных режимных наблюдений в одиночных скважинах. - М.: ВСЕГИНГЕО, 1985.- 61 с.

84. Барон В.А. Прогноз режима грунтовых вод с учетом изменения водоотдачи пород во времени // Международный геологический конгресс. 26 сессия. Доклады советских геологов. Гидрогеология. Инженерная геология. - М.: Наука, 1980. – С. 49-53.

85. Кошелева Н.Е., Пашковский И.О. Определение инфильтрационного питания по данным режимных наблюдений с использованием функций влияния. - М.: Наука, 1986. – С. 46-51.

86. Методическое руководство по разведке эксплуатационных запасов подземных вод для водоснабжения. - М.: ВСЕГИНГЕО, 1979. -132 с.

87. Лебедев А.В. Методы изучения баланса грунтовых вод. - М.: Недра, 1976. - 276 с.

88. Ломакин Е.А., Мироненко В.А., Шестаков В.М. Численное моделирование геофильтрации. - М.: Недра, 1988. - 228 с.

89. Зеегофер Д.О., Шестаков В.М. Методика обработки данных опытных откачек вблизи реки // Разведка и охрана недр. - М.: Недра, 1968. - № 9. – С. 35 - 40.

90. Современное экологическое состояние бассейна оз.Балхаш. /Под ред. Т.К. Кудекова. - Алматы: Каганат, 2002. – 388 с.

91. Проблемы гидроэкологической устойчивости в бассейне оз. Балхаш. / Под ред. А. Б. Самаковой/, Алматы, Каганат, 2003, 584 с.

92. А.А. Новак Гидрометрия и водохозяйственный баланс, Методические указания к практическим заданиям для студентов специальности 1-31 02 02 «Гидрометеорология», Минск: 2014

93. Методические Указания. Мутность воды. Методика выполнения измерений. РД 52.08.104-2002

94. Смоляр В.А., Мустафаев С.Т. Гидрогеология Бассейна озера Балхаш: Монография. – Алматы: 2007. – 238 с.

95. Mualem, Y., A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. // - 1976. - Water Resour. - Res., 12(3), - P. 513-522.

96. Šimůnek, J., M. Th. van Genuchten, and M. Šejna, The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. Version 3.0, *HYDRUS Software Series 1*,

Department of Environmental Sciences.// - 2005. -University of California Riverside, Riverside, CA, - P. 270.

97. Kool, J. B., and J. C. Parker, Development and evaluation of closed-form expressions for hysteretic soil hydraulic properties// Water Resour.- 1987. - Res., 23(1), - P. 105-114,

98. Mualem, Y., A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. // - 1976. - Water Resour. - Res., 12(3), - P. 513-522.

99. Scott, P. S., G. J. Farquhar, and N. Kouwen, Hysteresis effects on net infiltration.// - 1983. - Advances in Infiltration, *Publ. 11-83*, Am. Soc. Agri. Eng., St. Joseph, Mich., - P.163-170.

100. Šimůnek, J., M. Th. van Genuchten, and M. Šejna, The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably saturated media. Version 3.0, *HYDRUS Software Series 1*, Department of Environmental Sciences.// - 2005. -University of California Riverside, Riverside, CA, - P. 270.

101. Van Genuchten, M. Th., A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils// -1980. Soil Sci. Soc. Am. J., 44, P. – 892-898.