А.И. Долидудко

Формирование дренажного стока и приближённый водно-солевой баланс Сырдарьинской области Республики Узбекистан за 2021–2025 гг.



НИЦ МКВК
Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной
водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

Научно-информационный центр
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии
Центральной Азии

А.И. Долидудко

Формирование дренажного стока и приближённый водно-солевой баланс Сырдарьинской области Республики Узбекистан за 2021-2025 гг.

Ташкент 2026

Оглавление

Список сокращений и условных обозначений 5
Основные расчётные символы 6
Единицы и краткие записи в таблицах 7
Резюме 8
1. Введение 9
2. Обзор исследований и подходов расчёта водно-солевого баланса 11
2.1. Методические основы и границы баланса 11
2.2. Водосбережение и возвратный сток 17
2.3. Солевые нагрузки и достоверность балансовых выводов 18
2.4. Анализ исследований и подход для Сырдарьинской области 20
3. Исходные данные и методика исследования 21
3.1. Информационная база и временной охват 22
3.2. Подготовка данных и выбор расчётных значений 23
3.3. Границы балансового учёта 23
3.4. Расчёт объёмов и показателей формирования КДВ 24
3.5. Расчёт солевых потоков 25
3.6. Сопоставление стока с мелиоративным состоянием 26
3.7. Анализ коллекторов и связи с водоприёмниками 26
3.8. Проверка связи с водосберегающими технологиями 27
3.9. Представление результатов и границы выводов 28
4. Мелиоративные условия и коллекторно-дренажная система Сырдарьинской области 28
4.1. Орошаемая площадь и обеспеченность дренажем 28
4.2. Изменение степени засоления земель 30
4.3. Режим грунтовых вод и минерализация 32
4.4. Комплексная оценка мелиоративного состояния 34
4.5. Техническое состояние сети и гидротехнические сооружения 35
4.6. Крупные коллекторы и схема отвода воды 37
4.7. Районные сочетания факторов и значение для анализа стока 39
5. Формирование и динамика дренажного стока 40
5.1. Источники формирования и границы оценки стока 40
5.2. Межгодовая динамика водоподачи и учтённого отвода 41
5.3. Районная структура и перераспределение отвода 43
5.4. Удельный отвод и соотношение с водоподачей 45

5.5. Сезонное распределение дренажного стока 46
5.6. Связь с водоподачей и мелиоративными условиями..... 48
5.7. Направления отвода и переход к балансу воды и солей 49
6. Приближенный водно-солевой баланс поверхностных вод Сырдарьинской области 51
6.1. Общая методика и обоснование приближённого расчёта..... 51
6.2. Водоподача и отвод коллекторно-дренажных вод 52
6.3. Учтённый внос и вынос солей по плотному остатку..... 53
6.4. Районные различия солевого баланса 56
6.5. Сезонный перенос солей с КДВ..... 58
6.6. Перенос хлора с водоподачей и КДВ..... 60
6.7. Устойчивость результатов и связь с состоянием земель..... 61
6.8. Итоги приближённого баланса и их практическое применение 62
7. Водосберегающие технологии, водоподача и дренажный сток 64
7.1. Проверяемая гипотеза и масштаб оценки..... 64
7.2. Выборка данных и проверка их сопоставимости..... 65
7.3. Методика статистической проверки..... 66
7.4. Корреляции годовых площадей и КДВ..... 69
7.5. Устойчивость результата и альтернативные варианты 70
7.6. Водосберегающие технологии и водоподача 72
7.7. Совместная водно-солевая интерпретация результатов..... 74
7.8. Результат проверки гипотезы..... 76
8. Направления отвода КДВ и их участие в формировании притока к Шардарьинскому водохранилищу..... 76
8.1. Практическая цель выполненного анализа..... 76
8.2. Крупные коллекторы и конечные направления отвода..... 77
8.3. Расчёт годовых объёмов по конечным направлениям 80
8.4. Речной возвратный компонент и приток к водохранилищу 82
8.5. Совместный учёт объёма и качества возвратного компонента 83
8.6. Итоговая оценка и практическое значение..... 84
9. Основные выводы и практические рекомендации..... 84
9.1 Основные результаты исследования 84
9.2 Значение коллекторного стока для Сырдарьи и притока к Шардаре 86
9.3 Практические рекомендации для двусторонних рабочих групп 86
Список использованной литературы и источников..... 88
Официальные документы и материалы двустороннего сотрудничества 89

Список сокращений и условных обозначений

Обозначение	Расшифровка или значение
БУИС	Бассейновое управление ирригационных систем.
ГВ	Грунтовые воды.
ГТС	Гидротехнические сооружения.
КДВ	Коллекторно-дренажные воды.
КДС	Коллекторно-дренажная система.
КПД	Коэффициент полезного действия; в обзоре – применительно к использованию воды в оросительных системах.
МКВК	Межгосударственная координационная водохозяйственная комиссия Центральной Азии.
НИЦ МКВК	Научно-информационный центр Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии.
УГВ	Уровень грунтовых вод; в таблицах глубин – глубина залегания от поверхности земли, м.
ПП	Постановление Президента Республики Узбекистан; в тексте – ПП-4801.
н/д	Нет данных либо отсутствует сопоставимый показатель за соответствующий период. Не означает нулевого значения.
DOI	Digital Object Identifier – цифровой идентификатор объекта; используется для ссылок на публикации.
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations – Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединённых Наций.
ILRI	International Institute for Land Reclamation and Improvement – Международный институт мелиорации и улучшения земель, Вагенинген; организация, указанная в руководстве SALTMOD.
TDS	Total Dissolved Solids – общее содержание растворённых веществ. Встречается в обзоре зарубежных исследований; в расчётах записки используется показатель минерализации по плотному остатку.

Основные расчётные символы

Обозначение	Расшифровка или значение
I; VI	Учтённая водоподача. В разделах 3 и 6 используются записи VI и I соответственно; индекс I обозначает поток подачи. Единица объёма – млн м^3. Внешнее поступление в общей схеме обозначено $I_{внеш}$.
D; VD	Учтённый объём КДВ; в разделе 3 – VD, в разделе 6 – D. Единица – млн м³. Внешний отвод в общей схеме обозначен $D_{внеш}$.
V	Объём воды за расчётный интервал, обычно млн м^3.
Q; Qcp	Расход воды и его среднее значение за указанный период, м^3/с. Проектный, максимальный и средний расходы различаются по смыслу.
T; Δt	Продолжительность расчётного периода или отдельного интервала, с.
A	Орошаемая площадь, га.
i; d	В разделе 3 – удельная водоподача и удельный отвод КДВ, м^3/га.
k	Отношение объёма КДВ к водоподаче за один период. Может выражаться долей или в процентах; не является КПД.
C; C̄	Минерализация либо концентрация рассматриваемого компонента; C̄ – средневзвешенное по объёму значение, г/л.
M	Масса растворённых веществ, тыс. т, при расчёте по объёму в млн м^3 и концентрации в г/л.
MI; $M_{вх}$	Учтённый солевой внос с поданной водой, тыс. т.
MD; $M_{вых}$	Учтённый солевой вынос с КДВ, тыс. т.
B; b	Разность учтённого солевого вноса и выноса, тыс. т, и её удельное значение, т/га. Не равна измеренному изменению почвенного солезапаса.
Rвод	Разность учтённой водоподачи и отвода КДВ: I − D, млн м^3.
P; ET_a	Осадки и фактическая эвапотранспирация в общей схеме водного баланса. При балансе объёмов выражаются в единицах объёма за период.
G_{in}; G_{out}	Подземный приток и подземный отток в общей схеме баланса.
Uвод	Совокупный чистый вклад неучтённых составляющих водного баланса. Количественно не определён по имеющимся данным.
$U_{соль}$	Совокупный чистый вклад прочих солевых потоков и межфазных переходов в принятой схеме баланса растворённых солей. Количественно не определён.
ΔW	Изменение запасов воды внутри расчётного контура за период.
ΔS	В разделе 6 – изменение массы растворённых солей. Значение и единицы определяются конкретной формулой.

Обозначение	Расшифровка или значение
ΔM	Межгодовое изменение массы выносимых солей.
$V_{КДВ, р}$; $M_{КДВ, р}$	Объём КДВ и масса переносимых растворённых веществ по независимым речным выпускам.
$V_{вх}$; $V_{верх}$	Приток во входном створе водохранилища и поступление через верхний створ рассматриваемого речного участка.
$V_{проч}$; $V_{заб}$; $V_{исп}$	Прочие поступления и результирующий обмен; заборы воды; испарение с водной поверхности на речном участке.
$C_{см}$; $Q_р$; $Q_к$; $C_р$; $C_к$	Концентрация после смешения; расходы реки и коллектора; концентрации в реке и коллекторе.
r; ρ	Коэффициент линейной корреляции Пирсона и ранговой корреляции Спирмена.
p*	Справочный перестановочный показатель раздела 7: доля перестановок, для которых |r| не меньше наблюдаемого. Не трактуется как доказательство причинного эффекта.
n	Число пар наблюдений в статистическом сопоставлении.
Σ; Δ	Знаки суммирования и изменения величины соответственно.
Индексы r, y, m	В формулах раздела 3 – район, год и месяц.

Единицы и краткие записи в таблицах

Обозначение	Расшифровка или значение
га; тыс. га	Гектар; тысяча гектаров.
м; км	Метр; километр.
$м^3$/с; млн $м^3$; млрд $м^3$	Кубический метр в секунду; миллион и миллиард кубических метров.
г/л	Грамм на литр – единица минерализации или концентрации компонента.
т; тыс. т; млн т	Тонна; тысяча и миллион тонн.
$м^3$/га; т/га; м/га	Объём воды на гектар; масса солей на гектар; длина сети на гектар.
%; шт.	Процент; штука – единица количества объектов.

Резюме

Настоящая научная работа посвящена исследованию условий формирования дренажного стока и оценке водно-солевого баланса Сырдарьинской области Республики Узбекистан. Особое внимание уделено функционированию коллекторно-дренажной системы, направлениям отвода дренажных вод и их роли в формировании стока реки Сырдарьи.

В первых главах представлен обзор отечественных и зарубежных исследований в области мониторинга дренажных вод, эксплуатации коллекторно-дренажных систем и составления водно-солевого баланса орошаемых территорий. Описаны исходные данные, методические подходы и особенности проведения исследования.

В последующих главах рассмотрены мелиоративное состояние орошаемых земель области, динамика уровня и минерализации грунтовых вод, степень засоления почв, состояние коллекторно-дренажной сети, а также сезонные и многолетние особенности формирования дренажного стока.

Отдельная глава посвящена составлению приближённого водно-солевого баланса поверхностных вод на основе методического подхода В.А. Духовного и соавторов, который позволил оценить соотношение объёмов водоподачи и дренажного отвода, а также вноса и выноса растворённых солей. Кроме того, рассмотрена взаимосвязь между внедрением водосберегающих технологий полива, объёмами водоподачи и формированием дренажного стока.

Особое место в исследовании занимает анализ направлений отвода коллекторно-дренажных вод в Сырдарью и Арнасайскую систему озёр с акцентом на коллекторы ВЖД и Шурузяк, имеющие значение для трансграничного учёта водных ресурсов и формирования притока к Шардарьинскому водохранилищу.

По результатам исследования сформулированы выводы и практические рекомендации по совершенствованию системы мониторинга, повышению достоверности учёта коллекторно-дренажных вод, улучшению управления мелиоративными системами и определению направлений дальнейших исследований. Полученные результаты могут быть использованы при реализации задач, обозначенных в рамках деятельности совместных узбекско-казахстанских рабочих групп по водным отношениям и качеству вод бассейна реки Сырдарьи.

1. Введение

Основанием для проведения исследования стали задачи совместного мониторинга коллекторно-дренажных вод и совершенствования учёта водных ресурсов, обозначенные в рамках казахстанско-узбекского сотрудничества. На восьмом заседании Казахстанско-узбекистанской совместной рабочей группы (Комиссии) по вопросам охраны окружающей среды и качества вод бассейна реки Сырдарья, состоявшемся 11 декабря 2025 г. в Астане, рассматривался мониторинг коллектора ВЖД в Сырдарьинском районе.[1]

В официальном сообщении Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан от 19 января 2026 г. о 13-м заседании совместной рабочей комиссии по углублению двустороннего сотрудничества во всех сферах водных отношений зафиксирована договорённость о цифровизации гидропостов Кукбулак и Келес, а также коллекторов Шурузяк и Восточный для определения объёма воды, поступающей к Шардарьинскому водохранилищу. Эта договорённость связывает наблюдения на конкретных объектах с практической задачей уточнения притока и требует совместного рассмотрения объёма, происхождения и состава возвратных вод.[2]

В развитие указанных направлений сотрудничества выполнен анализ данных Сырдарьинской области за 2021-2025 гг. Приоритетными объектами являются ВЖД и Шурузяк, рассматриваемые в составе связанной коллекторно-дренажной системы. Для интерпретации наблюдаемого потока необходимо определить условия его формирования, положение измерительных створов и направления дальнейшего отвода. Поэтому исследование охватывает мелиоративное состояние земель, режим грунтовых вод, водоподачу и работу дренажа, а затем переходит к учёту водных и солевых потоков и их связи с конечными водоприёмниками.

Научная задача состоит в согласовании водных и солевых показателей, относящихся к разным пространственным границам и периодам наблюдений. Районная водоподача, отвод по административной отчётности и расход крупного коллектора могут включать различные источники и внутренние перемещения воды. Их сопоставление требует проверки состава и исключения повторного учёта. Уменьшение КДВ также допускает разные объяснения: сокращение поступления в дренаж, изменение водопользования или ослабление дренированности. Поэтому оно оценивается совместно с мелиоративным состоянием орошаемых земель и КДС. Отдельно проверяется предполагаемая связь внедрения водосберегающих технологий полива с водоподачей и отводом, без заранее заданного вывода об эффекте.

Цель исследования – оценить пространственные и временные особенности формирования и отвода КДВ Сырдарьинской области за 2021-2025 гг., составить приближенный водно-солевой баланс в пределах доступного учёта поступления и отвода воды и солей и обосновать совершенствование мониторинга коллекторов ВЖД и Шурузяк в связи с задачами учёта возвратного компонента стока Сырдарьи и уточнения притока к Шардарьинскому водохранилищу.

---

[1] Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Восьмое заседание Казахстанско-узбекистанской совместной рабочей группы (Комиссии) по вопросам охраны окружающей среды и качества вод бассейна реки Сырдарья. Заседание 11 декабря 2025 г., Астана. Источник

[2] Министерство водного хозяйства Республики Узбекистан. O‘zbekiston-Qozog‘iston: suv bo‘yicha hamkorlik mustahkamlanmoqda. Опубликовано 19 января 2026 г. Сообщение о 13-м заседании совместной рабочей комиссии и договорённости о цифровизации гидропостов и коллекторов. Источник

В рамках аналитического исследования поставлены следующие задачи:

- Обобщить международный, региональный и отечественный опыт расчёта водно-солевого баланса и изучения дренажного стока; обосновать методику анализа и проверки имеющихся данных;
- Оценить динамику водоподачи и отвода КДВ, мелиоративные условия и состояние дренажной системы; проверить связь годовых объёмов воды с внедрением водосберегающих технологий полива;
- Составить приближенный водно-солевой баланс области по учтённым поступлениям и отводу воды и солей, раскрыть районные и межгодовые различия;
- Уточнить направления коллекторно-дренажного стока, оценить речную составляющую по имеющимся расходам и разработать рекомендации по согласованному мониторингу коллекторов ВЖД и Шурузяк.

Информационную основу составляют материалы Нижнесырдарьинского БУИСа, а также Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан за 2021-2025 гг.: орошаемые площади, обеспеченность дренажем, засоление и мелиоративное состояние земель, уровень и минерализация грунтовых вод, характеристики сети, водоподача, объёмы и состав отводимых вод. Дополнительно использованы реестр крупных коллекторов и сведения о ежегодном внедрении водосберегающих технологий. Выполнены сопоставление отчётных итогов, независимые пересчёты и проверка согласованности исходных значений.

Водно-солевой баланс служит физической схемой взаимосвязи внешних поступлений, расходов и изменения запасов. Осадки, фактическая эвапотранспирация, подземный обмен и изменения запасов не обеспечены независимыми оценками и не приняты равными нулю. Разность зарегистрированных потоков не трактуется как измерение испарения или изменения солезапаса. Расчётные объёмы по средним расходам коллекторов рассматриваются отдельно от районных итогов до согласования их границ. Поступление в Сырдарью не приравнивается к объёму, достигшему Шардары.

Исследовательский вклад состоит в совместном анализе мелиоративных характеристик, водных и солевых рядов и связности коллекторов с явным разграничением наблюдений, расчётных оценок и неустановленных составляющих. Практический результат – расчётная основа для согласования районного и коллекторно-дренажного учёта, а также программа совершенствования наблюдений количества и качества возвратных вод. Работа обеспечивает аналитическую поддержку обозначенных направлений двустороннего сотрудничества; она не заменяет совместных измерений и согласования режимов водоотведения.

2. Обзор исследований и подходов расчёта водно-солевого баланса

Выбор метода водно-солевого баланса определяется границами расчётной системы и вопросом, на который должен отвечать расчёт. Баланс корнеобитаемого слоя характеризует условия накопления и вымывания солей в почве; баланс орошаемого массива связывает водоподачу, подземный обмен и работу дренажа; бассейновый учёт устанавливает движение воды и солевой нагрузки между территориями. Для Сырдарьинской области важно сопоставить эти уровни, поскольку наблюдения относятся одновременно к административным районам, орошаемым землям и коллекторам.

Данное исследование организовано вокруг трёх исследовательских вопросов: что формирует отвод коллекторно-дренажных вод; что позволяет определить разность поступления и выноса солей; при каких условиях снижение отвода связано с изменением орошения. Сопоставляются общий и частные балансы в исследованиях зарубежных ученых и Центральной Азии. Особое внимание уделено различию между непосредственно измеряемыми величинами, расчётными параметрами и результатами сценарного прогнозирования.

2.1. Методические основы и границы баланса

В работе K.K.Tanji и N.C.Kielen[3] (2002) управление дренажными водами рассматривается на уровнях поля, оросительной системы и речного бассейна. Авторы различают физически обоснованные, эмпирические и концептуальные модели. Сокращение образования дренажных вод увязывается с сохранением необходимого вымывания солей, а повторное использование, отвод и обработка рассматриваются как взаимосвязанные решения. Для данного исследования существенен системный принцип: оценка водосбережения и дренажа должна учитывать последующие водоприёмники, а не ограничиваться одним участком сети.

В обобщённой схеме за выбранный период изменение запаса воды равно разности всех внешних поступлений и расходов. Для территории с поверхностным водоснабжением и подземным обменом это соотношение можно записать следующим образом:

$$\Delta W = I + P + G_{in} - D - ET_a - G_{out}$$

где, ΔW – изменение запаса воды в пределах системы; I – водоподача; P – осадки; G_{in} и G_{out} – подземный приток и отток; D – поверхностный отвод, включая учтённые коллекторные и другие выходящие потоки; ET_a – фактическая эвапотранспирация. Все члены выражаются в одинаковых единицах объёма за один период. Это схема сохранения массы, а не готовая модель области: состав членов зависит от принятой границы.

[3] Tanji K. K., Kielen N. C. Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas. FAO Irrigation and Drainage Paper 61. Rome, 2002. Гл. 2, 3, 5. Источник

Капиллярный подъём входит в баланс корнеобитаемого слоя как поступление снизу. Если почва и связанный с ней водоносный горизонт включены в одну систему, такой обмен является внутренним. Аналогично повторная подача КДВ внутри области не создаёт нового внешнего притока. Поэтому одни и те же наблюдения могут занимать разные позиции в балансах разных масштабов; их механическое суммирование приводит к повторному учёту.

Солевой баланс требует различать перенос растворённых солей водой, изменение их запасов и геохимические превращения. Измеренный вынос показывает массу солей, пересёкшую контрольный створ. Разность вноса с оросительной водой и выноса по коллекторам характеризует только учтённые потоки, пока не оценены подземный обмен, растворение и осаждение минералов и изменение запасов в почвогрунтах. Даже при нулевой разности внешних потоков соли могут перераспределяться между слоями и участками.

В исследованиях Центральной Азии баланс выступает инструментом выбора мелиоративного режима: требуется одновременно обеспечить потребление влаги растениями, ограничить подпитку почвы минерализованными грунтовыми водами и сохранить вымывание солей. Для этого общий баланс массива дополняется частными балансами почвенных и грунтовых вод. Такая постановка непосредственно соответствует условиям орошаемых территорий Сырдарьинской области и позволяет рассматривать коллекторный сток как результат взаимодействия водоподачи, подземного питания и работы дренажа.

Региональная методическая основа представлена отчётом «Дренаж в бассейне Аральского моря: в направлении стратегии устойчивого развития»[4] (2004), подготовленным В.А. Духовным при участии Х.И. Якубова, П.Д. Умарова и других специалистов. В нём сопоставлены поверхностные водно-солевые балансы зон планирования и балансы зоны аэрации, которые включают оросительную норму нетто, осадки, фильтрационное питание, поверхностный сброс, эвапотранспирацию и обмен с грунтовыми водами. В анализе Шурузякского массива авторы описывают ухудшение мелиоративных показателей при сокращении водоподачи и снижении работоспособности дренажа. Этот исторический пример показывает неоднозначность уменьшения отвода: оно может сопровождать как ограничение водоподачи, так и ослабление дренирования.

Р.К. Икрамов[5] (2002) различает сокращение безвозвратных непроизводительных расходов и уменьшение потоков, возвращающихся в водохозяйственную систему. Фильтрационные потери и сбросы могут формировать возвратные воды, повторно используемые ниже по течению. Поэтому повышение КПД каналов не даёт пропорционального прироста располагаемых ресурсов бассейна. Автор также связывает изменение водопользования с качеством воды: уменьшение возвратного объёма может сопровождаться ростом его минерализации. Для данного исследования это принципиальное разграничение между уменьшением коллекторного отвода и экономией воды в масштабе бассейна. Приведённые в работе исторические показатели отдельных зон не принимаются как нормативы современного режима области.

---

[4] Духовный В.А. и др. Дренаж в бассейне Аральского моря: в направлении стратегии устойчивого развития. Предварительный отчёт. Ташкент, 2004. 316 с. См. табл. 2.7, 3.7; разд. 6.4, с. 162–186. Источник

[5] Икрамов Р. К. Роль водосбережения в интегрированном управлении водными ресурсами в орошаемом земледелии. WATER 2002: научно-практическая конференция, посвящённая 10-летию МКВК. 2002. С. 96–104. Источник

В статье Р.К. Икрамова и др.[6] (2023) представлена расчётная последовательность: общий водный баланс территории → баланс грунтовых вод → водно-солевые балансы зоны аэрации и поверхностного слоя грунтовых вод → баланс корнеобитаемого слоя. Раздельно учитываются фильтрация из каналов разных порядков, боковой подземный обмен, связь с глубокими водами, горизонтальный и вертикальный дренаж. Изменение уровня грунтовых вод связывается с запасами воды через водоотдачу или недостаток насыщения; солевые запасы – с мощностью слоя, плотностью почвогрунтов и содержанием солей. Перенос при нисходящем потоке рассчитывается через кратность водообмена и параметры вымывания, а при восходящем – через объём подпитывания и его минерализацию. Это методическая схема прогноза, а не эмпирически установленный эффект реконструкции для нашей области.

Существенное следствие этой схемы – положение УГВ нельзя непосредственно превратить в объём подземного стока. Одинаковое изменение глубины в разных грунтах соответствует разному изменению запасов, а устойчивый УГВ допускает интенсивный, но уравновешенный обмен. Поэтому имеющиеся месячные наблюдения характеризуют режим и позволяют сопоставить районы; количественная оценка подземного питания требует дополнительно определяемых гидрогеологических параметров. Аналогично площадь засолённых земель не заменяет массу солей в выбранном слое.

Х.Э. Якубов и др.[7] (2003) проводили научные исследования в Центральной Фергане с напорным подземным питанием. В работе общий баланс сопоставлялся с балансами зоны аэрации полей различного использования; эвапотранспирация оценивалась по метеорологическим данным и коэффициентам культур. Авторы сообщают годовой солевой баланс зоны аэрации −4,4 т/га при накоплении +15,4 т/га за вегетацию. Следовательно, годовой результат скрывает сезон накопления. Уменьшение модуля дренажного стока по сравнению с ранним периодом эксплуатации связывается с упорядочением водоподачи и снижением промывных норм. Такое сопоставление поддерживает гипотезу о роли режима водопользования, но не изолирует эффект отдельной современной технологии полива.

В монографии Х.Э. Якубова и др.[8] (2011) коллекторно-дренажный сток рассматривается совместно с водопользованием и возможностями повторного орошения в Центральной Азии. Водный баланс зоны аэрации используется для определения направления обмена с грунтовыми водами, после чего оценивается перенос солей. Нисходящее движение воды само по себе не гарантирует благоприятного солевого баланса: вымывание должно компенсировать поступление солей с оросительной водой и другими потоками. Сопоставление вегетационных и невегетационных периодов позволяет отделять сезонное накопление от последующей промывки. Для нашей задачи наиболее полезен переход от общего объёма КДВ к совместной оценке водоподачи, минерализации и сезонного режима.

---

[6] Икрамов Р. К., Гаппаров С. М., Джумаев З. Т., Утаев А. А. Методы прогнозирования уровней грунтовых вод и засоления почв на орошаемых землях. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. № 1(89). С. 170–178. Источник

[7] Якубов Х.Э., Умаров П. Д., Бекмуратов Т. У. Управление водоподачей как средством формирования устойчивого водно-солевого баланса орошаемых земель в условиях напорных подземных вод. 2003. С. 298–306. Электронная копия НИЦ МКВК. Источник

[8] Якубов Х.Э., Якубов М. А., Якубов Ш. Х. Коллекторно-дренажный сток Центральной Азии и оценка его использования на орошение. Ташкент, 2011. Гл. 5, 7. Инициалы приведены по титульному листу. Источник

Современный пример представлен Т.У. Кудратовым и М.А. Якубовым[9] (2025) в работах по Бухарской области за 2022–2023 гг. Авторы сопоставляют водозабор, отвод КДВ, минерализацию, солевые нагрузки и состояние земель; методическую постановку дополняют балансами почвенных и грунтовых вод. Уменьшение КДВ они связывают, в частности, с техническими неисправностями дренажа и отмечают очаги вторичного засоления. Областной вынос солей при этом сосуществует с неблагоприятным соотношением потоков в отдельных районах. Работа важна как близкий по составу данных пример и как альтернативное объяснение сокращения отвода. Авторская интерпретация эксплуатационных данных не рассматривается как экспериментально доказанная причинная связь.

M. Ibrakhimov et al.[10] (2007) сочетали наблюдения в 1972 скважинах Хорезмской области за 1990-2000 гг. с полевой оценкой засоления. Пространственные различия сохранялись при относительно равномерном распределении дренажной сети. Следовательно, сеть наблюдений описывает не только средний режим, но и неоднородность риска: протяжённость коллекторов не эквивалентна их фактической дренирующей способности. Для Сырдарьинской области аналогичный принцип предполагает сопоставление УГВ и минерализации с обслуживаемыми площадями.

I. Forkutsa et al.[11] (2009) использовали наблюдения на трёх хлопковых полях Хорезмской области за 2003 и 2005 гг., а также модель HYDRUS-1D для исследования солепереноса по двухметровому профилю. На двух точках супесчаного поля промывка перемещала соли из верхних 0-0,8 м в слой 0,8-2 м, не обеспечивая удаления из всего профиля. Последующее капиллярное подпитывание способствовало вторичному засолению. В модельных сценариях растительные остатки уменьшали вторичное накопление солей на 12-19%, а улучшение дренажа с понижением УГВ – на 36-59%. Эти величины являются результатами сценарного моделирования конкретных полей. Работа демонстрирует, что наблюдаемое улучшение верхнего слоя и фактический экспорт солей должны проверяться раздельно.

D. Isidoro, et al.[12] (2006) рассчитывали солевой вынос в водосборе Ла-Виолада по расходу и общему содержанию растворённых солей за 1995-1998 гидрологические годы. Поскольку выходной водоток собирал воду нескольких источников, авторы применили анализ смешения конечных компонентов EMMA. Были разделены собственно дренажные воды массива, сбросы и фильтрация из каналов и подземное поступление с неорошаемой территории. Важным источником солей оказались гипсоносные почвы. Методический результат состоит в разграничении происхождения воды: весь расход выходного створа не был автоматически приравнен к дренажу орошаемых земель.

---

[9] Кудратов Т. У., Якубов М. А. Роль дренажа в регулировании водообмена орошаемых земель на засоленных землях. Мелиорация и водное хозяйство. 2025. № 4. С. 38–42. Источник

[10] Ibrakhimov M., Khamzina A., Forkutsa I. et al. Groundwater table and salinity: Spatial and temporal distribution and influence on soil salinization in Khorezm region (Uzbekistan, Aral Sea Basin). Irrigation and Drainage Systems. 2007. 21:219–236. Источник

[11] Forkutsa I., Sommer R., Shirokova Y. I. et al. Modeling irrigated cotton with shallow groundwater in the Aral Sea Basin of Uzbekistan: II. Soil salinity dynamics. Irrigation Science. 2009. 27:319–330. Источник

[12] Isidoro D., Quílez D., Aragüés R. Environmental impact of irrigation in La Violada district (Spain): I. Salt export patterns. Journal of Environmental Quality. 2006. 35:766–775. Источник

Особенно показателен последовательный расчёт R.Barros et al.[13] (2011) для Ла-Виолада за 1995-2008 гг. Начальная схема с орошением, осадками, оттоком и потенциальной эвапотранспирацией давала среднюю невязку − 33%. Учёт дополнительных поступлений и переход к фактической эвапотранспирации уменьшили её до − 13%. После включения фильтрации из каналов и изменения запасов воды годовые ошибки за 1998-2008 гг. находились в пределах ±10% общего расхода. Исследование показывает диагностическое значение устойчивой невязки и необходимость проверки состава баланса.

J.Causapé et al.[14] (2023) составили гидросолевые балансы бассейна Лерма за 2004-2020 гг., включая период до введения орошения. Расчёт по отдельным химическим компонентам дополнил учёт общей солевой массы. По оценке авторов, растворение минералов обеспечивало около 55% экспортируемой массы, а солевой вынос после развития орошения увеличился. Такой источник нельзя восстановить по одной разности «оросительная вода минус дренажная вода». Для нашей работы это обоснование разграничивать экспорт растворённых веществ и изменение почвенных запасов. Наличие плотного остатка и хлора позволяет вести два ряда нагрузок, однако не заменяет полного ионного состава для геохимического разделения источников.

R.J.Oosterbaan[15] (2002) связывает сезонные балансы четырёх расчётных резервуаров: поверхности, корнеобитаемой зоны, переходной зоны и водоносного горизонта. Учитываются осадки, орошение, испарение, инфильтрация, капиллярное подпитывание, дренаж и откачка. Солевой расчёт опирается на перемешивание и эффективность вымывания, дренаж зависит от положения УГВ и параметров системы. Упрощение временного шага позволяет исследовать многолетние сценарии, но требует климатических данных, начальных запасов и параметров обмена. В отличие от измерительного баланса контрольного створа, результат содержит зависимость от принятых параметров. Поэтому модель полезна для понимания механизмов и будущего сценарного анализа, а её расчётные потоки нельзя подставлять в областной баланс без обоснования исходных условий и проверки.

A.Singh[16] (2012) применил SALTMOD в переувлажнённой зоне штата Харьяна на северо-западе Индии. Десятилетние периоды калибровки и проверки предшествовали оценке пятнадцатилетних сценариев изменения водопользования. Рассматривались сочетания уменьшения площади риса и подачи из каналов с увеличением использования грунтовых вод. Значимость примера состоит в проверке сценариев по наблюдениям и совместном изменении нескольких управляющих факторов, а не в поиске универсального коэффициента снижения дренажного стока.

Y.Wen et al.[17] (2020) разработали для массива Хэтао в Китае полураспределённую модель месячных объёмов дренажа и минерализации. Территория

---

[13] Barros R., Isidoro D., Aragüés R. Long-term water balances in La Violada irrigation district (Spain): I. Sequential assessment and minimization of closing errors. Agricultural Water Management. 2011. 102:35–45. Источник

[14] Causapé J., Gimeno M. J., Auqué L. Hydrosaline balance evolution of an irrigated zone: The case of Lerma basin (Spain, 2004–2020). Science of the Total Environment. 2023. 905:166996. Источник

[15] Oosterbaan R. J. SALTMOD Description of Principles User Manual and Examples of Application. Версия 1.1: ILRI, Wageningen, 2001; электронное руководство Windows-версии, май 2002. Источник

[16] Singh A. Validation of SaltMod for a semi-arid part of northwest India and some options for control of waterlogging. Agricultural Water Management. 2012. 115:194-202. Источник

[17] Wen Y., Shang S., Rahman K. U., Xia Y., Ren D. A semi-distributed drainage model for monthly drainage water and salinity simulation in a large irrigation district in arid region. Agricultural Water Management. 2020. 230:105962. Источник

была разделена на 19 дренажных участков, связанных с основными каналами и дренами. Поверхностный возвратный сток и подземный дренаж рассчитывались раздельно; калибровка выполнена по данным 2008–2010 гг., проверка – 2012-2013 гг. В исследованных условиях их вклады составили соответственно 32,7 и 67,3% общего дренажного отвода. Эти доли нельзя переносить на Сырдарьинскую область, но подход обосновывает необходимость различать механизмы формирования коллекторно-дренажного стока.

В последующей модели DAHMID-S Y.Wen et al.[18] (2023) объединили месячные водные и солевые балансы орошаемых и неорошаемых земель Хэтао. В неё включены орошение, эвапотранспирация, почвенная и грунтовая вода, отвод по дренажной сети и внутренний боковой перенос между участками. Такой подход учитывает возможность перемещения солей внутри массива без их немедленного экспорта через коллекторы. Для данной работы это обоснование различать внешний солевой вынос и внутреннее перераспределение, но не основание количественно оценивать последнее без пространственных исходных данных.

Сопоставление этих исследований выявляет три разных уровня доказательности: расчётная схема описывает механизм; полевые и эксплуатационные наблюдения характеризуют конкретный режим; сравнение разных периодов выявляет изменение, но может включать несколько одновременно действующих причин. Методически оправдано опираться на систему общих и частных балансов, а результаты дальнейшего расчёта соотносить с теми компонентами, которые реально охвачены наблюдениями.

Для областного исследования из приведенных работ следуют два положения. Во-первых, снижение засоления верхнего слоя и вынос солей за пределы территории – разные результаты. Во-вторых, сезонные данные УГВ и минерализации необходимы для объяснения солевого режима, но сами по себе не позволяют вычислить массу капиллярного переноса: для этого нужны характеристики почвы и величина восходящего потока. Имеющиеся районные наблюдения целесообразно использовать для сопоставления условий, не подменяя ими ненаблюдаемые потоки.

Для коллекторов ВЖД и Шурузяк опыт Испании важен прежде всего правилами выбора контрольных створов и разделения потоков. Расходы отводов, уже включённых в нижний измерительный створ, повторно не прибавляются. Если отводы впадают ниже исходного створа, их учёт выполняется отдельно при построении расчётного нижнего створа. В то же время схема водоприёмников без синхронных наблюдений не позволяет воспроизвести применённое в Ла-Виолада разделение компонентов смешанного стока. Для данной работы это означает необходимость осторожного разграничения измеренного отвода и происхождения его составляющих.

Сопоставление моделей показывает, что увеличение сложности оправдано при наличии данных для определения параметров и независимой проверки. Модель почвенного профиля отвечает на вопросы распределения солей по глубине; концептуальная сезонная модель – на вопросы долгосрочного изменения режима; пространственная модель – на вопросы обмена между участками и движения по сети. Районные отчёты позволяют составить учёт наблюдаемых потоков и сравнить территории, но не заменяют параметры детальных гидрогеологических моделей.

[18] Wen Y., Wan H., Shang S. A monthly distributed water and salt balance model in irrigated and non-irrigated lands of arid irrigation district with shallow groundwater table. Journal of Hydrology. 2023. 616:128811. Источник

Между восстановлением неизвестного потока по балансу и его независимым измерением существует принципиальная разница. Если фильтрацию или подземный приток определить как остаток, уменьшение невязки будет математически обеспечено и не станет самостоятельной проверкой. Проверяемая модель должна воспроизводить наблюдения, не использованные для подбора параметров; проверяемый измерительный баланс – опираться на независимо полученные составляющие. Именно поэтому результаты калиброванных моделей других территорий не восполняют отсутствующие компоненты нашего расчёта.

Различаются и пространственные основания расчёта. Почвенный профиль ограничен заданной глубиной; дренажный участок – зоной питания и отвода; район – административной границей. Сложение частных балансов даёт общий только при согласовании границ и исключении внутренних обменов. Для ВЖД и Шурузяка площадь влияния коллектора и перечень поступающих в него ветвей важнее простого отнесения всей длины сети к одному району. Это необходимое условие корректного сравнения районного водозабора с расходом коллектора.

Я.В.Кийне[19] (2006) дополняет региональные расчёты постановкой задачи восстановления дренажа. В нём прямо различаются административная территория и гидрологическая единица: участок мероприятий должен определяться связанной системой орошения и дренажа, которая может не совпадать с районом. Это существенно для сопоставления наших районных итогов с расходами крупных коллекторов.

2.2. Водосбережение и возвратный сток

В связи с тем, что одной из задач поставлено определение зависимости между внедрением водосберегающих технологий полива и формированием коллекторно-дренажного стока Сырдарьинской области за 2021–2025 гг. был выполнен следующий анализ научных работ.

Наиболее близкий к поставленной нами задаче пример представлен M.T.Jiménez-Aguirre и D.Isidoro[20] (2018). Они сравнили водно-солевые балансы массива Ла-Виолада до и после перехода от поверхностного полива к дождеванию. Модернизация сопровождалась уменьшением водных потоков, кроме фактической эвапотранспирации, и некоторым повышением концентраций солей и нитратов в возвратной воде. Несмотря на повышение концентрации, годовая солевая нагрузка снизилась на 60,4%.

R.Q.Grafton et al.[21] (2018) рассмотрели проблему на уровне речного бассейна. Повышение эффективности полива может уменьшать водозабор и возвратные потоки, но само по себе не гарантирует уменьшения водопотребления: результат зависит от изменения фактической эвапотранспирации, площадей, интенсивности производства и

[19] Кийне Я.В. Инициатива бассейна Аральского моря. В направлении стратегии с реально осуществимыми инвестициями в дренаж: бассейн Аральского моря. Сводный отчёт. Русская версия под ред. В.А. Духовного. IPTRID FAO; НИЦ МКВК, август 2006. См. п. 12.1.2, с. 44-45. Источник

[20] Jiménez-Aguirre M. T., Isidoro D. Hydrosaline Balance in and Nitrogen Loads from an irrigation district before and after modernization. Agricultural Water Management. 2018. 208:163–175. Источник

[21] Grafton R. Q., Williams J., Perry C. J. et al. The paradox of irrigation efficiency. Science. 2018. 361(6404):748–750. Источник

повторного использования воды ниже по течению. Авторы связывают обоснованную оценку экономии с измерениями и бассейновым учётом.

С учётом этого проверку по Сырдарьинской области следует строить по нескольким наблюдаемым величинам: площади действующих технологий, внешней водоподаче, объёму КДВ, удельному отводу и солевому выносу. Ежегодно введённая площадь и накопленная площадь действующих систем должны быть разграничены. Для сравнения районов желательно знать долю технологий в орошаемой площади, однако их разные виды и фактический режим эксплуатации также могут иметь значение.

При пяти годовых наблюдениях совпадение трендов не обеспечивает доказательства причинного эффекта. Снижение отвода может сопровождать уменьшение водоподачи, изменение площадей, усиление повторного использования или ухудшение работы дренажа. Сопоставление районов, если доступны районные площади внедрения, расширит наблюдаемую вариацию, но не устранит общие годовые воздействия. Поэтому задача записки – установить, поддерживают ли имеющиеся данные гипотезу о связи водосбережения и КДВ, и оценить её согласованность с УГВ и засолением.

Для анализа 2021-2025 гг. целесообразно различать три наблюдаемых сочетания. Снижение удельной водоподачи и отвода при стабильном или улучшающемся состоянии земель согласуется с уменьшением избыточного питания. Снижение отвода при подъёме грунтовых вод или расширении засоления допускает ухудшение дренирования. Снижение отвода при росте минерализации требует расчёта массы солей: концентрация может увеличиться быстрее, чем уменьшается объём. Это диагностические предположения, проверяемые по совокупности показателей, а не заранее установленные причины.

Изменение общей площади орошения также должно быть отделено от изменения интенсивности отвода. Удельный отвод характеризует объём на единицу площади, а отношение отвода к водоподаче – соотношение двух потоков. Ни один показатель самостоятельно не измеряет эффект технологии. При пяти годах областных данных корреляция двух трендовых рядов может быть высокой без причинной связи; районные сравнения полезны при сопоставимости границ, но требуют учёта различий водоподачи и исходного мелиоративного состояния.

2.3. Солевые нагрузки и достоверность балансовых выводов

Расчёт солевой нагрузки связывает объём воды и концентрацию за один и тот же интервал. Если V выражен в млн м^3, а C в г/л, произведение даёт массу в тыс. т. Годовой вынос определяется суммой интервальных произведений; средневзвешенная концентрация – отношением суммарной массы к суммарному объёму:

$$M = \sum V_i C_i$$

$$\bar{C} = \frac{\sum V_i C_i}{\sum V_i}$$

где, M – суммарная масса солей, переносимая водным потоком за расчётный период, тыс. т; V_i – объём воды за i-й интервал учёта, млн м^3; C_i – минерализация воды либо концентрация рассматриваемого компонента за тот же интервал, г/л; $\bar{C}$ – средневзвешенная по объёму концентрация за весь расчётный период, г/л; $\sum$ –

суммирование по всем интервалам расчётного периода. При годовом расчёте по месячным данным суммирование выполняется за 12 месяцев. Для переменного состава воды месячный расчёт лучше отражает сезонность, чем умножение годового объёма на арифметическую среднюю месячных концентраций. Однако и месячное произведение остаётся оценкой, если С представляет разовую пробу: концентрация должна быть репрезентативной для проходящего объёма. Детализация таблицы сама по себе не гарантирует точности солевой нагрузки.

При агрегировании районов сначала суммируются сопоставимые объёмы и массы, затем рассчитывается областная концентрация. Средняя районных концентраций без весов характеризует иной показатель. Плотный остаток и хлор также требуют раздельных расчётов: хлор является составляющей растворённых веществ, и его массу нельзя прибавлять к плотному остатку как независимый солевой поток. Площади по категориям засоления полезны для характеристики состояния, но не определяют запас солей без концентраций, мощности слоя и плотности почвы.

Отношение отвода к водоподаче может служить сравнительным показателем территории при согласованных границах учёта. Его нельзя автоматически называть промывной долей корнеобитаемого слоя или коэффициентом полезного использования воды. Расход КДС может включать подземное питание, транзит и поверхностные сбросы; малое значение отношения допускает несколько объяснений. Поэтому такой показатель интерпретируется совместно с объёмами, минерализацией и мелиоративными наблюдениями.

Суммарный солевой поток физически определяется совместным изменением расхода и концентрации во времени. В интервальной записи произведение V_iC_i является точной нагрузкой, если C_i – средняя концентрация, взвешенная по прошедшему объёму. Для разовой пробы оно представляет приближение. При одинаковой арифметической средней концентрации два года могут иметь разный вынос, если высокая минерализация в одном году совпадает с большим расходом, а в другом – с малым. Поэтому частота и согласованность измерений являются частью методики, а не только вопросом оформления таблиц.

Остающаяся после исключения известных потоков разность может одновременно включать ненаблюдаемый обмен и ошибки измерений. Без самостоятельной оценки этих составляющих её нельзя единственным образом отнести к испарению, инфильтрации или накоплению солей. Аналогично отрицательная разность поступления и выноса солей допускает мобилизацию ранее накопленных или геологических солей и подземный внос. Для вывода о рассолении конкретного почвенного слоя необходима согласованная динамика его запасов; районные категории засоления служат дополнительным, но иным по физическому смыслу свидетельством.

Для настоящего исследования численный допуск невязки не задаётся произвольно. Его обоснование требует сведений о погрешностях измерений и полноте состава баланса. Без них одинаковый процент расхождения может иметь разное значение для разных районов и лет; малый остаток сам по себе не служит подтверждением точности учёта.

2.4. Анализ исследований и подход для Сырдарьинской области

Для Сырдарьинской области принимается балансовый учёт зарегистрированных водных и солевых потоков с районной детализацией и последующим областным обобщением. Он позволяет установить динамику водоподачи и отвода, рассчитывать солевую нагрузку и сопоставлять её с мелиоративным состоянием.

Сопоставление рассмотренных работ позволяет выделить пять подходов (таблица 2.1). Их различие состоит прежде всего в объекте учёта и составе наблюдений. Усложнение модели оправдано при наличии параметров и данных для её проверки; оно не устраняет неопределённость исходной отчётности.

Таблица 2.1

Сопоставление подходов к водно-солевому балансу и их применимость к исследованию

Подход и примеры работ	Что определяется	Необходимые данные	Применение в записке
Учёт потоков территории: региональные работы Икрамова, Якубова; Духовный и др. (2004)	Водоподача, отвод, перенос солей через принятую границу	Согласованные объёмы, концентрации, период и границы; для полного баланса – остальные поступления, расходы и запасы	Основной расчёт учтённых потоков; остаток сохраняется как неразделённая величина
Сезонные балансы почвы и грунтовых вод: Якубов и др. (2003); Икрамов и др. (2023)	Обмен между слоями, накопление и вымывание солей	Осадки, фактическая эвапотранспирация, влажность, свойства грунтов, солевые запасы и подземный обмен	Используются для интерпретации; численно не замещаются разностью водоподачи и КДВ
Разделение источников и проверка замыкания: Isidoro et al. (2006); Barros et al. (2011), Испания	Происхождение выходного стока и недостающие компоненты	Наблюдения по источникам воды, гидрохимические признаки смешения, независимые оценки потоков	Схема створов и исключение повторного учёта; доли источников без наблюдений не задаются
Моделирование: SALTMOD, HYDRUS-1D, модели Hetao; Oosterbaan (2002), Forkutsa et al. (2009), Wen et al. (2020, 2023)	Сценарии изменения уровня вод и солепереноса	Параметры почвы и водоносного горизонта, граничные условия, данные калибровки и проверки	Обоснование направлений дальнейших исследований; количественные прогнозы не выполняются

Подход и примеры работ	Что определяется	Необходимые данные	Применение в записке
Оценка водосбережения: Jiménez-Aguirre и Isidoro (2018); Grafton et al. (2018)	Изменения водоподачи, возвратного стока и бассейнового результата	Сопоставимые периоды, фактически действующие технологии, климат, культуры, режим орошения и контрольные участки	Описательный и корреляционный анализ пяти лет; причинный эффект отдельно не идентифицирован

Примечание. Авторское сопоставление рассмотренных в разделе работ. Таблица показывает выбор метода для имеющейся базы, а не результаты повторной калибровки опубликованных моделей.

При интерпретации разграничиваются внешние потоки, повторная подача и последовательный учёт воды в связанных коллекторах. Полное количественное разделение районных потоков пока ограничено составом исходных данных. Объёмы по реестру оценены расчётным путём по среднегодовым расходам. Поскольку осадки, эвапотранспирация, подземный обмен и изменение запасов не обеспечены самостоятельными наблюдениями, их не принимают равными нулю и не вычисляют подгонкой остатка. Полученная разность фиксирует соотношение учтённых потоков, а динамика УГВ и площадей засоления используется как независимая характеристика состояния. Такой подход сохраняет полезность большого массива отчётных данных и одновременно ограничивает выводы величинами, которые действительно можно обосновать.

Исследовательская задача состоит в согласованном анализе зарегистрированных потоков за 2021-2025 гг., сезонности отвода КДВ и районных показателей состояния земель. ВЖД и Шурузяк рассматриваются как приоритетные объекты связи областного водопользования с последующими водоприёмниками. Такой подход продолжает балансовую постановку исследований Центральной Азии и использует международный опыт проверки потоков, сохраняя различие между расчётной нагрузкой, состоянием почвы и бассейновым эффектом.

3. Исходные данные и методика исследования

Исследование охватывает орошаемые земли Сырдарьинской области за 2021-2025 гг. Методика объединяет проверку эксплуатационной отчётности, расчёт зарегистрированных водных и солевых потоков и сопоставление этих потоков с режимом грунтовых вод, засолением и состоянием дренажной сети. Основной расчёт выполняется по восьми районам с последующим областным обобщением. При анализе магистрального отвода приоритетными объектами являются коллекторы ВЖД и Шурузяк.

3.1. Информационная база и временной охват

Первичную основу составляют годовые отчёты Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства Республики Узбекистан за 2021-2025 гг. Подготовленная база сохраняет исходные ячейки и их адреса, каталог источников и расчётные показатели. Месячные районные ряды КДВ доступны за 2021, 2022, 2024 и 2025 гг. Сведения за 2023 г. используются только с годовой детализацией. Месячные ряды именованных коллекторов не считаются представленными только на основании наличия районных таблиц.

Таблица 3.1

Состав данных и назначение в расчёте

Группа показателей	Состав сведений	Единицы	Применение
Орошаемые площади и дренаж	Площади орошения, обеспеченность дренажем и параметры сети	га, тыс. га, %; км, шт.	Знаменатели удельных показателей; условия отвода
Засоление и состояние земель	Годовые и сезонные сведения о засолении и состоянии земель	га, тыс. га, %	Годовые и сезонные характеристики состояния
Грунтовые воды	Наблюдения глубины и минерализации грунтовых вод	м; га; г/л	Месячный режим и распределение условий
Водоподача и отвод	Объёмы водоподачи, отвода и повторного использования	млн $м^3$	Районный учёт объёмов, направления отвода
Солевые потоки	Объёмы воды, плотный остаток, хлор и солевые массы	млн $м^3$; г/л; тыс. т	Внос, вынос, взвешенная концентрация
Крупные коллекторы	Характеристики коллекторов, состояние сети и выполненные работы	км; $м^3$/с; шт.; площадь	Схема сети, водоприёмники и эксплуатационные условия

3.2. Подготовка данных и выбор расчётных значений

Сведение материалов в единую базу, выверка и предварительный анализ числовых данных выполнены с применением системы искусственного интеллекта ChatGPT (OpenAI) и программной обработки электронных таблиц. Проверены перенос значений, единицы измерения, районные и областные суммы, суммы месячных объёмов и произведения объёмов на концентрации. Суммированием месячных значений воспроизведены 32 районных годовых объёма. Такая проверка подтверждает согласованность переноса и расчётов, но не устанавливает полноту первичного гидрометрического учёта.

Выявленные расхождения и предложенные расчётные значения рассмотрены автором исследования. Исправленные значения, принятые для дальнейшего анализа, подтверждены его независимым ручным пересчётом. Инструмент ИИ использован для обработки и анализа предоставленной информации; выбор расчётных значений и окончательная научная интерпретация результатов осуществлена автором исследования.

Названия районов и коллекторов приводятся к единому написанию с сохранением исходного варианта. Объёмы выражаются в млн $м^3$, концентрации – в г/л, солевые массы – в тыс. т, площади – в га либо тыс. га с явным указанием масштаба. Глубины грунтовых вод, представленные в исходных материалах в сантиметрах, при необходимости переводятся в метры. УГВ рассматривается как глубина от поверхности земли: уменьшение численного значения означает подъём грунтовых вод.

3.3. Границы балансового учёта

Общий баланс территории и частные балансы почвенных и грунтовых вод связаны через внутренний обмен. Такой принцип принят в исследованиях Р.К.Икрамова и соавторов[22] (2023). В настоящей работе он используется для определения границ расчёта и интерпретации наблюдений; детальный прогноз солепереноса по почвенному профилю не выполняется.

Различаются районный учёт водоподачи и отвода, областная сводка районных показателей и учёт внешнего отвода через конечные створы коллекторов. Сумма районных объёмов характеризует зарегистрированную отчётную величину. Она считается внешним потоком области только в той части, для которой исключены межрайонный транзит и последовательная регистрация одного объёма в связанных створах.

Учтённая водоподача V_i представляет общий фактический объём по районной отчётности и не отождествляется с полевой нормой нетто или внешним водозабором области. Исходная форма отдельно перечисляет поступления из оросительных источников, оросительных скважин, скважин вертикального дренажа и открытых коллекторов. Поэтому сведения о местных источниках и повторном использовании не прибавляются к общему объёму автоматически.

[22] Икрамов Р. К., Гаппаров С. М., Джумаев З. Т., Утаев А. А. Методы прогнозирования уровней грунтовых вод и засоления почв на орошаемых землях. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. № 1(89). С. 170–178. Источник

В общем физическом балансе изменение запаса воды определяется внешними поверхностными поступлениями и расходами, осадками, эвапотранспирацией и подземным обменом. В доступных материалах климатические составляющие, изменение запасов и полный подземный обмен не обеспечены самостоятельными оценками. Поэтому количественная часть записки представляет учёт водоподачи и КДВ в рамках общего балансового подхода. Разность этих потоков не обозначается как испарение или безвозвратное потребление и не используется для искусственного замыкания баланса.

Неопределённые составляющие общего водного и солевого балансов не принимаются равными нулю. Их численная оценка возможна при наличии обоснованных осадков, эвапотранспирации, параметров подземного обмена и изменения запасов. Исторические значения допускаются для отдельного сравнения или сценария с указанием периода и границ применимости. Условное варьирование потоков на ±5% характеризует чувствительность разности и не объявляется установленной погрешностью измерений.

3.4. Расчёт объёмов и показателей формирования КДВ

Годовой отвод V_D для района r и года y рассчитывается суммированием двенадцати месячных объёмов. При отсутствии сезонных показателей они не рассчитываются и обозначаются «н/д». При неполном месячном ряде сумма доступного периода не представляется как полный год.

$$V_{D,r,y} = \sum V_{D,r,y,m}$$

где V_D – объём КДВ, млн м^3; r – район; y – год; m – месяц; суммирование выполняется по m от 1 до 12. Сумма районных объёмов образует областную отчётную сводку. Учёт конечных коллекторных потоков выполняется отдельно с проверкой положения створов и исключением повторного включения уже учтённых отводов.

Расход Q, м^3/с, используется для характеристики режима и диагностической сверки с объёмом. Связь $V = Q \times T / 10^6$ применима к среднему расходу за известный интервал T секунд. Для 365 суток $V = 31{,}536Q$, где V выражен в млн м^3. Полученные объёмы обозначаются как расчётные. Проектный и максимальный расходы для расчёта годового объёма не применяются.

Для сопоставления районов рассчитываются удельная водоподача i, удельный отвод d и отношение учтённого отвода к водоподаче k:

$$i_{r,y} = 10^6 \, V_{I,r,y} \, / \, A_{r,y}$$

$$d_{r,y} = 10^6 \, V_{D,r,y} \, / \, A_{r,y}$$

$$k_{r,y} = V_{D,r,y} \, / \, V_{I,r,y}$$

где V_i – учтённая водоподача, млн м^3; A – орошаемая площадь, га; i и d – м^3/га; k – безразмерное отношение, при представлении в процентах умножаемое на 100. Показатели относятся к одному году и району. k характеризует отчётное соотношение потоков; для его физической интерпретации необходимо согласование границ учёта. Он не отождествляется с промывной долей или КПД орошения. Значение больше единицы сохраняется и рассматривается с учётом возможного транзита, подземного питания и состава водоподачи.

Сезонность оценивается по месячным объёмам, концентрациям и солевым нагрузкам. Для сопоставления принимаются единые календарные интервалы: апрель-сентябрь и январь-март вместе с октябрём-декабрём. Такое деление является аналитической группировкой внутри года; при описании конкретной промывки сохраняются фактические даты исходного сезона. Рассчитываются доля каждого интервала в годовом отводе и его средневзвешенная минерализация.

3.5. Расчёт солевых потоков

Учёт ведётся отдельно по плотному остатку и хлору. При V в млн м^3 и C в г/л произведение $V \times C$ даёт массу в тыс. т. Для месячного ряда солевой вынос и средневзвешенная минерализация определяются следующим образом:

$$M_{D,r,y} = \sum V_{D,r,y,m}\, C_{D,r,y,m}$$

$$\bar{C}_{D,r,y} = M_{D,r,y} \,/\, V_{D,r,y}$$

где M_D – масса выноса по рассматриваемому компоненту, тыс. т; C_D – его концентрация в КДВ, г/л; $\bar{C}_D$ – средневзвешенная концентрация, г/л; V_D – объём КДВ, млн м^3. Индексы r, y и m обозначают район, год и месяц соответственно; сумма берётся по двенадцати месяцам.

Внос солей с водоподачей рассчитывается для каждого района по годовому объёму и годовой концентрации. Вынос по плотному остатку рассчитывается по месячным парам объёма и концентрации. Сумма месячных произведений и произведение годового объёма на невзвешенную годовую концентрацию могут различаться. Способ получения годовой концентрации подачи и репрезентативность проб для месячного объёма рассматриваются как ограничения; равная точность вноса и выноса не предполагается.

Областные массы определяются суммой районных расчётов. Областная средневзвешенная концентрация вычисляется как отношение суммарной массы к соответствующему суммарному объёму. Простая средняя районных концентраций не подставляется в расчёт областной массы. Хлор не прибавляется к плотному остатку: эти показатели представляются раздельно.

Для каждого района и области рассчитывается разность учтённых солевых потоков B, а также удельные внос, вынос и разность на единицу орошаемой площади:

$$B_{r,y} = M_{I,r,y} - M_{D,r,y}$$

$$b_{r,y} = 1000\, B_{r,y} / A_{r,y}$$

где M_i и M_o – соответственно учтённые солевые внос и вынос, тыс. т; B – их разность, тыс. т; b – удельная разность, т/га; A – площадь, га. Положительный знак B означает превышение вноса над выносом, отрицательный – обратное соотношение. B не является измеренным изменением запасов солей в почве. Влияние возможного последовательного учёта районных потоков, подземного обмена и различий способов расчёта должно учитываться при интерпретации областной суммы.

3.6. Сопоставление стока с мелиоративным состоянием

По месячным УГВ определяются средняя глубина, минимальная и максимальная глубины и внутригодовая амплитуда. Среднее по двенадцати месячным значениям обозначается как среднее месячных наблюдений; оно не выдаётся за непрерывное среднее по всем дням года. Если областной показатель рассчитывается по районам, при наличии сопоставимых площадей применяется взвешивание по площади; простая средняя районов приводится только как соответствующий описательный показатель.

Площади земель по категориям УГВ, минерализации и засоления сравниваются в абсолютных величинах и долях с явным указанием знаменателя: орошаемой либо обследованной площади в соответствующем источнике. Объединённая доля средне- и сильнозасолённых земель рассчитывается из суммы площадей категорий. Резкие переходы между годами проверяются по исходным строкам. Если неизменность сроков, контуров и методов обследования не подтверждена, результат описывается как изменение отчётного распределения земель, без безусловного вывода о сопоставимом изменении физических запасов солей.

Обеспеченность дренажем, протяжённость сети, техническое состояние и выполненные работы используются как характеристики условий отвода. Протяжённость сама по себе не определяет дренирующую способность. Снижение КДВ сопоставляется с изменением водоподачи и УГВ: при одновременном подъёме грунтовых вод или увеличении засоления рассматривается возможность ухудшения отвода. Совпадение изменений является основанием для объяснительной гипотезы, но не заменяет проверки причин.

3.7. Анализ коллекторов и связи с водоприёмниками

Характеристики крупных коллекторов взяты из годовой территориальной отчётности; отдельный предоставленный реестр воспроизводит соответствующие сведения. Для расчёта за 2025 г. использованы данные по состоянию на 1 января 2026 г. Районный месячный ряд не приписывается именному коллектору без установленной связи со створом. Паспортные площади вложенных систем не суммируются как независимые площади области.

Расчёт поступления в Сырдарью включает ГПК, ГПК-42-с, ГПК-56-с, Шурузяк и ГПК-2т. По принятой схеме расходы ВЖД, Кендика и Овражного входят в нижний расход Шурузяка и повторно к нему не прибавляются. Такая процедура исключает

повторение известных вложенных отводов, но не доказывает согласованность полного водосбора с районными границами.

Коллекторные объёмы по реестру сопоставляются с районной отчётной суммой как отдельный уровень учёта. Их расхождение не устраняется пропорциональной корректировкой расходов. До установления состава транзита, охвата створов и других источников питания итог по реестру не трактуется как объём КДВ, сформировавшийся исключительно на орошаемых землях области. Минерализация районного отвода не переносится автоматически на конкретный коллектор: для его солевой нагрузки необходима концентрация, соответствующая этому потоку и периоду.

Участие этих вод в формировании стока по направлению к Шардарьинскому водохранилищу описывается с учётом маршрута. Прямой сброс в Сырдарью не приравнивается к тому же объёму притока в водохранилище: между створами возможны водозаборы, дополнительные поступления, потери и изменение запасов. При отсутствии маршрутного баланса количественный вывод ограничивается подтверждённым поступлением в реку; его значение для нижележащего участка обсуждается совместно с минерализацией и солевой нагрузкой.

3.8. Проверка связи с водосберегающими технологиями

Сопоставлены годовые площади внедрения водосберегающих технологий полива с водоподачей и КДВ области. Доля действующих систем и районные зависимости не оценивались из-за отсутствия соответствующих сведений. Ежегодно введённая площадь отделяется от площади действующих систем; суммирование годовых вводов допустимо только после исключения повторного учёта одного участка и установления сохранения систем в эксплуатации. По возможности разные технологии рассматриваются раздельно. Областной ряд не используется для районного сравнения, если районная разбивка отсутствует.

Выполнены сопоставления ежегодных площадей внедрения с объёмами водоподачи и КДВ, удельными показателями и отношением отвода к подаче. Общий показатель исходной отчётности рассматривается отдельно от совокупности капельного, дождевального и дискретного полива. Лазерная планировка учитывается как самостоятельное водосберегающее мероприятие и не отождествляется со способом подачи поливной воды. Ежегодное внедрение не подменяется долей действующих систем. Изменения относительно 2021 г. и межгодовые изменения используются для описания ряда; при нулевой базе процентное изменение не рассчитывается.

Коэффициенты Пирсона и Спирмена используются как описательные характеристики пяти годовых наблюдений. Двусторонний перестановочный показатель p^* определяется перебором всех $5! = 120$ перестановок одного ряда при фиксированном другом ряде и подсчётом доли случаев с абсолютной корреляцией не меньше наблюдаемой. Это исследовательский анализ нескольких сопоставлений, а не независимое подтверждение каждой проверяемой гипотезы; перестановочная оценка не устраняет зависимость наблюдений во времени. Лаговое сравнение использует четыре пары: внедрение 2021-2024 гг. и поток следующего года 2022-2025 гг. Проверка с последовательным исключением одного года показывает чувствительность результата к составу выборки, но не доказывает причинность. Отсутствие статистически убедительной связи не трактуется как доказательство отсутствия эффекта технологий.

3.9. Представление результатов и границы выводов

Итоговые таблицы содержат период, территорию, единицы, источник и основание расчёта. Для неполных или несогласованных сведений используется пометка: «н/д» – нет (отсутствие) данных. Областные районные суммы и расчётные потоки КДВ представляются раздельно. Исходные ячейки и принятые пересчёты сохраняются в сопровождающей электронной базе; при доработке комплект дополняется журналом «исходное значение – принятое значение – основание». Расчёты выполняются до округления; сумма или разность показанных округлённых чисел может отличаться на единицу последнего разряда.

Методика позволяет количественно описать динамику зарегистрированной водоподачи, коллекторно-дренажного отвода и солевых нагрузок, выявить районные и сезонные различия и сопоставить их с мелиоративным состоянием. Выводы об изменении запасов солей, полном водопотреблении и притоке к водохранилищу требуют соответствующих самостоятельных компонентов баланса. В записке такие величины не заменяются остатками учтённых потоков; объяснение результатов опирается на совместное рассмотрение доступных наблюдений.

4. Мелиоративные условия и коллекторно-дренажная система Сырдарьинской области

В данном разделе сопоставлены площади орошения, категории засоления и мелиоративного состояния, режим грунтовых вод и технические характеристики дренажа за 2021-2025 гг. Суммарная площадь близка по годам, но распределение по категориям различается. Эти сведения задают условия интерпретации КДВ.

4.1. Орошаемая площадь и обеспеченность дренажем

Сопоставление площадей и параметров сети позволяет отделить изменение размеров орошаемого контура от изменения его мелиоративных условий. Ниже рассматривается весь пятилетний ряд: важно установить, сохранялась ли площадь орошения и как менялась удельная обеспеченность инфраструктурой, прежде чем объяснять динамику засоления и дренажного отвода.

Орошаемая площадь Сырдарьинской области составляет более 287 тыс. га, однако не является равной каждый год. С 2021 г. по 2025 г. она уменьшилась с 287,470 до 287,080 тыс. га, на 390 га или 0,14% (табл. 4.1). В 2025 г. наибольшие значения относятся к Сардобинскому и Мирзаабадскому районам – 40,934 и 40,850 тыс. га; наименьшее к Гулистанскому – 25,243 тыс. га.

Таблица 4.1.

Орошаемая площадь районов за 2021-2025 гг., тыс. га

Район	2021	2022	2023	2024	2025
Баяутский	36,180	36,180	36,116	36,087	36,083
Гулистанский	25,280	25,280	25,229	25,229	25,243
Мирзаабадский	40,870	40,870	40,850	40,850	40,850
Акалтынский	39,860	39,860	39,859	39,859	39,858
Сардобинский	40,950	40,950	40,948	40,948	40,934
Сайхунабадский	32,790	32,790	32,662	32,662	32,662
Сырдарьинский	33,080	33,080	33,051	33,051	32,991
Хавастский	38,460	38,460	38,459	38,459	38,459
Область	**287,470**	**287,470**	**287,174**	**287,145**	**287,080**

Источник: данные Нижнесырдарьинского БУИСа Министерства водного хозяйства РУз

Удельная протяжённость КДС области превышает 39 м/га. В 2021-2023 гг. она составляла 39,3 м/га, с 2024 г. по 2025 г. – 39,1 м/га (табл. 4.2). Удельная протяжённость КДС рассчитывалась как сумма открытых внутрихозяйственных коллекторов и закрытого внутрихозяйственного горизонтального дренажа, делённая на площадь орошения.

Таблица 4.2.

Удельная протяжённость открытых внутрихозяйственных коллекторов и закрытого внутрихозяйственного дренажа, м/га

Район	2021	2022	2023	2024	2025
Баяутский	27,1	27,1	27,2	25,3	25,2
Гулистанский	20,8	20,8	20,8	20,8	20,8
Мирзаабадский	44,6	44,6	44,7	44,7	44,3
Акалтынский	32,6	32,6	32,6	32,5	32,6
Сардобинский	56,4	56,4	56,4	56,4	56,5
Сайхунабадский	23,0	23,0	23,1	23,1	23,1
Сырдарьинский	22,2	22,2	22,3	22,3	22,2
Хавастский	74,5	74,5	74,5	74,5	74,8
Область	**39,3**	**39,3**	**39,3**	**39,1**	**39,1**

Источник: расчеты автора по данным Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

По показателю обеспеченности коллекторно-дренажной сетью охвачена вся площадь, заявленная как требующая дренажа: отношение обеспеченной площади к требующей составляет 100%. Это характеристика наличия инфраструктуры. Фактическая способность поддерживать необходимый режим зависит от состояния русел, закрытых дрен, водоприёмников и эксплуатации вертикального дренажа.

Поэтому полная учётная обеспеченность может сочетаться с неудовлетворительным состоянием земель.

В 2025 г. открытыми коллекторами обслуживается 138,639 тыс. га (48,29%), закрытым горизонтальным дренажем – 97,537 тыс. га (33,98%), вертикальным – 50,904 тыс. га (17,73%). Общая учтённая протяжённость сети составляет 16 022,5 км против 16 085,1 км в 2021 г., то есть изменилась всего на -0,39%. Плотность всей сети остаётся около 55,8-56,0 м/га. Внутрихозяйственная сеть имеет существенно неодинаковую плотность: от 20,8 м/га в Гулистанском до 74,8 м/га в Хавастском районе. Такое различие отражает конфигурацию сети и сочетание открытого и закрытого дренажа; оно не позволяет ранжировать эффективность районов без оценки их режима и технического состояния.

4.2. Изменение степени засоления земель

Степень засоления характеризует состояние почв, на регулирование которого направлены промывка земель и работа дренажа. Анализ включает распределение площади по категориям, последовательные изменения за каждый год и районные различия. Раздельное рассмотрение общей засолённой площади и доли средне- и сильнозасолённых земель позволяет отличить распространённость засоления от изменения его тяжести. В табл. 4.3 и на рис. 1 приведены данные по структуре засоления орошаемых земель Сырдарьинской области за 2021-2025 гг.

Таблица 4.3.

Структура засоления орошаемых земель

Год	Незасоленные, тыс. га	Слабозасоленные, тыс. га	Средне-засоленные, тыс. га	Сильно-засоленные, тыс. га	Средне- и сильнозасоленные, %	Всего, тыс. га
2021	10,060	204,890	63,540	8,980	25,23	287,470
2022	10,260	205,979	64,553	6,680	24,78	287,470
2023	8,221	213,659	59,908	5,386	22,74	287,174
2024	9,366	213,940	59,144	4,695	22,23	287,145
2025	17,735	224,286	42,413	2,646	15,70	287,080

Источник: данные Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

За рассматриваемый период площадь сильнозасолённых земель уменьшилась с 8,980 до 2,646 тыс. га или на 70,5%, среднезасолённая – с 63,540 до 42,413 тыс. га или на 33,3%. Их сумма снизилась с 72,520 до 45,059 тыс. га, а доля – с 25,23 до 15,70%. При этом площадь слабозасолённых земель увеличилась на 19,396 тыс. га, незасолённая – на 7,675 тыс. га. Сочетание этих изменений согласуется с улучшением распределения по категориям, однако не устанавливает переход конкретных участков без пространственного сопоставления обследований.

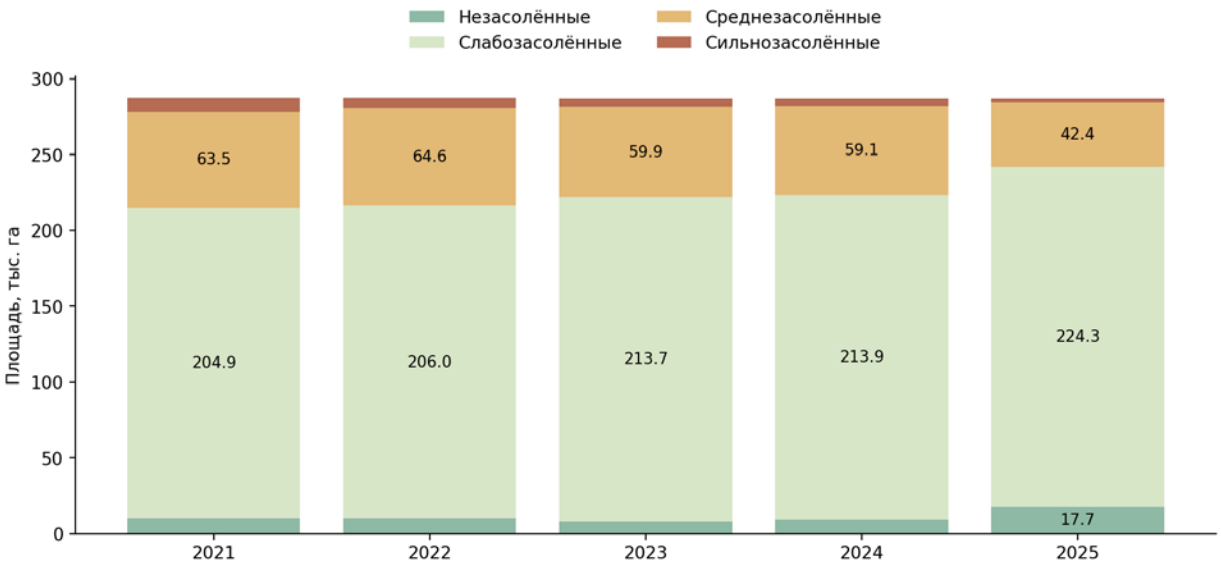

Рисунок 1. Изменение структуры засоления области за 2021–2025 гг.

Общая засолённая площадь остаётся значительной: в 2025 г. она составляет 269,345 тыс. га, или 93,82% орошаемых земель. Поэтому корректнее говорить об уменьшении тяжести засоления, чем о массовом полном рассолении. Более того, динамика не была одинаковой во все годы: площадь средне- и сильнозасолённых земель сокращалась умеренно до 2024 г., а в 2025 г. уменьшилась сразу на 18,780 тыс. га относительно 2024 г (рис. 2). На этот последний переход приходится 68,4% общего пятилетнего сокращения данной категории. Его причины должны оцениваться с учётом промывок, водоподачи, работы дренажа и сопоставимости обследований.

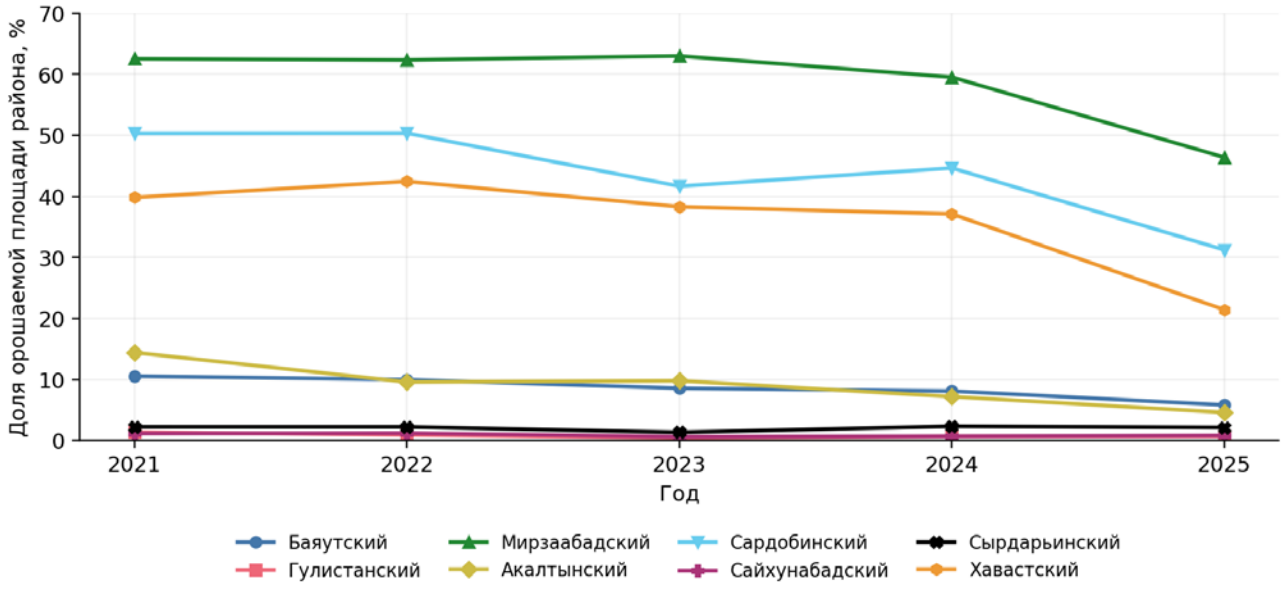

Рисунок 2. Динамика доли средне- и сильнозасолённых земель по районам за 2021-2025 гг.

Промежуточные годы выявляют неодинаковый ход изменений. В Мирзаабадском районе доля двух наиболее неблагоприятных категорий увеличилась с 62,33% в 2022 г. до 62,99% в 2023 г., после чего снизилась до 59,53 и 46,38%. В Сардобинском районе после снижения до 41,67% в 2023 г. отмечен рост до 44,63% в 2024 г. В Хавастском районе максимум 42,46% относится к 2022 г. Даже при более благоприятном результате 2025 г. эти ряды не описываются как непрерывное ежегодное улучшение.

В 2025 г. Мирзаабадский район содержит 18,947 тыс. га средне- и сильнозасолённых земель – 46,38% своей площади. В Сардобинском районе соответствующие величины составляют 12,782 тыс. га и 31,23%, в Хавастском – 8,238 тыс. га и 21,42%. Вместе три района концентрируют 39,967 тыс. га, или 88,70% областной площади этих категорий, занимая лишь 41,88% общего орошаемого контура. Следовательно, они определяют основную территориальную нагрузку проблемы засоления.

Улучшение в этих районах существенно, но не устраняет их приоритетности: относительно 2021 г. площадь двух наиболее неблагоприятных категорий уменьшилась на 6,603 тыс. га в Мирзаабадском, 7,828 тыс. га в Сардобинском и 7,082 тыс. га в Хавастском районе. На три района приходится 78,3% областного сокращения. В Гулистанском, Сайхунабадском и Сырдарьинском районах доля средне- и сильнозасолённых земель в 2025 г. ниже 2,2%, однако это не означает отсутствия других мелиоративных ограничений.

4.3. Режим грунтовых вод и минерализация

Глубина и минерализация грунтовых вод определяют условия водообмена с почвой и потенциального поступления солей при восходящем движении влаги. В данном подразделе сопоставляются месячные изменения УГВ, районные средние и площади отдельных категорий глубины и минерализации (табл. 4.4). Такой подход показывает, за счёт каких условий могут различаться мелиоративные результаты при сходной обеспеченности дренажем.

Таблица 4.4.

Средняя глубина грунтовых вод и распределение мелиоративных условий

Год	Средняя глубина ГВ, м	УГВ < 2 м, тыс. га	УГВ < 2 м, %	Минер. >3 г/л, тыс. га	Минер. > 3 г/л, %	Минер. >5 г/л, тыс. га	Минер. > 5 г/л, %
2021	2,421	71,849	24,99	184,315	64,12	59,558	20,72
2022	2,407	85,925	29,89	146,453	50,95	30,616	10,65
2023	2,440	62,720	21,84	130,713	45,52	19,129	6,66
2024	2,391	83,799	29,18	113,161	39,41	14,174	4,94
2025	2,440	77,847	27,12	110,987	38,66	10,941	3,81

Источник: расчеты автора по данным Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

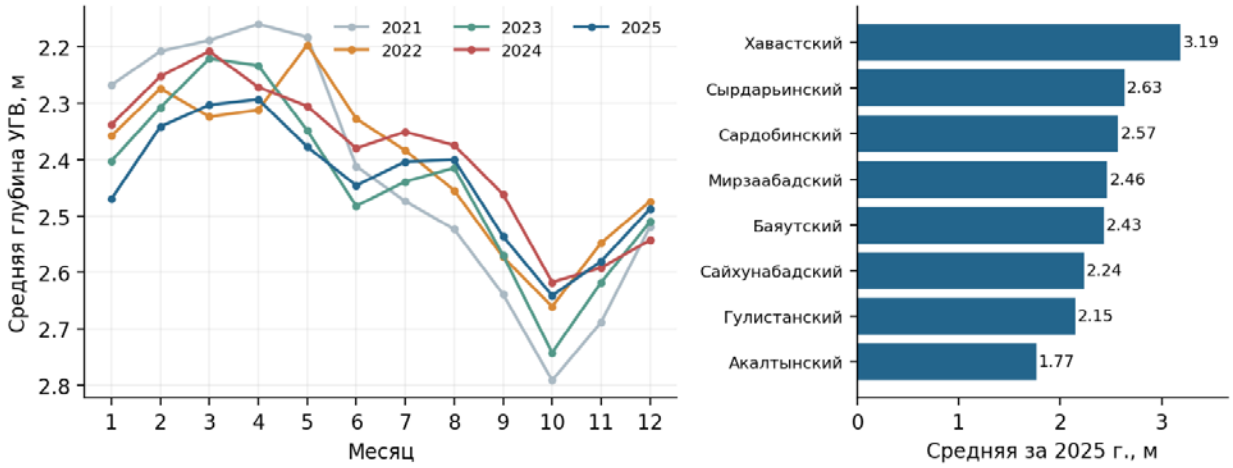

Рисунок 3. Месячная глубина УГВ по области и средние значения по районам за 2025 г.

Средняя глубина грунтовых вод по области меняется в узком диапазоне: 2,391-2,440 м. Между 2021 и 2025 гг. она увеличилась лишь на 1,9 см. Устойчивого многолетнего понижения грунтовых вод на областном уровне не выявляется. Более глубокое положение обычно наблюдается осенью: в 2025 г. средняя глубина минимальна в апреле, 2,293 м, и максимальна в октябре, 2,641 м. Внутригодовая амплитуда областного ряда составляет 0,348 м; сглаживание при агрегировании скрывает более крупные районные колебания.

Районный диапазон в 2025 г. значительно шире: от 1,77 м в Акалтынском до 3,19 м в Хавастском районе. В Гулистанском и Сайхунабадском районах средние составляют соответственно 2,15 и 2,24 м; в Мирзаабадском, Сардобинском и Сырдарьинском – 2,46, 2,57 и 2,63 м. Наибольшие амплитуды отмечены в Хавастском (0,85 м), Мирзаабадском (0,58 м), Сардобинском (0,56 м) и Акалтынском (0,55 м) районах.

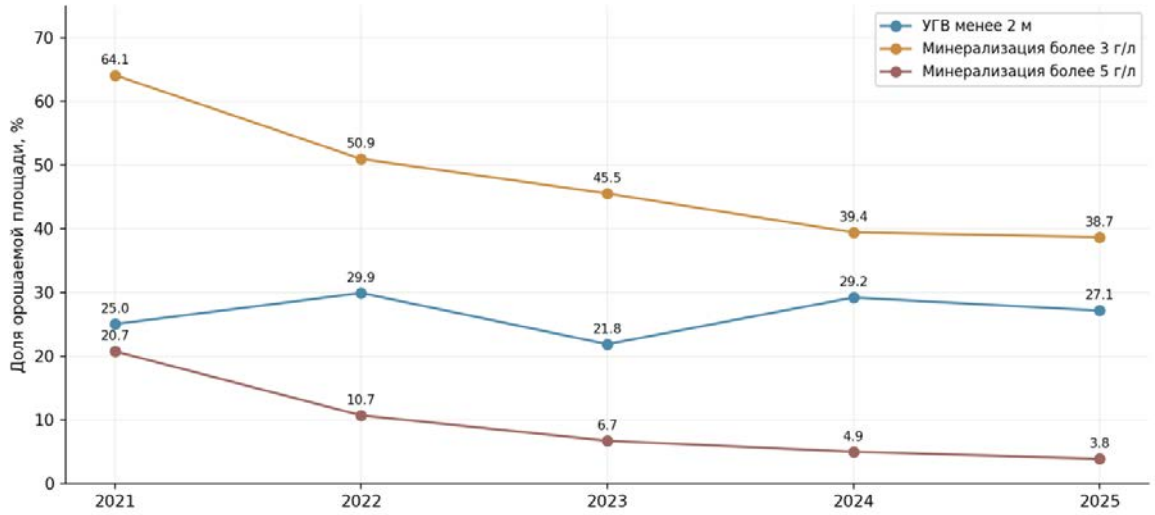

Рисунок 4. Доли площади орошаемых земель с УГВ менее 2 м и минерализацией грунтовых вод от 3 до 5 и более 5 г/л

Как видно из таблицы 4.4 и рисунка 4 площадь с УГВ менее 2 м по средней за вегетационный период классификации равна 71,849 тыс. га в 2021 г. и 77,847 тыс. га в 2025 г., или 24,99 и 27,12%. Максимум 85,925 тыс. га относится к 2022 г., минимум 62,720 тыс. га – к 2023 г. Площадь земель с минерализацией ГВ более 3 г/л уменьшилась со 184,315 до 110,987 тыс. га, более 5 г/л – с 59,558 до 10,941 тыс. га. Для последней группы доля снизилась с 20,72 до 3,81%. Уже за 2021-2022 гг. она изменилась с 20,72 до примерно 10,7%. Следовательно, благоприятное изменение засоления не сопровождается однонаправленным сокращением площадей с близким залеганием грунтовых вод. Это один из главных аргументов против объяснения общего улучшения исключительно их понижением.

Наиболее близкие грунтовые воды по площадной оценке в 2025 г. характерны для Гулистанского (54,78% площади с УГВ менее 2 м), Акалтынского (49,68%) и Сайхунабадского (46,06%) районов. Наибольшие доли минерализации более 3 г/л – для Сардобинского (80,55%) и Мирзаабадского (69,28%).

Дополнительное сопоставление контрольных дат 2025 г. показывает сокращение площади с УГВ менее 2 м со 106,218 тыс. га на 1 апреля до 70,824 тыс. га на 1 июля и 49,715 тыс. га на 1 октября. От апреля к октябрю изменение составляет -53,2%. Площадь минерализации более 3 г/л за эти даты уменьшается со 133,318 до 110,987 и 79,400 тыс. га. Эти величины описывают сезонное перераспределение категорий и их нельзя приравнивать к площади окончательно восстановленного мелиоративного режима.

4.4. Комплексная оценка мелиоративного состояния

Комплексная оценка объединяет сведения о состоянии земель, включая ограничения по засолению и грунтовым водам. Её сопоставление с предыдущими показателями позволяет определить, отражается ли изменение отдельных факторов в сокращении неудовлетворительной площади и в каких районах сохраняются основные ограничения. Для этого рассматриваются ежегодные категории состояния и их территориальная концентрация. В таблице 4.5 и на рисунке 5 представлены готовые категории территориальной отчётности: хорошее, удовлетворительное и неудовлетворительное состояние.

Таблица 4.5.

Категории мелиоративного состояния земель

Год	Хорошее, тыс. га	Удовлетворительное, тыс. га	Неудовлетворительное, тыс. га	Неудовлетворительное, %
2021	10,058	229,841	47,571	16,55
2022	10,263	230,122	47,085	16,38
2023	8,221	240,292	38,662	13,46
2024	9,366	238,367	39,412	13,73
2025	17,735	239,355	29,990	10,45

Источник: данные Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

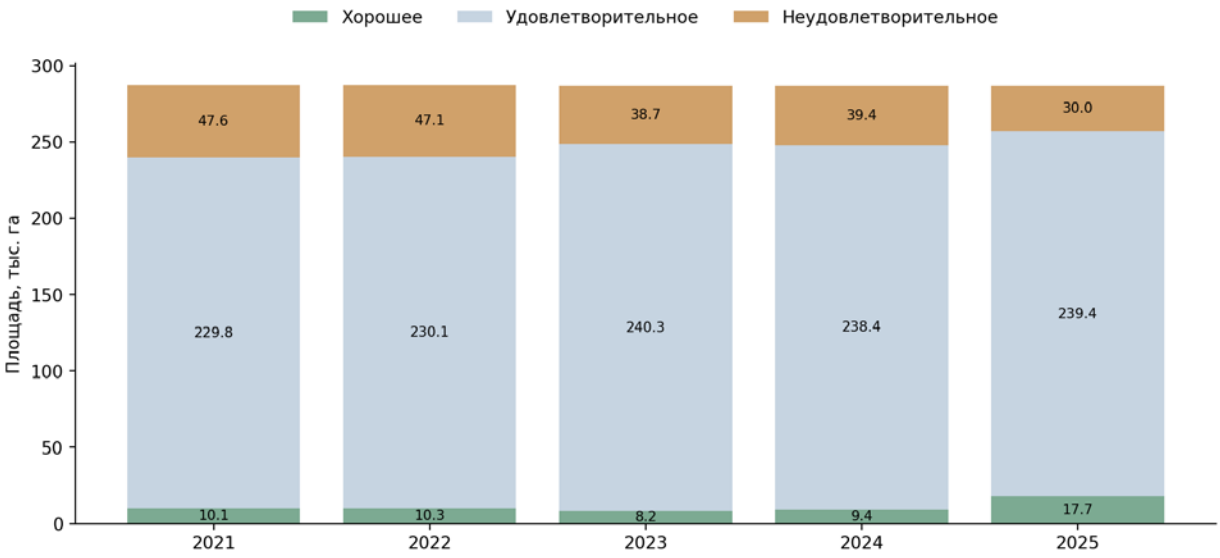

Рисунок 5. Структура мелиоративного состояния земель области

Площадь земель в неудовлетворительном состоянии уменьшилась с 47,571 до 29,99 тыс. га, на 36,96%, доля – с 16,55 до 10,45%. Также отмечен рост с 38,662 тыс. га в 2023 г. до 39,412 тыс. га в 2024 г., после чего в 2025 г. – снижение на 9,422 тыс. га. Следовательно, пятилетний итог улучшения не означает непрерывного улучшения каждый год.

В 2025 г. 17,311 тыс. га неудовлетворительного состояния отнесены в отчётности к засолению, 9,765 тыс. га – к повышенному УГВ и 2,914 тыс. га – к сочетанию факторов. Их доли в неблагоприятной категории составляют 57,72; 32,56 и 9,72%. Между 2021 и 2025 гг. площадь, относимая только к засолению, уменьшилась на 12,084 тыс. га, обеспечив 68,7% общего сокращения неудовлетворительной категории.

В 2025 г. максимальная доля неудовлетворительного состояния сохраняется в Хавастском районе – 22,61% или 8,696 тыс. га; далее Мирзаабадский – 20,67% или 8,445 тыс. га. Вместе они дают 57,16% площади неудовлетворительного состояния орошаемых земель области. С учётом Сардобинского района, 4,419 тыс. га, доля достигает 71,89%. Минимум – 2,03% в Сырдарьинском районе. Отличие этого распределения от структуры засоления показывает необходимость совместного рассмотрения факторов, но не доказывает независимость классификаций.

4.5. Техническое состояние сети и гидротехнические сооружения

Техническое состояние определяет возможность передачи воды от полевого дренажа к конечному водоприёмнику. Наличие сети и её длина не показывают, какая часть сохраняет работоспособность. Поэтому ниже сопоставляются доли удовлетворительных и неудовлетворительных участков, расположение основных проблем по звеньям сети и потребность сооружений в ремонте (табл. 4.6). Для технической оценки рассчитана доля неудовлетворительной протяжённости в сумме удовлетворительных и неудовлетворительных участков основных категорий сети.

Таблица 4.6.

Техническое состояние основных категорий сети за 2025 г.

Категория	Всего, км	В неудовлетворительном состоянии	
		км	%
Межреспубликанские коллекторы	84,70	53,17	62,77
Магистральные и межрайонные коллекторы	290,30	150,95	52,00
Межхозяйственные коллекторы	1 573,20	501,22	31,86
Ведомственный горизонтальный дренаж	2 856,98	1 138,30	39,84
Внутрихозяйственные открытые коллекторы	5 856,18	2 340,00	39,96
Внутрихозяйственный закрытый дренаж	5 361,06	2 796,36	52,16
Итого	**16 022,42**	**6 980,00**	**43,56**

Источник: данные Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

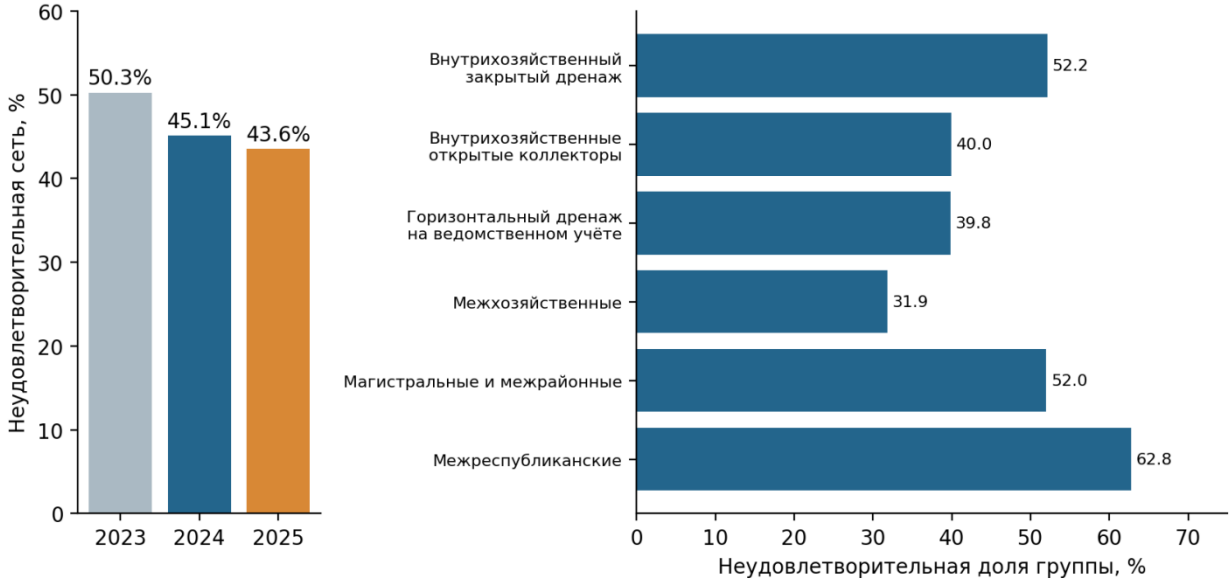

Рисунок 6. Доля неудовлетворительного состояния КДС по годам и категориям сети

Согласно данным протяженность КДС в неудовлетворительном состоянии составляет 8 073,316 км в 2023 г. и 6 980,0 км в 2025 г.; уменьшение – 1 093,316 км или 13,54%. Доля равна 50,27% в 2023 г., 45,1% в 2024 г. и 43,56% в 2025 г. (рис. 6). Основной объём неудовлетворительных участков сосредоточен во внутрихозяйственном звене: 2 796,36 км закрытого дренажа и 2 340,002 км открытых коллекторов. Вместе они составляют 73,59% неблагоприятной протяжённости области. Внутри соответствующих групп неудовлетворительны 52,16% закрытого и 39,96% открытого звена. Поэтому работоспособность магистрального коллектора необходима,

но недостаточна: нарушенный отвод воды на полях и во внутрихозяйственных сетях способен ограничивать поступление к магистральному отводу.

По районам максимальная доля неудовлетворительной протяжённости отмечена в Хавастском – 66,09%, в Гулистанском – 52,30%. Минимальная – в Акалтынском, 29,10%; остальные находятся примерно в интервале 34-45%. Хавастский район сочетает наибольшую внутрихозяйственную плотность сети и наибольшую неудовлетворительную долю. Этот пример особенно ясно показывает, почему физическое наличие значительной сети не является доказательством эффективного дренирования.

В 2025 г. на ведомственной сети учтено 507 ГТС, на сети кластеров и фермерских хозяйств – 2 113, всего 2 620 сооружений. Капитального ремонта требуют соответственно 69 и 87 объектов: суммарно 156, или 5,95%. Текущего – 159 и 353, суммарно 512, или 19,54%. Потребности в двух видах ремонта представлены отдельно. На ведомственной сети числятся 70 гидропостов, из которых 14 требуют капитального и 25 текущего ремонта. Наличие гидропоста подтверждает инфраструктурную основу учёта, но не устанавливает непрерывность и точность расходных измерений.

4.6. Крупные коллекторы и схема отвода воды

Система Сырдарьинской области включает крупные принимающие коллекторы и подчинённые им отводы, через которые дренажные воды направляются в р. Сырдарья либо в Арнасайскую систему. Для понимания формирования стока сначала необходимо рассмотреть весь представленный реестр: протяжённость и расходы объектов, их водоприёмники и связи между отводами. На этой основе в последующих разделах обоснован выбор объектов для углублённого исследования. В таблице 4.7 представлены 16 крупных коллекторов области по состоянию на 1 января 2026 г.

Таблица 4.7.

Показатели крупных коллекторов Сырдарьинской области на 1 января 2026 г.

Наименование коллектора	Зона влияния, га	Длина, км	Проектный Q, м³/с	Средний Q, м³/с	Макс. Q, м³/с	Водоприёмник
ГПК	40 211	73,52	5,00	0,22	0,35	Сырдарья
ГПК-42-с	645	1,15	4,50	0,64	0,99	ГПК
ГПК-56-с	1 883	19,56	0,80	0,39	0,57	ГПК
Шурузяк	76 363	65,40	30,00	4,36	6,50	Сырдарья
Кендик	11 302	29,30	6,00	0,28	0,46	Шурузяк
Овражный	2 555	17,30	5,50	0,40	0,65	Шурузяк
ГПК-2т	752	2,30	1,20	0,20	0,32	Сырдарья
17-к-7	4 816	12,60	6,00	2,50	2,94	ЦГК
ВЖД	5 142	14,00	2,00	0,22	0,43	Шурузяк
ЦК-7	19 631	22,50	5,00	3,06	4,50	ЦГК
ЦК-6	8 751	15,88	6,00	1,66	2,78	ЦГК
Сардоба	7 640	25,94	4,00	0,97	1,32	ЦГК
ДГК	227,8	19,80	8,00	2,16	3,28	Арнасай

Наименование коллектора	Зона влияния, га	Длина, км	Проектный Q, м³/с	Средний Q, м³/с	Макс. Q, м³/с	Водоприёмник
Баяут	5 347	36,99	5,00	2,65	3,41	ЦГК
Еттисай	3 796	20,53	5,50	7,78	8,68	ЦГК
ЦГК	233 225	84,70	90,00	62,30	97,81	Арнасай

Источник: данные Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

В реестре представлены 16 объектов, однако это не 16 независимых выпусков воды за пределы области. Непосредственно в Сырдарью направляются ГПК, Шурузяк и ГПК-2т. ГПК-42-с и ГПК-56-с впадают в ГПК ниже его измерительного створа, а затем их вода по ГПК поступает в Сырдарью. Кендик, Овражный и ВЖД поступают в Шурузяк. Коллектора 17-к-7, ЦК-7, ЦК-6, Сардоба, Баяут и Еттисай поступают в ЦГК. Последний вместе с ДГК отводит воду в направлении Арнасая. Такая группировка отражает конечный путь отвода, а не административное положение каждого створа.

Наибольшая длина среди перечисленных объектов у ЦГК – 84,70 км, далее следуют ГПК – 73,52 км и Шурузяк – 65,40 км. Их проектные расходы составляют соответственно 90, 5 и 30 м³/с. Эти характеристики показывают разную конфигурацию и расчётное назначение систем: большая длина не означает больший проектный расход. Объекты со сравнительно короткими трассами также могут служить важными звеньями передачи воды к принимающему коллектору.

Система коллектора Шурузяк объединяет сам принимающий коллектор и, по представленному перечню, три крупных отвода: Кендик длиной 29,30 км, Овражный – 17,30 км и ВЖД – 14,00 км. Их общая указанная протяжённость вместе с Шурузяком составляет 126,00 км, но эта сумма характеризует трассы перечисленных объектов и не является ни длиной единого русла, ни полной длиной всей обслуживаемой сети. Водоотвод ветвей входит в последующий расход Шурузяка, поэтому их объёмы нельзя складывать с полным объёмом принимающего коллектора как независимые речные поступления.

ГПК-42-с длиной 1,15 км и ГПК-56-с длиной 19,56 км впадают в ГПК ниже его измерительного створа. Поэтому для расчёта стока системы после слияния их расходы и объёмы добавляются к измеренным на верхнем створе ГПК. Среднегодовой расход ниже слияния равен 1,25 м^3/с, годовой объём – 39,42 млн м^3. Для ГПК-2т длиной 2,30 км водоприёмником непосредственно является Сырдарья. В Арнасайском направлении принимающим звеном является ЦГК; среди впадающих в него перечисленных ветвей наиболее протяжёным является коллектор Баяут – 36,99 км, затем Сардоба – 25,94 км, ЦК-7 – 22,50 км, Еттисай – 20,53 км, ЦК-6 – 15,88 км и 17-к-7 – 12,60 км. ДГК длиной 19,80 км представляет отдельный путь отвода в Арнасай.

При суммировании потоков учитывается положение створов: ветви, включённые в нижний створ принимающего коллектора, повторно не прибавляются; притоки ниже исходного створа учитываются отдельно, как в системе ГПК. Расчёт объёмов раскрыт в разделе 8.

Наблюдательная сеть дополняет учёт коллекторов сведениями о реакции орошаемых земель. В областной сводке за 2025 г. учтено 2 239 скважин – в среднем одна на 128,2 га; ремонт требуется 146 скважинам, или 6,52%. Онлайн-мониторинг установлен на 138 скважинах, 6,16% общего количества. Эти показатели характеризуют инфраструктуру наблюдения УГВ. Они не устанавливают равномерность покрытия территории и не заменяют расходные и гидрохимические наблюдения на коллекторах.

4.7. Районные сочетания факторов и значение для анализа стока

Для объяснения будущих различий дренажного стока показатели засоления, состояния земель, грунтовых вод и сети рассматриваются совместно. Матрица ниже сопоставляет доли соответствующих категорий внутри каждого района (рис. 7). Она позволяет увидеть районные доли засоления, близких и минерализованных грунтовых вод, неудовлетворительных земель и сети. Четыре первых показателя выражены относительно орошаемой площади района, последний – относительно учтённой протяжённости КДС.

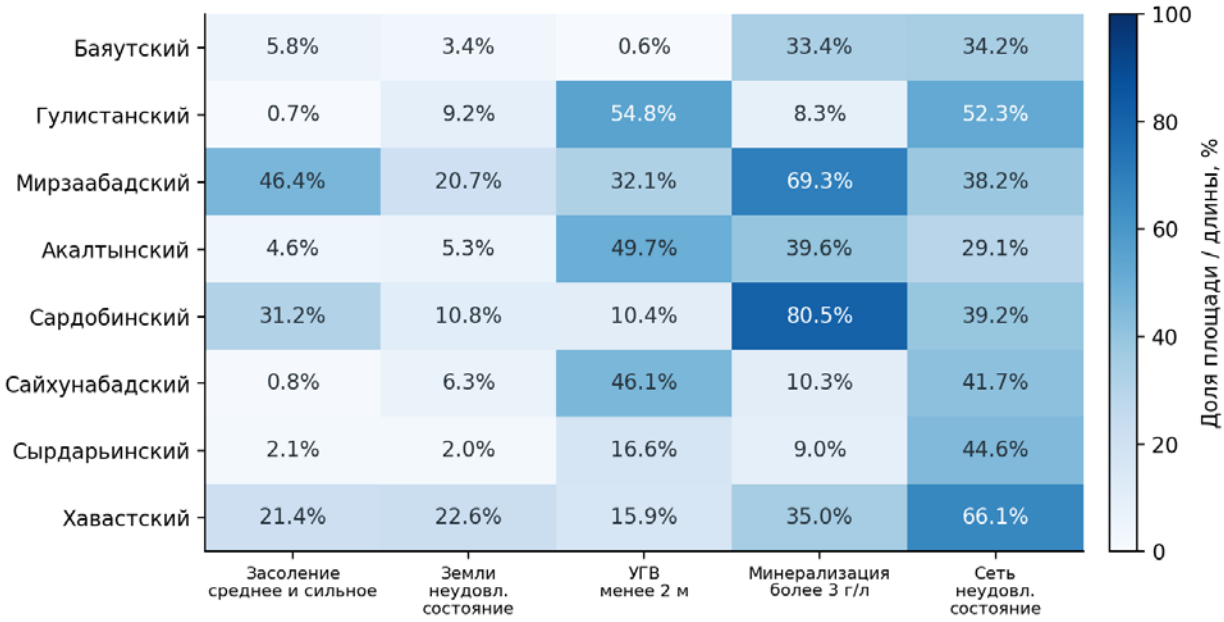

Рисунок 7. Мелиоративное состояние орошаемых земель районов Сырдарьинской области в 2025 г.

Как видно из рисунка 7, Мирзаабадский район сочетает максимальную долю средне- и сильнозасолённых земель с высокой долей минерализованных грунтовых вод и значительной неудовлетворительной площадью. Для последующего анализа стока здесь необходимо сопоставить солевую нагрузку и отвод с сохранением этих категорий. Сардобинский район выделяется ещё более высокой долей минерализации более 3 г/л при сравнительно небольшой доле УГВ менее 2 м. Для него важны солевой состав и сезонный режим вымывания; одно увеличение глубины УГВ не характеризует решение солевой проблемы.

Хавастский район имеет наиболее глубокое среднее положение грунтовых вод, но сохраняет высокую долю неудовлетворительных земель и максимальную долю неудовлетворительной сети. Это сочетание допускает локальные ограничения отвода и сохранение ранее накопленных солей; среднее значение по району не позволяет установить их пространственное совпадение. Напротив, в Гулистанском и Сайхунабадском районах площадь близких грунтовых вод велика, а тяжёлое засоление и высокая минерализация относительно ограничены. Для них существенна оценка

режима увлажнения и работоспособности отвода даже при благоприятной структуре почвенного засоления.

Акалтынский район отличается наименьшей средней глубиной УГВ при сравнительно небольшой доле средне- и сильнозасолённых земель и наименьшей доле неудовлетворительной сети. Это подтверждает отсутствие простой однозначной зависимости между средней глубиной и текущей категорией засоления. Баяутский район характеризуется малой площадью УГВ менее 2 м по вегетационной классификации, но заметной минерализованной площадью. Сырдарьинский район имеет небольшие неблагоприятные площади земель при существенной неудовлетворительной протяжённости сети.

Полученные расчёты определяют контекст формирования дренажного стока: площадь орошения стабильна, тяжесть засоления по отчётным категориям уменьшается, минерализационный фактор ослабевает, а близкое залегание грунтовых вод и технические ограничения отвода воды сохраняются. Поэтому изменение КДВ в следующем разделе сопоставляется с водоподачей, состоянием земель и условиями работы сети. Снижение объёма КДВ может быть связано как с уменьшением питания, так и с ограничением сбора и отвода.

5. Формирование и динамика дренажного стока

В 2021-2025 гг. учтённый отвод коллекторно-дренажных вод Сырдарьинской области изменялся немонотонно: после увеличения в 2022 г. и сохранения близкого уровня в 2023 г. последовало снижение. К 2025 г. объём увеличился всего на 0,6% относительно уровня 2021 г., однако за этим результатом стоят значительные разнонаправленные изменения по районам. Поэтому формирование стока рассматривается последовательно через годовые объёмы, территориальную структуру, удельные показатели и сезонный режим.

5.1. Источники формирования и границы оценки стока

Задача подраздела – установить, какой именно поток характеризуют имеющиеся данные. Объём воды, прошедшей через коллекторно-дренажную сеть, зависит как от поступления воды в почву и грунтовые воды, так и от условий её сбора и последующего отвода. Измеренный отвод в конкретном створе может включать воду, сформировавшуюся за пределами непосредственно прилегающих орошаемых земель.

В условиях орошаемой территории питание дренажной сети может формироваться за счёт фильтрации из оросительных каналов, инфильтрации при поливах и промывках, атмосферного и подземного питания. В принимающие коллекторы также поступает вода подчинённых отводов; возможны транзит и непосредственные поверхностные сбросы. Перечисленные механизмы задают физическую схему интерпретации, но их доли в областном стоке из имеющейся отчётности количественно не разделяются.

Общая фактическая водоподача включает учтённые поступления из оросительных источников, оросительных скважин, вертикального дренажа и открытых

коллекторов и не определяет объём воды, достигшей корнеобитаемого слоя. Сопоставление с КДВ выполняется по одинаковым календарным годам. Разность этих двух величин не является измеренным испарением, безвозвратным потреблением или изменением запасов. Для разделения составляющих отсутствуют данные об осадках, эвапотранспирации и подземном водообмене.

Для расчёта использованы месячные объёмы воды. Диагностическая проверка показала, что графы расхода и объёма в ранних месячных рядах не могут автоматически трактоваться как средний за полный месяц расход и соответствующий ему интеграл. Удельные показатели рассчитаны на орошаемую площадь района из раздела 4.

5.2. Межгодовая динамика водоподачи и учтённого отвода

Пятилетний ряд позволяет различить общий масштаб потоков и последовательность их изменений. В таблице 5.1 одновременно приведены водоподача, КДВ и удельные величины; это необходимо, чтобы изменение площади орошения не смешивалось с изменением интенсивности учтённого водоотвода.

Таблица 5.1.

Водоподача и КДВ по области за 2021-2025 гг.

Год	Подача, млн м³	КДВ, млн м³	Подача, м³/га	КДВ, м³/га	КДВ/подача, %
2021	2 998,55	1 141,88	10 431	3 972	38,08
2022	2 322,64	1 368,60	8 080	4 761	58,92
2023	2 441,82	1 363,55	8 503	4 748	55,84
2024	1 904,45	1 185,74	6 632	4 129	62,26
2025	2 380,26	1 148,72	8 291	4 001	48,26

Источник: данные Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

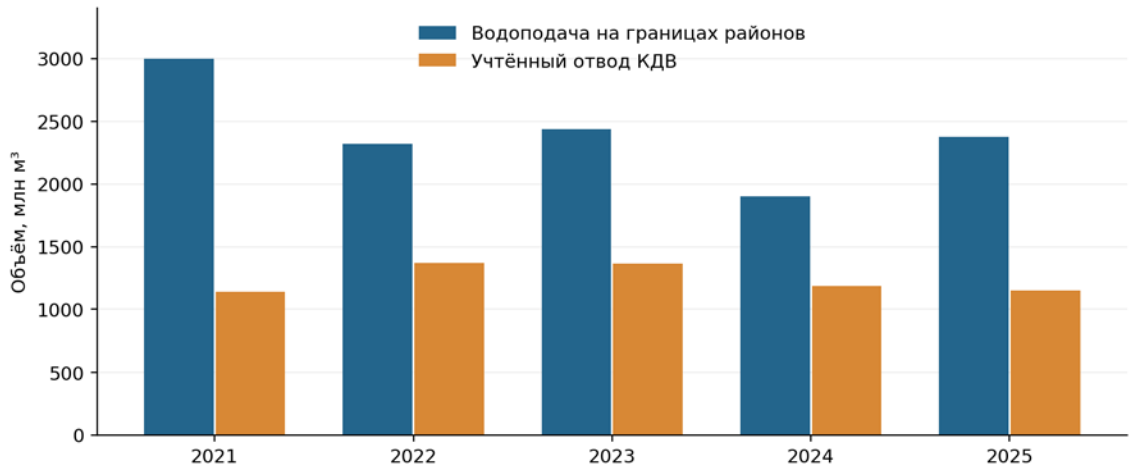

Рисунок 8. Водоподача и учтённый отвод КДВ за пять лет

Учтённый отвод увеличился с 1141,88 млн м^3 в 2021 г. до 1368,60 млн м^3 в 2022 г., то есть на 226,72 млн м^3, или 19,85%. В 2023 г. он составил 1363,55 млн м^3: снижение к предыдущему году было небольшим – 0,37%. Далее объём уменьшился до 1185,74 млн м^3 в 2024 г. и 1148,72 млн м^3 в 2025 г. Снижение составило соответственно 13,04 и 3,12% к предыдущему году. От максимума 2022 г. к 2025 г. учтённый отвод сократился на 16,07%.

При сопоставлении крайних лет разность составляет только +6,84 млн м^3, или +0,6%. Следовательно, вывод об устойчивом пятилетнем сокращении КДВ не подтверждается: он зависит от выбора начального года. Ряд характеризуется увеличением в начале периода, близким высоким уровнем в 2022-2023 гг. и последующим снижением. Два последних межгодовых уменьшения отражают фазу спада после максимума и не описывают весь пятилетний период.

Водоподача изменялась иначе. Её максимум приходится на 2021 г. – 2998,55 млн м^3, минимум на 2024 г. – 1904,45 млн м^3. В 2025 г. зарегистрировано 2380,26 млн м^3: на 24,98% больше уровня 2024 г. и на 20,62% меньше уровня 2021 г. При почти постоянной площади орошения удельная подача между крайними годами уменьшилась с 10 431 до 8291 м^3/га, а удельный отвод практически не изменился и вырос с 3 972 до 4 001 м^3/га (рис. 8).

Средний годовой учтённый отвод за пять лет составляет 1241,70 млн м^3; сумма годовых объёмов – 6208,49 млн м^3. Эти величины характеризуют масштаб представленного учёта. Они не являются оценкой объёма, поступившего в Сырдарью или Шардарьинское водохранилище: в состав сводки входят различные направления отвода и потенциально связанные между собой районные потоки. Значения водоподачи по районам приведены в таблице 5.2. В Хавастском районе за 2021-2022 гг. подача уменьшилась с 569,49 до 208,83 млн м^3, а в Акалтынском за 2023-2025 гг. составила 298,36; 166,39 и 322,20 млн м^3.

Таблица 5.2.

Водоподача по районам за 2021-2025 гг., млн м^3

Район	2021	2022	2023	2024	2025
Баяутский	505,51	456,73	484,89	376,64	454,57
Гулистанский	293,66	254,47	251,93	215,61	268,35
Мирзаабадский	272,67	224,30	223,53	162,07	175,64
Акалтынский	369,82	304,02	298,36	166,39	322,20
Сардобинский	304,36	273,54	317,86	269,41	296,03
Сайхунабадский	311,63	296,53	302,01	219,46	299,55
Сырдарьинский	371,41	304,22	296,64	327,15	359,83
Хавастский	569,49	208,83	266,60	167,72	204,09
Область	2 998,55	2 322,64	2 441,82	1 904,45	2 380,26

Источник: данные Нижнесырдарьинского БУИСа Министерства водного хозяйства РУз

5.3. Районная структура и перераспределение отвода

Анализ по районам Сырдарьинской области необходим для проверки того, отражает ли областная динамика одинаковое поведение всех территорий. Ниже представлены все пять лет; изменение 2025 г. к 2021 г. используется только как дополнение к ряду, а не как его замена. Данный анализ позволяет установить, одинаково ли изменяются территории и где сосредоточены основные изменения. В таблице 5.3 и на рисунке 9 представлены данные за пять лет.

Таблица 5.3.

Учтённый отвод КДВ по районам, млн м³

Район	2021	2022	2023	2024	2025	Изменение к 2021 г.
Баяутский	96,72	120,57	149,96	114,45	143,71	+46,99
Гулистанский	89,24	106,33	91,84	59,78	50,09	-39,14
Мирзаабадский	126,28	160,10	161,09	194,26	107,75	-18,53
Акалтынский	210,49	274,32	281,53	214,18	213,84	+3,35
Сардобинский	82,96	101,86	101,09	81,37	67,34	-15,62
Сайхунабадский	180,35	224,31	164,68	109,29	79,49	-100,86
Сырдарьинский	150,42	160,76	159,03	145,97	148,91	-1,51
Хавастский	205,42	220,34	254,33	266,44	337,58	+132,16
Область	**1 141,88**	**1 368,60**	**1 363,55**	**1 185,74**	**1 148,72**	**+6,84**

Источник: данные Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

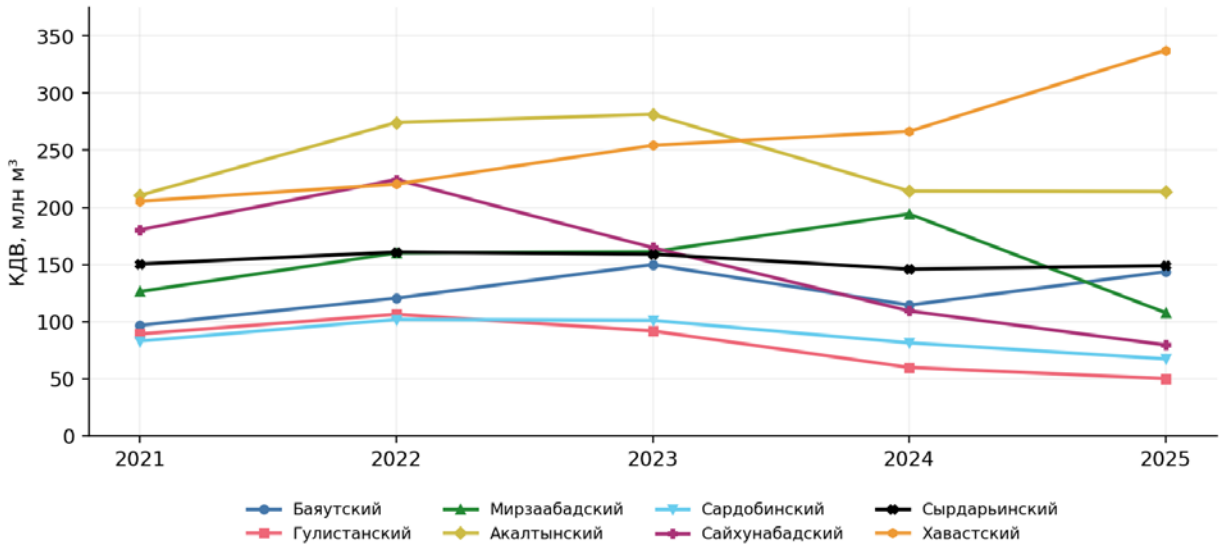

Рисунок 9. Динамика изменения КДВ по районам

Наибольший объём в 2025 г. приходится на Хавастский район – 337,58 млн м³, или 29,39% областной учётной суммы. Далее следуют Акалтынский – 213,84 млн м³ (18,62%), Сырдарьинский – 148,91 млн м³ (12,96%) и Баяутский – 143,71 млн м³

(12,51%). Хавастский и Акалтынский районы вместе формируют 48,00% сводного объёма.

Хавастский район отличается последовательным увеличением отвода во все пять лет: 205,42; 220,34; 254,33; 266,44 и 337,58 млн м^3. Рост между крайними годами составляет 132,16 млн м^3, или 64,34%. В Баяутском районе итоговый рост равен 46,99 млн м^3 или 48,58%, но траектория иная: увеличение до 2023 г., снижение в 2024 г. и восстановление в 2025 г. до уровня, всё ещё меньшего максимума 2023 г.

В Сайхунабадском районе после максимума 224,31 млн м^3 в 2022 г. объём последовательно уменьшался до 79,49 млн м^3 в 2025 г.; относительно 2021 г. снижение составляет 100,86 млн м^3, или 55,92%. В Гулистанском районе соответствующее уменьшение составляет 39,14 млн м^3, или 43,86%. В Сардобинском районе отвод сократился на 18,83%, в Мирзаабадском – на 14,67%. Для последнего особенно заметен переход от 194,26 млн м^3 в 2024 г. к 107,75 млн м^3 в 2025 г. Данный разрыв необходимо учитывать при последующей интерпретации солевого выноса.

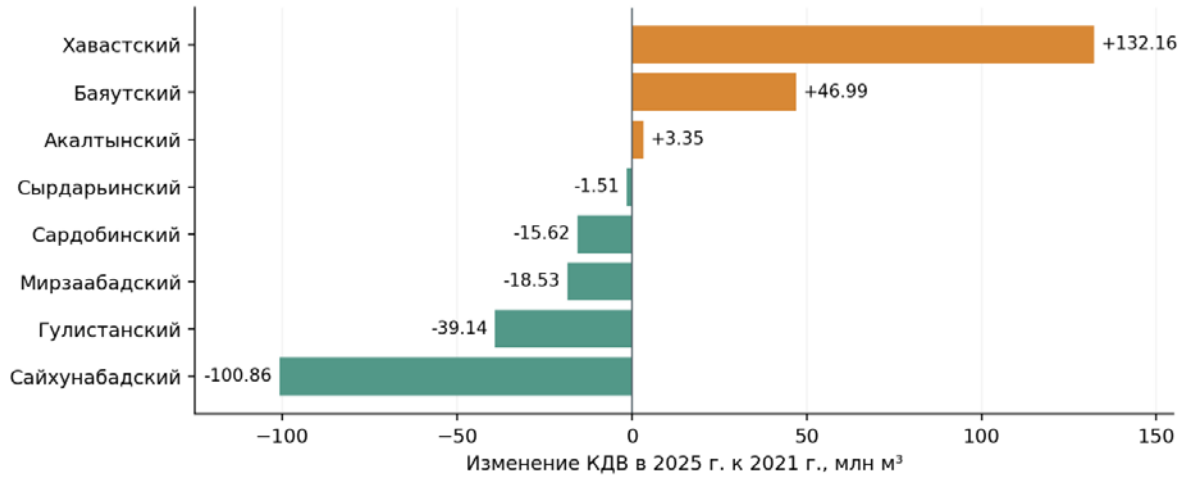

Рисунок 10. Вклад районов в изменение КДВ между 2021 и 2025 гг.

Суммарное увеличение в районах с положительной разностью составляет 182,50 млн м^3, а сокращение в остальных – 175,66 млн м^3. Их компенсация даёт областные +6,84 млн м^3. Следовательно, близость областных итогов 2021 и 2025 гг. обусловлена взаимным погашением крупных территориальных изменений. Она не означает неизменности условий формирования и отвода воды.

Переход 2024-2025 гг. также неоднороден. Рост в Хавастском (+71,14 млн м^3), Баяутском (+29,26 млн м^3) и Сырдарьинском (+2,94 млн м^3) районах частично компенсировал снижение в других территориях, прежде всего в Мирзаабадском (-86,51 млн м^3) и Сайхунабадском (-29,80 млн м^3). Уменьшение по всей области составило 37,02 млн м^3.

5.4. Удельный отвод и соотношение с водоподачей

Абсолютный объём зависит от размеров территории и состава проходящих потоков. В таблице 5.4 сопоставлены удельные водоподача и отвод, отношение D/I и его вклад в по районам области. Районные значения подачи и КДВ для проверки отношений приведены в таблицах 5.2 и 5.3.

Таблица 5.4.

Удельные показатели районов за 2025 г.

Район	Подача, м³/га	КДВ, м³/га	КДВ / подача, %	Доля в КДВ области, %
Баяутский	12 598	3 983	31,61	12,51
Гулистанский	10 631	1 985	18,67	4,36
Мирзаабадский	4 300	2 638	61,35	9,38
Акалтынский	8 084	5 365	66,37	18,62
Сардобинский	7 232	1 645	22,75	5,86
Сайхунабадский	9 171	2 434	26,54	6,92
Сырдарьинский	10 907	4 514	41,38	12,96
Хавастский	5 307	8 778	165,41	29,39
Область	**8 291**	**4 001**	**48,26**	**100,00**

Источник: расчеты автора по данным Нижнесырдарьинского БУИСа Министерства водного хозяйства РУз

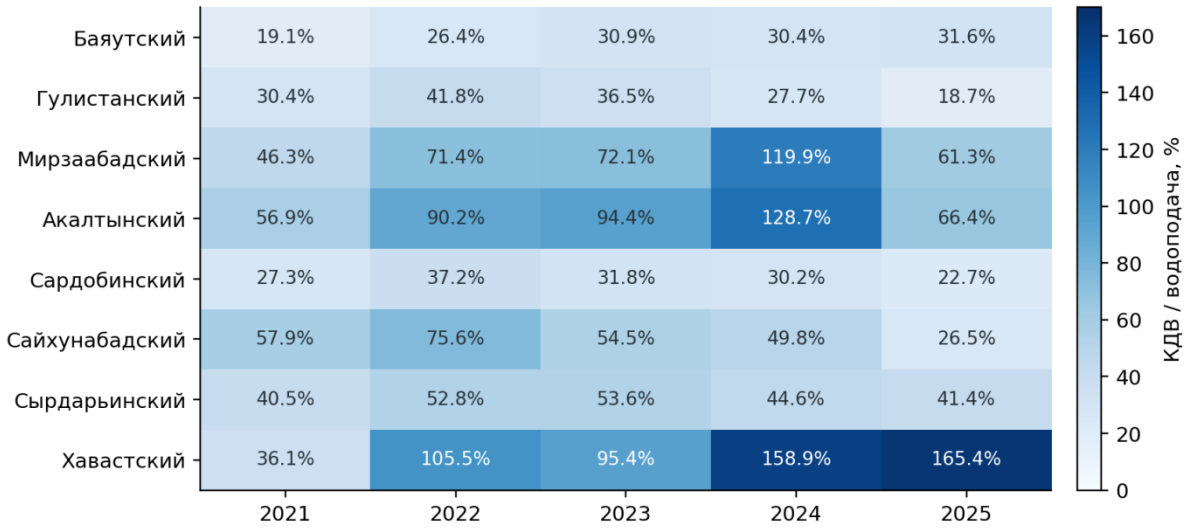

Рисунок 11. Отношение КДВ к водоподаче по районам за пять лет

В 2025 г. удельный отвод изменяется от 1 645 м³/га в Сардобинском до 8 778 м³/га в Хавастском районе, то есть различается примерно в 5,34 раза. В Акалтынском районе он составляет 5 365 м³/га, в Сырдарьинском – 4 514 м³/га. Минимальный абсолютный объём зарегистрирован в Гулистанском районе, однако минимальная величина на гектар относится к Сардобинскому.

Отношение КДВ к подаче по области составляет 38,08; 58,92; 55,84; 62,26 и 48,26% за 2021-2025 гг. Максимум 2024 г. совпал с минимумом водоподачи, а не с максимумом отвода. В 2025 г. его уменьшение на 14% сопровождалось ростом подачи и небольшим сокращением КДВ. Поэтому увеличение этого отношения нельзя автоматически интерпретировать как усиление дренирования, а уменьшение – как повышение эффективности использования воды.

В районных рядах значения превышают 100%: в Мирзаабадском и Акалтынском районах в 2024 г. они равны 119,86 и 128,72%; в Хавастском – 105,51% в 2022 г., 158,86% в 2024 г. и 165,41% в 2025 г. Это означает, что зарегистрированный отвод в соответствующей строке превышает зарегистрированную подачу того же района. Показатель нельзя считать долей одной и той же оросительной воды, вернувшейся в сеть после полива.

Такие соотношения совместимы с присутствием транзитных поступлений, подземного обмена, сработкой ранее накопленной воды либо различием границ и состава учёта подачи и отвода. Имеющиеся данные не позволяют выбрать один из этих механизмов и определить его вклад. Превышение не исправлялось искусственно и используется как диагностический признак необходимости согласования учётных контуров. Из него также не следует, что сама месячная сумма ошибочна.

5.5. Сезонное распределение дренажного стока

Данные распределения дренажного стока показывают, в какие периоды проходит основной объём и одинаков ли сезонный режим по годам (табл. 5.5). Для сопоставимости каждый календарный год разделён на апрель-сентябрь и совокупность января-марта с октябрём-декабрём. Второй интервал включает части двух хозяйственных сезонов, поэтому его объём не отождествляется с результатом одной конкретной промывной кампании.

Таблица 5.5.

Сезонные объёмы КДВ и внутригодовой диапазон

Год	Апрель-сентябрь, млн м³	Остальные месяцы, млн м³	Доля апреля-сентября, %	Максимум, месяц	Минимум, месяц
2021	523,34	618,54	45,83	II	VII
2022	637,46	731,14	46,58	III	IX
2023	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
2024	582,24	603,50	49,10	I	X
2025	578,26	570,46	50,34	VIII	X

Примечание: за 2023 г. месячный ряд отсутствует; «н/д» не означает нулевой отвод.

Источник: расчеты автора по данным Нижнесырдарьинского БУИСа Министерства водного хозяйства РУз.

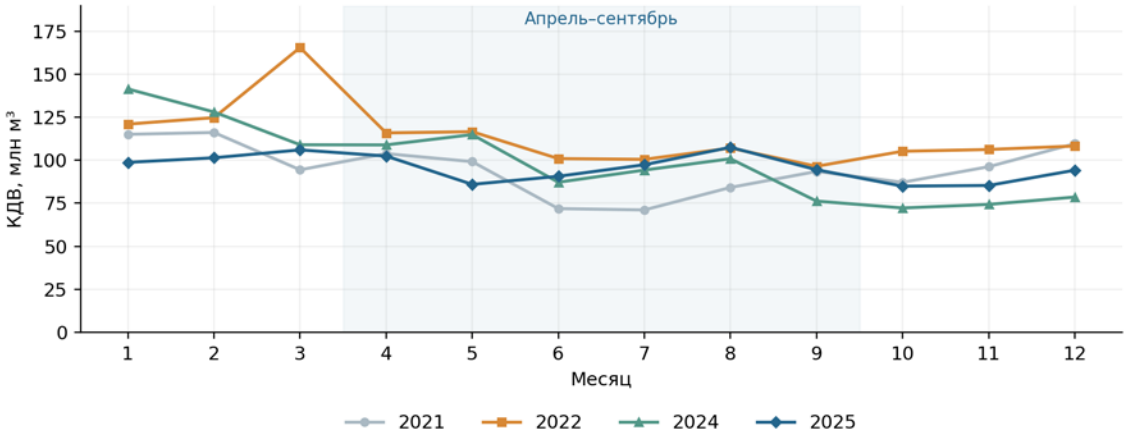

Рисунок 12. Объем КДВ области по месяцам

В 2021 г. на апрель-сентябрь приходилось 523,34 млн м^3, или 45,83% годового отвода; в 2022 г. – 637,46 млн м^3 (46,58%); в 2024 г. – 582,24 млн м^3 (49,10%); в 2025 г. – 578,26 млн м^3 (50,34%). Таким образом, в доступных рядах доля этого полугодия постепенно увеличивается, однако его абсолютный объём в 2025 г. меньше уровня 2022 г. Повышение сезонной доли само по себе не означает увеличения сезонного стока.

Сезонный максимум не закреплён за одним месяцем. Наибольший месячный объём в 2021 г. отмечен в феврале – 116,16 млн м^3, в 2022 г. в марте – 165,61 млн м^3, в 2024 г. в январе – 141,50 млн м^3, а в 2025 г. в августе – 107,51 млн м^3. Минимумы соответствуют июлю, сентябрю, октябрю и октябрю. Поэтому единая схема обязательного зимне-весеннего максимума для всего периода данными не подтверждается.

В 2025 г. месячные значения по области находятся в интервале 84,88-107,51 млн м^3; отношение максимума к минимуму равно 1,27. В 2024 г. диапазон составлял 72,15-141,50 млн м^3, а отношение – 1,96. Это указывает на более равномерное распределение областного объёма в 2025 г. Однако сглаживание областной кривой может возникать и при несовпадении районных максимумов, поэтому оно проверяется по территориальным месячным рядам.

В 2025 г. Сардобинский район выделяется концентрацией отвода в начале года: на январь-март приходится 30,60 млн м^3, или 45,44% его годового объёма. Доля апреля-сентября составляет только 35,96%. В Сырдарьинском районе максимум приходится на август – 17,27 млн м^3; в Хавастском на июль – 33,33 млн м^3; в Акалтынском на апрель – 21,93 млн м^3. Различия календаря максимумов подтверждают, что областной сезонный ход представляет наложение разных районных режимов.

Снижение областного годового отвода в 2025 г. к 2024 г. составило 37,02 млн м^3. Из него 3,98 млн м^3 приходится на апрель-сентябрь и 33,04 млн м^3 на остальные месяцы, то есть 89,26% общей разности связано со вторым интервалом. Это локализует изменение во времени, но не устанавливает его причину. Для объяснения через промывки, режим поливов или питание грунтовых вод необходимы синхронные данные соответствующих процессов.

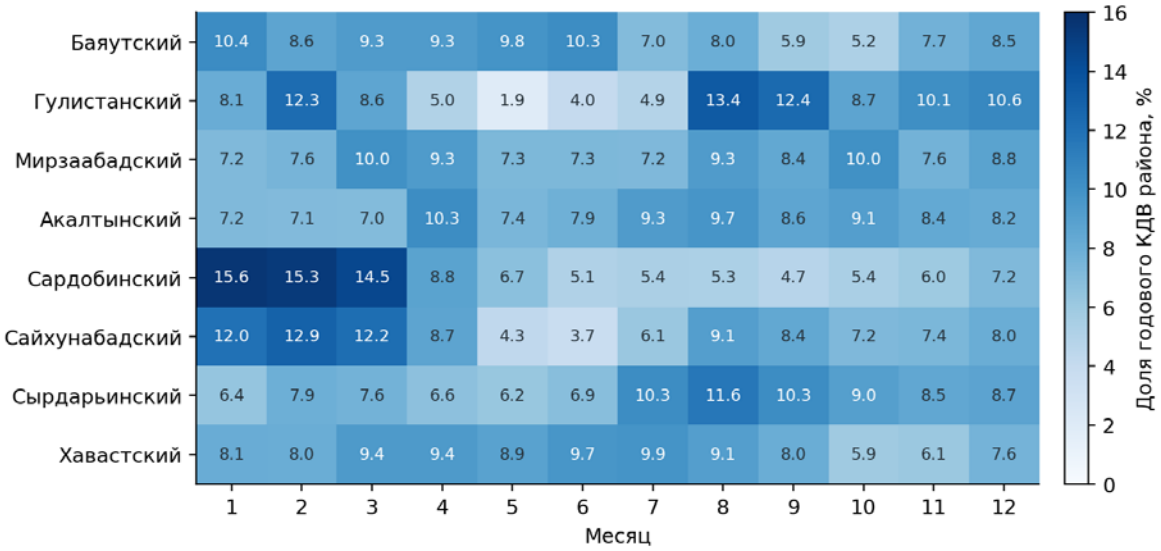

Рисунок 13. Распределение годового КДВ районов по месяцам в 2025 г.

5.6. Связь с водоподачей и мелиоративными условиями

Сопоставление с мелиоративными показателями раздела 4 и межгодовыми изменениями потоков в таблице 5.6 позволяет проверить простые объяснения изменения КДВ. При этом гидрологические механизмы отделяются от наблюдаемых совпадений: рост или сокращение учтённого отвода может отражать изменение питания сети, условий её работы и состава проходящих через неё вод.

Таблица 5.6.

Направление межгодовых изменений подачи и КДВ

Переход	Изменение подачи, млн м^3	Изменение подачи, %	Изменение КДВ, млн м^3	Изменение КДВ, %
2021–2022	-675,91	-22,54	226,72	19,85
2022–2023	119,18	5,13	-5,05	-0,37
2023–2024	-537,37	-22,01	-177,81	-13,04
2024–2025	475,81	24,98	-37,02	-3,12

Источник: расчеты автора по данным Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

Однонаправленное изменение двух потоков наблюдается только при переходе 2023-2024 гг.: подача сократилась на 22,01%, КДВ – на 13,04%. В 2021-2022 гг. уменьшение подачи на 22,54% сопровождалось увеличением КДВ на 19,85%. В 2022-2023 и 2024-2025 гг. подача увеличивалась, а отвод уменьшался. Следовательно, простая пропорциональная зависимость годового КДВ от водоподачи того же года данным не соответствует.

Различия изменений подачи и отвода совместимы с задержкой отклика грунтовых вод, изменением запасов, транзита и промывного режима. По данным площадь средне- и сильнозасолённых земель между 2021 и 2025 гг. уменьшилась на

37,87%, а учтённый отвод остался близким. В 2024 г. площадь неудовлетворительных земель увеличилась к 2023 г., хотя КДВ уменьшился. Отвод характеризует водный поток, а категория засоления – состояние площади; для их связи необходимо учитывать концентрацию и вынос солей, которые рассматриваются в балансовой части.

Особенно показательны разные сочетания районных признаков. В Мирзаабадском районе при максимальной доле средне- и сильнозасолённых земель в 2025 г. удельный отвод составляет 2 638 м^3/га, значительно ниже областных 4 001 м^3/га. В Сардобинском высокая доля минерализованных грунтовых вод сочетается с минимальным удельным отводом. В Хавастском, напротив, максимальный учтённый отвод на гектар сосуществует с высокой долей неудовлетворительной сети. Эти сочетания требуют различать питание принимающего коллектора и эффективность осушения конкретных участков.

Средняя глубина УГВ по области меняется от года к году без устойчивого понижения или повышения за весь период. Сопоставление этой средней с общей суммой КДВ не заменяет анализа площадей близкого залегания, локальных уровней и времени отклика. Таким образом, имеющийся материал позволяет выделить территории и периоды с различающимися режимами, но не даёт основания приписать всю динамику одному фактору.

5.7. Направления отвода и переход к балансу воды и солей

Для балансовой интерпретации важно различить общий учтённый объём, его направления и внутреннее повторное использование. Этот подраздел показывает возможности исходной классификации, не подменяя её подтверждённой схемой конечных выпусков. Направления отвода из годовой отчётности рассматриваются отдельно от повторного использования и схемы именованных коллекторов. В таблице 5.7 приведены три графы исходной классификации и общий отвод для сверки.

Таблица 5.7.

Направления отвода и повторное использование КДВ, млн м^3

Год	В реки	В каналы	Вне орошаемых земель	Повторное использование
2021	461,70	62,46	925,97	65,88
2022	466,04	51,95	850,59	51,95
2023	401,88	16,17	945,50	16,17
2024	н/д	н/д	н/д	81,33
2025	311,28	128,38	709,06	66,53

Источник: данные Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

В 2025 г. в графе «в реки» учтено 311,28 млн м^3, в каналы – 128,38 млн м^3, вне орошаемых земель – 709,06 млн м^3. Сумма трёх направлений отличается от суммы месячного КДВ на 0,0074 млн м^3, или примерно 7,4 тыс. м^3. Расхождение мало относительно годового объёма, но сохранено: направления и месячный ряд независимо

не подгонялись друг к другу. Численная близость итогов не устраняет вопроса о вложенности створов и маршрутах.

За 2021 г. сумма направлений составляет 1 450,13 млн м^3 и превышает учтённый отвод на 308,25 млн м^3. Превышение 308,25 млн м^3 полностью локализовано в двух строках: в Сайхунабадском районе по 168,66 млн м^3 указано одновременно «в реки» и «вне орошаемых земель», в Сырдарьинском – по 139,59 млн м^3. В отдельных районных строках одновременно присутствуют совпадающие объёмы в нескольких графах. Поэтому представленные графы не используются для расчёта долевой структуры отвода: их нельзя считать взаимоисключающими категориями. За 2024 г. сопоставимая разбивка направлений отсутствует. Снижение заполненной графы «в реки» между 2021 и 2025 гг. нельзя считать подтверждённым трендом поступления именно в Сырдарью.

Учтённое повторное использование составляет 65,88; 51,95; 16,17; 81,33 и 66,53 млн м^3 по годам. Ряд немонотонный; доли от годового КДВ как справочные отношения равны 5,77; 3,80; 1,19; 6,86 и 5,79%. Эти значения не вычитаются повторно из годового отвода: без установления последовательности створов нельзя определить, где повторный забор уже отражён в измеренном потоке. Сам факт использования также не устанавливает пригодность воды для конкретной культуры или почвы без оценки её качества.

Согласно реестру, рассмотренному в разделе 4, часть коллекторов связана с речным направлением отвода, а часть – с Арнасайской системой. Поступление КДВ в Сырдарью является одним из компонентов формирования стока ниже соответствующих выпусков и сопровождается переносом растворённых солей. Его значение для нижележащего участка следует оценивать совместно по объёму и качеству воды. Учтённый выпуск в реку нельзя автоматически приравнять к тому же объёму притока к Шардарьинскому водохранилищу без маршрутного баланса между створами.

Результаты проведённого анализа показывают немонотонную динамику КДВ, районное перераспределение и отсутствие простой синхронной пропорции между подачей и отводом. На следующем этапе эти объёмы необходимо объединить с минерализацией и массами солевого переноса, сохранив раздельный учёт внутренних оборотов и внешних потоков. Только такое сопоставление позволит оценить солевую нагрузку, не отождествляя уменьшение водоотвода с улучшением мелиоративного состояния. Далее в разделе 6 объёмы сопоставляются с солевыми массами, а районные суммы рассматриваются отдельно от конечных коллекторных потоков.

6. Приближенный водно-солевой баланс поверхностных вод Сырдарьинской области

В разделе рассмотрен приближенный водно-солевой баланс Сырдарьинской области за 2021-2025 гг. Сначала приведена общая схема баланса, затем обоснован выбор расчётного подхода и представлены результаты по данным районной отчётности.

6.1. Общая методика и обоснование приближённого расчёта

Водно-солевой баланс составляют для одного расчётного контура и периода. Изменение запасов воды и солей в пределах контура определяют по разности поступлений и потерь с учётом всех существенных составляющих. Для согласованного внешнего контура изменение водных запасов описывается уравнением:

$$\Delta W = I_{внеш} - D_{внеш} + U_{вод}$$

где ΔW – изменение запасов воды за период; $I_{внеш}$ – внешнее поступление по системе водоподачи; $D_{внеш}$ – внешний коллекторно-дренажный отвод. $U_{вод}$ – совокупный чистый вклад остальных составляющих: осадков за вычетом эвапотранспирации, подземного притока за вычетом оттока и прочих внешних поступлений и изъятий. В частности, межобластные и трансграничные передачи по каналам должны учитываться в соответствующих внешних потоках либо в $U_{вод}$, без повторного включения. Все члены уравнения выражаются в единицах объёма за один период и относятся к одному контуру.

Для запаса растворённых солей используется аналогичная схема:

$$\Delta S = M_{вх,\ внеш} - M_{вых,\ внеш} + U_{соль}$$

где ΔS – изменение массы растворённых солей в том же контуре; $M_{вх,\ внеш}$ и $M_{вых,\ внеш}$ – массы солей во внешних потоках водоподачи и КДВ; $U_{соль}$ – прочий чистый внешний солевой перенос и переход солей между растворённой и твёрдой фазами. Все члены выражаются в единицах массы. Для баланса полного запаса солей во всех фазах внутренние растворение и осаждение не являются внешними источниками или выносом. Поэтому изменение запаса растворённых солей и изменение полного солезапаса почвы – разные величины.

Численно $U_{вод}$ не рассчитывается, поскольку отсутствуют согласованные по территории и периоду объёмы осадков, эвапотранспирации и подземного обмена. Средние уровни грунтовых вод не заменяют изменение их объёмных запасов: для пересчёта необходимы водоотдача, строение горизонтов и пространственное изменение уровней. Для $U_{соль}$ отсутствуют данные о массе солей прочих внешних поступлений, подземном солевом обмене и межфазных переходах.

Определить $U_{вод}$ или $U_{соль}$ как остаток по двум известным потокам нельзя: из приведённых уравнений одновременно неизвестны и изменение запасов, и вклад

остальных составляющих. Даже при полностью согласованном контуре $U_{вод} = \Delta W - (I_{внеш} - D_{внеш})$, а $U_{соль} = \Delta S - (M_{вх,\ внеш} - M_{вых,\ внеш})$. Принятие ΔW или ΔS равными нулю было бы дополнительной гипотезой стационарности, которая имеющимися данными не подтверждена. Поэтому $U_{вод}$ и $U_{соль}$ остаются неопределёнными членами общей схемы; их не обнуляют, не подбирают для замыкания и не включают в числовые итоги как измеренные величины.

Таким образом, имеющиеся данные не позволяют замкнуть полный водно-солевой баланс области. Рассмотренные данные по области содержат объёмы водоподачи и отвода коллекторно-дренажных вод (КДВ), а также данные об их минерализации. Этих сведений достаточно для оценки переноса солей с учтёнными потоками, но недостаточно для определения вклада осадков, эвапотранспирации и подземного обмена или для оценки изменения запасов воды и солей. Поэтому за основу принят подход В.А.Духовного и соавторов[23], позволяющий сопоставить подачу и дренажный отвод по объёмам воды и массам солей.

По этому подходу составлен приближённый водно-солевой баланс поверхностных вод за 2021-2025 гг. Расчёт выполнен по районам за календарные годы, областные показатели получены суммированием районных объёмов и масс. Приближение состоит в ограничении расчёта потоками, обеспеченными данными. Неучтённые составляющие полного баланса не принимались равными нулю. Итоговая сводка приведена в таблице 6.8.

На следующем этапе рассчитываются районная разность $B = M_{вх} - M_{вых}$ и её удельное значение на гектар орошаемых земель. Областные I, D, $M_{вх}$ и $M_{вых}$ получены суммированием районных значений; областная B равна как разности суммарных масс, так и сумме районных разностей. Средневзвешенная концентрация области определяется отношением суммарной массы к соответствующему объёму. При сезонном расчёте сначала суммируются месячные массы и объёмы заданного интервала, затем определяется его концентрация; простое среднее районных или месячных концентраций не используется вместо взвешенного.

Приближённый расчёт даёт разность учтённых объёмов $R_{вод} = I - D$ и разность учтённых масс $B = M_{вх} - M_{вых}$. Положительная B означает превышение вноса над выносом, отрицательная − обратное. Эти показатели не определяют $U_{вод}$, $U_{соль}$, ΔW или ΔS. Районные суммы могут охватывать внутренний оборот и транзит, поэтому их нельзя автоматически считать внешним притоком и оттоком области.

6.2. Водоподача и отвод коллекторно-дренажных вод

Водная часть отражает зарегистрированную районную водоподачу и отвод КДВ (табл. 6.1). Разность $R_{вод} = I - D$ характеризует соотношение отчётных сумм. Поскольку внутренний оборот и транзит полностью не исключены, её нельзя непосредственно подставить вместо разности внешних потоков в физическое уравнение. Она не равна $U_{вод}$: вклад остальных составляющих нельзя отделить от изменения запасов и различий учётного контура. Поэтому разность не обозначается как испарение, безвозвратное потребление или изменение запасов воды.

[23] Духовный В. А. и др. Дренаж в бассейне Аральского моря: в направлении стратегии устойчивого развития. Предварительный отчёт. Ташкент, 2004. 316 с. Источник

Таблица 6.1.

Водная часть приближённого баланса области, млн м^3

Год	Водоподача, *I*	Отвод КДВ, *D*	Разность, *I* − *D*	КДВ / подача, %
2021	2 998,55	1 141,88	1 856,67	38,08
2022	2 322,64	1 368,60	954,04	58,92
2023	2 441,82	1 363,55	1 078,27	55,84
2024	1 904,45	1 185,74	718,71	62,26
2025	2 380,26	1 148,72	1 231,53	48,26
2021–2025	**12 047,72**	**6 208,49**	**5 839,23**	**51,53**

Источник: расчеты автора по данным Нижнесырдарьинского БУИСа Министерства водного хозяйства РУз

За пять лет учтённая водоподача составляет 12 047,72 млн м^3, отвод – 6208,49 млн м^3. Их суммарная разность равна 5 839,23 млн м^3, а отношение отвода к подаче – 51,53%. Последний показатель получен из сумм за весь период, а не усреднением пяти годовых процентов. Этот результат характеризует представленные потоки и не является коэффициентом полезного использования воды.

Минимальная годовая разность $I - D$ приходится на 2024 г. – 718,71 млн м^3, максимальная на 2021 г. – 1856,67 млн м^3. В 2025 г. она равна 1231,53 млн м^3. Межгодовые изменения этой разности зависят от обоих учтённых объёмов, а также могут отражать различия времени отклика и состава поступлений в коллекторы. Поэтому её увеличение в 2025 г. не интерпретируется как измеренный рост испарения или водопотребления культур.

На районном уровне возможен и обратный знак водной разности. Например, в Хавастском районе в 2025 г. учтены 204,09 млн м^3 подачи и 337,58 млн м^3 КДВ: разность составляет −133,49 млн м^3. Этот пример подтверждает, что для некоторых районов дренажный отвод нельзя описать как остаток одной только местной водоподачи. Солевой расчёт сохраняет соответствующие фактические потоки, но его результат также не переносится непосредственно на изменение местных почвенных запасов.

6.3. Учтённый внос и вынос солей по плотному остатку

Солевая часть объединяет объём и концентрацию воды и позволяет установить, одинаковы ли водная и солевая динамика. В таблице 6.2 представлены все пять лет и средневзвешенные концентрации по расчётным массам и объёмам. Положительная разность означает превышение учтённого вноса над выносом, отрицательная – обратное соотношение. Годовые массы показаны на рисунке 14, их разность – на рисунке 15, концентрации – на рисунке 16.

Таблица 6.2.

Солевые потоки и их разность

Год	*C* подачи, г/л	*C* КДВ, г/л	Внос, тыс. т	Вынос, тыс. т	Внос − вынос, тыс. т
2021	1,147	2,700	3 439,41	3 083,07	+356,34
2022	1,288	2,912	2 992,44	3 984,93	−992,49
2023	1,491	2,779	3 640,12	3 789,42	−149,30
2024	1,441	2,703	2 743,60	3 204,63	−461,03
2025	1,279	2,592	3 043,82	2 977,22	+66,59
2021–2025	–	–	**15 859,39**	**17 039,28**	**−1 179,88**

Примечание: C – средневзвешенная концентрация по плотному остатку.

Источник: расчеты автора по данным Нижнесырдарьинского БУИСа Министерства водного хозяйства РУз

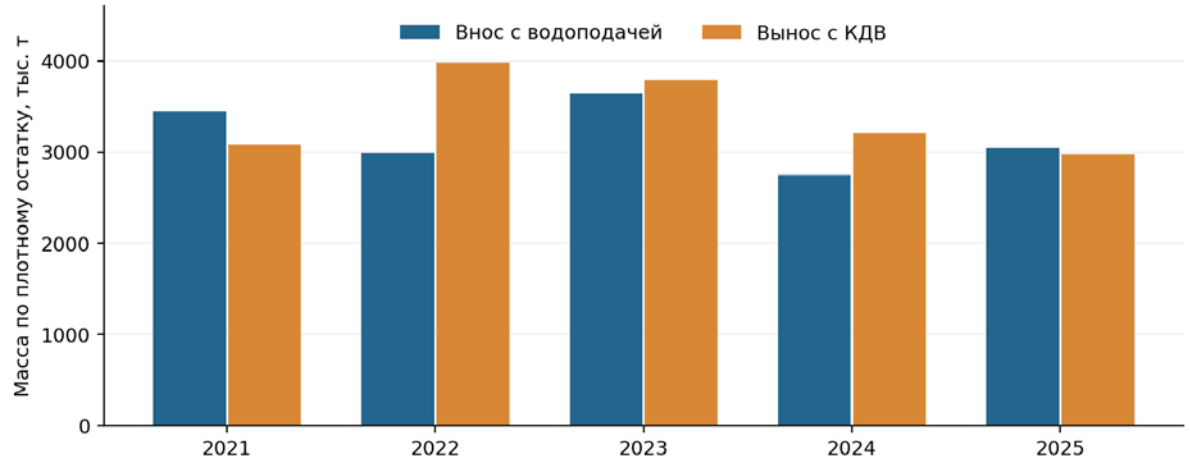

Рисунок 14. Годовые внос и вынос солей по плотному остатку

В 2021 г. внос составлял 3439,41 тыс. т, вынос – 3083,07 тыс. т, разность +356,34 тыс. т. В 2022 г. соотношение изменилось: внос уменьшился до 2992,44 тыс. т, а вынос увеличился до 3984,93 тыс. т. В результате получено -992,49 тыс. т – наиболее выраженное превышение выноса над вносом за рассматриваемый период. В 2023 и 2024 гг. разности также отрицательны: -149,30 и -461,03 тыс. т.

В 2025 г. при вносе 3 043,82 тыс. т и выносе 2 977,22 тыс. т разность равна +66,59 тыс. т. Вынос составляет 97,81% учтённого вноса. Областные удельные величины равны 10,60 т/га для вноса, 10,37 т/га для выноса и +0,232 т/га для разности. Это сравнительно небольшая разность крупных встречных потоков; её знак требует оценки устойчивости к неопределённости исходных величин.

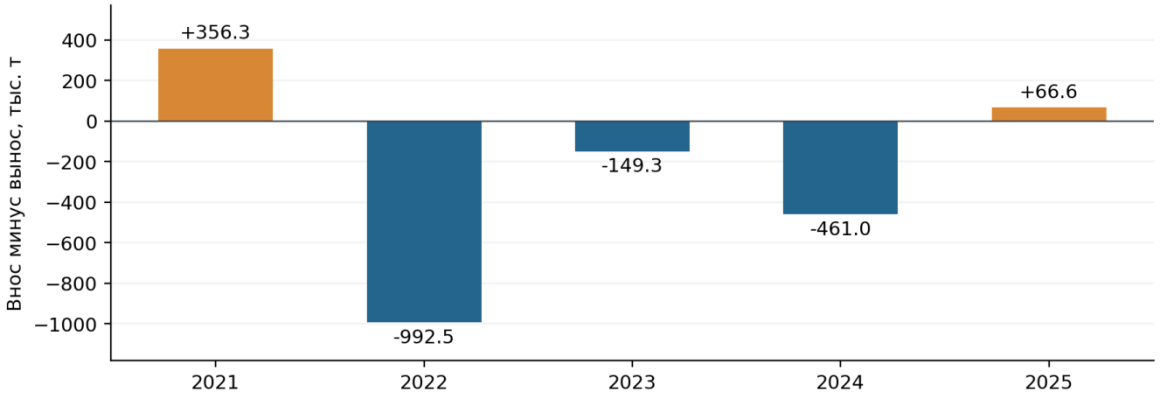

Рисунок 15. Разность учтённых солевых потоков по годам

За 2021-2025 гг. сумма районных расчётов вноса составляет 15 859,39 тыс. т, выноса − 17 039,28 тыс. т; разность равна -1 179,88 тыс. т. Следовательно, в представленной совокупности потоков суммарный вынос превышает внос на 7,44%. Этот результат совместим с участием иных источников солей и ранее сформированных запасов в водном переносе, однако не позволяет количественно разделить их вклад. Он не доказывает уменьшение запаса солей почвенного слоя области на ту же величину

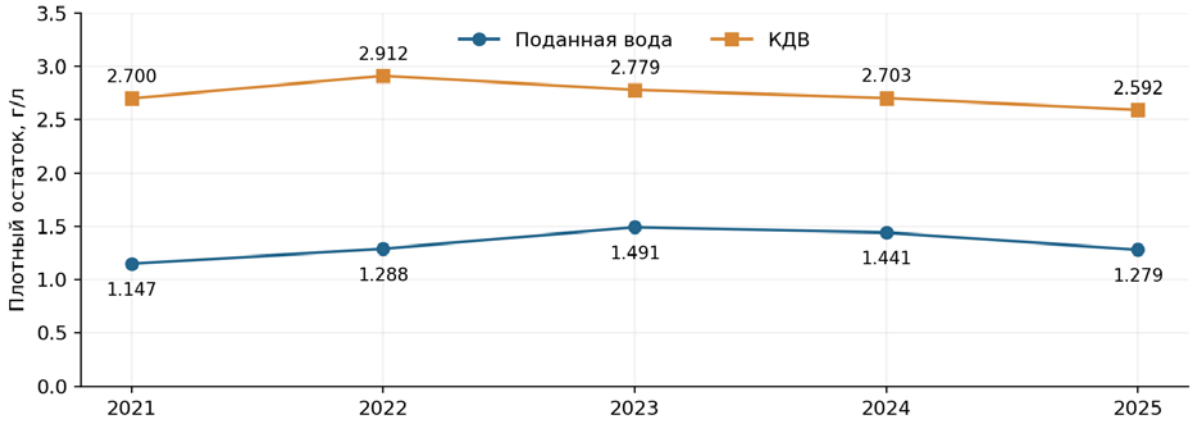

Рисунок 16. Средневзвешенная минерализация поданной воды и КДВ

Во все годы средневзвешенный плотный остаток КДВ выше показателя поданной воды: соответственно 2,592-2,912 и 1,147-1,491 г/л (рисунок 16). Для 2025 г. отношение $D/I \approx 0{,}4826$, а отношение концентраций составляет около 2,027; произведение даёт отношение выноса к вносу около 0,978.

В 2025 г. к 2024 г. объём КДВ уменьшился на 3,12%, его средневзвешенная минерализация – с 2,703 до 2,592 г/л, а вынос солей – на 7,10%, или 227,40 тыс. т. При последовательном разложении этой разности на объёмную и концентрационную составляющие уменьшение объёма при концентрации 2024 г. даёт -100,05 тыс. т, а изменение концентрации при объёме 2025 г. – ещё -127,36 тыс. т. Это точное арифметическое разложение, зависящее от выбранной последовательности, а не установление причин изменения качества воды.

По сравнению с 2021 г. учтённый объём КДВ в 2025 г. увеличился на 0,6%, солевой вынос уменьшился на 3,43%, а средневзвешенная минерализация КДВ – на 4,01%. Следовательно, близкие объёмы отвода могут сопровождаться различными солевыми нагрузками.

6.4. Районные различия солевого баланса

Разность значений по области может скрывать компенсацию больших положительных и отрицательных районных значений. Поэтому отдельно рассмотрены массы вноса и выноса за 2025 г., их удельная разность и весь пятилетний ряд районных результатов (табл. 6.3). Это позволяет отделить близость суммарного итога к нулю от пространственной однородности баланса.

Таблица 6.3.

Солевые потоки по районам за 2025 г.

Район	Внос, тыс. т	Вынос, тыс. т	Разность, тыс. т	Разность, т/га	*I*, млн м³	*D*, млн м³	*C* подачи, г/л	*C* КДВ, г/л
Баяутский	560,50	303,96	+256,55	+7,11	454,57	143,71	1,233	2,115
Гулистанский	362,62	99,56	+263,06	+10,42	268,35	50,09	1,351	1,987
Мирзаабадский	197,99	303,29	−105,30	−2,58	175,64	107,75	1,127	2,815
Акалтынский	372,02	614,71	−242,68	−6,09	322,20	213,84	1,155	2,875
Сардобинский	392,51	260,86	+131,65	+3,22	296,03	67,34	1,326	3,874
Сайхунабадский	356,84	173,97	+182,87	+5,60	299,55	79,49	1,191	2,189
Сырдарьинский	556,52	313,94	+242,58	+7,35	359,83	148,91	1,547	2,108
Хавастский	244,82	906,95	−662,13	−17,22	204,09	337,58	1,200	2,687
Область	**3 043,82**	**2 977,22**	**+66,59**	**+0,23**	**2 380,26**	**1 148,72**	**1,279**	**2,592**

Источник: расчеты автора по данным Нижнесырдарьинского БУИСа Министерства водного хозяйства РУз

В 2025 г. положительная разность получена в пяти районах: Гулистанском +263,06 тыс. т, Баяутском +256,55 тыс. т, Сырдарьинском +242,58 тыс. т, Сайхунабадском +182,87 тыс. т и Сардобинском +131,65 тыс. т. В трёх районах вынос превышает внос: Хавастском на 662,13 тыс. т, Акалтынском на 242,68 тыс. т и Мирзаабадском на 105,30 тыс. т. Сумма положительных значений равна +1 076,70 тыс. т, отрицательных −1 010,11 тыс. т; их компенсация формирует областные +66,59 тыс. т.

Наибольший солевой вынос приходится на Хавастский район – 906,95 тыс. т. Вместе с Акалтынским районом, где вынос равен 614,71 тыс. т, они дают 51,11% областной учётной суммы. В Хавастском районе вынос в 3,70 раза больше вноса, а удельная разность равна -17,22 т/га. С учётом превышения водного отвода над местной подачей это является основанием рассматривать состав поступающих потоков и транзит; величина не характеризует непосредственно извлечение солей из местного пахотного слоя.

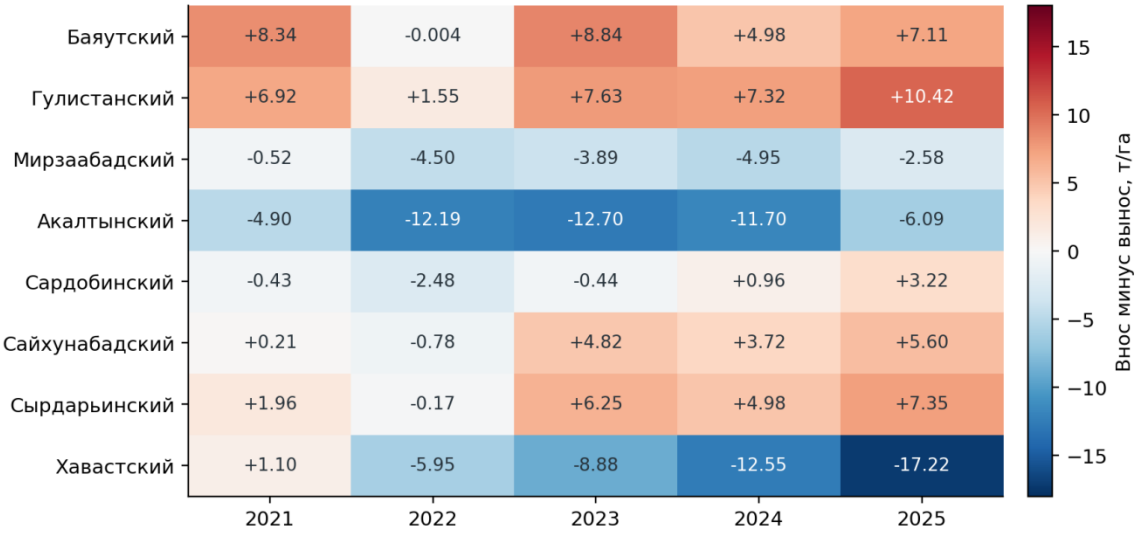

Рисунок 17. Удельная разность солевых потоков районов за 2021–2025 гг.

Наибольшая положительная удельная разность 2025 г. отмечена в Гулистанском районе – +10,42 т/га, далее следуют Сырдарьинский (+7,35) и Баяутский (+7,11). При этом в разделе 4 Гулистанский район характеризуется небольшой долей средне- и сильнозасолённых земель. Положительная разность потоков за один год и текущее состояние площади относятся к разным характеристикам и не должны подменять друг друга.

Таблица 6.4.

Разность учтённого вноса и выноса солей по районам за 2021-2025 гг., тыс. т

Район	2021	2022	2023	2024	2025	Сумма за 5 лет	Вынос / внос за 5 лет
Баяутский	+301,6	-0,1	+319,2	+179,6	+256,5	+1 056,9	0,63
Гулистанский	+174,9	+39,2	+192,6	+184,8	+263,1	+854,5	0,49
Мирзаабадский	-21,1	-183,7	-158,9	-202,1	-105,3	-671,2	1,50
Акалтынский	-195,1	-485,9	-506,4	-466,4	-242,7	-1 896,6	2,02
Сардобинский	-17,8	-101,7	-18,1	+39,4	+131,7	+33,4	0,98
Сайхунабадский	+6,9	-25,6	+157,4	+121,6	+182,9	+443,2	0,78
Сырдарьинский	+64,8	-5,6	+206,4	+164,8	+242,6	+673,0	0,73
Хавастский	+42,2	-228,9	-341,6	-482,7	-662,1	-1 673,1	1,92
Область	**+356,3**	**-992,5**	**−149,3**	**-461,0**	**+66,6**	**-1 179,9**	**1,07**

Источник: расчеты автора по данным Нижнесырдарьинского БУИСа Министерства водного хозяйства РУз

За все пять лет отрицательный знак сохраняется в Мирзаабадском и Акалтынском районах, положительный – в Гулистанском. В Хавастском после положительного результата 2021 г. разность становится отрицательной и увеличивается по абсолютной величине до 2025 г. В Сардобинском знак меняется с отрицательного в 2021-2023 гг. на положительный в 2024-2025 гг. Такое изменение особенно важно для

последующего анализа водоподачи и солевого состава, но само по себе не устанавливает начало вторичного засоления.

Пятилетние суммы наиболее отрицательны в Акалтынском (-1896,55 тыс. т) и Хавастском (-1673,07 тыс. т) районах. Наибольшие положительные суммы относятся к Баяутскому (+1056,85 тыс. т) и Гулистанскому (+854,51 тыс. т). Областная отрицательная сумма возникает при компенсации этих территориально различающихся потоков. Для пространственной оценки почвенных запасов необходимы данные о солесодержании и мощности обследованного слоя.

6.5. Сезонный перенос солей с КДВ

Солевой перенос зависит одновременно от объёма и минерализации воды. Сезонный расчёт поэтому выполняется по сумме месячных произведений $V \times C$, а средняя концентрация каждого интервала взвешивается по его объёму. Рассматриваются апрель-сентябрь и остальные шесть месяцев календарного года. За 2023 г. сезонный расчёт не выполняется, поскольку отсутствуют месячные объёмы КДВ и соответствующие концентрации за этот год.

Таблица 6.5.

Сезонный вынос и средневзвешенная минерализация КДВ

Год	Вынос апрель-сентябрь, тыс. т	Вынос в остальные месяцы, тыс. т	*C* апрель-сентябрь, г/л	*C* остальных месяцев, г/л	Доля апрель-сентябрь в выносе, %
2021	1 641,43	1 441,64	3,136	2,331	53,24
2022	1 765,06	2 219,87	2,769	3,036	44,29
2023	н/д	н/д	н/д	н/д	н/д
2024	1 570,13	1 634,50	2,697	2,708	49,00
2025	1 508,72	1 468,50	2,609	2,574	50,68

Примечание: «н/д» – показатель не определен из-за отсутствия данных. Данный показатель не обозначает нулевой вынос.

Источник: расчеты автора по данным Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

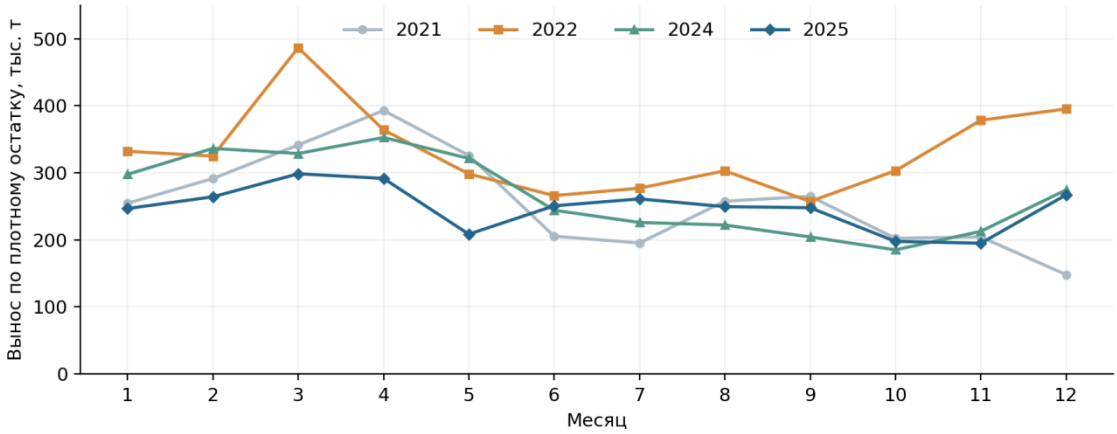

Рисунок 18. Месячный солевой вынос по плотному остатку

В 2021 г. апрель-сентябрь обеспечивал 45,83% годового водного отвода, но 53,24% солевого выноса. Средневзвешенная минерализация этого интервала составляла 3,136 г/л против 2,331 г/л в остальные месяцы. В 2022 г. соотношение обратное: при 46,58% объёма на апрель-сентябрь приходилось 44,29% выноса; концентрации равнялись 2,769 и 3,036 г/л соответственно. Единого устойчивого соотношения сезонных концентраций для всех лет нет.

В 2024 г. сезонные средневзвешенные концентрации почти совпадают: 2,697 и 2,708 г/л. В 2025 г. они также близки — 2,609 и 2,574 г/л. На апрель–сентябрь последнего года приходится 50,34% водного объёма и 50,68% солевого выноса (таблица 6.5). Близость агрегированных долей не означает постоянной концентрации внутри месяцев или районов; месячные доли сопоставлены на рисунке 19.

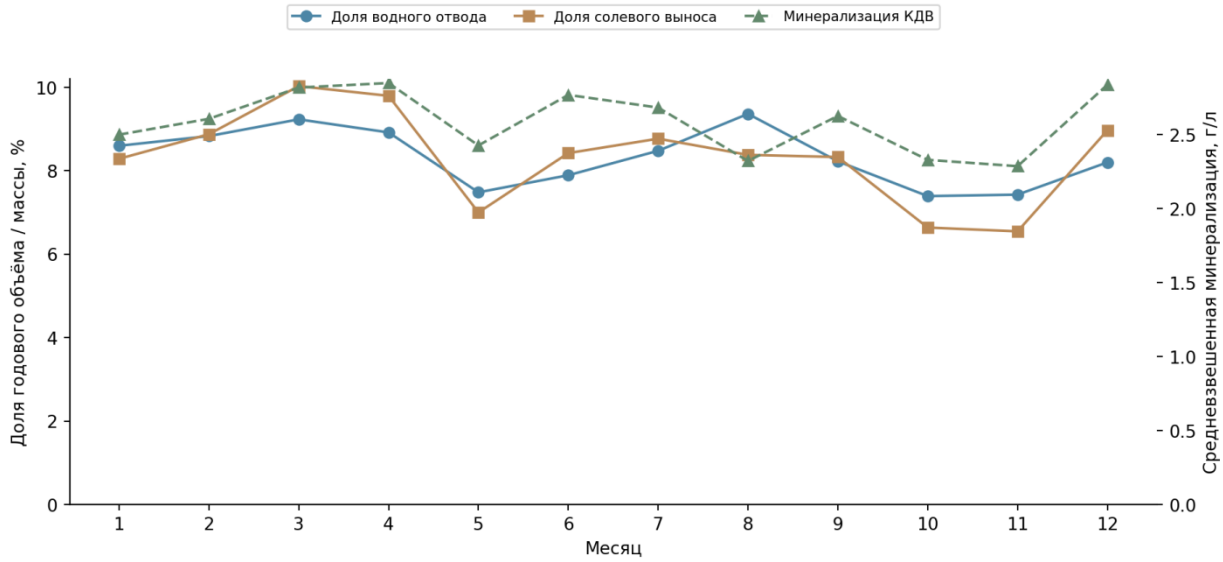

Рисунок 19. Месячные доли водного и солевого отвода, а также и средневзвешенная минерализация КДВ в 2025 г.

Максимальный объём КДВ в 2025 г. приходится на август – 107,51 млн м^3, тогда как максимальный вынос солей отмечен в марте – 298,45 тыс. т. В августе вынос составляет 249,41 тыс. т, а средневзвешенная минерализация 2,320 г/л против 2,816 г/л в марте. Следовательно, контроль только водного объёма не выявляет месяц максимальной солевой нагрузки.

Сокращение солевого выноса в 2025 г. к 2024 г. распределяется между интервалами неравномерно: на апрель-сентябрь приходится -61,41 тыс. т, на остальные месяцы -166,00 тыс. т. Эти результаты дополняют водную сезонность из раздела 5 и показывают, в какие периоды сосредоточено изменение нагрузки. Они не устанавливают, какая часть обусловлена промывками, качеством поданной воды, мобилизацией солей или составом транзитных поступлений.

6.6. Перенос хлора с водоподачей и КДВ

Показатель хлора дополняет плотный остаток и позволяет проверить, одинаково ли изменяются разные характеристики солевого переноса. Он рассчитан отдельно и не прибавляется к общей массе солей. Таблица 6.6 сохраняет различие основы расчёта: месячные пары объёма и концентрации за 2021-2022 гг. и годовые значения за 2023-2025 гг. Сопоставление компонентов характеризует отчётный перенос, но не заменяет полного ионного анализа.

Таблица 6.6.

Учтённый перенос хлора по области

Год	С подачи, г/л	С КДВ, г/л	Внос, тыс. т	Вынос, тыс. т	Разность, тыс. т
2021	0,108	0,270	324,07	308,16	+15,91
2022	0,117	0,318	271,08	435,85	−164,77
2023	0,117	0,278	285,70	378,87	−93,17
2024	0,166	0,271	315,34	321,62	−6,28
2025	0,122	0,284	290,88	326,25	−35,37
2021–2025	–	–	**1 487,07**	**1 770,75**	**−283,68**

Источник: расчеты автора по данным Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

В 2025 г. учтённый внос хлора составляет 290,88 тыс. т, вынос – 326,25 тыс. т; разность равна -35,37 тыс. т. При этом по плотному остатку в том же году получено +66,59 тыс. т. Различие знаков показывает, что соотношение входа и выхода по одному компоненту не переносится на совокупность растворённых веществ. Оно также не означает увеличения или уменьшения доли конкретных солей без полного ионного анализа.

Суммарно за пять лет внос хлора равен 1 487,07 тыс. т, вынос – 1770,75 тыс. т, разность -283,68 тыс. т. Отрицательные годовые разности отмечены в 2022-2025 гг. Однако малое по абсолютной величине значение 2024 г. (-6,28 тыс. т) и различия основы расчёта требуют осторожности при оценке его знака и межгодовых переходов.

Этот показатель рассматривается как дополнительный учтённый поток, а не как прямой баланс хлоридного запаса почв.

6.7. Устойчивость результатов и связь с состоянием земель

Небольшая разность крупных потоков чувствительна к изменению исходных концентраций и объёмов. Поэтому оценка баланса включает проверку того, насколько устойчив его знак, и сопоставление с независимыми площадными показателями засоления. Число десятичных знаков в расчёте не рассматривается как характеристика точности наблюдений.

Для 2025 г. положительная разность 66,59 тыс. т составляет только 2,19% вноса. При неизменности всех прочих величин уменьшение расчётного вноса на 2,19% либо увеличение выноса на 2,24% приводит два потока к равенству. Следовательно, близость учтённого баланса к нулю обоснована лучше, чем устойчивость именно положительного знака. Из имеющихся данных нельзя вывести инструментальную погрешность или доверительный интервал этой разности.

В качестве условной проверки чувствительности можно допустить независимое отклонение двух годовых масс в пределах ±5%. Тогда крайние варианты разности 2025 г. равны -234,46 и +367,64 тыс. т. Этот диапазон является результатом заданного сценария, а не оценкой фактической погрешности измерений и не статистическим доверительным интервалом. Он показывает, почему небольшой положительный остаток нельзя использовать как доказательство накопления солей.

Дополнительное ограничение связано с различной временной детализацией. Месячные произведения объёма и концентрации точнее сохраняют наблюдаемую сезонную неоднородность, чем произведение годового объёма на годовую концентрацию неизвестного способа усреднения. При этом и месячный расчёт остаётся оценкой нагрузки, если концентрация основана на разовой пробе. Поэтому результат 2023 г. включён в общий ряд с явной оговоркой и не используется для неподтверждённого сезонного восстановления.

По данным раздела 4 площадь средне- и сильнозасолённых земель уменьшилась с 72,520 до 45,059 тыс. га, или на 37,87%. Это изменение площади нельзя непосредственно сопоставить с массой вынесенных солей. Значительная часть уменьшения приходится на переход 2024-2025 гг.; сопоставимость сроков, контуров и методов обследований требует подтверждения. Поэтому превышение отчётного выноса над вносом не используется как доказательство причины изменения засолённости.

В Мирзаабадском районе отрицательная разность сохраняется все пять лет, но доля средне- и сильнозасолённых земель в 2025 г. остаётся наибольшей по области. В Гулистанском районе, напротив, положительный знак сохраняется во всём ряду при небольшой площади выраженного засоления. Эти примеры показывают, что знак годовых потоков характеризует текущий обмен, тогда как состояние земель зависит также от исходных запасов, пространственного распределения и условий водно-солевого режима.

Таблица 6.7.

Справочное сопоставление исторических и современных показателей

Год	Подача / водозабор, млн м³	Отвод, млн м³	С КДВ, г/л
1980	2 764,0	1 598,4	3,72
1985	2 500,0	1 839,0	3,50
1990	2 740,5	1 619,4	4,19
1997	1 889,2	1 096,53	2,71
2021	2 998,55	1 141,88	2,700
2022	2 322,64	1 368,60	2,912
2023	2 441,82	1 363,55	2,779
2024	1 904,45	1 185,74	2,703
2025	2 380,26	1 148,72	2,592

Источник: 1980-1997 гг. – отчёт В.А. Духовного и др. (2004), таблица 2.7, с. 33; 2021-2025 гг. – расчёты автора настоящей записки.

6.8. Итоги приближённого баланса и их практическое применение

Таблица 6.8 объединяет водные и солевые показатели по схеме Духовного и соавторов. Водная часть характеризует учтённую подачу и отвод, солевая – перенос по плотному остатку. Хлор рассмотрен отдельно в подразделе 6.6. Результаты позволяют сравнивать годы и районы, выделять вклад объёма и концентрации в солевую нагрузку и выбирать приоритеты мониторинга.

За 2021-2025 гг. учтены 12,048 млрд м³ водоподачи и 6,208 млрд м³ КДВ. Отношение их сумм составляет 51,53%, разность $R_{вод}$ – 5,839 млрд м³. Это подтверждённые результаты агрегации представленных данных. Распределение разности между эвапотранспирацией, изменением запасов, подземным обменом и иными потоками не установлено; поэтому она не используется как оценка водопотребления культур или безвозвратного изъятия. Для физического замыкания необходимы независимая оценка ΔW, составляющие $U_{вод}$ и согласование внешних створов.

Суммарные районные внос и вынос по плотному остатку составляют 15,859 и 17,039 млн т соответственно. Превышение выноса равно 1,180 млн т, или 7,44% вноса. Это характеристика принятого ряда, чувствительная к составу учитываемых потоков и способам осреднения концентраций. Она служит основанием для проверки солевого переноса и возможного повторного учёта, но не устанавливает ни чистый внешний вынос области, ни убыль почвенного запаса на 1,180 млн т.

Результат 2025 г. отличается от пятилетней суммы: внос 3,044 млн т и вынос 2,977 млн т близки по масштабу, разность составляет +66,59 тыс. т. Однако она образована компенсацией +1 076,70 тыс. т в пяти районах и -1 010,11 тыс. т в трёх. Поэтому близость областного итога к нулю не свидетельствует об одинаковом режиме районов. Кроме того, изменение одной из встречных масс примерно на 2,2% способно устранить положительную разность; её знак не служит самостоятельным доказательством накопления солей.

Таблица 6.8.

Приближённый водно-солевой баланс поверхностных вод за 2021-2025 гг.

Год	Водоподача, млн м³	Минерализация, г/л	Поступление солей, тыс. т	Сток КДВ, млн м³	Минерализация, г/л	Вынос солей тыс. т	Доля КДВ от водозабора	Разность тыс. т	Удельный вынос солей, т/га	Кс*
2021	2998,55	1,147	3439,41	1141,88	2,700	3083,07	0,381	+356,34	+1,24	0,896
2022	2322,64	1,288	2992,44	1368,60	2,912	3984,93	0,589	−992,49	−3,45	1,332
2023	2441,82	1,491	3640,12	1363,55	2,779	3789,42	0,558	−149,30	−0,52	1,041
2024	1904,45	1,441	2743,60	1185,74	2,703	3204,63	0,623	−461,03	−1,61	1,168
2025	2380,26	1,279	3043,82	1148,72	2,592	2977,22	0,483	+66,59	+0,23	0,978
Итого	**12047,72**	**1,316**	**15859,39**	**6208,49**	**2,745**	**17039,28**	**0,515**	**−1179,88**	—	**1,074**

Примечание: Отношение объема выноса солей из зоны планирования к их поступлению с оросительной водой

Источник: расчеты автора по методике В.А.Духовного по данным Нижнесырдарьинского БУИСа Министерства водного хозяйства РУз

Наиболее значимы для анализа состава отвода Хавастский и Акалтынский районы: в 2025 г. на них приходится 51,11% областного учтённого выноса по плотному остатку. В Хавастском районе одновременно наблюдаются превышение КДВ над местной водоподачей и выноса над вносом, что делает согласование входящих и транзитных потоков особенно существенным. Гулистанский район с устойчиво положительной пятилетней разностью требует иной интерпретации: результат необходимо сопоставлять с фактическим состоянием земель и полнотой учёта выходных потоков. Такое разграничение позволяет определить разные задачи проверки, не присваивая районам оценку засоления по одному знаку баланса.

Объёмный и солевой показатели должны использоваться совместно. Между 2021 и 2025 гг. учтённый КДВ увеличился на 0,6%, а солевой вынос уменьшился на 3,43% при снижении средневзвешенной минерализации на 4,01%. В 2025 г. максимум месячного объёма приходится на август, максимум солевой нагрузки – на март. Следовательно, наблюдения только за объёмом не позволяют установить ни изменение массы переноса, ни период её максимума. Приоритетом учёта является получение согласованных объёма и концентрации за один интервал в одном створе.

Баланс хлора дополняет эту оценку: в 2025 г. его учтённый вынос превышает внос на 35,37 тыс. т при противоположном знаке разности по плотному остатку. Поэтому оценка качества и солевого переноса должна сохранять показатели состава отдельно. Различия временной детализации также остаются существенными: годовой результат 2023 г. используется в пятилетней сводке, а сезонные значения за него не определяются из-за отсутствия месячных пар объёма и концентрации.

Для коллекторов ВЖД и Шурузяк полученный приближенный баланс определяет масштаб и контекст последующего анализа. Практическая задача состоит в выделении их собственных согласованных рядов, проверке водоприёмников и исключении повторного учёта ветвей в принимающем коллекторе. Для речного направления отвода следует рассчитывать пару «объём воды – солевая нагрузка» по конечным выпускам. Поступления КДВ являются частью формирования стока Сырдарьи ниже этих выпусков; их значение для нижележащего участка рассматривается с учётом минерализации и переносимой солевой нагрузки.

Таким образом, приближенный водно-солевой баланс представлен как физическая схема с явно обозначенными неопределёнными составляющими и как воспроизводимый расчёт обеспеченных данными потоков. Практическое применение результатов состоит в выявлении районов и периодов для проверки учёта, выборе согласованных створов мониторинга и совместном наблюдении объёма и концентрации. Для перехода к внешнему балансу необходимо разграничить межрайонные и межобластные передачи, внутреннее повторное использование и независимые конечные потоки. Для замыкания физической схемы нужны обоснованные оценки изменения запасов и прочих составляющих.

7. Водосберегающие технологии, водоподача и дренажный сток

В данном разделе проверяется, сопровождается ли ежегодное внедрение водосберегающих технологий полива изменением водоподачи и КДВ Сырдарьинской области за 2021-2025 гг. Пять годовых наблюдений дают различающиеся корреляции в зависимости от состава показателя. Анализ имеет исследовательский и описательный характер: он не устанавливает самостоятельный эффект технологий, но позволяет оценить, подтверждается ли ожидаемая последовательность изменений в доступной областной отчётности.

7.1. Проверяемая гипотеза и масштаб оценки

Проверяемый механизм состоит в следующем: совершенствование полива при сопоставимых условиях может уменьшать избыточную подачу и инфильтрационное питание дренажа, что должно отражаться в снижении КДВ. Для проверки необходимо различить три звена – внедрение технологии, изменение фактической водоподачи и изменение отвода. Наличие связи между первым и третьим показателями ещё не подтверждает весь механизм.

В руководстве FAO и FutureWater[24] (2021) разграничены сокращение водозабора и реальная экономия на уровне водной системы. Для оценки результата учитываются потребление и возвратные потоки; уменьшение подачи на поле не переносится автоматически на увеличение доступной воды для других пользователей. Поэтому областной КДВ рассматривается здесь как самостоятельный наблюдаемый поток, а не как прямой эквивалент «потерь» или объёма сэкономленной воды.

[24] Van Opstal J., Droogers P., Kaune A., Steduto P., Perry C. Guidance on realizing real water savings with crop water productivity interventions. FAO Water Reports 46. 2021. DOI: 10.4060/cb3844en. Источник

Grafton et al.[25] (2018) подчёркивают необходимость бассейнового учёта, оценки неопределённости и поведения водопользователей при интерпретации повышения эффективности орошения. Этот подход определяет и логику настоящей проверки: предполагаемый эффект сопоставляется с измеренными потоками, а не принимается заранее.

Капельное орошение, дождевание и дискретный полив рассматриваются по отдельности и в общей совокупности водосберегающих технологий полива. Их состав сохранён одинаковым во всех пяти годах. Лазерная планировка учитывается отдельно как мероприятие по подготовке поверхности, а не как способ подачи воды. Поэтому общий показатель работ проверяется отдельно от сопоставимой группы водосберегающих технологий полива и от капельного орошения. Объединение всех категорий в один фактор могло бы скрыть различие между совершенствованием полива и планировкой поверхности.

7.2. Выборка данных и проверка их сопоставимости

В данном подразделе приведены площади на которых внедрены различные виды водосберегающих технологий полива (табл. 7.1). Данные представлены в годовых показателях: например, капельное орошение составляет 8 383 га в 2021 г. и 3 294 га в 2022 г. Годовые значения анализируются в исходном временном смысле; они не объявляются накопленным охватом.

Таблица 7.1.

Годовые площади внедрения водосберегающих технологий по Сырдарьинской области за 2021-2025 гг, га

Год	Капельное	Дождевание	Дискретное	Прочие	Лазерная планировка	Общий показатель
2021	8 383,0	311,00	3 660	–	8 959	21 313,00
2022	3 294,0	160,00	980	–	19 504	23 938,00
2023	2 589,5	1 005,00	2 270	–	30 011	35 875,50
2024	5 888,0	3 462,00	2 013	–	42 095	53 458,00
2025	16 692,0	4 775,54	2 408	4 258	53 177	81 310,54

Источник: данные Министерства сельского хозяйства РУз

[25] Grafton R.Q. et al. The paradox of irrigation efficiency. Science. 2018. 361(6404): 748–750. DOI: 10.1126/science.aat9314. Источник

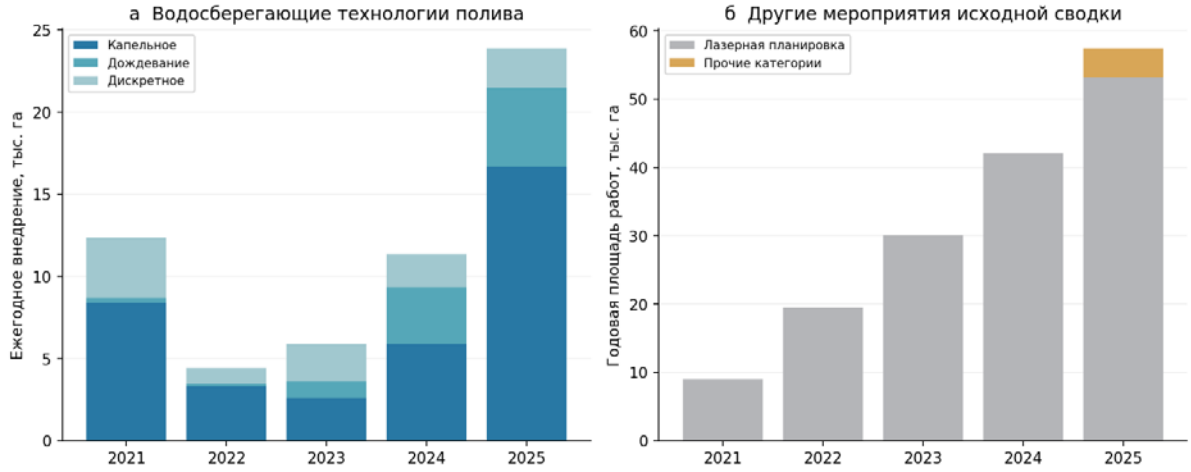

Рисунок 20. Ежегодное внедрение водосберегающих технологий полива

Общий годовой показатель увеличился с 21 313 до 81 310,54 га, в 3,82 раза (таблица 7.1). Доля лазерной планировки составляет 42,04-83,65% итога, в 2025 г. – 65,40%. На рисунке 20 поливные технологии и другие мероприятия показаны раздельно, чтобы доминирующая площадь планировки не скрывала их динамику. Совокупность водосберегающих технологий полива равна 12 354; 4 434; 5 864,5; 11 363 и 23 875,54 га по годам.

Сумма общего показателя за пять лет равна 215 895,04 га, но не является площадью уникальных оборудованных земель. Для её превращения в накопленный охват необходимо исключить повторную планировку, повторное оснащение и наложение технологий и учесть выбытие систем. Эти сведения отсутствуют, поэтому накопленный охват и доля действующих систем не рассчитываются. Проценты годовых значений используют постоянную площадь 287 000 га и характеризуют отношение годовой суммы работ к этому знаменателю. Они не интерпретируются как установленная доля земель с действующими технологиями.

Основной расчёт выполнен по единой последовательности годовых значений. Для снижения влияния неполной категории «прочие» отдельно выделена группа «водосберегающие технологии полива» – капельное орошение, дождевание и дискретный полив. Дополнительно проверены капельное с дождеванием, только капельное и лазерная планировка.

7.3. Методика статистической проверки

Для водоподачи и КДВ по отдельности используются пять годовых наблюдений. Рассчитаны коэффициент Пирсона r, характеризующий линейную связь уровней, и коэффициент Спирмена ρ, характеризующий связь их рангов. Отрицательный знак соответствует меньшему объёму рассматриваемого потока при большей годовой площади внедрения, положительный – обратному сочетанию. Корреляция не определяет, какая часть изменения подачи или КДВ вызвана технологиями.

К основным годовым сопоставлениям добавлены проверки чувствительности: последовательное исключение года, переход к отводу на гектар, межгодовым изменениям, сдвигу на один год и альтернативным площадям 2023 г. Это варианты

анализа одной короткой выборки. Они не увеличивают число независимых наблюдений. Многофакторная причинная регрессия не оценивается.

Для справочной оценки необычности наблюдаемой величины r рассчитан перестановочный показатель p^*: перебраны все 5! = 120 перестановок соответствия годовых значений исследуемого потока и площадей. p^* равен доле перестановок с $|r|$ не меньше наблюдаемого. При четырёх парах перебираются 24 перестановки. Такой расчёт соответствует проверке случайного образования пар при обменяемых наблюдениях. Для временного ряда с возможным трендом и инерцией обменяемость не установлена; поэтому p^* представлен как условный диагностический ориентир, а не строгая оценка статистической значимости причинного эффекта.[26]

Таблицы 7.3, 7.4, 7.6, 7.7 и 7.8 содержат 66 числовых оценок r, ρ и p*, включая повторяющиеся результаты и разные формы сопоставления. Это не 66 независимых гипотез. Поправка на множественные сравнения не применялась; отдельные p* не используются для отбора доказанного эффекта. На диаграммах рассеяния показаны все пять лет без линии регрессии. Пределы осей выбраны для различения точек и не означают установленного эффекта на гектар внедрения.

Таблица 7.2.

Совмещённый годовой ряд внедрения водосберегающих технологий, водоподачи и КДВ

Год	Общий показатель, га	Водосберегающие технологии полива, га	Водоподача, млн м^3	КДВ, млн м^3	КДВ, м^3/га
2021	21 313,0	12 354,0	2 998,55	1 141,88	3 972
2022	23 938,0	4 434,0	2 322,64	1 368,60	4 761
2023	35 875,5	5 864,5	2 441,82	1 363,55	4 748
2024	53 458,0	11 363,0	1 904,45	1 185,74	4 129
2025	81 310,5	23 875,5	2 380,26	1 148,72	4 001

Источник: расчеты автора по данным Нижнесырдарьинского БУИСа Министерства водного хозяйства и Министерства сельского хозяйства РУз

[26] SciPy. permutation_test: документация точных перестановок пар наблюдений и расчёта перестановочного показателя. Дата обращения: 16.09.2026. Источник

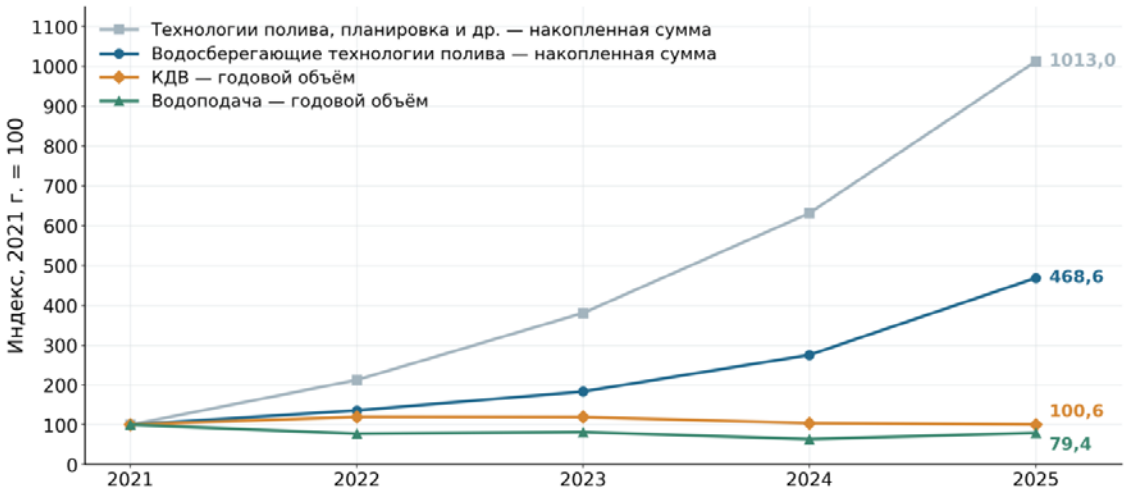

Рисунок 21. Сопоставление динамики внедрения водосберегающих технологий полива с объемом КДВ и водоподачей

На рисунке 21 сопоставлены накопленные площади внедрения водосберегающих технологий полива и годовые объёмы водоподачи и отвода коллекторно-дренажных вод (КДВ). Площади суммированы нарастающим итогом с 2021 г., а объёмы воды показаны отдельно за каждый год. Каждый ряд приведён к собственному уровню 2021 г., принятому за 100.

Как видно к концу 2025 г. накопленная площадь внедрения водосберегающих технологий полива достигла 57,9 тыс. га, что в 4,69 раза больше площади внедрения за базовый 2021 г. С учётом лазерной планировки и других мероприятий суммарная площадь работ составила 215,9 тыс. га, или 10,13 базового уровня. Эти суммы характеризуют объём выполненных работ: один и тот же участок мог попасть в учёт нескольких мероприятий или нескольких лет.

Годовой отвод КДВ в 2022–2023 гг. был примерно на 19-20% выше уровня 2021 г., а к 2025 г. вернулся почти к исходному значению, превысив его лишь на 0,6%. Водоподача в 2025 г. была на 20,6% ниже уровня 2021 г., однако снижалась неравномерно: после минимума в 2024 г. она вновь выросла. Таким образом, за рассматриваемый период накопленная площадь внедрения увеличилась, но устойчивого снижения годового отвода КДВ в масштабе области не наблюдалось.

Таким образом, по результатам анализа открытых данных за 2021-2025 гг. устойчивой связи между внедрением водосберегающих технологий полива и снижением водоподачи и отвода КДВ в Сырдарьинской области не выявлено. Ожидаемое сокращение обоих объёмов по мере внедрения технологий на уровне области не подтвердилось. При этом областные данные не позволяют оценить эффект на отдельных полях. Для такой оценки необходимы натурные исследования с измерением водоподачи и дренажного стока на участках с водосберегающими технологиями и на сопоставимых контрольных участках.

7.4. Корреляции годовых площадей и КДВ

По таблице 7.3 корреляция годовых площадей с КДВ отрицательна для всех представленных составов, но её величина различается. Общий показатель сопоставлен с КДВ на рисунке 22, совокупность водосберегающих технологий полива – на рисунке 23. Различия коэффициентов рассматриваются вместе с составом данных и ограничениями пяти наблюдений.

Таблица 7.3.

Связь годовых площадей с годовым объёмом КДВ, n = 5

Показатель площадей	r Пирсона	ρ Спирмена	p* справочно
Общий показатель, включая планировку	-0,463	0,000	0,425
Водосберегающие технологии полива (совокупность)	-0,798	-0,900	0,075
Все поливные категории, включая «прочие»	-0,742	-0,900	0,100
Капельное + дождевание	-0,746	-0,700	0,125
Только капельное	-0,760	-0,800	0,133
Лазерная планировка	-0,256	0,000	0,633

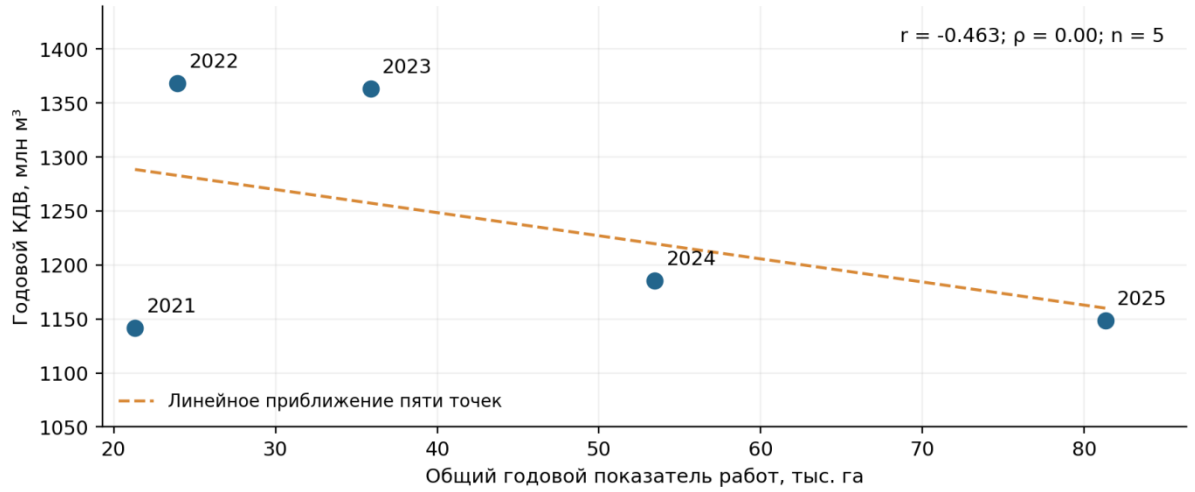

Рисунок 22. Общий годовой показатель работ и КДВ

Для общего показателя, включая лазерную планировку, $r = -0{,}463$, а $\rho = 0{,}000$. Последовательный рост годовой суммы работ не сопровождается столь же последовательным сокращением КДВ: в 2022 г. общий показатель увеличился, но КДВ вырос на 19,85%. После высокого уровня 2022-2023 гг. отвод уменьшался. Поэтому сведение ряда к двум крайним годам или только к последнему спаду давало бы неполное описание связи.

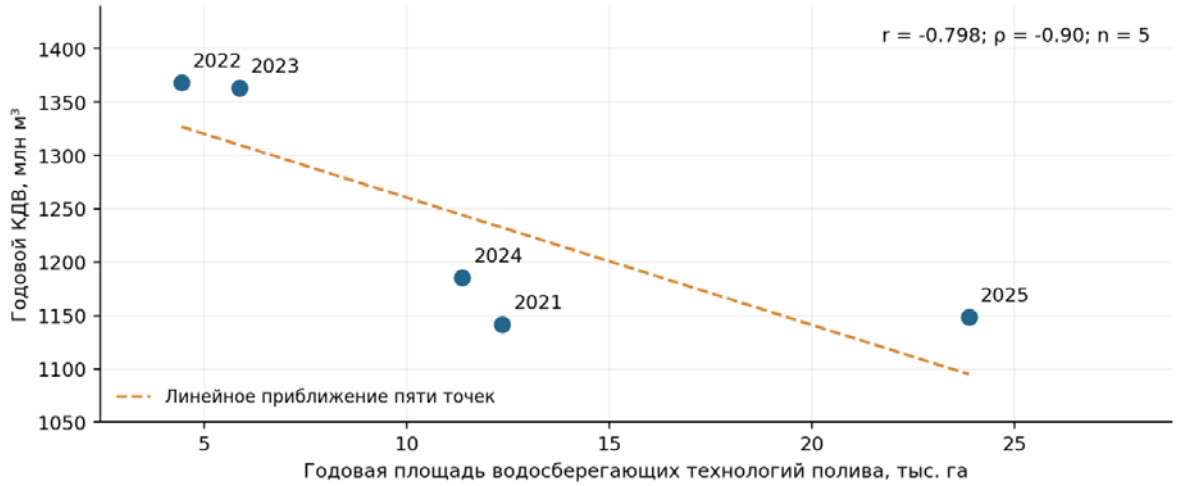

Рисунок 23. Водосберегающие технологии полива и КДВ

Для совокупности водосберегающих технологий полива r = -0,798 и ρ = -0,900; для капельного орошения с дождеванием r = -0,746, для капельного отдельно – -0,760. Это описательные характеристики данного ряда. Большая абсолютная корреляция отдельных составов не доказывает их причинного влияния или большей эффективности. Отрицательное сочетание во многом отражает годы небольшого внедрения и высокого КДВ в середине периода.

Одновременно общий объём КДВ в 2025 г. на 0,6% выше, чем в 2021 г., при увеличении годовой площади водосберегающих технологий полива в 1,93 раза. Это не опровергает рассчитанную отрицательную корреляцию: она учитывает все пять точек, включая небольшое внедрение и высокий КДВ 2022-2023 гг. Корреляция и разность крайних лет отвечают на разные вопросы. Ни одна из этих характеристик отдельно не устанавливает эффект действующих систем на местный дренаж.

Справочный p^* для водосберегающих технологий полива равен 0,075; для капельного с дождеванием – 0,125; для капельного – 0,133. Эти величины не дают основания считать результат доказанным эффектом на обычном уровне 5%, тем более с учётом короткого временного ряда и множественных сопоставлений. Вместе с тем отсутствие такого подтверждения не означает доказанного отсутствия эффекта: данных мало для уверенного разграничения влияний.

7.5. Устойчивость результата и альтернативные варианты

Чувствительность к составу выборки показана на рисунке 24: коэффициенты после исключения года сопоставлены с результатом всех пяти лет. В таблице 7.4 представлены изменения и годовой сдвиг. Сохранение знака после исключений характеризует только эти варианты; сила связи может существенно меняться, а влияние общих факторов остаётся неконтролируемым.

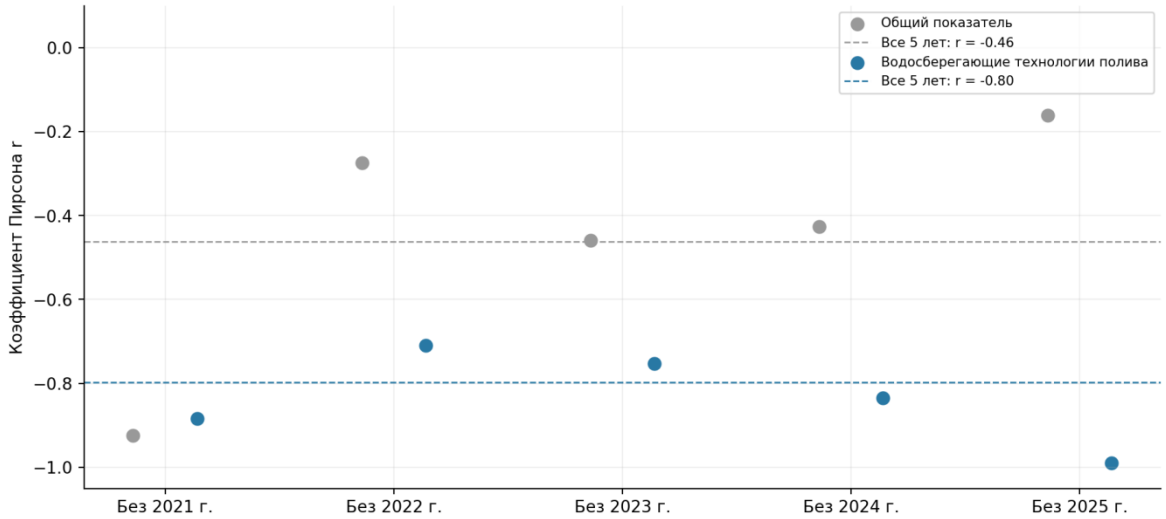

Рисунок 24. Чувствительность корреляции с КДВ к исключению каждого отдельного года

Для общего показателя диапазон *r* после исключения одного года – от -0,924 до -0,161. Для совокупности водосберегающих технологий полива – от -0,990 до -0,710; исключение 2025 г. даёт $r \approx -0{,}990$. Это показывает чувствительность величины коэффициента к отдельному наблюдению. Сохранение отрицательного знака не устраняет неопределённость эффекта и не заменяет проверку на независимых данных.

Таблица 7.4.

Проверки временной формы связи с КДВ

Вариант	n	r: общий показатель	r: водосберегающие технологии полива
Уровни того же года	5	−0,463	−0,798
Межгодовые изменения	4	−0,701	−0,760
Внедрение года t и КДВ года t + 1	4	−0,926	−0,092

Корреляция межгодовых изменений равна -0,701 для общего показателя и -0,760 для водосберегающих технологий полива. Во втором случае сокращение годового внедрения в переходе 2021-2022 гг. сопровождалось ростом КДВ, а последующие увеличения внедрения – уменьшением КДВ. Четыре перехода согласуются с обратным направлением, однако один переход содержит одновременно и крупнейшее раннее изменение площадей, и рост КДВ. Этого недостаточно для независимой оценки механизма отклика.

При годовом сдвиге общий показатель даёт $r = -0{,}926$, а совокупность водосберегающих технологий полива – $r = -0{,}092$. Сопоставлены внедрения 2021-2024 гг. с КДВ 2022-2025 гг., всего четыре пары. Для общего показателя $p^* = 1/24 \approx 0{,}042$: это один из 24 вариантов перестановки с корреляцией по модулю не меньше наблюдаемой. Малое значение не выделяется как подтверждение годового лага ввиду множественных сопоставлений, малого числа пар и неустановленной обменяемости временных наблюдений.

7.6. Водосберегающие технологии и водоподача

Водоподача рассматривается как самостоятельный результат проверки: если совершенствование полива позволяет удовлетворять сопоставимую потребность меньшим объёмом, при прочих равных ожидается её уменьшение. Для оценки проверяется не только направление изменения между крайними годами, но и весь годовой ряд, отдельные технологии, подача на гектар и чувствительность связи к форме сопоставления.

Показатель I представляет сумму общих фактических районных объёмов подачи, включая учтённые местные источники и повторное использование. Он не равен установленному речному водозабору или подаче на оборудованные поля. Без согласованного учёта транзита, внутренних передач и точек забора результат нельзя переносить на изменение речного водозабора. Далее термин «водоподача» используется именно в этом учётном смысле.

Таблица 7.5.

Годовая водоподача и площади водосберегающих технологий полива

Год	Внедрение, га	Подача, млн м³	Подача, м³/га	Изменение подачи к предыдущему году, %
2021	12 354,00	2 998,55	10 431	–
2022	4 434,00	2 322,64	8 080	-22,54
2023	5 864,50	2 441,82	8 503	5,13
2024	11 363,00	1 904,45	6 632	-22,01
2025	23 875,54	2 380,26	8 291	24,98

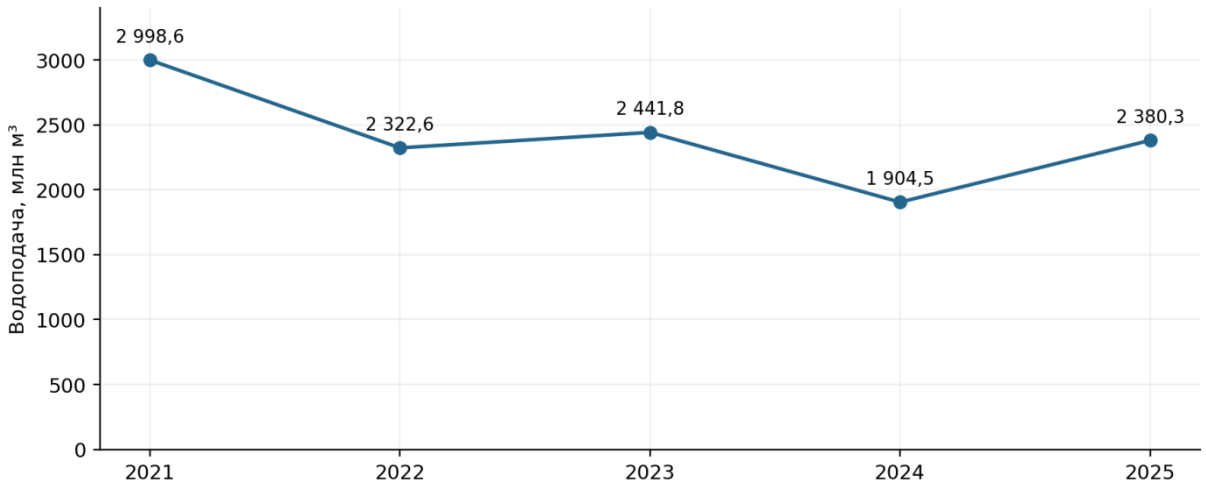

Рисунок 25. Годовая динамика учтённой водоподачи

Водоподача между 2021 и 2025 гг. уменьшилась на 20,62%, с 2 998,55 до 2 380,26 млн м³; удельная подача – на 20,51%, с 10 431 до 8 291 м³/га. Внутри периода наблюдались падение, рост, падение и рост. Годовой ряд приведён в таблице 7.5 и на

рисунке 25, корреляции – в таблице 7.6 и на рисунке 26. Разность крайних лет не приписывается внедрению технологий.

Таблица 7.6.

Связь внедрения водосберегающих технологий с водоподачей, n = 5

Показатель площади	r: объём подачи	ρ: объём подачи	p* справочно	r: подача на га
Общий показатель, включая планировку	-0,458	-0,500	0,433	-0,455
Водосберегающие технологии полива (совокупность)	0,053	0,300	0,917	0,056
Капельное + дождевание	-0,036	-0,100	0,950	-0,034
Только капельное	0,143	0,100	0,825	0,145
Только дождевание	-0,522	-0,200	0,425	-0,520
Только дискретный полив	0,704	0,800	0,117	0,705
Лазерная планировка	-0,665	-0,500	0,208	-0,663

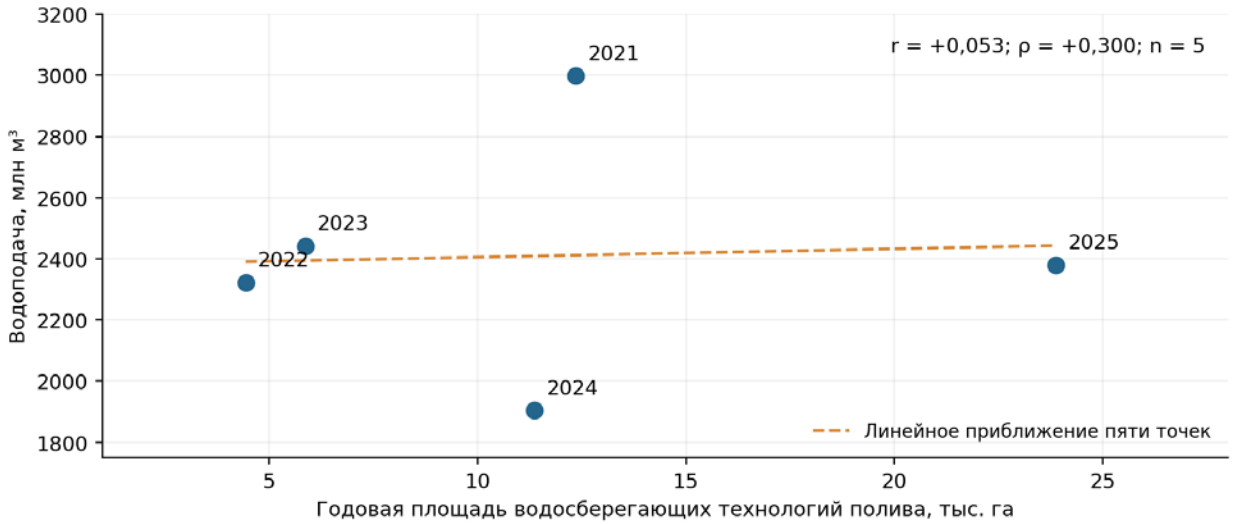

Рисунок 26. Зависимость водосберегающих технологий полива и водоподачи

Для совокупности водосберегающих технологий полива r = +0,053, ρ = +0,300, а для подачи на гектар r = +0,056. Следовательно, в имеющемся областном ряду линейная связь внедрения с уменьшением подачи не выявлена. При последовательном исключении каждого года r изменяется от -0,013 до +0,205: отдельная точка не скрывает выраженную обратную связь. Для капельного орошения с дождеванием r = -0,036, то есть также близок к нулю.

Отдельные виды дают разные направления: капельное орошение r = +0,143, дождевание r = -0,522, дискретный полив r = +0,704. Это описание пяти годовых сочетаний, а не ранжирование эффективности технологий. Например, рост подачи в годы большей площади дискретного полива не означает, что этот способ увеличивает потребность в воде: условия и территории применения не контролируются. Ни один

приведённый перестановочный показатель для водоподачи не достигает 0,05; при коротком временном ряде эти показатели остаются справочными.

Таблица 7.7.

Проверки чувствительности связи внедрения водосберегающих технологий с водоподачей

Форма сопоставления	Число пар	r: общий показатель	r: водосберегающие технологии полива
Годовые уровни	5	-0,458	0,053
Межгодовые изменения	4	0,737	0,739
Внедрение в t, подача в t + 1	4	-0,089	0,272
Альтернативные данные внедрения за 2023 г.	5	-0,430	0,042

В межгодовых изменениях связь совокупности водосберегающих технологий полива с подачей положительна: $r = +0{,}739$, всего четыре перехода. При годовом сдвиге $r = +0{,}272$, при замене площадей 2023 г. альтернативными значениями – +0,042 (таблица 7.7). Ни один из этих вариантов не даёт выраженного ожидаемого отрицательного сочетания. Они также не доказывают увеличение потребности в воде вследствие внедрения водосберегающих технологий полива: условия применения не контролируются.

Для общего показателя, включающего планировку, годовая связь с подачей отрицательная ($r = -0{,}458$), а для лазерной планировки отдельно $r = -0{,}665$. Но при переходе общего показателя к межгодовым изменениям знак становится положительным ($r = +0{,}737$), а при годовом сдвиге связь близка к нулю ($r = -0{,}089$). Такое расхождение уровней и изменений не позволяет приписать снижение подачи росту совокупной площади работ.

На основе этих расчётов нельзя определить ни экономию подачи в млн $м^3$, обусловленную внедрением, ни сокращение водозабора из реки. Для такой оценки потребовались бы согласованные наблюдения по действующим системам и сопоставимым участкам с учётом культур, водообеспеченности и длительности работы систем. Региональная проверка устанавливает более узкий результат: за 2021-2025 гг. статистическая картина подачи не подтверждает ожидаемого сокращения при увеличении годовых площадей поливных технологий.

7.7. Совместная водно-солевая интерпретация результатов

Предполагаемый механизм включает сокращение водоподачи, поэтому одной корреляции с КДВ недостаточно. В таблице 7.8 сопоставлены внедрение, водоподача, удельный отвод и отношение КДВ к подаче. Эти показатели проверяют разные звенья предполагаемого механизма, но не дают независимых наблюдений: удельные величины используют те же объёмы, а отношение *D/I* включает оба потока.

Таблица 7.8.

Дополнительные сопоставления годовых показателей, n = 5

Сопоставляемый показатель	r: общий показатель работ	r: водосберегающие технологии полива
Водоподача, млн м^3	-0,458	0,053
Отвод КДВ на гектар, м^3/га	-0,458	-0,796
Отношение КДВ к подаче, %	0,111	-0,440

Для водосберегающих технологий полива связь с областной водоподачей практически отсутствует: r = +0,053. Для общего показателя она отрицательна, r = -0,458, но включает доминирующий вклад лазерной планировки. В 2025 г. относительно 2024 г. годовая площадь водосберегающих технологий полива увеличилась на 12 512,54 га, водоподача выросла на 24,98%, а КДВ уменьшился на 3,12%. Следовательно, на областном уровне цепочка «больше внедрения – меньше подачи – меньше КДВ» не подтверждается целиком.

При переходе к КДВ на гектар корреляция водосберегающих технологий полива почти сохраняется: r = -0,796. Это ожидаемо при близкой по годам орошаемой площади и показывает, что направление связи не объясняется главным образом изменением её размера. Однако знаменателем является вся орошаемая площадь области, а не территория действующих систем. Он не выделяет их собственный водный баланс.

Неподтверждённость областного звена подачи не исключает экономии на конкретных участках. На агрегированный объём могут одновременно влиять водообеспеченность, структура культур, промывки, транзит, грунтовое питание и условия эксплуатации сети. Срок ввода систем в течение года также неизвестен: площадь, отражённая в итоговом годовом отчёте, могла работать только часть сезона. Данные не позволяют количественно отделить эти влияния или определить, какой объём областного КДВ сформировался на оборудованных землях.

При интерпретации важен и солевой режим. Руководство FAO[27] по качеству оросительной воды связывает контроль засоления с переносом солей ниже корнеобитаемого слоя и достаточностью дренажа; необходимая промывка зависит от качества воды и солеустойчивости культуры. Поэтому цель управления для засолённых земель должна учитывать одновременно расход воды и солевой перенос. Снижение КДВ само по себе не является универсальным критерием улучшения, а внедрение технологии не означает исчезновения потребности в контроле солей.

Результаты раздела 6 дополняют эту проверку: в 2025 г. водный отвод снизился к 2024 г. на 3,12%, а вынос по плотному остатку – на 7,10%. Само совпадение этих изменений с ростом внедрения не устанавливает его вклад. Для проверки последствий необходимы совместные наблюдения подачи, КДВ, минерализации и состояния земель в согласованных границах. Региональная корреляция не заменяет такого сопоставления.

[27] Ayers R.S., Westcot D.W. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. 1985. Раздел о засолении, промывке и дренаже. Источник

7.8. Результат проверки гипотезы

Для совокупности водосберегающих технологий полива в пяти годовых наблюдениях получены r = -0,798 и ρ = -0,900 с КДВ, условный p^* = 0,075. Отрицательное сочетание описывает выбранный ряд, но не является статистически убедительным подтверждением влияния внедрения на областной отвод. Множественные сравнения, неопределённость состава отчётных потоков, ежегодный характер площадей внедрения и отсутствие контроля сопутствующих факторов ограничивают интерпретацию.

Для зарегистрированной водоподачи убедительная ожидаемая обратная связь не выявлена: для той же совокупности технологий $r \approx +0{,}053$. Лаговое сравнение с КДВ даёт $r \approx -0{,}092$. Поэтому последовательность «рост внедрения – уменьшение подачи – сокращение КДВ» доступными данными не подтверждена. Рассчитать обусловленную технологиями экономию в млн $м^3$ или на гектар нельзя. Отсутствие такого подтверждения не доказывает нулевой эффект или неэффективность технологий на отдельных полях.

Основной вывод – имеющейся областной выборки недостаточно для установления влияния технологий на водоподачу и КДВ. Для проверки необходимы полевые исследования до и после внедрения на оборудованных и сопоставимых контрольных участках: согласованные объёмы подачи и отвода, минерализация, УГВ, культуры, осадки и фактическая продолжительность работы систем.

8. Направления отвода КДВ и их участие в формировании притока к Шардарьинскому водохранилищу

Районные расчёты разделов 5-6 характеризуют зарегистрированные объёмы и солевые нагрузки. Для решения задачи двустороннего мониторинга дополнительно требуется установить маршруты отвода, положение створов и связи внутренних ветвей с конечными выпусками. В настоящем разделе рассмотрены основные два направления КДС – в р.Сырдарья и Арнасайские озера. Приоритетными объектами остаются ВЖД и Шурузяк; расчёт их поступления в Сырдарью отделён от определения фактически дошедшего объёма к Шардарьинскому водохранилищу.

8.1. Практическая цель выполненного анализа

Прикладная постановка исследования определяется двусторонней повесткой. На восьмом заседании Казахстанско-узбекистанской совместной рабочей группы (Комиссии) по вопросам охраны окружающей среды и качества вод бассейна реки Сырдарья, состоявшемся 11 декабря 2025 г., обсуждался мониторинг коллектора ВЖД в Сырдарьинском районе. Таким образом, его изучение связано с задачами

согласованных наблюдений за качеством воды и обмена результатами между сторонами.[28]

В официальном сообщении о 13-м заседании совместной рабочей комиссии по двусторонним водным отношениям зафиксирована договорённость о цифровизации гидропостов Кукбулак и Келес, а также коллекторов Шурузяк и Восточный для определения объёма воды, поступающей к Шардарьинскому водохранилищу. Настоящий раздел развивает это направление применительно к Шурузяку и связанной с ним системе ВЖД. Количественный учёт возвратных вод и наблюдения их качества рассматриваются как взаимодополняющие задачи.[29]

Каждый из предыдущих этапов решал необходимую часть этой задачи. Анализ земель и состояния сети установил условия формирования и отвода дренажных вод. Годовые и месячные ряды выявили величину и неравномерность учтённого потока. Водно-солевой расчёт показал необходимость учитывать вместе объём и перенос солей. Проверка водосберегающих технологий не выявила простой последовательности обязательного сокращения областной подачи и КДВ. Поэтому речную составляющую необходимо определять по действующим путям и конечным створам отвода, с учётом её гидрохимических характеристик.

Практический результат состоит в систематизации путей отвода, расчёте объёмов по средним расходам из отчётности и определении створов для согласованных наблюдений. Из суммы исключено повторное включение известных вложенных ветвей. Это не означает, что весь межрайонный транзит уже количественно разделён: соответствие коллекторных и административных границ остаётся нерешённым вопросом.

8.2. Крупные коллекторы и конечные направления отвода

Коллекторная сеть представляет систему связанных водотоков. Для расчёта её внешнего отвода необходимо различать внутренний принимающий коллектор и конечный водоприёмник. В таблице 8.1 показаны непосредственные приёмники и конечные направления по территориальному реестру; на рисунке 27 – схема расчётного суммирования потоков.

[28] Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Восьмое заседание Казахстанско-узбекистанской совместной рабочей группы (Комиссии) по вопросам охраны окружающей среды и качества вод бассейна реки Сырдарья. Заседание 11 декабря 2025 г. Источник

[29] Министерство водного хозяйства Республики Узбекистан. O‘zbekiston–Qozog‘iston: suv bo‘yicha hamkorlik mustahkamlanmoqda. 19 января 2026 г. Сообщение о 13-м заседании совместной рабочей комиссии; цифровизация гидропостов и коллекторов для определения притока к Чордаре. Источник

Таблица 8.1.

Крупные коллекторы и направления их отвода

Коллектор	Площадь обслуживания, тыс. га	Длина, км	Непосредственный приёмник	Конечное направление
ГПК	40,211	73,52	Сырдарья	Сырдарья
ГПК-42-с	0,645	1,15	ГПК	Сырдарья
ГПК-56-с	1,883	19,56	ГПК	Сырдарья
Шурузяк	76,363	65,40	Сырдарья	Сырдарья
Кендик	11,302	29,30	Шурузяк	Сырдарья
Овражный	2,555	17,30	Шурузяк	Сырдарья
ГПК-2т	0,752	2,30	Сырдарья	Сырдарья
17-к-7	4,816	12,60	ЦГК	Арнасай
ВЖД	5,142	14,00	Шурузяк	Сырдарья
ЦК-7	19,631	22,50	ЦГК	Арнасай
ЦК-6	8,751	15,88	ЦГК	Арнасай
Сардоба	7,640	25,94	ЦГК	Арнасай
ДГК	0,2278	19,80	Арнасай	Арнасай
Баяут	5,347	36,99	ЦГК	Арнасай
Еттисай	3,796	20,53	ЦГК	Арнасай
ЦГК	233,225	84,70	Арнасай	Арнасай

Источник: данные Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

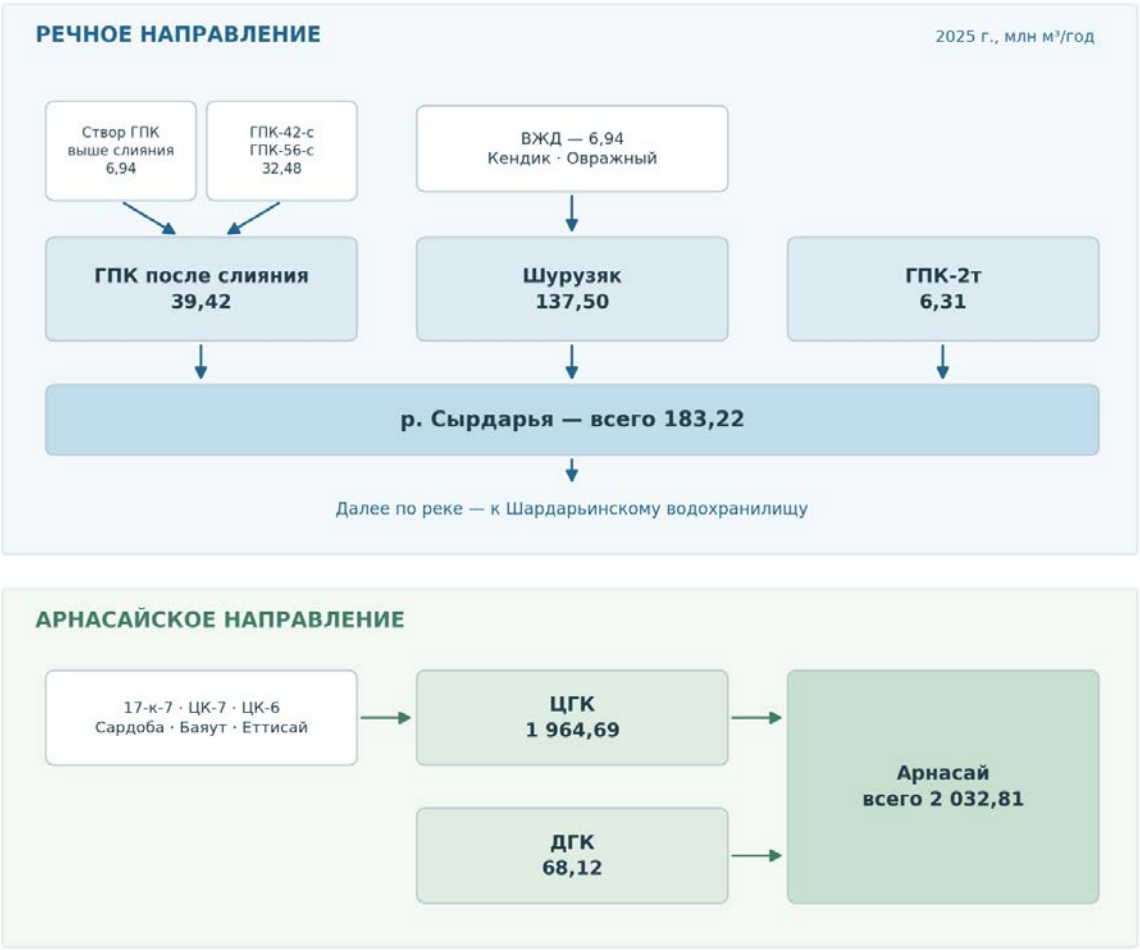

Рисунок 27. Схема направлений отвода и расчётные годовые объёмы за 2025 г.

В речном направлении выделены три самостоятельных конечных пути: ГПК, Шурузяк и ГПК-2т. ГПК-42-с и ГПК-56-с впадают в ГПК и далее отводят воду по нему в Сырдарью. Измерительный створ ГПК расположен выше впадения ГПК-42-с и ГПК-56-с; для расчёта поступления в реку их расходы и объёмы добавляются к измеренным на ГПК. Кендик, Овражный и ВЖД поступают в Шурузяк и учитываются внутри его нижнего створа.

Арнасайское направление включает ЦГК и ДГК. В ЦГК поступают 17-к-7, ЦК-7, ЦК-6, Сардоба, Баяут и Еттисай. ЦГК имеет длину 84,70 км и зону обслуживания 233,225 тыс. га; ДГК – 19,80 км и 0,2278 тыс. га. Их конечный водоприёмник отличается от Сырдарьи, поэтому эти объёмы рассматриваются отдельной составляющей внешнего отвода.

8.3. Расчёт годовых объёмов по конечным направлениям

Расчёт основан на фактических средних расходах за 2025 г. Для 365 суток $V = Q_{ср} \times 365 \times 86\,400 / 10^6 = 31{,}536 \times Q_{ср}$, где $Q_{ср}$ – м³/с, V – млн м³. Коэффициент 31,536 учитывает полную продолжительность года. Расчётный объём, полученный из среднегодового расхода, следует отличать от независимого измерения объёма; точность результата ограничена точностью исходного $Q_{ср}$.

Для каждого направления приведены принимающие коллекторы и их внутренние ветви. Для Сырдарьи суммируются независимые измеренные составляющие: ГПК выше слияния, ГПК-42-с, ГПК-56-с, Шурузяк и ГПК-2т. Для Арнасая учитываются ЦГК и ДГК. Отводы, уже включённые в нижние створы Шурузяка и ЦГК, повторно в итог не входят. Максимальные расходы не суммируются, поскольку их экстремумы могут приходиться на разные даты. Итоги рассчитаны до округления; сумма округлённых строк может отличаться от итога на 0,01 млн м³.

Таблица 8.2.

Отвод КДС в р.Сырдарья за 2025 г.

Коллектор	Приёмник	Средний Q, м³/с	Макс. Q, м³/с	Расчётный годовой объём, млн м³	Учёт в итоге
ГПК	Сырдарья	0,22	0,35	6,94	Створ выше слияния; включён в итог
Шурузяк	Сырдарья	4,36	6,50	137,50	Включён в итог направления
ГПК-2т	Сырдарья	0,20	0,32	6,31	Включён в итог направления
ГПК-42-с	ГПК	0,64	0,99	20,18	Впадает ниже створа ГПК; включён в итог
ГПК-56-с	ГПК	0,39	0,57	12,30	Впадает ниже створа ГПК; включён в итог
ВЖД	Шурузяк	0,22	0,43	6,94	Входит в Шурузяк; вне повторного итога
Кендик	Шурузяк	0,28	0,46	8,83	Входит в Шурузяк; вне повторного итога
Овражный	Шурузяк	0,40	0,65	12,61	Входит в Шурузяк; вне повторного итога
Итого в Сырдарью	**Сырдарья**	**5,81**	**–**	**183,22**	**ГПК + ГПК-42-с + ГПК-56-с + Шурузяк + ГПК-2т**

Источник: расчеты автора по данным Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

По таблице 8.2 расчётное поступление по рассматриваемым путям в Сырдарью составляет 183,22 млн м³ при сумме средних расходов 5,81 м³/с. Шурузяк даёт 137,50 млн м³, или 75,04% этой расчётной суммы; система ГПК с двумя нижними притоками – 39,42 млн м³; ГПК-2т – 6,31 млн м³. Доли относятся к рассматриваемой коллекторной системе, а не ко всему притоку Сырдарьи или водохранилища.

Расход ГПК ниже слияния рассчитывается по расположению створов: $Q_{ГПК,низ}$ = 0,22 + 0,64 + 0,39 = 1,25 м³/с. Соответствующий годовой объём равен 6,94 + 20,18 + 12,30 = 39,42 млн м³. Последние два слагаемых поступают ниже измерительного створа ГПК, поэтому их сложение не создаёт повторного счёта. Это расчёт по уточнённой схеме; самостоятельного измерения нижнего створа ГПК в представленных данных нет. Возможные отборы, дополнительные поступления и изменение запасов между створами отдельно не определены.

ГПК-42-с и ГПК-56-с вместе добавляют ниже измерительного створа ГПК 32,48 млн м³/год при среднегодовом расходе 1,03 м³/с. Объём этого нижележащего поступления больше измеренного на верхнем створе ГПК; такое соотношение соответствует расположению створов и не образует противоречия. Для определения речного поступления используется их сумма с верхним потоком.

Для ВЖД годовой объём составляет 6,94 млн м³ и соответствует 5,05% расчётного объёма коллектора Шурузяк. Это отношение характеризует рассматриваемую внутреннюю ветвь при принятой годовой сопоставимости; оно не определяет её долю на входе водохранилища. При оценке речного поступления ВЖД учитывается внутри 137,50 млн м³ Шурузяка.

Таблица 8.3.

Отвод КДС в Арнасай за 2025 г.

Коллектор	Приёмник	Средний Q, м³/с	Макс. Q, м³/с	Расчётный объём V = 31,536Qср, млн м³	Учёт в итоге
ЦГК	Арнасай	62,30	97,81	1 964,69	Включён в итог направления
ДГК	Арнасай	2,16	3,28	68,12	Включён в итог направления
17-к-7	ЦГК	2,50	2,94	78,84	Входит в ЦГК; вне повторного итога
ЦК-7	ЦГК	3,06	4,50	96,50	Входит в ЦГК; вне повторного итога
ЦК-6	ЦГК	1,66	2,78	52,35	Входит в ЦГК; вне повторного итога
Сардоба	ЦГК	0,97	1,32	30,59	Входит в ЦГК; вне повторного итога
Баяут	ЦГК	2,65	3,41	83,57	Входит в ЦГК; вне повторного итога
Еттисай	ЦГК	7,78	8,68	245,35	Входит в ЦГК; вне повторного итога
Итого по конечным коллекторам	**Арнасай**	**64,46**	**–**	**2 032,81**	**ЦГК + ДГК**

Источник: расчеты автора по данным Мелиоративной экспедиции при Нижнесырдарьинском БУИСе Министерства водного хозяйства РУз

По таблице 8.3 расчётный отвод по ЦГК и ДГК в Арнасай составляет 2 032,81 млн м^3: 1 964,69 и 68,12 млн м^3 соответственно. Сумма средних расходов – 64,46 м^3/с; доля ЦГК в этом итоге – 96,65%. По таблице 8.4 оба направления дают 2 216,03 млн м^3.

Таблица 8.4.

Сводный расчёт конечного отвода по представленным коллекторам за 2025 г.

Направление	Конечные коллекторы	Среднегодовой Q, м^3/с	Расчётный объём V = 31,536Qср, млн м³
Сырдарья	ГПК + ГПК-42-с + ГПК-56-с; Шурузяк; ГПК-2т	5,81	183,22
Арнасай	ЦГК, ДГК	64,46	2 032,81
Всего по перечисленным конечным путям	Без повторного включения ветвей	70,27	2 216,03

Общая сумма по перечисленным конечным путям равна 2 216,03 млн м^3/год. Она характеризует расчёт по коллекторному реестру и не заменяет районный итог КДВ области из разделов 5-6. Территориальный охват, положение створов и возможный транзит требуют сверки; устанавливать конкретную причину расхождения без такой сверки нельзя. Расчётные коллекторные объёмы не подгонялись к районному итогу.

8.4. Речной возвратный компонент и приток к водохранилищу

Представленная связь коллекторов ВЖД и Шурузяк согласуется с направлением, предусмотренным постановлением Президента Республики Узбекистан от 11 августа 2020 г. № ПП-4801[30]: в программе указаны мероприятия для направления воды ВЖД в межрайонный коллектор Шурузяк. Нормативный документ подтверждает постановку такой задачи; фактическая схема в настоящем исследовании принята по предоставленному реестру, а не по предположению о выполнении всех запланированных работ.

Связь с Шардарьинским водохранилищем рассматривается через последовательность конечный коллекторный створ – Сырдарья – входной створ водохранилища. ВЖД характеризует внутреннюю составляющую системы, Шурузяк – принимающий поток к реке. Для системы ГПК учтены его верхний створ и два присоединяющихся ниже притока; ГПК-2т представляет отдельный речной путь. Арнасайское направление рассматривается отдельно и не включается в непосредственный приток Сырдарьи.

Объём поступления через независимые речные выпуски определяется как $V_{КДВ,р} = \Sigma\, V_j$, где каждый V_j относится к одному и тому же учётному периоду. При наличии временного ряда расхода $V_j = \Sigma(Q_{j,k} \times \Delta tk) / 10^6$, млн м^3, если Q задан в м^3/с, Δt – в

[30] Постановление Президента Республики Узбекистан от 11.08.2020 № ПП-4801 «О неотложных мерах по эффективному использованию водных ресурсов и улучшению мелиоративного состояния земель в Джизакской и Сырдарьинской областях». Приложение: мероприятие по направлению воды ВЖД в Шурузяк. Документ подтверждает предусмотренное направление, а не выполнение работ или их гидрологический результат. Источник

секундах. Продолжительность интервала берётся фактическая. Внутренние ветви, уже вошедшие в конечный створ, повторно не учитываются. Для принятого годового периода эквивалентный расчёт по среднегодовому расходу выполнен в подразделе 8.3.

Связь с водохранилищем задаётся балансом речного участка: $V_{вх} = V_{верх} + V_{КДВ,р} + V_{проч} - V_{заб} - V_{исп} - \Delta W_{уч}$. Здесь $V_{вх}$ – объём в согласованном входном створе водохранилища; $V_{верх}$ – поступление через верхнюю границу участка; $V_{КДВ,р}$ – учтённые поступления КДВ; $V_{проч}$ – результирующий прочий приток и обмен, положительный при поступлении; $V_{заб}$ – заборы воды; $V_{исп}$ – испарение с водной поверхности; $\Delta W_{уч}$ – изменение запасов воды на участке, положительное при увеличении. Все члены выражаются в единицах объёма за один период. Для коротких интервалов учитывается время добегания. $\Delta W_{уч}$ не смешивается с ΔS – изменением массы солей в разделе 6.

Объём КДВ участвует в формировании стока ниже выпуска. Однако баланс участка связывает совокупные потоки и сам по себе не идентифицирует происхождение каждой части смешавшейся воды. Для оценки дошедшего возвратного компонента необходимы согласованные наблюдения, а при необходимости – модель маршрута и смешения с явно заданными допущениями. Поэтому 183,22 млн м^3 не объявляются измеренным дополнительным притоком Шардары; дошедший объём и его доля в притоке здесь не определяются.

8.5. Совместный учёт объёма и качества возвратного компонента

Гидрологическое поступление КДВ в реку представляет реальный водный поток, одновременно переносящий растворённые вещества. Его учёт необходим для объяснения количества и состава стока нижележащего участка. Величина поступившего объёма сама по себе не устанавливает пригодность воды для последующего использования и не является основанием для увеличения сброса.

Солевой поток независимых речных выпусков следует определять по тем же интервалам, что и воду: $M_{КДВ,р} = \Sigma_j \Sigma k (V_{j,k} \times C_{j,k})$, тыс. т, если V выражен в млн м^3, C – в г/л. Для каждого выпуска средневзвешенная минерализация равна $\Sigma(V \times C) / \Sigma V$. Значения минерализации и массы из районного баланса нельзя без привязки переносить на ВЖД, Шурузяк или весь речной выпуск: административный контур и водосбор коллектора различаются.

При наличии синхронных расходов и концентраций речной воды выше выпуска и коллекторной воды концентрация после полного смешения двух потоков оценивается как $C_{см} = (Q_р \times C_р + Q_к \times C_к) / (Q_р + Q_к)$. Здесь $Q_р$ и $Q_к$ – расходы реки и коллектора, м^3/с; $C_р$ и $C_к$ – концентрации одного показателя, г/л; $C_{см}$ – концентрация смеси, г/л. Формула предполагает консервативный перенос без дополнительных источников и стоков на участке смешения и не заменяет комплексной оценки качества.

Практическая схема наблюдений должна связывать створ ВЖД перед впадением в Шурузяк, согласованный нижний створ Шурузяка перед речным выпуском, речной фон выше выпуска и контроль ниже зоны смешения. Положение створов уточняется на местности с учётом притоков и заборов. ВЖД и Шурузяк выполняют разные функции: первый позволяет исследовать внутреннюю составляющую, второй – результирующий выход рассматриваемой системы к реке.

Цифровизация имеет значение при сохранении прослеживаемости измерений: единого времени, координат и паспортов створов, расходных зависимостей и их

проверок после очистки или изменения русла. Расходные записи должны сочетаться с согласованным отбором проб; электропроводность при её автоматическом измерении требует местной калибровки по лабораторной минерализации. Такая организация переводит договорённость об учёте притока в воспроизводимый расчёт воды и солевого переноса.

8.6. Итоговая оценка и практическое значение

При принятой годовой репрезентативности расходов расчёт по реестру даёт 183,22 млн $м^3$ по рассматриваемым путям в Сырдарью и 2 032,81 млн $м^3$ по ЦГК и ДГК в Арнасай. ВЖД – внутренняя ветвь Шурузяка: его 6,94 млн $м^3$ не прибавляются повторно к 137,50 млн $м^3$ принимающего коллектора. Для ГПК расходы двух притоков ниже верхнего створа добавляются.

Таким образом основа для программы совместного учёта: закрепление координат и охвата створов, установление происхождения средних расходов, сверка межтерриториальных передач и синхронное измерение объёма и концентрации. Для ВЖД и Шурузяка наблюдения должны различать внутренний вклад и нижний выход к реке.

9. Основные выводы и практические рекомендации

Аналитическое исследование за 2021-2025 гг. выполнено в развитие задач двусторонних рабочих групп по мониторингу качества воды и определению притока к Шардарьинскому водохранилищу. Оно объединяет анализ мелиоративных условий, водоподачи и отвода КДВ, расчёт учтённой части приближенного водно-солевого баланса, проверку связи с внедрением водосберегающих технологий и разграничение направлений коллекторно-дренажного стока. Прикладной результат – обоснование схемы согласованных наблюдений ВЖД и Шурузяка и перечня проверок, необходимых для перехода от районной отчётности к учёту внешних потоков области.

9.1 Основные результаты исследования

Мелиоративное состояние орошаемых земель. По отчётной классификации площадь средне- и сильнозасолённых земель уменьшилась с 72,520 до 45,059 тыс. га между 2021 и 2025 гг. на 37,9%; её доля – с 25,23 до 15,70%. Общая орошаемая площадь практически не изменилась: 287,470 и 287,080 тыс. га. В 2025 г. все категории засолённых земель занимают 93,82% площади; на Мирзаабадский, Сардобинский и Хавастский районы приходится 88,70% средне- и сильнозасолённых земель области. Эти районы требуют приоритетного пространственного уточнения проблемных участков.

Состояние дренажной сети остаётся существенным ограничением. В 2025 г. неудовлетворительное состояние отмечено на 6 980 км, или 43,56% учтённой

протяжённости; 73,59% этой длины приходится на открытый и закрытый внутрихозяйственный дренаж. Формальная обеспеченность дренажем не определяет его фактической работоспособности. Площадь с УГВ менее 2 м по средней за вегетационный период классификации составляет 77,847 тыс. га, или 27,12%.

Устойчивого ежегодного сокращения областного КДВ не установлено. Учтённый отвод составил последовательно 1 141,88; 1 368,60; 1 363,55; 1 185,74 и 1 148,72 млн м^3 в 2021-2025 гг. Максимум приходится на 2022 г., после чего наблюдается снижение, но итог 2025 г. на 0,6% выше уровня 2021 г. Такое изменение не сводится к простому следованию водоподаче текущего года: в 2025 г. относительно 2024 г. подача увеличилась на 24,98%, а КДВ уменьшился на 3,12%.

Месячные данные показывают необходимость круглогодичного учёта. В 2025 г. на апрель-сентябрь приходится 50,34% годового КДВ. Максимальный месячный объём воды и максимальный солевой вынос не совпадают: в 2025 г. они отмечены соответственно в августе и марте. Следовательно, контроль только в вегетационный период или только по расходу не характеризует весь возвратный поток.

Составлен расчёт приближенного водно-солевого баланса области. За пять лет сумма фактической районной водоподачи составляет 12 047,72 млн м^3, сумма отвода КДВ – 6 208,49 млн м^3; разность равна 5 839,23 млн м^3, отношение отвода к подаче – 51,53%. Водоподача включает учтённые поступления из оросительных источников, оросительных скважин, вертикального дренажа и открытых коллекторов. Разность не является оценкой фактической эвапотранспирации, а отношение не является коэффициентом полезного использования воды.

По плотному остатку суммарный учтённый внос за 2021-2025 гг. составляет 15,859 млн т, вынос – 17,039 млн т. Превышение выноса на 1,180 млн т характеризует соотношение солевых потоков. В 2025 г. разность вноса и выноса составила +66,59 тыс. т, или 2,19% вноса. По хлору в том же году вынос превышает внос на 35,37 тыс. т. Хлор учитывался отдельно как составляющая растворённых веществ и не прибавляется к плотному остатку.

В основном ряду годовых площадей внедрения водосберегающих технологий полива – капельного, дождевального и дискретного в совокупности – выявлено отрицательное сочетание с годовым КДВ: r = -0,798, ρ = -0,900. Условное точное перестановочное p^* = 0,075 при пяти наблюдениях не даёт статистически убедительного подтверждения влияния на общепринятом уровне 5%. Отрицательный знак сохраняется при последовательном исключении года, но связь с КДВ следующего года слаба: $r = -0{,}092$ при четырёх парах. Проверки чувствительности описывают тот же короткий ряд и не увеличивают число независимых наблюдений. Связь той же совокупности водосберегающих технологий полива с общей районной водоподачей близка к нулю: $r = +0{,}053$.

Таким образом анализ данных за 2021-2025 гг. не подтвердил, что внедрение водосберегающих технологий полива сопровождалось устойчивым снижением водоподачи и отвода КДВ в Сырдарьинской области. Ожидаемое сокращение обоих объёмов по мере внедрения водосберегающих технологий на уровне области не подтвердилось. Для оценки эффекта на уровне полей необходимы натурные исследования с измерением водоподачи и дренажного стока на участках с водосберегающими технологиями и на сопоставимых контрольных участках.

9.2 Значение коллекторного стока для Сырдарьи и притока к Шардаре

По средним расходам, принятым как среднегодовые за 2025 г., расчётный объём речного направления составил 183,22 млн м^3, из них: Шурузяк – 137,50 млн м^3, система ГПК – 39,42 млн м^3, ГПК-2т – 6,31 млн м^3. Коллектор ВЖД входит в систему Шурузяка и отдельно к её выходному объёму не прибавлялся. Расчёт по средним расходам ЦГК и ДГК составил 2 032,81 млн м^3 для Арнасайского направления. По итогу сумма речного и Арнасайского направлений составила 2 216,03 млн м^3.

Расчётные 183,22 млн м^3 характеризуют поступление возвратных вод в Сырдарью по рассмотренным коллекторам при принятом расчете средних расходов. Этот поток участвует в формировании стока нижележащего участка, связанного с притоком к Шардарьинскому водохранилищу. Он не является независимо установленным приращением располагаемых водных ресурсов и не приравнивается к объёму, дошедшему до водохранилища. Для последнего необходим маршрутный баланс с учётом иных поступлений, заборов, потерь, изменения запасов и времени добегания.

9.3 Практические рекомендации для двусторонних рабочих групп

Рекомендуемые мероприятия направлены на развитие задач двусторонних рабочих групп. Обсуждение мониторинга ВЖД на восьмом заседании группы по охране окружающей среды и качеству вод бассейна Сырдарьи[31] задаёт приоритет согласованным наблюдениям за данным коллектором. Договорённость о цифровизации Шурузяка, отражённая в официальном сообщении о 13-м заседании комиссии по двусторонним водным отношениям[32], связывает наблюдения с определением притока к Шардарьинскому водохранилищу. Для её практического развития предлагаются следующие действия.

1. Согласовать пространственную схему учёта. Для каждого крупного коллектора необходимо закрепить координаты и паспорт измерительного створа, положение относительно притоков и заборов, границы зоны влияния и конечный водоприёмник. В единой схеме следует явно обозначить ГПК-42-с и ГПК-56-с относительно створа ГПК, а ВЖД – внутри системы Шурузяка. Сопоставление этой схемы с районным учётом должно предшествовать объединению данных в областной баланс.

До объединения данных желательно оформить протокол согласования районного и коллекторно-дренажного учёта: подтвердить период средних расходов, разграничить местные и транзитные поступления, внутреннее повторное использование и внешние выпуски.

---

[31] Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Сообщение о восьмом заседании Казахстанско-узбекистанской совместной рабочей группы по вопросам охраны окружающей среды и качества вод бассейна реки Сырдарья. Заседание 11 декабря 2025 г. Источник

[32] Министерство водного хозяйства Республики Узбекистан. O‘zbekiston–Qozog‘iston: suv bo‘yicha hamkorlik mustahkamlanmoqda. 19 января 2026 г. Сообщение о 13-м заседании совместной рабочей комиссии и цифровизации гидропостов и коллекторов для определения притока к Чордаре. Источник

2. Проверить повторный учёт одной и той же воды по последовательным створам. В реестре расходов необходимо разграничить внутренние отводы, промежуточные участки и независимые конечные выпуски. Один водный объём может последовательно регистрироваться в дренаже, межхозяйственном и магистральном коллекторах; суммирование всех таких записей завышает внешний отвод. Повторные измерения сами по себе необходимы для контроля системы, но при составлении итогового баланса одна и та же вода должна учитываться на выходе расчётного контура один раз.

Для проверки предлагается составить схему связности всех рассматриваемых коллекторов и провести синхронные измерения до и после основных слияний с учётом времени добегания. Разность нижнего и верхнего потоков необходимо сопоставить с притоками отводов, отборами, боковым обменом и изменением запасов на участке. Проверка должна охватывать также районные сводки и повторное использование КДВ.

3. Организовать связанные наблюдения ВЖД и Шурузяка. Приоритетны створ ВЖД перед впадением в Шурузяк, нижний створ Шурузяка перед речным выпуском и речные створы выше выпуска и ниже зоны полного смешения. Их положение уточняется на местности с учётом других поступлений и заборов. Единые интервалы, время и единицы учёта позволят сопоставлять внутреннюю составляющую и результирующий выход к реке. Для оценки поступления к Шардаре эту систему необходимо связать с согласованным входным створом водохранилища и данными о водообмене промежуточного речного участка.

4. Дополнить цифровой учёт расхода контролем качества. Автоматизированные записи необходимо обеспечивать проверяемыми расходными зависимостями и их повторной оценкой после очистки или изменения русла. Пропуски должны сохраняться с соответствующим признаком, а не заменяться нулём; способы восстановления рядов следует документировать. Отбор проб на минерализацию по плотному остатку и содержание хлора должен быть согласован по времени с гидрометрией. Электропроводность может применяться для оперативных наблюдений при местной калибровке по лабораторным данным. Массу растворённых веществ следует рассчитывать суммированием произведений объёма и концентрации за одинаковые интервалы; хлор учитывать отдельно как компонент, не прибавляя его массу к плотному остатку.

5. Оценивать работу дренажа по совокупности мелиоративных показателей. Объём отвода следует сопоставлять с уровнем и минерализацией грунтовых вод, засолением и состоянием сети. Для районов с наибольшей средне- и сильнозасолённой площадью целесообразно уточнить участки, где неудовлетворительное состояние коллекторов ограничивает отвод. Приоритет ремонта должен определяться подтверждённой функцией участка в отводе и состоянием обслуживаемых земель. Сокращение КДВ не следует использовать как самостоятельный показатель эффективности: задача состоит в ограничении непроизводительных поступлений при сохранении необходимого мелиоративного режима.

6. Расширить исследования на ААСО направление. После согласования расходов, границ водосборов и повторного учёта целесообразно включить ЦГК, ДГК и основные притоки в приоритетную программу наблюдений. Предварительная величина их потока существенно выше речного направления, однако сама по себе ещё не определяет объём местного дренажного стока. Рассмотрение Арнасайской системы должно учитывать трансграничную водохозяйственную связь с регулированием Шардарьинского водохранилища и согласованный водный и солевой режим озёр.

Возможность перенаправления части внутренних водотоков непосредственно в Арнасайскую систему вместо их поступления в Сырдарью следует проверить как отдельную сценарную гипотезу. При этом может уменьшиться потребность в сбросе воды из Шардаринского водохранилища в Арнасайскую систему, а также снизится приток минерализованных КДВ в р.Сырдарья. Оценка требует совместного сезонного баланса водохранилища, речного участка и системы озёр, проверки качества воды, потерь, технической осуществимости и согласования между сторонами.

Список использованной литературы и источников

1. Духовный В. А. и др. Дренаж в бассейне Аральского моря: в направлении стратегии устойчивого развития. Предварительный отчёт. Ташкент, 2004. 316 с. Отчёт подготовлен при участии Х. И. Якубова, П. Д. Умарова и других специалистов. Электронный ресурс

2. Икрамов Р. К. Роль водосбережения в интегрированном управлении водными ресурсами в орошаемом земледелии. WATER 2002: научно-практическая конференция, посвящённая 10-летию МКВК. 2002. С. 96–104. Электронный ресурс

3. Икрамов Р. К., Гаппаров С. М., Джумаев З. Т., Утаев А. А. Методы прогнозирования уровней грунтовых вод и засоления почв на орошаемых землях. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023. № 1(89). С. 170–178. Электронный ресурс

4. Кийне Я. В. Инициатива бассейна Аральского моря. В направлении стратегии с реально осуществимыми инвестициями в дренаж: бассейн Аральского моря. Сводный отчёт. Русская версия под ред. В. А. Духовного. IPTRID FAO; НИЦ МКВК, август 2006. Электронный ресурс

5. Кудратов Т. У., Якубов М. А. Роль дренажа в регулировании водообмена орошаемых земель на засоленных землях. Мелиорация и водное хозяйство. 2025. № 4. С. 38–42. DOI: 10.32962/0235-2524-2025-4-38-42

6. Якубов Х. И., Умаров П. Д., Бекмуратов Т. У. Управление водоподачей как средством формирования устойчивого водно-солевого баланса орошаемых земель в условиях напорных подземных вод. 2003. С. 298–306. Электронная копия НИЦ МКВК. Электронный ресурс

7. Якубов Х. Э., Якубов М. А., Якубов Ш. Х. Коллекторно-дренажный сток Центральной Азии и оценка его использования на орошение. Ташкент, 2011. Электронный ресурс

8. Ayers R. S., Westcot D. W. Water Quality for Agriculture. Rome: FAO, 1985. FAO Irrigation and Drainage Paper 29 Rev. 1. Электронный ресурс

9. Barros R., Isidoro D., Aragüés R. Long-term water balances in La Violada irrigation district (Spain): I. Sequential assessment and minimization of closing errors. Agricultural Water Management. 2011. 102:35–45. DOI: 10.1016/j.agwat.2011.10.004

10. Causapé J., Gimeno M. J., Auqué L. Hydrosaline balance evolution of an irrigated zone: The case of Lerma basin (Spain, 2004–2020). Science of the Total Environment. 2023. 905:166996. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166996

11. Forkutsa I., Sommer R., Shirokova Y. I. et al. Modeling irrigated cotton with shallow groundwater in the Aral Sea Basin of Uzbekistan: II. Soil salinity dynamics. Irrigation Science. 2009. 27:319–330. DOI: 10.1007/s00271-009-0149-0

12. Grafton R. Q., Williams J., Perry C. J. et al. The paradox of irrigation efficiency. Science. 2018. 361(6404):748–750. DOI: 10.1126/science.aat9314

13. Ibrakhimov M., Khamzina A., Forkutsa I. et al. Groundwater table and salinity: Spatial and temporal distribution and influence on soil salinization in Khorezm region (Uzbekistan, Aral Sea Basin). Irrigation and Drainage Systems. 2007. 21:219–236. DOI: 10.1007/s10795-007-9033-3

14. Isidoro D., Quílez D., Aragüés R. Environmental impact of irrigation in La Violada district (Spain): I. Salt export patterns. Journal of Environmental Quality. 2006. 35:766–775. DOI: 10.2134/jeq2005.0064

15. Jiménez-Aguirre M. T., Isidoro D. Hydrosaline Balance in and Nitrogen Loads from an irrigation district before and after modernization. Agricultural Water Management. 2018. 208:163–175. DOI: 10.1016/j.agwat.2018.06.008

16. Oosterbaan R. J. SALTMOD: Description of Principles, User Manual, and Examples of Application. Windows version. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), May 2002. Электронный ресурс

17. Singh A. Validation of SaltMod for a semi-arid part of northwest India and some options for control of waterlogging. Agricultural Water Management. 2012. 115:194–202. DOI: 10.1016/j.agwat.2012.09.007

18. Tanji K. K., Kielen N. C. Agricultural Drainage Water Management in Arid and Semi-Arid Areas. FAO Irrigation and Drainage Paper 61. Rome, 2002. Электронный ресурс

19. Van Opstal J., Droogers P., Kaune A., Steduto P., Perry C. Guidance on realizing real water savings with crop water productivity interventions. Rome: FAO, 2021. FAO Water Reports 46. DOI: 10.4060/cb3844en

20. Wen Y., Shang S., Rahman K. U., Xia Y., Ren D. A semi-distributed drainage model for monthly drainage water and salinity simulation in a large irrigation district in arid region. Agricultural Water Management. 2020. 230:105962. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.105962

21. Wen Y., Wan H., Shang S. A monthly distributed water and salt balance model in irrigated and non-irrigated lands of arid irrigation district with shallow groundwater table. Journal of Hydrology. 2023. 616:128811. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2022.128811

Официальные документы и материалы двустороннего сотрудничества

22. Президент Республики Узбекистан. О неотложных мерах по эффективному использованию водных ресурсов и улучшению мелиоративного состояния земель в Джизакской и Сырдарьинской областях: Постановление от 11 августа 2020 г. № ПП-4801. Национальная база данных законодательства Республики Узбекистан. Редакция от 12 августа 2020 г. Электронный ресурс

23. Министерство экологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Восьмое заседание Казахстанско-узбекистанской совместной рабочей группы

(Комиссии) по вопросам охраны окружающей среды и качества вод бассейна реки Сырдарья: официальное сообщение о заседании 11 декабря 2025 г. в Астане. Электронный ресурс

24. Министерство водного хозяйства Республики Узбекистан. O‘zbekiston–Qozog‘iston: suv bo‘yicha hamkorlik mustahkamlanmoqda [Узбекистан – Казахстан: укрепляется сотрудничество по вопросам воды]: официальное сообщение о 13-м заседании совместной рабочей комиссии. 19 января 2026 г. Электронный ресурс

Верстка и дизайн: Беглов И., Дегтярева А.

Подготовлено к печати
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,
г. Ташкент, м-в Карасу-4, д. 11А

sic.icwc-aral.uz