

### Список использованных источников

1. Окорков В.В. Использование фосфогипса в земледелии // Плодородие. 2013. №1. С. 20-25.
2. Аристархов, А. Н. Оптимизация серного питания сельскохозяйственных культур: теория и практика. – М.: ВНИИА, С 2015. – 320.
3. Иванов, Д. С., Петров, Н. К. Влияние серосодержащих мелиорантов на соотношение N:S в растениях пшеницы и фракционный состав белка // Российская сельскохозяйственная наука. – 2018. № 2, С. 12–16.
4. <https://agroservers.ru/b/pshenitsa-yarovaya-sort-agros-es-708550.htm>
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям – Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. – Москва: Альянс. 2011, С. 350.

УДК 556.12

**И.А. Воропаев**

*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования «Институт повышения квалификации», г. Москва  
i.voropaev@ipkmeteo.ru*

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИСКУССТВЕННОМУ УВЕЛИЧЕНИЮ ОСАДКОВ НА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ СЕКТОР РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)**

**Ключевые слова:** искусственное увеличение осадков, гидрометеорология, агрометеорология, активные воздействия, сельское хозяйство, агротехнологии, адаптивное земледелие.

**Keywords:** artificial precipitation increase, hydrometeorology, agrometeorology, active influences, agriculture, agrotechnologies, and adaptive farming.

**Аннотация:** в статье рассматривается влияние эксперимента по искусственному увеличению осадков в Республике Саха (Якутия) на сельскохозяйственный сектор региона. Цель исследования – анализ положительных и отрицательных последствий воздействия на атмосферные процессы для агропромышленного комплекса Якутии. Методика исследования включает анализ данных полевых наблюдений, статистической информации и результатов экспериментальных работ за 2022–2025 годы. Особое внимание уделяется изучению влияния дополнительного увлажнения

ния на состояние пастбищных угодий, кормовую базу и условия ведения сельского хозяйства в условиях вечной мерзлоты, результатам воздействия искусственного увеличения осадков на сельское хозяйство. Научная новизна исследования заключается в комплексном подходе к оценке влияния управляемого воздействия на атмосферные процессы на сельскохозяйственный сектор в условиях Крайнего Севера. Практическая значимость работы состоит в определении оптимальных параметров проведения работ по искусственному увеличению осадков для минимизации негативных последствий и максимизации положительного эффекта для сельского хозяйства региона.

**Abstract:** The article examines the impact of an experiment on the artificial increase of precipitation in the Republic of Sakha (Yakutia) on the agricultural sector of the region. The purpose of the study is to analyze the positive and negative consequences of the impact on atmospheric processes for the agro-industrial complex of Yakutia. The research methodology includes the analysis of field observation data, statistical information, and the results of experimental work conducted in 2022–2025. Special attention is paid to studying the impact of additional moisture on the condition of pasture lands, the forage base, and the conditions of agricultural production in permafrost regions, as well as the results of the impact of artificial precipitation on agriculture. The scientific novelty of the study lies in its comprehensive approach to assessing the impact of controlled atmospheric processes on the agricultural sector in the Far North. The practical significance of the work lies in determining the optimal parameters for conducting work on artificial precipitation increase in order to minimize negative consequences and maximize the positive effect on the region's agriculture.

В последние годы возрастающая урбанизация и изменение климата обусловили рост количества и масштабов гидрометеорологических рисков в мегаполисах. Дождевые паводки, сильные ветры, экстремальные температуры и загрязнение воздуха требуют нового подхода к обеспечению безопасности населения и инфраструктуры [1].

По данным Всемирной метеорологической организации, 2025 год стал самым тёплым за всю историю наблюдений. Это первый календарный год, температура которого на  $1,5^{\circ}\text{C}$  превысила доиндустриальный уровень (за основу берётся средняя глобальная температура приземного воздуха за период 1850–1900 годы) [4]. С момента начала инструментальных наблюдений в 1850–1880-х годах средняя температура приземного воздуха на Земле выросла примерно на  $1,3^{\circ}\text{C}$ . За последние 140 лет средняя температура на планете увеличилась примерно на  $1,1^{\circ}\text{C}$  [5]. При этом глобальное потепление происходит нелинейно: в отдельные годы могут случаться рекордные похолодания, а каждое последующее лето не обязательно будет

жарче предыдущего. Однако общий многолетний тренд на рост приземной температуры воздуха сохраняется.

Изменение температурно-влажностного режима сопровождается изменением хозяйственно-бытовых, социально-экономических, политических аспектов жизни [3]. Развитие гидрометеорологической отрасли привело к появлению возможности управляемого изменения климатических параметров методами активных воздействий на гидрометеорологические процессы.

Первые практически реализуемые научные идеи о воздействии на атмосферные явления возникли в XIX веке. Исследователь из США Джеймс Поллард Эспи в 1841 году высказал идею, что можно создать облака и дождь, воспроизводя восходящий в виде трубы ток воздуха путём разведения огня на достаточно большой площади в подходящий момент. Эксперимент полностью подтвердил это предположение.

В 1930 году В. Н. Оболенский впервые в мире начал комплексный эксперимент, который показал, что активные воздействия на атмосферные процессы возможны и перспективны.

Основные методы воздействия на облака связаны с фазовой неустойчивостью, которая связана с существованием в осадкообразующей облачности наряду с кристаллами обширных зон жидко-капельной влаги. Поскольку насыщающая упругость водяного пара над льдом меньше, чем над водой, то при введении в такой объём достаточного количества зародышевых ледяных частиц начинается процесс «перегонки» водяного пара на эти частицы и испарение облачных капель.

В ходе работ по активному воздействию на гидрометеорологические процессы используется 2 типа реагентов:

- 1) хладоагенты, то есть вещества, испарение которых вызывает резкое локальное понижение температуры среды (твердая углекислота, жидкий азот);
- 2) льдообразующие реагенты, которые, не влияя непосредственно на температуру воздуха, выполняют функцию искусственных ядер кристаллизации (например, иодид серебра AgI).

В качестве средств внесения реагента в облако применяется как наземные установки, так и самолетные устройства. К наземным средствам воздействия относятся наземные генераторы, ракеты, снаряды.

Теоретические и опытные исследования в области оценки эффективности активных воздействий на переохлажденные облака были начаты в период с 1946 по 1948 годы в СССР В.Л. Гаевским, Б.В. Кирюхиным, В.Я. Никандровым, А.П. Чуваевым, И.И. Гайворонским и др. [6]

С начала исследований и по настоящее время в Росгидромете головной организацией в области искусственного увеличения осадков является Центральная аэрологическая обсерватория. В результате многолетних экс-

периментальных исследований ЦАО разработала и внедрила в практику эффективную технологию работ по искусственному увеличению осадков.

Установлено, что эффективность воздействий зависит от нескольких совокупных факторов:

- от технологии засева облаков реагентами,
- от метеорологических условий,
- от наличия ресурсов облаков, пригодных для воздействия.

На сегодняшний день достигнуты значительные успехи в области радиолокационной метеорологии, результаты наблюдений позволяют осуществлять контроль эволюции облаков и выпадения из них осадков с помощью метеорологических радиолокаторов.

Методика радиолокационных наблюдений включает определение геометрических размеров радиоэха облаков, регистрацию координат зон, определение изменений радиолокационных параметров, а также получение информации о характеристиках зон осадков.

Как показали опытные работы по активному воздействию на гидрометеорологические процессы с помощью авиационной техники, для эффективного проведения работ необходимо иметь на борту самолета собственное специализированное оборудование, которое в реальном времени отражает основные метеорологические параметры и характеристики полета самолета, а также решающее ряд специфических задач, связанных с оценкой условий проведения засева облаков.

В ЦАО разработана и успешно испытана методика искусственного увеличения осадков из облаков кучевых и слоистообразных форм. Для реализации методики созданы и освоены промышленностью необходимые реагенты и технические средства воздействий.

Опытные исследования показали, что использование методики, разработанной Центральной аэрологической обсерваторией, позволяет увеличивать количество осадков непосредственно в зоне воздействий в 1,5–2,0 раза и обеспечивать увеличение сезонной суммы осадков на площади работ в среднем на 20–30 %. В основе методики лежит способ засева облаков льдообразующими реагентами с самолетов-метеолабораторий, оснащенных:

- устройствами для отстрела пиропатронов,
- дозаторами для сброса гранулированной углекислоты,
- другим оборудованием для воздействия,
- комплексами бортовой аппаратуры для измерения навигационных параметров, характеристик облаков и атмосферы.

На фоне масштабных лесных пожаров в 2021 году на территории Республики Саха (Якутия) Президентом Российской Федерации поручено провести мероприятия по снижению риска возникновения пожаров за счёт предварительного увлажнения пожароопасных территорий. В 2022 году начался эксперимент по активным воздействиям на территории Якутии [2].

Экспериментальные данные об облаках и осадках и результаты засева облаков показали пригодность облаков региона Центральной части Якутии для воздействия с целью искусственного увеличения осадков [7]. При весьма низких экономических затратах, использование метода искусственного увеличения осадков, позволяет увеличить ежемесячное количество «искусственной воды» в районе работ на 90–350 млн т

Для вызова осадков используются самолёты-зондировщики, оснащённые оборудованием для распыления реагентов в облака. Основным реагент – йодистое серебро, которое служит ядрами кристаллизации влаги и способствует образованию осадков.

Каждый пиропатрон содержит 33 г йодистого серебра. При его сгорании в атмосфере выделяется реагент, который инициирует процесс льдообразования. Эффект проявляется от 30 минут до 5 часов после воздействия. Для обработки одного облака объёмом 25 кубокилометров требуется 10–20 пиропатронов.

В 2022 году эксперимент проводился с июня по август. Было выполнено 27 вылетов, отработано более 130 часов, отстреляно свыше 3000 пиропатронов. Работы велись в центральной, юго-западной и юго-восточной частях республики.

В 2023 и 2024 годах работы были продолжены. В 2023 году Ан-26 «Атмосфера» выполнял авиационные работы по воздействию на ландшафтные пожары в Усть-Майском, Томпонском и Алданском районах, а Як-40 – в Алданском районе. В результате увеличения осадков пожары были деградированы.

В 2024 году самолёты-зондировщики усилили осадки в пяти районах Якутии с сложной пожароопасной обстановкой: Олекминском, Горном, Верхневилуйском (вилуйская группа) и Верхоянском.

В 2025 году эксперимент продолжился. В мае Як-40 «Метео» проложил линию засева облаков от Вилюйского района до южных районов Олекминского, а Ан-26 «Атмосфера» совершил вылет над центральными районами и Усть-Майским.

По итогам 2022 года служба спасения Якутии признала эксперимент удачным. Было отмечено, что искусственные осадки помогли существенно снизить вероятность возникновения пожаров на опытных территориях. В центральной, юго-западной и юго-восточной частях республики практически полностью удалось исключить возникновение ландшафтных пожаров. Кроме того, благодаря искусственному увлажнению почвы в мае – июне были получены высокоотравные участки, которые стали использовать в качестве пастбищ и для заготовки кормов [9].

В 2023 году первый вице-премьер Якутии Дмитрий Садовников заявил, что эксперимент 2022 года показал эффективность, и работы будут продолжены [8].

Вылеты планируются ежедневно по заявкам и результатам мониторинга лесопожарной обстановки. Учитываются прогноз развития осадкогенерирующих процессов, класс пожароопасности, наличие термоточек. Работы проводятся в районах с высоким классом пожароопасности при наличии потенциально дождевых облаков.

Эксперимент продолжается, и его методы совершенствуются с учётом накопленного опыта. Однако его влияние на сельское хозяйство также стало предметом наблюдения и анализа. Результаты первых лет показывают, как положительные, так и потенциальные риски для аграрного сектора.

#### Положительные аспекты

- улучшение влагообеспеченности пастбищ и сенокосных угодий. В мае–июне 2022 года благодаря системному искусственному увлажнению почвы в центральной, юго-западной и юго-восточной частях республики были получены высокотравные участки. Эти территории стали использовать в качестве пастбищ и для заготовки кормов. В условиях Якутии, где дефицит влаги – один из ключевых ограничивающих факторов для сельского хозяйства, дополнительное увлажнение могло способствовать повышению продуктивности травостоя.

- потенциал для лиманного орошения. Лиманное орошение – традиционный метод в Якутии, при котором паводковые воды направляются на поля. Искусственное увеличение осадков может усилить эффект этого метода, повысив урожайность культур в 2–3 раза по сравнению с неорошаемыми землями. Это особенно актуально для сенокосных и пастбищных угодий.

- возможность расширения зон сельскохозяйственного использования. В условиях вечной мерзлоты дополнительное увлажнение может улучшить тепловой режим почв и увеличить активный слой оттаивания, что потенциально расширяет площади, пригодные для возделывания культур.

#### Отрицательные аспекты и риски

- переувлажнение почв и заболачивание. Избыток влаги может привести к переувлажнению мерзлотных грунтов, что негативно сказывается на росте растений. В условиях неоднородности рельефа – это особенно актуально.

- активизация термокарстовых процессов. Значительное увеличение осадков может привести к таянию подземных льдов, образованию просадок территорий и деградации почв. Указанные последствия могут привести к нарушению работы сельскохозяйственной инфраструктуры и изменить состояние сельскохозяйственных земель.

- изменение температурного режима грунтов. В настоящее время происходит эффект термического шока, т.к. при увеличении осадков происходит охлаждение почвы.

- проблемы с агротехникой. Искусственное изменение режима осадков требует оперативной реакции на плановые работы – посев, уборка, обработка почв и т.д., при отсутствии оперативной реакции снижается эффективность сельскохозяйственных работ и показатели отрасли в целом.

- влияние на кормовую базу оленеводства. Изменение режима осадков приводит к образованию ледяной корки на покрытых снегом территориях, данное явление затрудняет доступ животным к кормовой базе, в данном случае к ягелю.

В связи с тем, что эксперимент по искусственному увеличению осадков продолжается, в дальнейшем необходимо детально проанализировать сложившееся воздействие на отрасль сельского хозяйства и принять стратегические меры по сохранению потенциал региона в условиях искусственного изменения климатических параметров. В ходе проведения работ по искусственному увеличению осадков важными факторами являются:

- локальное воздействие. Для активных воздействий определены наиболее пожароопасные территории Республики Саха (Якутия).

- привязанность к сезону. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы проходят в сезон высокой пожарной опасности, что не всегда совпадает в ключевыми фазами сельскохозяйственных работ, однако напрямую затрагивают работы в целом.

- агроклиматические условия. Нагрузка на агроклиматические условия в ходе активных воздействий будет неоднородная, и будут зависеть от региона воздействия или обрабатываемой ячейки в ходе активных воздействий.

Для минимизации рисков и повышения эффективности мер необходимы:

- обеспечить дополнительный регулярный мониторинг почв и произрастания культур на площадях;

- адаптация агротехнологий с учетом изменчивости влагообеспеченности в ячейках;

- применение в регионе иных селекционных культур, адаптированных к новым климатическим условиям.

Искусственное увеличение осадков методом активных воздействий на гидрометеорологические процессы имеет высокий потенциал для улучшения влагообеспеченности сельхозугодий, при этом важно осуществлять мониторинг угодий. С учетом возможных негативных последствий важно проработать детализированный комплексный подход к быстрой готовности сегмента экономического взаимодействия к вызовам в области изменения климата. Проведенный анализ показывает неоднозначное влияние искусственного увеличения осадков на сельское хозяйство Республики Саха (Якутия), при этом в современных условиях при грамотной организации мероприятий по адаптации к изменению климата в регионе, искусственное увеличение осадков может стать весомым драйвером развития сельского хозяйства региона. Необходимо проработать комплексный подход, который будет сочетать в себе технологические инновации, традиционные методы сельского хозяйства и непрерывный мониторинг в совокупности с цифровым развитием.

### Список использованной литературы

1. Давыденко, И. В. Комплексное обеспечение гидрометеорологической безопасности в мегаполисе / И. В. Давыденко, И. А. Воропаев // Адаптация сельского хозяйства к изменениям климата : Сборник трудов, приуроченных к международной научно-практической конференции, посвящённой 165-летию со дня рождения В.А. Михельсона, Москва, 10 декабря 2025 года. – Москва: Российский государственный аграрный университет, 2025. – С. 192–203. – EDN JLKFNH.
2. Быков А.Н. Искусственное увеличение атмосферных осадков в Республике Саха (Якутия) – путь к решению проблемы борьбы с природными пожарами // Наука и техника в Якутии. – 2024.
3. Протопопова В.В., Габышева Л.П. Возникновение лесных пожаров в Центральной Якутии в зависимости от условий погоды // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 4. – С. 513–519.
4. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии / АН СССР, Сибирское отделение. – 1981.
5. Справочник по климату СССР. Выпуск 24, ч. 11. Температура воздуха и почвы. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1966. – 397 с.
6. Активные воздействия на гидрометеорологические процессы : Тр. всесоюз. конф., Киев, 17-21 нояб. 1987 г. / Под ред. Ю. С. Седунова. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1990. – 608
7. Пономарёва Г.А. Обоснование административно-территориальной структуры центрального СЭР Республики Саха (Якутия) // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2007. – № 4.
8. Доклад о состоянии и об охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) в 2022 году. – Якутск: Министерство экологии, природопользования и лесного хозяйства РС(Я), 2023.
9. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. – М.: Минприроды России, 2023.

УДК 633.1:631.559(470.32): 631.14:338.43

**Л.Н. Караулова**, канд. с.-х. наук

*Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Курский федеральный аграрный научный центр», г. Курск  
karaulovaln@gmail.com*

### ТРЕНД ИЗМЕНЕНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЦЧР

**Ключевые слова:** урожайность зерновых, климат, Центрально-Черноземный регион, гидротермический коэффициент, минеральные удобрения.

**Key words:** grain yield, climate, Central Black Earth region, hydrothermal coefficient, mineral fertilizers