

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЛЬДИСТОГО ЭКРАНА В ЭРОДИРОВАННЫХ ЧЕРНОЗЕМАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2010 г. А. А. Танасиенко, А. С. Чумбаев

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630099, Новосибирск, ул. Советская, 18  
e-mail: tanas40@ngs.ru; chas30@mail.ru*

Поступила в редакцию 28.04.2008 г.

Установлено, что в предзимье верхняя часть профиля западносибирских черноземов увлажнена выше величины наименьшей влагоемкости. В течение холодного периода гидрологического года в гумусовом горизонте черноземов под влиянием отрицательных температур формируется льдистый экран, который выполняет как положительную, так и отрицательную роли. Отрицательная роль заключается в том, что мерзлотный экран непроницаем для талых вод в период снеготаяния в результате чего можно ожидать развитие эрозионных процессов. А положительная роль в том, что экран не позволяет талым водам мигрировать за пределы почвенного профиля вследствие чего в западносибирских черноземах при снеготаянии не формируется промывной тип водного режима.

### ВВЕДЕНИЕ

На пахотных землях Сибири широко распространена эрозия почв. Ее развитию способствуют, прежде всего, естественно-исторические условия территории: изрезанный холмисто-увалистый рельеф; неравномерное распределение осадков в течение года с максимумом их выпадения во второй половине лета, преимущественно в виде ливней; сильное и глубокое промерзание хорошо увлажненной с осени почвы, препятствующее инфильтрации талых вод. Следовательно, смыв твердой фазы почвы обусловлен рядом специфических особенностей, важнейшей из которых выступает климат, в частности твердые и жидкие атмосферные осадки.

Среди эрозиоведов нет единого мнения о том, какие из осадков – твердые или жидкие – являются ведущими в разрушении почвенного покрова пахотных склонов Западной Сибири. Большинство исследователей едины во мнении, что приоритет следует отдать твердым осадкам. Ведь холодный период в Западной Сибири приближается почти к полугодовому сроку, в течение которого накапливается около 1/3 годового количества осадков. Немаловажна и высокая интенсивность весенних процессов, впервые о которой упомянуто в работах Орлова [10]. Однако полностью она не расшифрована. В нашем понимании специфика сибирского снеготаяния проявляется еще с осени, когда происходит насыщение влагой гумусового горизонта черноземов до величины наименьшей влагоемкости. Зимой под влиянием отрицательных температур в хорошо увлажненном гумусовом горизонте ежегодно происходит формирование льдистого водонепроницаемого

экрана, способствующего обильному поверхностному стоку талых вод.

Цель исследований – выявить наличие льдистого экрана в западносибирских неэродированных и эродированных черноземах, образующегося в холодный период гидрологического года при различных условиях предзимья, и определить его роль в формировании гидротермического режима почв в весенний период.

Для достижения поставленной цели необходимо определить запасы общей влаги в неэродированных и эродированных черноземах Западной Сибири в предзимье после различно увлажненного теплого периода; провести наблюдение за термическим режимом данных почв, определить глубину их промерзания и зафиксировать наличие льдистого экрана как визуально, так и с помощью автономных регистраторов температуры; выявить запасы воды в снеге перед снеготаянием на почвах различной степени смытости в различные по снежности гидрологические годы; учитывая наличие или отсутствие льдистого экрана в гумусовом горизонте черноземов определить роль этого экрана в формировании водного режима черноземов плакора и склона.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследованы Предсалаирье, Новосибирское Приобье и Кузнецкая котловина, характеризующиеся существенным для условий Сибири горизонтальным и вертикальным расчленением. Предсалаирье представляет собой возвышенную холмистую равнину с абсолютными отметками высот 200–300 м, в общем наклоненную в сторону Западно-Сибирской равнины. На территории

Предсалаирья отчетливо выделяются три высоких ступени. Одна из них представлена Буготакским мелкосопочником с абсолютными отметками 260–380 м. На высокой ступени последнего водораздельные пространства занимают около 20% территории. Склоны крутизной 3°–9° сложные и довольно длинные (600–800 м). Густота горизонтального расчленения варьирует в пределах 1.0–1.2 км/км<sup>2</sup>, а вертикальное расчленение составляет 75–100 м.

Для Новосибирского Приобья характерно гораздо меньшее расчленение территории, чем в Предсалаирье. Густота овражно-балочной сети не превышает 0.5 км/км<sup>2</sup> [10]. Однако здесь на долю водораздельных пространств уже приходится до 40% территории. Приводораздельные склоны обычно выпуклые, длинные (800–1200 м), небольшой крутизны (1°–5°).

Рельеф возвышенной денудационной равнины Кузнецкой котловины сильно расчленен [11]. Горизонтальное расчленение здесь варьирует от 0.6–0.8 км/км<sup>2</sup> – на западной окраине котловины и до 1.0–2.6 км/км<sup>2</sup> – на остальной территории. Важно отметить, что кое-где в сельскохозяйственной зоне котловины горизонтальное расчленение территории достигает 3.3–3.5 км/км<sup>2</sup>. Вертикальное расчленение такое же, как и в Предсалаирье (75–100 м).

В связи с таким существенным расчленением водораздельные увалы здесь узкие и их осевые линии извилистые. Приводораздельные склоны имеют крутизну 1°–9°, а прибалочные – 10°–25° и круче. На склонах до 1° расположено только 8–25% пашни. Примерно 1/3 всей пашни расположена на склонах с уклоном 1°–3° – это по сути дела верхние части склонов. Наиболее опасны для проявления эрозии почв склоны с уклонами более 3°. Таких земель в описываемом геоморфологическом районе 30–50%, что свидетельствует о больших возможностях для проявления здесь смыва. В среднем около 10% всей пашни расположено на склонах с уклоном 6°–9° и около 5% – с уклоном более 9°.

Таким образом, холмисто-увалистый рельеф Предсалаирья, Новосибирского Приобья и Кузнецкой котловины, при достаточном количестве твердых атмосферных осадков способствует формированию поверхностного стока талых вод практически на всей площади пашни.

Вторым обязательным условием для проявления эрозионных процессов является наличие свободно стекающих по поверхности склона вод разного генезиса. Анализируя обширный материал метеорологических наблюдений, Роде [16] отмечал, что количество атмосферных осадков, выпадающих в какой-либо местности, обладает значительной изменчивостью во времени. Вопрос о многолетних колебаниях количества атмосфер-

ных осадков издавна привлекал внимание исследователей [1, 4]. Например, Воейков [4] проанализировал многолетние данные по осадкам г. Барнаул и зафиксировал наличие очень сильных многолетних колебаний количества осадков в 5- и 25-летнем циклах. Батталовым [1] обнаружено чередование маловодных лет почти на всей территории европейской части страны, а также в Западном Казахстане и Западной Сибири. Особенно маловодными были 1933–1934, 1942–1943, 1951–1952 и 1962–1963 гг. Нам же удалось зафиксировать чередование чрезвычайно многоснежных зим в 25-летнем цикле. Такие зимами были 1982–1983 и 2006–2007 гидрологические годы, когда запасы воды в снеге в 2 раза превышали норму.

Оценивая более чем 60-летний период наблюдений (по данным метеостанций) за количеством осадков гидрологического года, отметим, что особенно малоснежными в Кузнецкой котловине были 1956–1957 и 1961–1962 гг. с запасами воды в снеге соответственно 33 и 34 мм, в Приобье – 1991–1992 и 1992–1993 гг. (48 и 42 мм), в Предсалаирье – 1969–1970 гг. когда запас воды в снеге составил 62 мм. Также отмечаем, что на данной территории весьма часты очень многоснежные зимы. Максимальными запасами воды в снеге характеризуется Предсалаирье. В 1945–1946 и 1947–1948 гг. здесь выпало соответственно 247 и 189 мм. Несколько меньшее максимальное количество твердых осадков свойственно Кузнецкой котловине. Очень многоснежными зимами здесь были 1965–1966 и 1982–1983 гг. с запасами воды в снеге соответственно 190 и 171 мм. Относительно небольшими максимальными снеготпасами характеризуется Приобье – переходная зона от лесостепи к степи. Тут в 1954–1955 и 1963–1964 гг. выпало всего лишь по 137 мм твердых атмосферных осадков.

Длительный период наблюдений (более 30 лет) за процессом снеготаяния в различных регионах Западной Сибири, а также анализ данных, помещенных в Климатологическом справочнике [7], Справочнике по климату [16] и Метеорологических ежемесячниках [9], позволил установить, что здесь выпадает от 33 до 247 мм твердых атмосферных осадков. Такой широкий интервал в количестве осадков послужил основанием для выделения шести типов снежности холодного периода гидрологического года (табл. 1).

К очень малоснежным относили такие годы, в течение которых выпадало менее 75 мм твердых осадков, к малоснежным – если выпадало 76–90 мм, к нормальным – 91–105 мм, а к очень многоснежным – 121–200 мм. Если сумма осадков холодного периода превышала 201 мм, то это уже чрезвычайно многоснежный год.

**Таблица 1.** Осадки холодного (ноябрь–март) периода в различные по снежности гидрологические годы (1936–2007 гг.)

Характеристика гидрологического года	Статистические параметры осадков				
	<i>n</i>	<i>lim</i> , мм	<i>M</i> ± <i>m</i> , мм	<i>δ</i> , мм	<i>V</i> , %
Предсалаирье, ГМС Тогучин					
Очень малоснежные	11	61–72	66 ± 2	4.6	7
Малоснежные	11	81–90	85 ± 1	3.6	4
Нормальные	15	98–105	101 ± 1	3.0	3
Многоснежные	11	108–119	114 ± 1	4.6	4
Очень многоснежные	19	122–187	154 ± 5	19.6	13
Чрезвычайно многоснежные	3	201–247	219	–	–
Приобье, ГМС Ордынское					
Очень малоснежные	18	42–74	65 ± 2	5.2	5
Малоснежные	6	77–90	84 ± 3	6.2	7
Нормальные	11	91–103	97 ± 2	5.2	5
Многоснежные	11	106–120	113 ± 2	4.9	4
Очень многоснежные	6	124–159	138 ± 5	13.1	10
Кузнецкая котловина, ГМС Кемерово, агро					
Очень малоснежные	26	33–75	56 ± 3	12.9	23
Малоснежные	7	77–89	82 ± 2	4.4	5
Нормальные	3	98–104	100 ± 2	3.2	3
Многоснежные	4	108–119	115 ± 2	4.8	4
Очень многоснежные	14	121–190	138 ± 2	20.6	15

Количество жидких атмосферных осадков, выпадающих в апреле–октябре, также характеризуется большим размахом – от 160 до 566 мм. Поэтому в многолетнем цикле выпадения дождей было выделено пять типов увлажнения теплого периода года. К очень засушливым годам относили такие, в течение которых количество жидких осадков не превышало 250 мм, к засушливым – если сумма осадков варьировала в пределах 251–300 мм, к нормальным – 301–350 мм, влажным – 351–400 мм, а к очень влажным – если сумма жидких осадков превышала 400 мм.

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что очень малоснежными зимами характеризовался холодный период Кузнецкой котловины и Приобья, где встречаемость таких зим превышала 30%. Напротив, на территории Предсалаирья малоснежные зимы встречаются не чаще многоснежных. Эта же территория характеризуется значительной встречаемостью очень многоснежных зим (28%), когда в среднем выпадает 154 мм твердых осадков, что на 16 мм больше, чем в аналогичные годы в Приобье и Кузнецкой котловине. Встречаемость нормальных по снежности гидрологических лет в этих трех сравниваемых регионах примерно одинакова (21–26%). Все это свидетельствует, что в Западной Сибири самые благоприятные условия для стока талых вод складываются на территории

Предсалаирья, поскольку здесь доля нормальных, многоснежных и очень многоснежных гидрологических лет составляет около 70% против примерно 54% – в Приобье и 40% – в Кузнецкой котловине.

Натурные наблюдения за снегораспределением и запасами воды в снеге проводили путем сплошных снегомерных съемок по параллельным маршрутам, пересекающим водосбор через каждые 100 м. Высота снега определялась снегомерной рейкой через каждые 5 м, а плотность – с помощью снегомера ВС-1 – через каждые 100 м в двукратной повторности. Запас воды в снеге на водосборах определялся путем перемножения средней арифметической величины плотности снежного покрова на среднюю высоту снега на том или ином элементе водосбора.

Твердый сток определялся при помощи отбора проб талых вод, как на стоковых площадках, так и на элементарных водосборах. Забор проб проводился ежечасно в емкости по 1 л.

Температуру профиля незэродированных и эродированных черноземов наблюдали с помощью коленчатых термометров Савинова и вытяжных термометров с октября по май по следующим глубинам: 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160 см. Термометрические площадки закладывались в

**Таблица 2.** Динамика нарастания суммы отрицательных температур воздуха в различные по снежности гидрологические годы (1936–2007 гг.), °С

Характеристика гидрологического года	<i>n</i>	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
Предсалаирье. ГМС Тогучин						
Очень малоснежный	4	–198	–548	–1053	–1453	–1710
Малоснежный	10	–228	–742	–1247	–1754	–2025
Нормальный	7	–180	–661	–1166	–1648	–1930
Многоснежный	7	–273	–803	–1310	–1786	–2117
Очень многоснежный	11	–270	–735	–1290	–1735	–1987
Чрезвычайно многоснежный	2	–155	–437	–742	–1098	–1258
Приобье. ГМС Ордынское						
Очень малоснежный	4	–131	–591	–1031	–1515	–1842
Малоснежный	10	–198	–623	–1054	–1494	–1731
Нормальный	7	–270	–887	–1374	–1869	–2139
Многоснежный	7	–237	–668	–1211	–1678	–1982
Очень многоснежный	11	–165	–534	–1132	–1619	–1982
Кузнецкая котловина. ГМС Кемерово, агро						
Очень малоснежный	13	–306	–737	–1233	–1689	–1968
Малоснежный	6	–222	–724	–1201	–1643	–1967
Нормальный	3	–105	–706	–1295	–1793	–2063
Многоснежный	5	–327	–1006	–1496	–2126	–2477
Очень многоснежный	13	–255	–738	–1152	–1606	–1858

непосредственной близости со стоковыми площадками на всех ключевых точках.

Начало, скорость замерзания/оттаивания почв, а также дату полного оттаивания почвенного профиля на всех ключевых площадках фиксировали с помощью автономных регистраторов температуры DS-1921G “Thermochron”, которые устанавливались параллельно термометрам Савинова и вытяжным термометрам.

Влажность почв определяли весовым методом. Почвенные образцы отбирали буром через каждые 10 см до глубины 150 см в трехкратной повторности.

Наличие, глубина залегания и мощность льдистого экрана определялась в полевых условиях – методом визуального наблюдения и по данным термометров; в лабораторных условиях – сведения о льдистом экране уточнялись после получения данных о влажности почвы и расшифровки показаний автономных регистраторов температуры.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что на территории Западной Сибири ежегодно формируется снежный покров, величина которого сильно варьирует в различные гидрологические годы. Однако запасов воды в снеге, кроме отдельных уж

очень малоснежных зим, вполне достаточно для формирования стока талых вод.

Немаловажным фактором, определяющим глубину и продолжительность промерзания почвы, является температура воздуха в холодный период года. Судя по динамике нарастания суммы отрицательных температур в различные по снежности зимы (табл. 2), самая большая выхожденность атмосферы свойственна Кузнецкой котловине. Это может быть объяснено расположением данного геоморфологического района на востоке Западной Сибири. Напротив, Приобье, расположенное на переходе лесостепи к степи, характеризуется меньшей выхожденностью атмосферы. Однако и в Приобье сумма отрицательных температур воздуха за весь холодный период почти на 100 и 200°С оказывается большей, чем соответственно в Кузнецкой котловине и Предсалаирье. Нарастание суммы отрицательных температур в марте существенно замедляется. Если еще в феврале ежемесячно эта сумма возрастала на 400–500°С, то в марте – всего лишь на 250–350°С. Следовательно, еще и в конце холодного периода среднесуточные отрицательные температуры воздуха весьма существенны и варьируют в пределах –7°...–12°С.

Таким образом, значительные суммы отрицательных температур воздуха в холодный период

**Таблица 3.** Запасы общей влаги в предсалаирских черноземах выщелоченных в предзимье после разноувлажненного теплого периода (апрель–октябрь)

Степень смытости, угодье	Слой, см	НВ, мм	Запасы влаги после теплого периода, мм				
			очень засушливого	засушливого	нормального	влажного	очень влажного
Несмытый, целина	0–50	157	178	224	190	184	229
	0–100	293	288	358	305	322	338
	0–150	427	388	478	417	429	457
Несмытый, пашня	0–50	138	138	142	192	142	Не опр.
	0–100	295	241	250	308	272	»
	0–150	419	337	371	416	384	»
Слабосмытый, пашня	0–50	135	126	131	163	Не опр.	150
	0–100	294	201	209	235	»	272
	0–150	425	278	302	314	»	383
Сильносмытый, пашня	0–50	138	116	143	149	144	167
	0–100	264	203	265	240	381	267
	0–150	357	299	391	338	381	376

гидрологического года в трех исследованных регионах позволяют утверждать, что пахотные почвы, несмотря на существенные снегозапасы, глубоко и сильно промерзают.

Большинство эрозиоведов сходятся во мнении, что одной из причин формирования поверхностного стока талых вод на склоновых пахотных массивах служит наличие в гумусовом горизонте почв льдистого экрана [8, 19, 21, 22]. Следовательно, этот экран выполняет отрицательную роль, поскольку более 50% талых вод мигрирует по поверхности мерзлых, либо слегка оттаявших почв в гидрографическую сеть, унося с собой твердую фазу почвы и многие растворенные химические элементы. Поверхностный сток талых вод формируется потому что мерзлые почвы практически водонепроницаемы. Согласно Цитовичу [23], мерзлыми называют почвы, имеющими отрицательную или нулевую температуру, в которой хотя бы часть воды замерзла, то есть превратилась в лед. При этом одновременно со льдом может находиться некоторое количество не замерзшей воды. Как известно, в фазовых превращениях участвует не вся вода, содержащаяся в мерзлом слое, а только свободная и рыхлосвязанная, ибо прочносвязанная вода не замерзает при любом понижении температуры. Свободная и рыхлосвязанная вода, которая соответствует категориям больше наименьшей влагоемкости и интервалу влажности разрыва капилляров – наименьшей влагоемкости, может находиться в мерзлой почве как в жидком, так и мерзлом состоянии, превращаясь в лед или оттаивая в области отрицательных температур при всяком повышении температуры почвы. Свободная влага замер-

зает при 0°C, а рыхлосвязанная, удерживаемая силами поверхностного натяжения, – при более низкой температуре – минус 0.1°...–1.5°C. Поэтому в качестве рабочей гипотезы примем, что для формирования в холодный период гидрологического года льдистой прослойки в гумусовом горизонте западносибирских черноземов необходима температура ниже минус 1°C при содержании влаги в этой части профиля не ниже 20%.

Неэродированные и эродированные черноземы выщелоченные Предсалаирья характеризуются довольно большими значениями величины наименьшей влагоемкости (табл. 3), что объясняется их тяжелым гранулометрическим составом, с одной стороны, и высоким содержанием органического вещества почвы, с другой. Согласно материалам табл. 3, в слое 0–50 см запасы влаги при наименьшей влагоемкости (НВ), вне зависимости от степени эродированности, превышают 135 мм. Как будет показано ниже, запасы влаги в полуметровом слое неэродированных и эродированных почв всегда оказываются выше величины НВ, что предполагает наличие в этом слое гравитационной влаги, замерзающей уже при 0°C.

Мерзлые западносибирские черноземы характеризуются чрезвычайно низкой водопроницаемостью [2, 15]. Причин тому несколько. Еще в конце XIX в. мерзлую почву считали водопроницаемой [5]. Однако Шалабанов [24] опроверг это положение. Ныне известно, что просачивание талых вод в мерзлую почву определяется условиями внутреннего и внешнего порядка. К внутренним факторам относятся: строение и мощность пахотного слоя, структурные качества почвы, степень насыщенности пор водой в период замерзания. К

внешним условиям, обеспечивающим лучшее просачивание воды в почву, следует отнести микрорельеф поверхности поля и характер снежного покрова [3].

Исследованиями установлено, что водопроницаемость мерзлых почв в значительной степени определяется наличием в почве влаги [6, 18]. Почвы, слабо увлажненные с осени, утрачивают способность к формированию в холодное время года льдистой прослойки и в период снеготаяния поглощают значительную часть талых вод. Но хорошо увлажненные с осени почвы (до уровня наименьшей влагоемкости и более) под влиянием отрицательных температур в зимнее время формируют льдистую прослойку в гумусовом горизонте и становятся практически водонепроницаемыми. На основании полевых и лабораторных исследований Салазанов [14] пришел к выводу, что степень водопроницаемости мерзлых почв, независимо от их гранулометрического состава, тесно связана с влажностью этих почв перед промерзанием.

Многочисленными наблюдениями установлено, что суммарный расход почвенной влаги заметно снижается осенью в послепосевной период. Это связано, с одной стороны, с отсутствием такой расходной статьи водного баланса черноземов, как транспирация влаги культурными растениями, а с другой, — низкими осенними температурами воздуха. Выпадающие в сентябре—октябре 70—90 мм атмосферных осадков должны полностью сохраняться в профиле черноземов элювиальной и трансэлювиальной позиций ландшафта. Полному впитыванию выпадающих осадков способствует также и малая их интенсивность. В итоге в предзимье содержание влаги в верхней части профиля незэродированных и эродированных черноземов, исключая очень засушливый период в эродированных вариантах черноземов, всегда превышает величину НВ (табл. 3). Глубже, в слое 50—100 см, влага может находиться даже ниже уровня влажности разрыва капилляров, но в верхней части профиля черноземов — всегда выше НВ.

Следовательно, в условиях западносибирской зимы в верхней части почвенного профиля для формирования запирающего слоя, препятствующего миграции талых вод в период снеготаяния, имеются все необходимые условия.

Снежный покров представляет собой промежуточную среду, затрудняющую теплообмен между почвой и приземным слоем атмосферы и препятствующую, таким образом, понижению температуры почвы. При наличии снежного покрова необходимо учитывать его тепловое сопротивление [17]. Теплозащитная роль снега объясняется плохой его теплопроводностью, которая во много раз меньше теплопроводности почвы.

Согласно Рихтеру [12], снежная прослойка как бы разрывает теплооборот в системе почва—воздух на два независимых фрагмента: чем мощнее снежный покров, тем больше начинают отличаться друг от друга в температурном отношении воздух и почва. Тот же Г.Д. Рихтер отмечает, что с момента накопления слоя снега мощностью более 40 см тепловой режим почвы оказывается независим от температуры атмосферы. Но поскольку снежный покров в очень малоснежные и малоснежные годы в ноябре относительно небольшой и обычно формируется в конце месяца, отрицательные температуры активно проникают в глубь профиля черноземов. В это время температура 0°C в черноземах обыкновенных Приобья фиксируется на глубине 7—10 см, в черноземах выщелоченных Предсалаирья — 10—30 см (табл. 4). Глубже всего в ноябре промерзают кузнецкие черноземы выщелоченные. Нулевая изотерма в них обнаруживается на глубине 40—55 см. Такая значительная глубина промерзания обусловлена большой суммой отрицательных температур воздуха (почти 200°C) и минимальной мощностью снежного покрова (10 см). Естественно, скорость промерзания почв, равная 1.83 см/сут, максимальна не только для черноземов выщелоченных Кузнецкой котловины, но и всей Западной Сибири. В черноземах обыкновенных Приобья она в это время равна 0.23 см/сут. Минимальная глубина промерзания приобских черноземов в ноябре в очень малоснежные годы может быть объяснена относительно небольшой выхолаженностью атмосферы практически на бесснежном фоне.

Значительные снегозапасы в многоснежные и очень многоснежные гидрологические годы в ноябре даже на фоне существенных сумм отрицательных температур воздуха положительно сказываются на глубине промерзания черноземов Западной Сибири. Нулевая изотерма почвы на глубине 20—28 см в эти годы обнаруживается в Кузнецкой котловине и Предсалаирья. Черноземы обыкновенные Приобья в это время года остаются практически теплыми.

В очень малоснежные зимы в ноябре в Предсалаирья и Кузнецкой котловине в 20-сантиметровом слое почвы фиксируется температура  $-2^{\circ}\dots-4^{\circ}\text{C}$ . Даже в многоснежные и очень многоснежные гидрологические годы в этом слое устанавливается температура, равная  $-1^{\circ}\text{C}$ . Это позволяет нам утверждать, что здесь уже в ноябре складываются благоприятные условия для формирования льдистого экрана.

По мере усиления холодов, характерных для декабря, происходит дальнейшее промерзание профиля черноземов. Нулевая изотерма в почвах Предсалаирья в очень малоснежные гидрологические годы обнаруживается на глубине 80 см, в Кузнецкой котловине — на 110 см, а в Приобье —

**Таблица 4.** Среднемноголетняя глубина промерзания черноземов в различные по снежности гидрологические годы (1936–2007 гг.), см

Характеристика гидрологического года	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель
Предсалаирье. ГМС Тогучин						
Очень малоснежный, $n = 4$	33	81	129	143	150	150
Малоснежный, $n = 7$	19	76	105	125	142	150
Нормальный, $n = 7$	17	67	100	129	143	147
Многоснежный, $n = 7$	31	91	123	143	152	140
Очень многоснежный, $n = 12$	19	46	82	109	120	137
Чрезвычайно многоснежный, $n = 2$	35	70	100	130	141	117
Приобье. ГМС Ордынское						
Очень малоснежный, $n = 9$	7	35	78	100	115	137
Малоснежный, $n = 5$	10	51	74	96	115	124
Нормальный, $n = 4$	8	39	70	82	88	102
Многоснежный, $n = 5$	9	54	100	143	148	150
Очень многоснежный, $n = 3$	0	18	90	132	160	180
Кузнецкая котловина. ГМС Кемерово, агро						
Очень малоснежный, $n = 12$	55	113	151	190	219	219
Малоснежный, $n = 5$	39	57	82	80	120	88
Нормальный, $n = 3$	77	82	113	115	117	120
Многоснежный, $n = 2$	25	50	100	110	140	120
Очень многоснежный, $n = 12$	20	37	55	68	75	56

всего на 35 см. Вместе с увеличением глубины промерзания растёт и степень смерзания почвы. Так, в декабре в слое 0–20 см устанавливается температура, равная  $-6^{\circ}\text{C}$ , а на глубине 30–40 см –  $-4^{\circ}\text{C}$ . Даже в нормальные и многоснежные годы в предсалаирских и кузнецких черноземах в слое 0–40 см сохраняется температура, равная  $-2^{\circ}\text{C}$ . И такое существенное промерзания черноземов происходит на фоне 20-сантиметрового снежного покрова.

С усилением морозов в январе ( $-15 \dots -16^{\circ}\text{C}$ ) и небольшим нарастанием мощности снежного покрова (на 5–7 см) происходит дальнейшее проникновение отрицательных температур в глубь профиля черноземов. В очень малоснежные зимы в предсалаирских черноземах нулевая изотерма в январе опускается до глубины 130 см, в кузнецких – до 150 см, а в приобских – только до 80 см. В слое 0–30 см черноземов всех регионов в январе устанавливается температура, равная  $-6^{\circ}\text{C}$ . Такая температура способствует дальнейшей цементации льдом слоя почвы, содержание влаги в котором превышает величину НВ.

Максимальная глубина промерзания черноземов наблюдается в конце марта. В черноземах Кузнецкой котловины в очень малоснежные годы нулевая изотерма фиксируется на глубине 220 см, а в приобских – на 115 см. Почвы Предсалаирья

по промерзанию занимают промежуточное положение.

Важно подчеркнуть, что в слое 0–80 см в очень малоснежные годы нулевая температура сохраняется в течение 148 дней, а в малоснежные годы – только 139 дней. Следовательно, теоретически можно допустить, что в столь мощном мерзлом слое почвы должен формироваться льдистый экран. Однако для его формирования в слое 50–80 см влаги недостаточно. Следовательно, во всех без исключения черноземах во все гидрологические годы в слое 0–40 см в течение 90–105 дней сохраняется температура ниже  $-2^{\circ}\text{C}$ .

Естественно, с установлением положительной температуры воздуха в апреле верхняя часть профиля черноземов оттаивает. Однако на юго-востоке Западной Сибири нарастающие в начале снеготаяния температуры воздуха, а в последствии и температуры поверхности почвы, еще недостаточно высоки для полного и равномерного прогрева почвенного профиля. Под оттаявшим слоем сохраняется мерзлая прослойка почвы (мощностью 20–60 см) – мерзлотный экран, который препятствует миграции талых вод вглубь профиля. Поступающие с поверхности почвы талые воды, минуя оттаявший слой, задерживаются мерзлым экраном. Не имея возможности проникать вглубь, снеготалые воды сначала аккумулируются в верхнем слое черноземов, придавая ему

**Таблица 5.** Запасы влаги в профиле предсалаирских черноземов в 2006–2007 гидрологическом году, мм

Слой, см	2006 г.		2007 г.			
	11 октября	7 декабря	3 апреля	12 апреля	16 апреля	24 апреля
Чернозем выщелоченный среднетощный тучный тяжелосуглинистый, целина						
0–50	227	219	210	192	258	211
0–100	366	386	355	333	436	384
0–150	513	559	487	488	625	571
Чернозем выщелоченный среднетощный среднегумусный тяжелосуглинистый слабосмытый, пашня						
0–50	150	146	143	154	139	143
0–100	244	282	265	297	257	275
0–150	345	377	376	436	368	384
Чернозем выщелоченный маломощный малогумусный тяжелосуглинистый сильносмытый, пашня						
0–50	167	158	150	183	144	146
0–100	296	310	278	335	281	287
0–150	433	453	401	525	471	432

тиксотропное состояние, затем, под действием сил гравитации стекают вниз по склону внутрипочвенным и поверхностным стоком.

Накопленный за зиму холод приводит к промерзанию более глубоких слоев почвы. Так, в черноземах Кузнецкой котловины после очень малоснежных зим даже в июне на глубине 205 см можно обнаружить льдистую прослойку. В апреле полностью оттаивает почва здесь только в очень малоснежные годы.

В нормальные, многоснежные и очень многоснежные гидрологические годы запасы воды в снеге превышают 110 мм. Гумусовый горизонт еще с осени насыщен влагой выше величины НВ. В этом горизонте сформирован льдистый экран, не позволяющий талым водам мигрировать в глубь профиля чернозема. Не впитавшаяся талая вода скатывается по склону, формируя поверхностный сток.

Потеря талых вод посредством поверхностного стока – явление отрицательное. Ведь материалы табл. 3 свидетельствуют, что под хорошо увлажненным верхним слоем почвы сохраняется довольно сухой слой, способный аккумулировать более 100 мм талых вод. Однако впитывания этих вод не происходит из-за наличия мерзлотного экрана. В период снеготаяния не происходит смыкания переувлажненного талого слоя с существенно иссушенным слоем (60–150 см), где дефицит влаги достигает 80–120 мм. Хотя к окончанию снеготаяния почва оттаивает на 40–45 см, и содержание влаги в нем равно полной влагоемкости, талый слой почвы не способен удержать свободную влагу, и на склоновых поверхностях она боковым внутрипочвенным стоком мигрирует в понижения, выклиниваясь там. Поэтому даже после очень многоснежных зим, когда запасы во-

ды в снеге приближаются к 200 мм, что вполне достаточно для полного насыщения влагой всего почвенного профиля, весной в сибирских черноземах не формируется эпизодически промывной тип водного режима.

Однако совершенно не логично рассматривать формирование льдистого экрана в черноземах Западной Сибири с отрицательной точки зрения. Мониторинг за режимом почвенной влаги после снеготаяния на плакорных и склоновых поверхностях показал, что с периодичностью раз в 25 лет почва промерзает не глубже 20 см. С таким явлением пришлось встретиться весной 1983 и 2007 гг. В предзимье 1982 и 2006 гг. почвы оказались хорошо увлажненными (табл. 5), поскольку в октябре выпало около 100 мм осадков. Поэтому запасы общей влаги превышали величину НВ. В течение холодного периода и даже накануне снеготаяния они оставались практически неизменными.

2006–2007 гидрологический год характеризовался чрезвычайно большими запасами воды в снеге. На целинном участке они достигали почти 270 мм, а на водоразделе, где распространена неэродированная почва – 207 мм. Конечно, на довольно крутом склоне, где расположен слабосмытый чернозем, запасы воды в снеге были минимальными (168 мм). Такие громадные снеготалоходы на всех элементах катены не встречались ни разу за 39 лет наблюдений за стоком талых вод.

Снеготаяние весной 2007 г. было чрезвычайно бурным. Высокая дневная температура воздуха, наблюдавшаяся во второй день снеготаяния, тихая солнечная погода привели к тому, что интенсивность стока талых вод приближалась к 15 л/с га. Только за второй день интенсивного снеготаяния объем стока превысил 310 м<sup>3</sup>/га. Сток талых вод нарастал весьма стремительно, что не характерно



для снеготаяния даже при радиационном типе погоды. В течение третьего дня сток составил  $160 \text{ м}^3/\text{га}$ .

Поскольку в почве целинного участка не сформировался мерзлотный экран, талые воды постепенно насыщали профиль чернозема до полной влагоемкости. Спустя 2 дня после начала снеготаяния слой 0–50 см пополнился 66 мм талых вод, а к 16 апреля весь профиль чернозема аккумулировал уже 137 мм влаги. Если учесть, что снеготаяния на этом участке составляли 267 мм, то почти половина из них поглощена почвой в первые дни снеготаяния. Гравитационная влага (>НВ) в профиле чернозема целинного участка беспрепятственно мигрировала за его пределы. Это особенно хорошо заметно при сравнении запасов общей влаги спустя 8 дней после окончания снеготаяния. Хотя к 24 апреля целинная почва еще сохраняла некоторую часть гравитационной влаги, общие запасы влаги к этому сроку снизились на 52 мм и продолжали уменьшаться в течение еще некоторого времени.

Несколько иная картина с промерзанием профиля наблюдалась в черноземе выщелоченном слабосмытом. В течение холодного периода нулевая изотерма в нем достигла глубины 100 см. Только в слое 0–5 см температура почвы к февралю 2007 г. опустилась до  $-2^\circ\text{C}$ , в слое 5–30 см она равнялась  $-1.5^\circ\text{C}$ . К началу марта температура слоя 0–5 см повысилась до  $-1^\circ\text{C}$ . Если учесть, что свободная влага в почве замерзает при температуре  $-1^\circ\text{C}$ , то можно смело утверждать, что в профиле чернозема выщелоченного слабосмытого льдистый экран в этом чрезвычайно многоснежном гидрологическом году также не формировался.

Отсутствие льдистого экрана привело к тому, что талые воды частично насыщали влагой профиль слабосмытого чернозема, а частично мигрировали за пределы склона. В итоге запасы почвенной влаги в профиле этой почвы несколько отличались от запасов в целинном черноземе. В течение холодного периода слабосмытый чернозем был укрыт меньшим снежным одеялом, чем почвы целинного и водораздельного участков. В связи с более глубоким промерзанием слабозеродированной почвы влага в ее профиле оказалась практически неподвижной. Значительно меньшие снеготаяния, аккумулированные на поверхности слабосмытого чернозема (на 29 см по сравнению с целиной), неадекватно высокая сублимация со снежного покрова, скрытый прогрев почвенного профиля привели к тому, что талая вода начала постепенно проникать в глубь профиля слабосмытой почвы. В слое 0–50 см аккумуляция влаги к концу стока с этого участка (12 апреля) составила 12 мм, во втором полуметре – 21 мм, а в целом во всем профиле – 60 мм. За три дня поверхность слабосмытого чернозема освободилась

от снежного покрова. Накопившаяся в процессе снеготаяния почвенная влага, не встречая на своем пути запирающего слоя из льдистого экрана, начала беспрепятственно мигрировать за пределы почвенного профиля.

Спустя три дня после окончания стока талых вод из слоя 50–100 см слабоэродированной почвы потери влаги составили 40 мм, а из слоя 100–150 см – 68 мм. Гипотетически эти потери еще выше, поскольку нам не удалось зафиксировать поступление талых вод боковым внутрпочвенным стоком из чернозема выщелоченного неэродированного, расположенного на приводораздельном пространстве и местами еще укрытого снежным покровом. О миграции влаги боковым внутрпочвенным стоком свидетельствует некоторое увеличение (на 16 мм) запасов общей влаги в слое 50–100 см слабосмытого чернозема к 24 апреля. И это увеличение запасов общей влаги произошло спустя 8 дней на фоне очень высокого физического испарения влаги из поверхностного слоя почвы, слабо защищенного растительностью, и существенного ночного вымораживания влаги из этой же части почвенного профиля.

Небывало большая мощность снежного покрова, слабое и незначительное промерзание лишь верхнего полуметра сильносмытого чернозема, хорошее осеннее увлажнение всего профиля привели к тому, что к началу снеготаяния запасы общей влаги соответствовали величине НВ. Отсутствие льдистого экрана привело к тому, что через 3 дня после начала стока талых вод, когда верхняя часть профиля сильносмытого чернозема приобрела положительную температуру, когда к этой почве начала поступать влага не только сверху, но и боковым внутрпочвенным стоком, запасы общей влаги резко увеличились (на 125 мм во всем профиле) и стали близкими к полной влагоемкости. Свободная гравитационная влага в талом черноземе начала мигрировать за пределы почвенного профиля. Спустя 4 дня после окончания стока на этом участке из полтораметрового слоя за пределы почвенного слоя мигрировало 54 мм талых вод. Через 8 дней профиль этой почвы потерял еще 39 мм. В итоге из 125 мм талых вод, поступивших в профиль данной почвы в результате снеготаяния, за пределы профиля мигрировало 93 мм почвенной влаги.

Таким образом, в чрезвычайно многоснежном гидрологическом году, при минимальной глубине промерзания и смерзания хорошо увлажненной в предзимье неэродированной и эродированной почве, в отсутствие льдистого экрана в период снеготаяния формируется эпизодически промывной тип водного режима. Теперь становится понятным, почему в черноземах Западной Сибири в период снеготаяния при высоких снеготаяниях, достаточных для полного насыщения влагой

всего почвенного профиля, наблюдается непромывной тип водного режима. Наличие льдистого экрана, формируемого в верхней части черноземного профиля при любом типе снежности гидрологического года, препятствует миграции талых вод за пределы почвы. Становится также понятным, почему западносибирские черноземы, в отличие от европейских, характеризуются укороченным, но обогащенным гумусом, гумусово-аккумулятивным горизонтом. Ведь под влиянием промерзания, а затем оттаивания в период снеготаяния, в черноземах гумус приобретает повышенную растворимость. Содержание растворимых гуминовых и фульвокислот в замерзшей, а затем талой, почве достигает 80–90% против 60% в почве летом [20]. Миграции такого высоко растворимого гумуса в глубь черноземов ежегодно препятствует льдистый экран. Поскольку обычно к окончанию снеготаяния почва успевает оттаять максимум на 50 см, мобильность высоко растворимого гумуса ограничивается именно этой толщей.

## ВЫВОДЫ

1. Нормальные, многоснежные и очень многоснежные гидрологические годы в длинном ряду наблюдений по Западной Сибири составляют 54–67%. В такие годы в течение холодного периода выпадает от 100 до 190 мм атмосферных осадков. Учитывая, что в предзимье в любые гидрологические годы верхняя часть профиля западносибирских неэродированных и эродированных черноземов увлажнена выше уровня НВ, количества выпадающих твердых атмосферных осадков в нормальные, многоснежные и очень многоснежные гидрологические годы гипотетически вполне достаточно для формирования промывного режима в период снеготаяния. Однако наличие льдистого экрана, образуемого ежегодно в зимний период, не позволяет талым водам мигрировать в глубь профиля черноземов. Поэтому после снеготаяния здесь в черноземах всегда формируется непромывной водный режим.

2. Профиль неэродированных и эродированных черноземов Западной Сибири в любые по снежности гидрологические годы промерзает до глубины 120–150 см, а в отдельные годы и до 280 см. Поскольку в течение холодного периода температура слоя 0–40 см практически ежегодно опускается ниже  $-4^{\circ}\text{C}$ , при наличии свободной влаги здесь формируется льдистый экран, препятствующий миграции талых вод в глубь почвенного профиля. Наличие льдистого экрана в профиле черноземов выступает той единственной причиной, которая приводит к ежегодному формированию в них непромывного водного режима в период снеготаяния.

3. В течение холодного периода 2006–2007 гидрологического года выпало небывало большое

(в 2 раза выше нормы) количество твердых атмосферных осадков. Относительно теплая зима, на фоне достаточно высокого осеннего увлажнения почвы и мощного снежного покрова, положительно сказались на меньших глубине и степени промерзания почв катены. Минимальная отрицательная температура ( $-1^{\circ}\text{C}$ ) в целинной почве опустилась до глубины 20 см, в слабосмытой – до 100 см, а сильносмытой – до 50 см. Поверхность почвы была охлаждена также до  $-1^{\circ}\text{C}$ . Такое слабое промерзание почв катены было недостаточным для формирования в гумусовом горизонте черноземов льдистого экрана.

4. Отсутствие льдистого экрана в гумусовом горизонте западносибирских черноземов, фиксируемое один раз в 25 лет, приводит к тому, что талые воды, находящиеся в избытке в такие годы (в 2 раза выше нормы), беспрепятственно поступают в почвенный профиль и насыщают его до полной влагоемкости. В итоге формируется так нехарактерный для весеннего снеготаяния эпизодически промывной тип водного режима.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Батталов Ф.З.* Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. Л.: Гидрометеоздат, 1968. 183 с.
2. *Брылев В.К.* Увлажнение почвы талыми водами в Приобской лесостепи // Изв. Сиб. отд. АН СССР. 1959. № 1. С. 107–116.
3. *Буров Д.И.* Научные основы обработки почв Зауралья. Куйбышев: Куйбышев. кн. изд-во, 1970. 293 с.
4. *Воейков А.И.* Колебания климата и уровни озер Туркестана и Западной Сибири // Избр. соч. М.: Изд-во АН СССР, 1952. Т. 3. С. 387–412.
5. *Калужный И.Л., Павлова К.К.* Формирование потерь талого стока. Л.: Гидрометеоздат, 1981. 160 с.
6. *Качинский Н.А.* Замерзание, разморозание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1927. 168 с.
7. *Климатологический справочник СССР.* Л.: Гидрометеоздат, 1956. Вып. 20. Ч. II. 133 с.
8. *Комаров В.Д.* Исследование водопроницаемости мерзлой почвы // Метеорология и гидрология. 1957. № 2. С. 10–18.
9. *Метеорологический ежемесячник.* Новосибирск: Главное управление гидрометеорологической службы при совете министров СССР. Западно-Сибирское управление гидрометеорологической службы, 1966–1990. Ч. 2. Вып. 20. № 1–12.
10. *Орлов А.Д.* Водная эрозия почв Новосибирского Приобья. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1971. 175 с.
11. *Орлов А.Д., Танасиенко А.А.* Эродированные черноземы Кузнецкой котловины и пути их рационального использования // Водная эрозия почв в Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1975. С. 3–104.

12. *Рихтер Г.Д.* Использование снега и снежного покрова в целях борьбы за высокий и устойчивый урожай // Роль снежного покрова в земледелии. М.: Изд-во АН СССР, 1953. С. 6–61.
13. *Роде А.А.* Многолетняя изменчивость атмосферных осадков и элементов водного баланса почв // Вопросы водного режима почв. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. С. 3–129.
14. *Салазанов В.В.* Весенний сток рек бассейна Верхнего Днепра. Л.: Гидрометеоиздат, 1964. 142 с.
15. *Сахончик В.П., Лях А.А.* Сравнительная оценка некоторых приемов удержания талых вод в пригородной зоне Новосибирска // Земельный фонд и регулирование водного режима. Новосибирск, 1970. Т. 43. С. 259–269.
16. *Справочник по климату СССР.* Л.: Гидрометеоиздат, 1969. Вып. 20. Ч. II. 331 с.
17. *Стотланд Д.М.* Прогнозирование теплового режима и глубина промерзания почв, грунтов и торфяников // Почвоведение. 1995. № 9. С. 1101–1108.
18. *Субботин А.И.* Сток талых и дождевых вод. М.: Гидрометеоиздат, Моск. отд-е, 1966. 376 с.
19. *Сурмач Г.П.* Об условиях, определяющих поглощение почвой талых вод // Земледелие. 1955, № 1. С. 8–12.
20. *Танасиенко А.А.* Гумус выщелоченных черноземов и его изменение под воздействием смыва // Почвоведение. 1983. № 4. С. 116–125.
21. *Танасиенко А.А.* Специфика эрозии почв в Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 176 с.
22. *Харченко С.И.* Методика предвычисления весеннего стока в бассейне р. Дона // Тр. ГГИ, 1962. Вып. 82. С. 3–33.
23. *Цитович Н.А.* Некоторые общие вопросы методики исследований механических свойств мерзлых грунтов // Материалы по лабораторным исследованиям мерзлых грунтов. М.: Изд-во АН СССР, 1954. Сб. 2. С. 5–15.
24. *Шалабанов А.А.* Пропускает ли воду мерзлая почва? // Почвоведение. 1903. № 3. С. 269–274.