

УДК 631.4

<https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.250>

## Влияние многолетней динамики уровня грунтовых вод на зимнее перераспределение влаги в пахотных почвах Ишимской степи

© 2024 Ю. В. Кравцов

ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет» ул. Виллюйская, 28,  
г. Новосибирск, 630126, Россия. E-mail: [kravtsov60@mail.ru](mailto:kravtsov60@mail.ru)

**Цель исследования.** Установить влияние многолетней динамики уровня грунтовых вод на зимнее перераспределение влаги в пахотных почвах Ишимской степи.

**Место и время проведения.** Ишим-Иртышское степное междуречье (Ишимская степь), 1986–1989 и 2002–2024 гг.

**Методы.** Исходный материал отобран в процессе почвенно-гидрологических наблюдений на опорных разрезах пахотных почв. Влажность почв и подпочвенных пород измерли термостатно-весовым методом в предзимний период (вторая – третья декады октября) и в завершении зимнего сезона (третья декада марта). Глубину залегания грунтовых вод измеряли в скважинах ручного бурения параллельно с отбором образцов почв на влажность. Слой криогенной аккумуляции и объем намерзания влаги определяли методом сравнения профилей влажности в середине октября и в третьей декаде марта. Снегосъёмку проводили в третьей декаде марта. Глубину проникновения температуры 0°C выявляли с помощью вытяжных термометров.

**Основные результаты.** В пределах плакорных участков водоносный горизонт в течение второй половины XX века поднялся с различных глубин до уровня, превышающего критический. Основной причиной подъема являлась хозяйственная деятельность. В первые десятилетия нового столетия, при положении грунтовых вод выше критической глубины, уровень их залегания в летне-осеннее время начал определяться суммами атмосферных осадков предыдущего холодного сезона года.

Особенности зимнего перераспределения влаги в пахотных почвах во многом обусловлены глубиной залегания грунтовых вод в осенний сезон. Если в почвах плакорных участков грунтовые воды отмечаются осенью на глубине более 4 м, что было характерно для 1980-х гг., слой криогенной аккумуляции влаги формируется ниже горизонтов интенсивного и полного десуктивного иссушения по посевам яровых зерновых, с глубины 0,8 м. Объем намерзания влаги не превышает 30 мм. Мигрировавшая влага практически не участвует в восполнении послевегетационного дефицита влажности в верхнем метровом слое почв. Если грунтовые воды во второй – третьей декадах октября выявляются на глубине менее 4 м, что типично для плакорных участков в 2000-е – 2020-е гг., слой криогенной аккумуляции прослеживается с глубины 0,4–0,8 м, объем намерзающей влаги может достигать 50 мм, в том числе, в верхнем метровом слое – 25 мм. Намерзшая в верхнем метровом слое влага способствует снижению послевегетационного дефицита, однако создает условия для анаэробнозиса во втором полуметровом слое почв и выступает «островом холода», задерживая весеннее прогревание почв до активных температур.

В почвах отрицательных форм рельефа уровень грунтовых вод в течение периода полевых наблюдений отмечается на уровне, превышающем критический. Поэтому черты зимнего перераспределения влаги в их профиле аналогичны установленным характеристикам этого явления в плакорных почвах в 2002–2024 гг.

**Заключение.** Уровень грунтовых вод в почвенно-грунтовых толщах плакорных участков Ишимской степи подвержен многолетней динамике под влиянием антропогенных и природных факторов в течение последних двадцати лет. Осенней глубиной залегания грунтовых вод определяются параметры зимнего перераспределения влаги в пахотных почвах плакоров – чем выше уровень, тем больший объем намерзания влаги фиксируется, тем ближе к дневной поверхности расположен слой криогенной аккумуляции.

**Ключевые слова:** критическая глубина; криогенная аккумуляция; корнеобитаемый слой; почвенно-гидрологический горизонт; намерзание влаги; пористость аэрации.

**Цитирование:** Кравцов Ю.В. Влияние многолетней динамики уровня грунтовых вод на зимнее перераспределение влаги в пахотных почвах Ишимской степи // Почвы и окружающая среда. 2024. Том 7. № 1. e250. DOI: [10.31251/pos.v7i1.250](https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.250).

## ВВЕДЕНИЕ

Ишимская степь (Ишим-Иртышское степное междуречье) – важный аграрный регион Сибири, специализирующийся на производстве зерна и кормовых трав. Этим определяется непреходящее значение мониторинга состояния природных ресурсов региона, в том числе, и ресурсов почвенной влаги, используемых в растениеводстве.

Для пахотных почв Ишим-Иртышского степного междуречья, особенно для плакорных, типичны ограниченные запасы влаги в период активной вегетации сельскохозяйственных культур (Кравцов, 2014). Поэтому поиск путей оптимизации этих запасов остается важной научно-практической задачей. В течение холодного сезона года в почвенно-грунтовых толщах региона возможно перераспределение влаги, которое происходит в сезонно промерзающий слой из нижних непромерзающих постоянно влажных толщ грунта под воздействием температурного градиента. Перераспределенная в слой намерзания влага может сохраняться в нем до начала периода вегетации. Таким образом, зимнее термоградиентное передвижение влаги может считаться одним из процессов восполнения ресурсов доступной растениям влаги в корнеобитаемом слое. На этом основании установление особенностей пространственного положения слоя криогенной аккумуляции и объема намерзающей в нем воды, определение механизмов передвижения влаги в промерзающий слой в условиях Ишимской степи, выявление роли намерзшей влаги в восполнении послевегетационного дефицита влажности в корнеобитаемом слое пахотных почв представляются актуальными практико-ориентированными вопросами.

Одним из значимых факторов криогенной аккумуляции влаги является исходная осенняя влажность почвенно-грунтовых толщ, связанная с близостью водоносного горизонта к земной поверхности (Панфилов, 1973; Сеньков, 1978). Грунтовые воды на плакорных участках Ишим-Иртышского степного междуречья известны межгодовой и многолетней изменчивостью глубины залегания (Кравцов, 2009; 2023). Как многолетняя динамика уровня грунтовых вод отражается на объемах намерзания влаги и глубине расположения слоя ее криогенной аккумуляции в почвах Ишимской степи – важный практический вопрос, на который до сих пор нет внятного ответа.

Цель работы – установить влияние многолетней динамики уровня грунтовых вод на зимнее перераспределение влаги в пахотных почвах Ишимской степи.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полевые изыскания осуществляли в течение 1986–1989 и 2002–2024 гг. Наблюдения проводили на ключевом почвенно-геоморфологическом профиле в центральной, наиболее возвышенной части Ишим-Иртышского степного междуречья, проведенном от уреза воды в котловине урочища Сарыколь на запад-юго-запад до наиболее возвышенной поверхности водораздельного пространства. Обзор особенностей природных условий региона неоднократно приводился в предыдущих публикациях (Кравцов, 2004; 2021). Из этих особенностей выделим краткую химическую характеристику грунтовых вод (табл. 1).

Таблица 1

Состав солей грунтовых вод Ишимской степи (Сеньков, 2004)

Разрез	Глубина, м	Σ солей, г/л	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>
			Мг-экв./л						
1	2,36	36,74	-	3,28	563,60	84,47	69,50	234,17	306,00
2	3,75	26,59	-	4,08	322,00	84,91	43,50	125,83	222,60
7	4,35	22,20	-	1,76	309,00	83,64	75,00	79,17	202,17
8	2,95	2,15	1,95	13,17	3,12	13,46	1,15	3,41	25,09
9	4,88	14,80	-	3,92	178,00	79,42	33,50	54,17	135,35

Некоторые характеристики опорных разрезов профиля представлены в таблице 2.

Объем намерзшей влаги и расположение слоя ее сезонной аккумуляции устанавливали путем сравнения профилей влажности, построенных по материалам наблюдений во второй – третьей декадах октября и в третьей декаде марта. Образцы для построения профилей влажности отбирали в процессе ручного бурения до глубины залегания грунтовых вод и обрабатывали термостатно-весовым методом. В пробуренных скважинах параллельно выявлялся уровень грунтовых вод путем замеров глубины их залегания. Мощность снежного покрова и запасы в нем влаги определяли в процессе снегосъемки в третьей декаде марта, когда в Ишимской степи отмечается максимальная

мощность снежного покрова. Температура почвенно-грунтовых толщ измеряла вытяжными термометрами в диапазоне глубин 0,2–3,2 м параллельно с отбором образцов почв на влажность.

Таблица 2

## Объекты исследования и характеристика их местоположения

Разрез	Географические координаты	Абсолютная высота, м, рельеф	Название почвы, согласно Классификации... (1977), по результатам работ 1986 г.
4	53°43'50.26" с.ш. 74°03'45.49" в.д.	110, склон первой надпойменной террасы мезокотловины	Луговая солончаковатая
1	53°43'47.14" с.ш. 74°03'35.59" в.д.	111, площадка первой надпойменной террасы мезокотловины	Черноземно-луговая солончаковатая
2	53°43'34.82" с.ш. 74°02'45.24" в.д.	114, площадка второй надпойменной террасы мезокотловины	Чернозем южный карбонатный солончаковатый
7	53°43'12.52" с.ш. 73°57'01.65" в.д.	121, плакор, микроповышение	Чернозем южный карбонатный солончаковатый
8	53°43'22.83" с.ш. 73°57'03.42" в.д.	120, плакор, микропонижение	Лугово-черноземная выщелоченная
9	53°41'18.30" с.ш. 73°47'02.10" в.д.	135, плакор	Чернозем южный карбонатный

При построении и анализе профилей влажности использовано положение А.А. Роде (1963) о почвенно-гидрологических горизонтах. С учетом разработанных им критериев в профиле исследуемых почв и подпочвенных пород выделяли следующие горизонты: 1) водоносный или полного насыщения, содержащий свободную гравитационную воду на уровне полной влагоемкости; 2) капиллярного насыщения, содержащий капиллярно-подпертую влагу и свободную гравитационную влагу в интервале от полной до наименьшей влагоемкости; 3) наименьшего насыщения с подвешенной влагой на уровне наименьшей влагоемкости; 4) слабого и интенсивного десуктивного иссушения с интервалом влажности от 100 до 80% наименьшей влагоемкости и от 80% наименьшей влагоемкости до влажности завядания, соответственно; 5) полного десуктивного иссушения с рыхлосвязанной влагой ниже уровня влажности завядания.

Градация снежности зимних сезонов дана по А.А. Танасиенко (2003). В работе использованы материалы многолетних метеорологических наблюдений на метеостанции «Русская Поляна» Обь-Иртышского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС). По данным этой метеостанции, в течение 1986–1989 гг. преобладали нормальные по снежности сезоны (средняя сумма атмосферных осадков ноября – марта составляла 105 мм). В 2000–2008 гг. доминировали очень многоснежные сезоны со средним количеством осадков 136 мм. С 2009 г. по 2022 г. наблюдали в основном малоснежные холодные сезоны года со средней суммой осадков 89 мм.

Связь между количеством атмосферных осадков и уровнем грунтовых вод устанавливала с помощью программы Microsoft Excel.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По материалам наблюдений на плакорных распаханых участках Ишимской степи выявлена многолетняя динамика уровня грунтовых вод. Во второй половине 1980-х гг. в опорных разрезах плакорных почв исследуемого региона грунтовые воды фиксировали на глубине 4–5 м. Учитывая косвенные данные, можно предполагать, что в течение 1960–1970-х гг. водоносный горизонт в пределах возвышенных выровненных местоположений находился на еще больших глубинах – 6–10 м. Среди этих данных выделим:

1) содержание крупномасштабных топографических карт района исследования, составленных в 1961 г.: на этих картах вода в колодцах на плакорных участках обозначена на глубине 8–10 м (Топографическая карта ..., 1965а; 1965б);

2) свидетельства почвоведов 1950–1960-х гг.: при характеристике природных условий и почвенного покрова Ишимской степи, при описании почвенных разрезов в пределах возвышенных выровненных местоположений они не упоминали глубины залегания грунтовых вод или сообщали о

глубоком их положении; исследователи не поднимали вопроса о гидроморфизме почв плакорных участков (Горшенин, 1955; Градобоев и др., 1960);

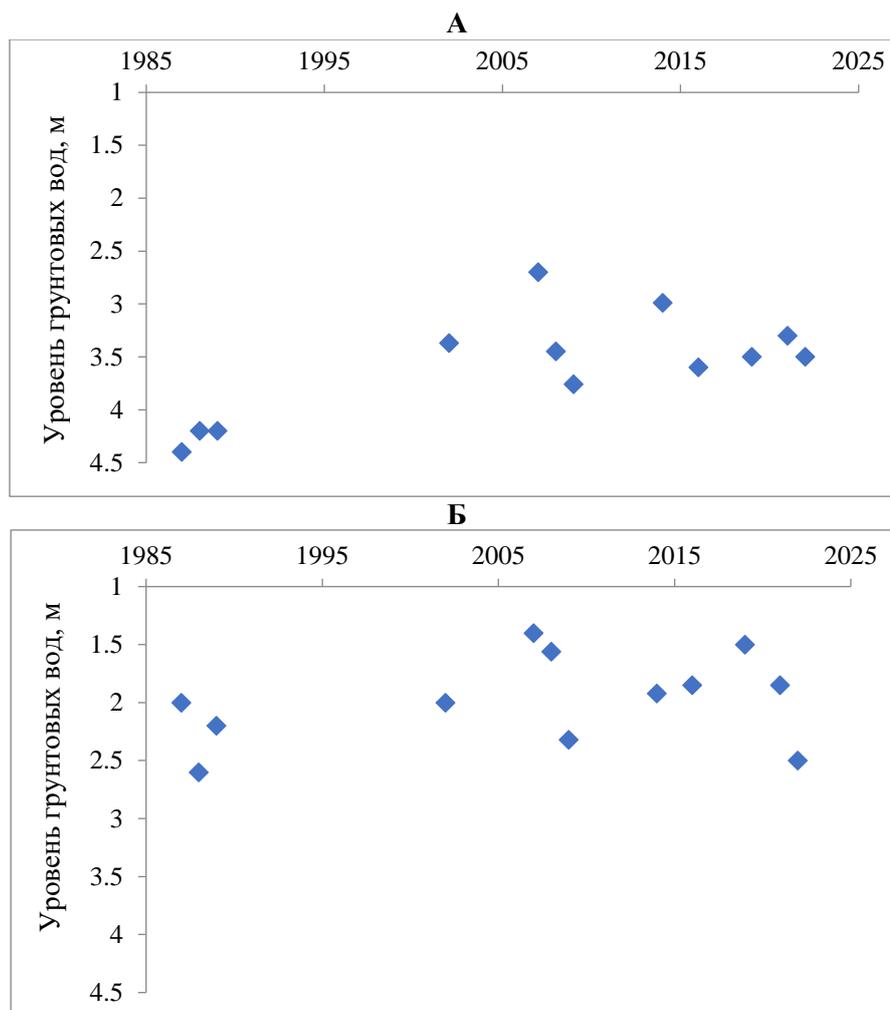
3) показания местных жителей, согласно которым в поселке Русская Поляна в 1964 г. уровень грунтовых вод фиксировался на глубине 12–13 м вместо современных 1–2 м.

В 2000-х гг. в опорных разрезах ключевого профиля глубина залегания грунтовых вод составляла 2,5–3,5 м, т.е. превышала критическую (рис. 1 А). Под критической глубиной понимается расстояние от поверхности почвы до уровня грунтовой воды, при уменьшении которого расход воды на испарение вызывает засоление корнеобитаемого слоя выше предела токсичности (Толковый словарь ..., 1975). В исследуемых почвенно-грунтовых толщах критическая глубина залегания грунтовых вод составляет 3,9 м (Панфилов и др., 1988). С 2009 по 2024 гг. уровень грунтовых вод отмечается на глубине порядка 3,5 м. Отметим при этом, что в опорных разрезах почв отрицательных форм рельефа, развивающихся в условиях дополнительного поверхностного или грунтового увлажнения, уровень грунтовых вод в течение последних почти 40 лет полевых наблюдений не подвергся заметным изменениям (рис. 1 Б).

Выявленные изменения в глубине залегания грунтовых вод в плакорных почвах обусловлены тяжелосуглинистым гранулометрическим составом материнской породы с высоким (до 45%) содержанием илистой фракции. Почвы с такими характеристиками отличаются преобладанием микропор в структуре общей пористости (до 70% суммарного объема пор). Микропористостью предопределена минимальная резервная водовместимость почв при влажности на уровне наименьшей влагоемкости (4–6% объема почвы). Такой генетической особенностью обусловлена возможность быстрого изменения уровня грунтовых вод при нарушениях водного баланса территории.

Причиной установленного подъема грунтовых вод стали нарушения водного баланса антропогенной природы. Нарушения связаны с распашкой территории и, соответственно, с уничтожением естественной растительности и культивированием на ее месте преимущественно яровых зерновых, а также с высадкой полезащитных лесных полос. В результате уничтожения естественной растительности и выращивания на ее месте яровых зерновых культур уменьшилось эваподесукативное иссушение почв, снизилось суммарное испарение с полей, возрос приток воды в центр микропонижений, где часть поверхностной влаги стала ежегодно попадать в водоносный горизонт, вызывая постепенный подъем его уровня. По поводу полезащитных лесопосадок как фактора подъема грунтовых вод отметим следующее. Лесополосы ажурно-продуваемой конструкции создавались в течение 1970-х – 1980-х гг. как одно из средств преодоления «черных» бурь на обширных распаханных пространствах и для улучшения микроклимата полей, в том числе, и для более равномерного распределения снега по ним. Однако соответствовали они предъявляемым требованиям только в течение первых лет существования и на стадии деградации. Пока молодые посадки характеризовались негустыми кронами и небольшой высотой древостоя (3–4 м), снег по полям с такими полосами распределялся достаточно равномерно. Так, в «ветровой тени» лесопосадки 1984 г. в третьей декаде марта 1989 г. мощность снега достигала 0,4–0,5 м, при ширине сугроба до 30 м. В то же время, на поле за пределами этого сугроба высота снежного покрова изменялась от 0,15 до 0,30 м. В последние годы лесопосадки находятся в стадии деградации. Деревья засыхают и выпиливаются, лесополосы, таким образом, прореживаются. Снег по полям с такими посадками вновь распределяется достаточно равномерно. Так, в третьей декаде марта 2024 г. в «ветровой тени» за лесопосадкой 1973 г. отмечался сугроб шириной 85 м и высотой до 1,2 м; за его пределами на пашне фиксировался снежный покров мощностью 0,4–0,7 м.

В зрелой же лесополосе, возрастом 15–35 лет, кроны характеризуются сомкнутостью, высота древостоя достигает 10–15 м. Посадка превращается в насаждение плотной, непродуваемой конструкции. В такой полосе и сразу же за ней из-за резкого снижения скорости ветра аккумулируется большое количество снега: сугроб начинается еще с наветренной стороны насаждения, его высота достигает максимума сразу с подветренной стороны посадки, в 10–15 м от края полосы. Общая ширина такого сугроба составляет 50–70 м. В наиболее высокой его части мощность снега может превысить 3 м (третья декада марта 1988 г.), при этом на поле – 0,15–0,25 м. Поскольку основная масса снега скапливалась в непосредственной близости от таких непрочищаемых лесонасаждений, в условиях плоского рельефа часть талой снеговой влаги у лесополос просачивалась в горизонт грунтовых вод, также вызывая подъем их уровня.



**Рисунок 1.** Многолетняя динамика уровня грунтовых вод в опорных разрезах: А – разрез 7; Б – разрез 1.

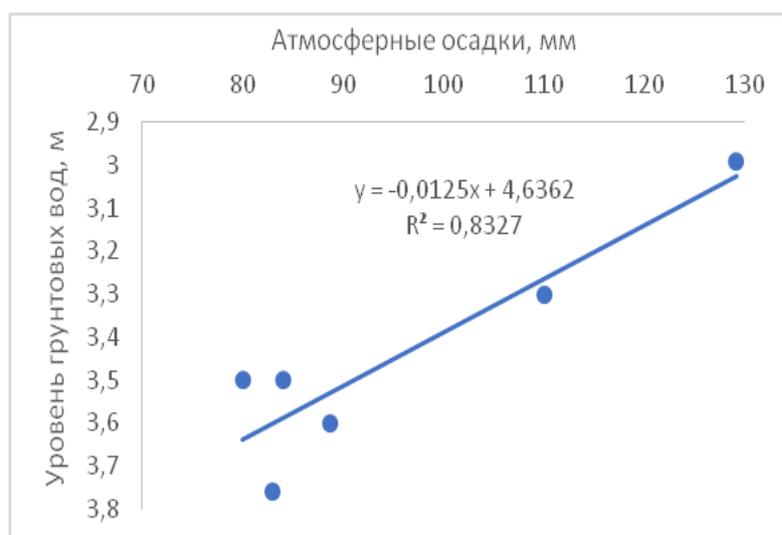
При положении грунтовых вод на глубинах, превышающих критические, установлено, что их уровень в плакорных почвах в течение периода активной вегетации зависит от суммы атмосферных осадков предыдущего холодного сезона года. Так, например, между количеством атмосферных осадков ноября – марта в течение 2009–2022 гг. и уровнем грунтовых вод в почвах плакорных местоположений в июне наблюдается пропорциональная связь с весьма высокой величиной достоверной аппроксимации (рис. 2).

В почвах отрицательных форм рельефа в течение всех лет наблюдений грунтовые воды отмечены выше критической глубины (см. рис. 1).

Таким образом, в многолетней динамике глубины залегания грунтовых вод на плакорных участках Ишим-Иртышского степного междуречья после их распашки в середине 1950-х гг. возможно выделить две стадии.

1. Стадия подъема их уровня до критических глубин и выше. Начался подъем, вероятно, в 1960-е гг. и завершился в начале 2000-х гг. Основной причиной многолетнего подъема явилась хозяйственная деятельность.

2. Стадия пребывания уровня на глубинах, превышающих критические (2000–2020-е гг.). Для этой стадии характерны межгодовые изменения глубины залегания грунтовых вод в зависимости от сумм атмосферных осадков предыдущего зимнего сезона. В течение промежутка лет с преобладанием малоснежных зимних сезонов в почвах выявлено более глубокое залегание водоносного горизонта, по сравнению с годами с многоснежными зимами (2000–2008 гг.). Вместе с тем, эти показатели еще не сравнивались с отметками уровня грунтовых вод, зафиксированными во второй половине 1980-х гг. (табл. 3).



**Рисунок 2.** Пропорциональность между суммой атмосферных осадков ноября – марта в 2009–2022 гг. и уровнем грунтовых вод в почве опорного разреза 7 в июне.

**Таблица 3**

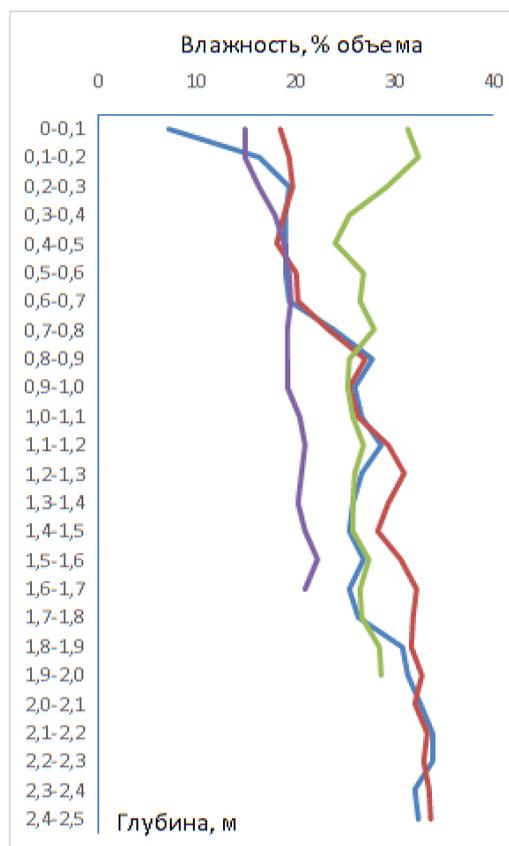
Средний уровень грунтовых вод в опорных разрезах в июне, м

Разрез	1986–1989 гг.	2000–2008 гг.	2009–2022 гг.
4	1,8	1,5	2,0
1	2,3	1,7	2,0
2	3,7	1,8	2,5
7	4,3	3,1	3,4
8	3,1	2,2	2,8
9	4,6	3,6	3,7

Подъемом грунтовых вод в течение 1960-х – 2000-х гг. предопределено качественное изменение гидрологического состояния плакорных почв. Во второй половине 1980-х гг. грунтовые воды отмечали ниже критической глубины, пахотные плакорные почвы характеризовались непромывным водным режимом. В 2000-е – 2020-е гг. водоносный горизонт оказался на глубинах, превышающих критическую, и первично-автоморфные почвы начали развиваться в условиях дополнительного грунтового увлажнения. Выявленные особенности положения грунтовых вод и связанные с ними характеристики гидрологического состояния плакорных почв отразились и на процессах зимнего перераспределения влаги.

Во второй половине 1980-х гг. в предзимнее время (вторая – третья декады октября) в плакорных почвах по посевам яровых зерновых культур слой интенсивного и полного эваподесукативного иссушения прослеживался с поверхности почв до глубины 0,8 м. Под слоем летнего иссушения отмечалось резкое увеличение влажности и на глубинах 1,0–2,0 м фиксировался горизонт наименьшего насыщения. Еще ниже обнаруживался горизонт капиллярного насыщения (капиллярная кайма грунтовых вод). Грунтовые воды в плакорных почвах по яровым зерновым осенью отмечались на глубине 4,0–4,5 м (рис. 3).

Расположение слоя криогенной аккумуляции в почвенно-грунтовых толщах и объем намерзающей в нем влаги зависят от глубины проникновения температуры 0°C. Глубина проникновения 0° в почвенно-грунтовые толщи Ишимской степи определяется температурами воздуха зимних месяцев и мощностью снежного покрова; к третьей декаде марта 1980-х гг. она составляла 1,7–2,4 м. Близость грунтовых вод и их капиллярной каймы практически не влияет на глубину проникновения 0° в почвенно-грунтовые толщи. Это связано с минимальным содержанием капиллярно-подпертой воды в горизонте капиллярного насыщения (порядка 2% объема почвы) и, следовательно, с очень небольшим различием во влагосодержании между капиллярной каймой грунтовых вод и горизонтом наименьшего насыщения. В случае охвата капиллярной каймы грунтовых вод сезонным промерзанием глубина проникновения 0° уменьшается, как правило, на 0,1 м.



**Рисунок 3.** Изменение профиля влажности в течение зимнего сезона 1988–1989 гг. Опорный разрез 7.

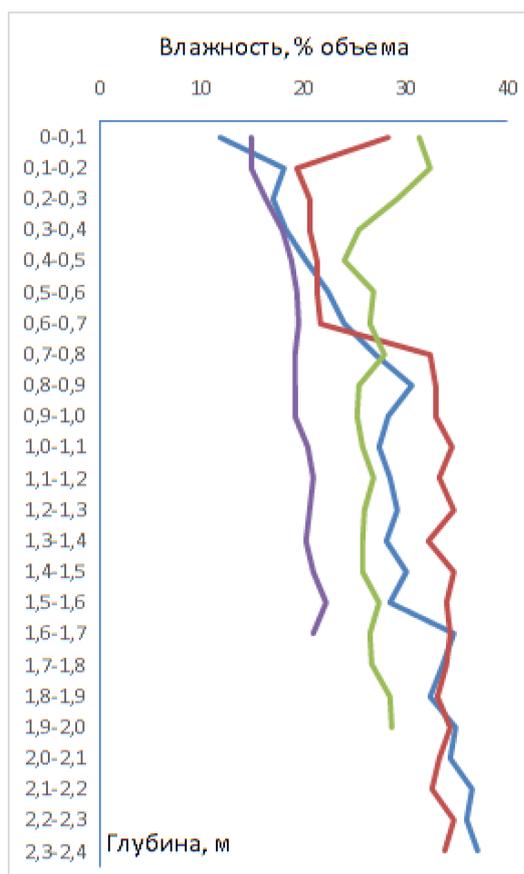
Условные обозначения:

- - влажность завядания;
  - - наименьшая влагоемкость;
  - - влажность 16.10.1988 г., уровень грунтовых вод – 4,40 м;
  - - влажность 24.03.1989 г., уровень грунтовых вод – 4,75 м;
- суммарная прибавка влаги в слое криогенной аккумуляции – 21 мм.

Во второй половине 1980-х гг. верхняя граница слоя криогенной аккумуляции влаги в профиле плакорных почв по яровым зерновым культурам отмечалась на одной и той же отметке – на глубине 0,8 м. Это связано с тем, что выше расположен слой летнего иссушения с очень низким влагосодержанием, в котором процессы зимнего перераспределения влаги полевыми методами зафиксировать сложно. Нижняя граница слоя зимнего накопления влаги зависит от глубины проникновения  $0^{\circ}$  в почвенно-грунтовую толщу – чем больше глубина, тем ниже граница. В третьей декаде марта эта граница фиксировалась на отметках 1,6–2,0 м от земной поверхности, т.е. на 0,2–0,4 м выше глубины проникновения  $0^{\circ}$ . Объем намерзания влаги в этом слое достигал 15–30 мм, влажность в итоге могла превысить уровень капиллярной влагоемкости. Объем намерзания увеличивался при возрастании вертикальной мощности слоя криогенной аккумуляции. В слой сезонной аккумуляции влага поступала из нижних, непромерзающих толщ грунта, характеризовавшихся повышенной влажностью (на уровне капиллярной влагоемкости). Однако, в связи с минимальными объемами перераспределявшейся влаги, уменьшение влагосодержания в нижних непромерзающих толщах не всегда уверенно определялось. Зато отчетливо устанавливалось снижение уровня грунтовых вод от середины октября к третьей декаде марта на 0,25–0,50 м, что при водоотдаче исследуемых почвенно-грунтовых толщ в 0,06 соответствует объему влаги, перераспределявшейся из непромерзающих толщ. Определяемое полевыми методами перераспределение влаги в пахотных почвах Ишимской степи приходилось на вторую половину зимнего сезона, когда отрицательные температуры проникали в высоко увлажненные почвенно-грунтовые толщи под слоем летнего иссушения.

По мере прогревания почв намерзавшая влага оттаивала, частично опускалась вниз под действием силы тяжести, отчасти оставалась на месте. Отметим при этом, что перераспределение оттаивавшей гравитационной влаги в микропористых почвенно-грунтовых толщах Ишимской степи – процесс продолжительный и небольшой по объему. Фильтрации этой формы почвенной влаги вниз препятствовал мерзлотный экран из не успевших оттаять слоев породы. Величину бокового оттока гравитационной влаги нужно считать близкой к нулю из-за небольшого ее объема в микропористых породах и практического отсутствия уклонов земной поверхности, за исключением склонов микро- и мезопонижений. Поскольку слой с зимним увеличением содержания влаги формировался ниже корнеобитаемого, роль намерзания в устранении послевегетационного дефицита влажности в плакорных почвах с посевами яровых зерновых являлась ничтожной. Вместе с тем, в слое зимней аккумуляции пористость аэрации могла падать до критических значений, что создавало условия для развития анаэробнозиса и современного подпочвенного гидроморфизма.

В 2000-е – 2020-е гг. на полях Ишимской степи продолжалось доминирование посевов яровых зерновых культур, поэтому в осенних профилях влажности распашанных плакорных почв сохраняются многие особенности, выявленные в 1980-е гг. Вместе с тем, в связи с положением грунтовых вод на глубинах, превышающих критические, вертикальная мощность слоя иссушения по яровым зерновым осенью характеризуется мощностью только 0,6–0,8 м. Влагосодержание в слое летнего иссушения по-прежнему колеблется вокруг уровня влажности завядания. Ниже отметок 0,6–0,8 м после небольшого переходного слоя (порядка 0,2 м) отмечается горизонт капиллярного насыщения, поскольку грунтовые воды фиксируются выше критической глубины – на отметках менее 4 м (рис. 4).



**Рисунок 4.** Изменение профиля влажности в течение зимнего сезона 2017–2018 гг. Опорный разрез 7.

Условные обозначения:

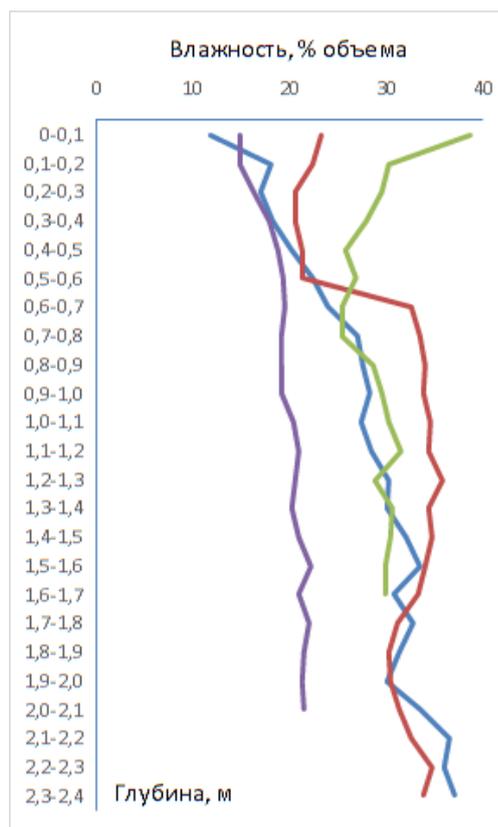
- влажность завядания;
  - наименьшая влагоемкость;
  - влажность 20.10.2017 г., уровень грунтовых вод – 2,74 м;
  - влажность 21.03.2018 г., уровень грунтовых вод – 3,55 м;
- суммарная прибавка влаги в слое криогенной аккумуляции – 39 мм.

Глубины проникновения  $0^{\circ}$  в почвенно-грунтовые толщи в 2000-х – 2020-х годах заметно не изменились по сравнению со второй половиной 1980-х гг. Это объясняется сохранением в течение периода полевых наблюдений средних температур воздуха и сумм атмосферных осадков за ноябрь – март на одном уровне (в среднем  $-12^{\circ}\text{C}$  и 115 мм соответственно). Это положение не противоречит тезису о проявлении глобального потепления в статистически достоверном повышении средних температур воздуха зимних месяцев в южных районах Западной Сибири. Эти температуры в последние десятилетия действительно оказываются более высокими по сравнению с 1961–1990 гг., которые предложены Всемирной метеорологической организацией в качестве промежутка лет для расчета климатических норм. Это прослеживается и по материалам наблюдений на метеостанции «Русская Поляна»: средняя за 1961–1990 гг. температура зимних месяцев составила  $-13,1^{\circ}\text{C}$ , за 1991–2022 гг. –  $-11,8^{\circ}\text{C}$ .

В связи с изменениями осеннего профиля влажности пахотных плакорных почв верхняя граница слоя криогенной аккумуляции влаги в течение 2000–2020-х гг. стала отмечаться выше – на глубине 0,6–0,8 м. Это обусловлено более высоким осенним положением грунтовых вод и, соответственно, повышенной влажностью второго полуметрового слоя почв. Нижняя граница слоя намерзания по-прежнему зависит от глубины проникновения  $0^{\circ}$  в почвенно-грунтовую толщу и в третьей декаде марта фиксируется на отметках 1,5–2,0 м. Объем намерзшей влаги достигает 30–50 мм, причем, до 25 мм зимней прибавки приходится на слой 0–1,0 м. В результате намерзания влажность в слое зимней аккумуляции влаги возрастает выше уровня капиллярной влагоемкости. Уменьшение влагосодержания в нижних непромерзающих слоях почвенно-грунтовой толщи полевыми методами не фиксируется. Однако четко устанавливается снижение уровня грунтовых вод от октября к марту на 0,5–1,0 м. Таким образом, затраты влаги на криогенную аккумуляцию из непромерзающей части горизонта капиллярного насыщения компенсируются поступлением влаги из грунтовых вод, вызывая соответствующее понижение их уровня.

По мере оттаивания и прогревания почв, часть намерзшей сверх уровня капиллярной влагоемкости влаги под действием силы тяжести просачивается вниз, вызывая подъем грунтовых вод. Вместе с тем, в слое криогенной аккумуляции, в том числе, и в верхнем метровом слое, в весеннее и раннелетнее время остается часть перераспределившейся зимой влаги. С позиций растениеводства ее роль можно оценить скорее негативно, чем позитивно. Намерзшая влага в нижней части второго полуметрового слоя почв способствует снижению пористости аэрации до критических значений (до 12% объема почвы и ниже), что благоприятствует развитию анаэробнозиса и проявлениям гидроморфизма; слой с намерзшей влагой представляет собой «остров холода», наличие которого задерживает весеннее прогревание почв до активных температур (на 7–10 дней). Это препятствует развитию корневой системы яровых зерновых культур во втором полуметровом слое почв.

В почвах отрицательных форм рельефа, развивающихся в течение продолжительного времени в условиях дополнительного грунтового или поверхностного увлажнения, сохраняются одни и те же особенности зимнего перераспределения влаги. Основная причина отмечаемой стабильности – положение водоносного горизонта на одних и тех же отметках в течение нескольких десятилетий. Благодаря совокупному влиянию большей, чем на соседних плакорных участках, мощности снежного покрова (что типично для микропонижений: 0,25–0,35 м на третью декаду марта против 0,15–0,28 м) и высокому положению грунтовых вод осенью (на глубине 2,0–3,0 м против 2,5–4,5 м на плакорах) глубина проникновения  $0^{\circ}$  в почвы отрицательных форм рельефа может быть меньшей, чем в плакорные почвы, на 0,1 м. Поэтому слой криогенной аккумуляции влаги в почвах отрицательных форм отмечается в третьей декаде марта в промежутке глубин от 0,4–0,8 м до 1,8 м (рис. 5). Объем намерзшей влаги составляет, как правило, 30–55 мм, но он на 5–10 мм больше, чем в соседних плакорных почвах. Весенние и раннелетние условия для появления анаэробнозиса и развития проявлений гидроморфизма в слое 0,5–1,0 м почв отрицательных форм фиксируются в течение всего периода полевых наблюдений.



**Рисунок 5.** Изменение профиля влажности в течение зимнего сезона 2017–2018 гг. Опорный разрез 1.

Условные обозначения:

- - влажность завядания;
  - - наименьшая влагоемкость;
  - - влажность 21.10.2017 г., уровень грунтовых вод – 1,95 м;
  - - влажность 21.03.2018 г., уровень грунтовых вод – 3,04 м;
- суммарная прибавка влаги в слое криогенной аккумуляции – 51 мм.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поскольку степные почвы, используемые в богарном земледелии, характеризуются недостаточными для получения постоянно высоких урожаев сельскохозяйственных культур ресурсами влаги, изыскание путей увеличения этих запасов и рационального их использования сохраняет свою значимость. В глубоко и длительно сезонно промерзающих почвах юга Западной Сибири заметным элементом их водного режима является зимнее передвижение влаги из глубоких слоев грунта в выхолаживающийся слой. Известно, что такое передвижение влаги происходит под влиянием температурного градиента и проявляется в фиксируемых полевыми методами объемах лишь при высокой исходной влажности почвенно-грунтовых толщ под слоем сезонного иссушения. Высокая влажность нижних горизонтов западносибирских степных почв и подпочвенных пород в осенне-зимний промежуток времени обусловлена близким к земной поверхности залеганием водоносного горизонта.

Ишимская степь известна многолетними изменениями уровня грунтовых вод на плакорных участках местности. В течение 1960-х – 2000-х гг. этот уровень в результате хозяйственной деятельности оказался поднят с различных глубин до отметок, превышающих критические (3,9 м). На протяжении 2000-х – 2020-х гг. уровень расположенных выше критической глубины грунтовых вод подвержен межгодовым изменениям, обусловленным суммами атмосферных осадков предыдущего холодного сезона года. Поскольку в течение 2000–2008 гг. преобладали многоснежные зимние сезоны, а в 2009–2022 гг. – малоснежные, грунтовые воды в одних и тех же опорных разрезах в течение первого отрезка времени отмечались в целом выше (на 0,1–0,7 м), чем в последовавший промежуток лет с малоснежными сезонами.

Разная глубина залегания грунтовых вод отразилась на осеннем распределении влаги по профилю плакорных почв Ишимской степи, на пространственном положении слоя криогенной аккумуляции и объеме намерзающей влаги. Выраженные различия в параметрах зимнего передвижения влаги связаны с глубиной залегания грунтовых вод осенью. При положении грунтовых вод на отметках более 4 м, слой криогенной аккумуляции расположен ниже корнеобитаемого слоя по посевам яровых зерновых (0–0,8 м); объем намерзшей в нем влаги составляет, как правило, менее 30 мм, роль этого процесса в устранении послевегетационного дефицита влаги в верхнем метровом слое почв оказывается ничтожной. Поступление влаги на намерзание из нижних слоев пород зоны аэрации компенсируется ее притоком от водоносного горизонта; уровень грунтовых вод от октября к марту понижается до 0,5 м. Если осенью грунтовые воды отмечаются на глубине менее 4 м, их капиллярная кайма присутствует в слое 0–1,0 м, слой криогенной аккумуляции фиксируется в нижней части корнеобитаемого слоя по посевам яровых зерновых (с глубины 0,4–0,8 м), суммарный объем намерзания в нем может достичь 50 мм, в том числе, 25 мм в верхнем метровом слое. Намерзание влаги может на 16% восполнить послевегетационный дефицит влаги в слое 0–1,0 м, однако при этом в слое 0,6–1,0 м снижается пористость аэрации до критических значений и задерживается на 7–10 дней прогревание второго полуметрового слоя почв до активных температур. Снижением пористости аэрации предопределяются благоприятные условия для развития гидроморфизма в нижней части профиля почв. Уровень грунтовых вод в этом случае опускается к завершению зимнего сезона на 0,5–1,0 м.

Почвы отрицательных форм рельефа характеризуются достаточно стабильным положением грунтовых вод на глубинах, превышающих критические, в течение последних четырех десятилетий, поэтому зимнее перераспределение в них влаги характеризуется одними и теми же чертами: положением верхней границы слоя намерзания в нижней части профиля почв (на глубине 0,4–0,8 м), повышенным объемом криогенной аккумуляции влаги по сравнению с соседними плакорными почвами (на 5–10 мм), созданием условий во втором полуметровом слое для развития внутрипочвенного гидроморфизма вследствие морозной аккумуляции влаги.

Ближайшими задачами в изучении зимней миграции влаги являются: уточнение преобладающего тока влаги из нижних слоев к фронту промерзания в почвах Ишимской степи (капиллярного или пленочного); составление прогноза зимнего передвижения почвенной влаги по параметрам окружающей среды (средней температуры воздуха, сумм атмосферных осадков холодного сезона года и др.); выявление особенностей зимнего термоградиентного передвижения влаги в пахотных почвах других регионов юга Западной Сибири и создание общей модели зимней миграции влаги в лесостепных и степных почвах Ишим-Иртышского и Обь-Иртышского междуречных пространств.

#### ФИНАНСОВАЯ ПОДДЕРЖКА

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-26-00104).

#### ЛИТЕРАТУРА

- Горшенин К.П. Почвы южной части Сибири. Москва: АН СССР, 1955. 590 с.
- Градобоев Н.Д., Прудникова В.М., Сметанин И.С. Почвы Омской области. Омск: Омское кн. изд-во, 1960. 374 с.
- Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Кравцов Ю.В. Черноземы Ишимской степи. Новосибирск: НГПУ, 2004. 213 с.
- Кравцов Ю.В. Подъем грунтовых вод в Ишимской степи // Сибирский экологический журнал. 2009. Том 16. № 2. С. 217–222.
- Кравцов Ю.В. Водный режим почв Ишимской степи. Новосибирск: НГПУ, 2014. 252 с.
- Кравцов Ю.В. Прогноз развития почв Ишимской степи на основе ретроспективного анализа // Пути эволюционной географии: материалы II Всероссийской научной конференции (Москва, 22–25 ноября 2021 г.). Москва: Институт географии РАН, 2021. Вып. 2. С. 519–523.
- Кравцов Ю.В. Многолетняя динамика уровня грунтовых вод в почвах Ишимской степи // Почвы и окружающая среда [Электронный ресурс]: Сборник научных трудов Всероссийской научной конференции с международным

участием, посвященной 55-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН (Новосибирск, 2–6 октября 2023 г.). Новосибирск: ИПА СО РАН, 2023. С. 454–458. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>.

Панфилов В.П. Физические свойства и водный режим почв Кулундинской степи. Новосибирск: Наука, 1973. 260 с.

Панфилов В.П., Слесарев И.В., Кудряшова С.Я., Сеньков А.А. Современное гидрологическое состояние почв и подстилающих пород // Черноземы: свойства и особенности орошения. Новосибирск: Наука, 1988. С. 47–57.

Роде А.А. Водный режим почв и его регулирование. Москва: АН СССР, 1963. 119 с.

Сеньков А.А. Водный режим гидроморфных и полугидроморфных почв Кулунды при промерзании // О почвах Сибири. Новосибирск: Наука, 1978. С. 187–191.

Сеньков А.А. Галогенез степных почв (на примере Ишимской равнины). Новосибирск: Наука, 2004. 152 с.

Танасиенко А.А. Специфика эрозии почв в Сибири. Новосибирск: СО РАН, 2003. 176 с.

Толковый словарь по почвоведению. Москва: Наука, 1975. 288 с.

Топографическая карта масштаба 1 : 1 000 000: лист I-33-48. Москва: ГУГК, 1965а.

Топографическая карта масштаба 1 : 1 000 000: лист I-33-44. Москва: ГУГК, 1965б.

Поступила в редакцию 19.02.2024

Принята 18.04.2024

Опубликована 23.04.2024

#### Сведения об авторе:

**Кравцов Юрий Васильевич** – доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры географии, регионоведения и туризма, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный педагогический университет» (г. Новосибирск, Россия); [kravtsov60@mail.ru](mailto:kravtsov60@mail.ru)

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.



Статья доступна по лицензии [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## The influence of groundwater level long-term dynamics on winter moisture redistribution in arable soils of the Ishim steppe

© 2024 Yu. V. Kravtsov

Novosibirsk State Pedagogical University, Vilyuyskaya st., 28, Novosibirsk, Russia. E-mail: [kravtsov60@mail.ru](mailto:kravtsov60@mail.ru)

**The aim of the study** was to establish the influence of long-term dynamics of the groundwater level on the winter redistribution of moisture in arable soils of the Ishim steppe.

**Location and time of the study.** The Ishim-Irtysh steppe interfluvium (Ishim steppe, Russia), 1986–1989 and 2002–2024.

**Methods.** Soil samples were collected during soil-hydrological field observations from the reference pits of arable soils. The soil and subsoil moisture content was determined by thermostat-weighing /in samples collected in the pre-winter period (the second - third decades of October) and at the end of the winter season (the third decade of March). The depth of the groundwater table was measured in the hand-drilled simultaneous with soil sampling for moisture measurement. The layer of cryogenic accumulation and the freezing moisture volume were determined by comparing moisture profiles in mid-October and in the third decade of March. Snow surveying was carried out in the third decade of March. The penetration depth of 0°C temperature was determined using exhaust thermometers.

**Results.** Within the upland areas, during the second half of the 20th century the aquifer rose from various depths to the levels above the critical level. The economic activity was the main reason for the rise. In the early decades of the 21st century, as the groundwater table was above the critical depth, the groundwater level in summer and autumn began to be predetermined by the amounts of precipitation over the previous cold season of the year. The peculiarities of the winter redistribution of moisture in arable soils were found to be largely determined by the depth of groundwater in the autumn season. If in the upland soils the groundwater table was located in autumn at a depth of more than 4 m, which was typical for the 1980s, a layer of cryogenic moisture accumulation was formed below the horizons of intense and complete desiccative drying for spring grain crops, from a depth of 0.8 m. The moisture freezing volume did not exceed 30 mm. Migrated moisture practically did not participate in replenishing the post-vegetation moisture deficit in the upper 1-meter-thick layer of soil. If the groundwater in the second and third decades of October was detected at a depth of less than 4 m, which is

typical for upland areas in the 21st century, a layer of cryogenic accumulation can be traced from a depth of 0.4–0.8 m, the volume of freezing moisture can reach 50 mm, and 25 mm in the top 1-meter layer. The frozen moisture in the top meter layer helps reducing the post-vegetation deficit, but promotes conditions for anaerobiosis in the second half-meter soil layer and acts as an “island of cold,” delaying the soil warming in spring to active temperatures.

In soils with negative relief forms, the groundwater level during the period of field survey exceeded the critical level. Therefore, specifics of winter moisture profile redistribution in were similar to the established characteristics of this phenomenon in upland soils during the current millennium.

**Conclusions.** The groundwater level in the soil and subsoils of the Ishim steppe uplands showed long-term dynamics under the influence of anthropogenic as well as natural factors over the past twenty years. The autumn depth of the groundwater table determines specifics of winter moisture redistribution in the arable soils of plakors: the higher the level, the greater the amount of moisture freezing is fixed, and the closer the cryogenic accumulation layer is located to the daytime surface.

**Keywords:** critical depth; cryogenic accumulation; root layer; soil-hydrological horizon; freezing of moisture; aeration porosity.

**How to cite:** Kravtsov Yu.V. The influence of long-term dynamics of groundwater levels on the winter redistribution of moisture in arable soils of the Ishim steppe // *The Journal of Soils and Environment*. 2024. 7(1). e250 (in Russian with English abstract). DOI: [10.31251/pos.v7i1.250](https://doi.org/10.31251/pos.v7i1.250)

#### FUNDING

The study was financially supported by the Russian Science Foundation (project No. 24-26-00104).

#### REFERENCES

- Gorshenin K.P. Soils of the southern part of Siberia. Moscow: Academy of Sciences of the USSR, 1955. 590 p. (in Russian).
- Gradoboev N.D., Prudnikova V.M., Smetanin I.S. Soils of the Omsk region. Omsk: Omsk Publishing House, 1960. 374 p. (in Russian).
- Classification and diagnostics of soils of Russian / Authors and compilers: L.L. Shishov, V.D. Tonkonogov, I.I. Lebedeva, M.I. Gerasimov. Smolensk: Oykumena Publ., 2004. 342 p. (in Russian).
- Kravtsov Yu.V. Chernozems of the Ishim steppe. Novosibirsk: NGPU, 2004. 213 p. (in Russian).
- Kravtsov Yu.V. Rise of ground water in the Ishim steppe. *Contemporary Problems of Ecology*. 2009. Vol. 2. No. 6. P. 655–659. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1995425509060265>.
- Kravtsov Yu.V. Water regime of soils of the Ishim steppe. Novosibirsk: NSPU, 2014. 252 p. (in Russian).
- Kravtsov Yu.V. Forecast of soil development in the Ishim steppe based on retrospective analysis. In book: Paths of evolutionary geography. Proceedings of the II All-Russian scientific conference (Moscow, November 22–25, 2021). Moscow: Institute of Geography RAS, 2021. Vol. 2. P. 519–523. (in Russian).
- Kravtsov Yu.V. Long-term dynamics of the groundwater level in the soils of the Ishim steppe. In book: Soils and Environment [Electronic resource]: Collection of scientific papers of the All-Russian scientific conference with international participation, dedicated to the 55th anniversary of the Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS (Novosibirsk, October 2–6, 2023). Novosibirsk: SSA SB RAS, 2023. P. 454–458. DOI: <https://doi.org/10.31251/conf1-2023>. (in Russian).
- Panfilov V.P. Physical properties and water regime of soils of the Kulunda steppe. Novosibirsk: Nauka Publ., 1973. 260 p. (in Russian).
- Panfilov V.P., Slesarev I.V., Kudryashova S.Ya., Senkov A.A. Modern hydrological state of soils and underlying rocks. In book: Chernozems: properties and features of irrigation. Novosibirsk: Nauka Publ., 1988. P. 47–57. (in Russian).
- Rode A.A. Water regime of soils and its regulation. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1963. 119 p. (in Russian).
- Senkov A.A. Water regime of hydromorphic and semi-hydromorphic soils of Kulunda during freezing. In book: On soils of Siberia. Novosibirsk: Nauka Publ., 1978. P. 187–191. (in Russian).
- Senkov A.A. Halogenesis of steppe soils (on the example of the Ishim plain). Novosibirsk: Nauka Publ., 2004. 152 p. (in Russian).
- Tanasienko A.A. Specifics of soil erosion in Siberia. Novosibirsk: SB RAS, 2003. 176 p. (in Russian).
- Explanatory dictionary of soil science. Moscow: Nauka Publ., 1975. 288 p. (in Russian).
- Topographic map of scale 1 : 1 000 000: sheet I-33-48. Moscow: GUGK, 1965a. (in Russian).

Topographic map scale 1 : 1 000 000: sheet I-33-44. Moscow: GUGK, 19656. (in Russian).

*Received 19 February 2024*

*Accepted 18 April 2024*

*Published 23 April 2024*

**About the author:**

**Yuri V. Kravtsov** – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Geography, Regional Studies and Tourism, Novosibirsk State Pedagogical University (Novosibirsk, Russia); [kravtsov60@mail.ru](mailto:kravtsov60@mail.ru)

*The author read and approved the final manuscript*



The article is available under [Creative Commons Attribution 4.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)