

Влияние режима снежного покрова на агрономические риски развития розовой снежной плесени

© 2022 г. К.А. Перевертин¹, А.И. Белолубцев², Е.А. Дронова², И.Ф. Асауляк², И.А. Кузнецов², М.А. Мазиров², Т.А. Васильев^{3*}

¹Институт проблем экологии эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия; ²Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия; ³Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия
*tarasvasiliev44@gmail.com

Impact of changes in snow cover regime on agronomic risks causing pink snow mold

K.A. Perevertin¹, A.I. Belolyubcev², E.A. Dronova², I.F. Asaulyak², I.A. Kuznetsov², M.A. Mazirov², T.A. Vasiliev^{3*}

¹A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; ²Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia; ³V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia
*tarasvasiliev44@gmail.com

Received August 24, 2021 / Revised December 9, 2021 / Accepted December 23, 2021

Keywords: *snow cover, agrometeorological hazards, snow mold.*

Summary

Traditionally, the main strategic crop for the Russian Federation is winter cereals, therefore, the snow cover regime is of great importance for their cultivation. In the second decade of April 2021, after the snow cover disappeared on the experimental fields of Russian State Agrarian University, severe damage and partial death of winter triticale from the disease pink snow mold was noted. Measurements of the parameters of the snow cover in the period 2001–2021 showed that in the winter and spring of 2021 on the territory of Moscow the characteristics of the snow cover regime were close to agrometeorological Hazardous Phenomena standards on the territory of the Russian Federation. The risk of developing pink snow mold is directly related to the snow cover regime. Analysis of the dynamics of the characteristics of the snow cover according to the data of the Meteorological Observatory V.A. Michelson for 30 years has made it possible to propose a simple quantitative assessment of the risk of damping of winter crops. Over the past 20 years, the necessary conditions for the development of snow mold in winter cereals took place in 2010/11, 2012/13, 2017/18 and 2020/21. Analysis of the data on the early establishment of snow cover over the past 30 years shows that this factor is gradually losing its relevance due to the pronounced trend of its retardation. There is a noticeable tendency for an increase in the frequency of extremely late periods of formation of stable snow cover up to the second – third decade of January. During the study period, this phenomenon was observed in 2006 (January 20), 2013 (January 12) and 2019 (January 23). The proposed empirical function of the probability of snow cover formation, depending on the calendar date, can be recommended for assessing risks when making agronomic decisions (timing of sowing winter cereals and harvesting other crops). Freezing of crops has not been observed over the past 30 years.

Citation: Perevertin K.A., Belolyubcev A.I., Dronova E.A., Asaulyak I.F., Kuznetsov I.A., Mazirov M.A., Vasiliev T.A. Impact of changes in snow cover regime on agronomic risks causing pink snow mold. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2022, 62 (1): 75–80. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673422010117.

Поступила 24 августа 2021 г. / После доработки 9 декабря 2021 г. / Принята к печати 23 декабря 2021 г.

Ключевые слова: *снежный покров, агрометеорологические опасные явления, розовая снежная плесень.*

Рассмотрены связанные с режимом снежного покрова риски для озимых зерновых культур. К наиболее опасным относится риск развития розовой снежной плесени. Предлагаемая эмпирическая функция вероятности становления снежного покрова в зависимости от календарной даты может быть использована при принятии агрономических решений – сроков сева озимых зерновых и уборки других культур.

Введение

Климатические изменения, наблюдаемые в последние десятилетия, — объективно доказанный процесс, причём наиболее чувствительно к ним сельское хозяйство, особенно земледелие, сильно зависящее от атмосферных осадков, включая выпадение снега. Теплопроводность

снега крайне мала, что вызывает значительное ослабление теплообмена между почвой и атмосферой. Однако снежный покров предохраняет почву от глубокого промерзания и резких колебаний температуры. Особенно важно защитное действие снега для озимых зерновых, многолетних трав, плодовых и ягодных культур. Вместе с тем с режимом снежного покрова



Рис. 1. Общий (а) и крупный (б) план поражения озимого тритикале снежной плесенью после схода снежного покрова в первой декаде апреля 2001 г. на полевой опытной станции Аграрного университета им. К.А. Тимирязева в Москве. Фото А.И. Белолубцева

Fig. 1. General (a) and close-up (b) view of the defeat of winter triticale by snow mold after the snow cover melted in the first ten days of April 2001 at the field agraric station of Agrarian University in Moscow. Photo by A.I. Belolyubtsev

связаны и значительные риски для земледелия. В настоящее время на территории Российской Федерации действует руководящий документ — РД 52.04.563—2013 «Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями» [1], принятый вместо ранее действовавшего РД 52.04.563—2002 «Инструкция. Критерии опасных гидрометеорологических явлений».

Выделяют три связанных с режимом снежного покрова опасных агрометеорологических явлений: 1) появление или установление снежного покрова (в том числе временного) любой величины раньше средних многолетних сроков на 10 дней и более; 2) минимальная температура воздуха ниже $-25,0^{\circ}\text{C}$ при отсутствии снежного покрова или ниже $-30,0^{\circ}\text{C}$ при толщине снежного покрова менее 5 см; 3) толщина снежного покрова 30 см и более при слабпромёрзшей (до глубины менее 30 см) или талой почве в течение более шести декад; при этом минимальная температура почвы на глубине узла кущения удерживается от $-1,0^{\circ}\text{C}$ и выше, что приводит к выпреванию озимых.

Отметим, что такое опасное явление, как вымерзание озимых, для Московской области за анализируемый 30-летний период не наблюдалось. Раннее установление снежного покрова также не относится к критическим факторам, особенно в последние десятилетия, однако анализ динамики установления устойчивого снеж-

ного покрова по годам в условиях наблюдаемых климатических изменений актуален. Определение трендов изменения сроков установления постоянного снежного покрова в Москве и Московской области важно как для изучения глобальных климатических изменений, так и в прикладном значении — для оценки рисков при принятии агрономических решений о сроках сева озимых зерновых и уборки других сельскохозяйственных культур.

Особую опасность представляет собой полностью зависящий от режима снежного покрова риск выпревания озимых с развитием заболевания снежная плесень (Snow mold). Снежные плесени — это набор болезней, вызванных жизнедеятельностью низкотемпературных грибов и различными грибовидными организмами. В настоящее время наиболее распространена так называемая розовая снежная плесень, которая поражает все озимые зерновые культуры. Возбудитель розовой снежной плесени — гриб *Monographella nivalis*, который распространён во всех регионах зерносеяния. В России этот патоген установлен во всех зонах возделывания озимых зерновых. Весной 2021 г. им была поражена озимая культура тритикале на опытных полях Тимирязевской академии (РГАУ—МСХА им. К.А. Тимирязева). На рис. 1 представлены фотографии полей сразу после схода снежного покрова.

На значительной части страны сохраняется тенденция уменьшения продолжительности

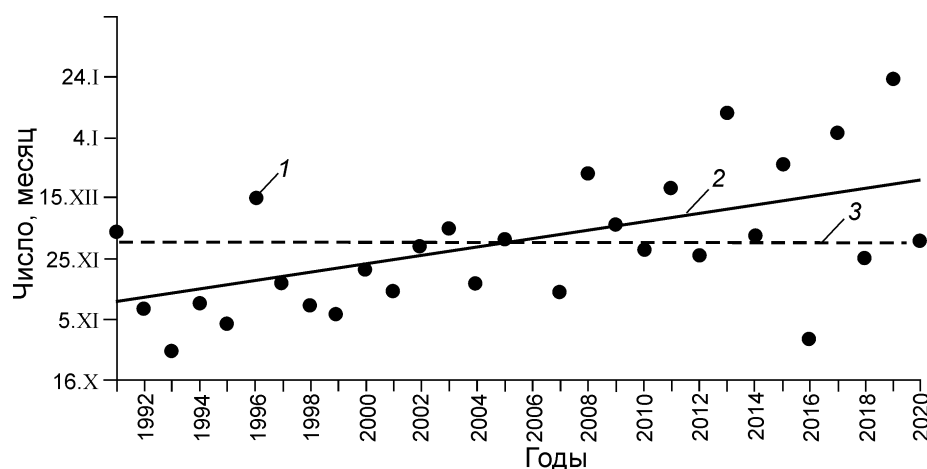


Рис. 2. Дата установления устойчивого снежного покрова за последние 30 лет по данным Метеорологической обсерватории им. В.А. Михельсона:

1 – дата установления устойчивого снежного покрова; 2 – тренд запаздывания устойчивого снежного покрова; аппроксимация линейной функцией $Y \sim kX$, где $k = 1,39 (\pm 0,44)$, $R = 0,52$; 3 – средний срок установления устойчивого снежного покрова

Fig. 2. The stable snow cover formation date over the past 30 years according to the Meteorological Observatory V.A. Michelson:

1 – date of stable snow cover formation; 2 – trend of stable snow cover lag with linear approximation: $Y \sim kX$, where $k = 1,39 (\pm 0,44)$, $R = 0,52$; 3 – average time of stable snow cover formation

залегания снежного покрова [2], что подтверждают и результаты рассмотренных в статье наблюдений. В Северном полушарии по данным работы [3] установление снежного покрова смещается на $1,3 \pm 4,9$ дня за десятилетие вперед, а дата схода снежного покрова – на $2,6 \pm 5,6$ дня назад. Определение тенденций динамики снежного покрова и оценка рисков для земледелия – важные задачи, имеющие стратегическое значение. Цель работы – количественная оценка погодных рисков для озимых зерновых, связанных с режимом снежного покрова.

Данные и методы

Инструментальное измерение характеристик режима снежного покрова на опытных полях РГАУ (МСХА) им. К.А. Тимирязева проводилось на протяжении 30 лет с 1991 по 2021 г. подекадно сотрудниками Метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона и кафедры метеорологии и климатологии. Для каждого года учитывалась дата образования устойчивого снежного покрова. Согласно действующему Наставлению [4], устойчивым считается снежный покров, который лежит непрерывно в течение всей зимы или не менее месяца с перерывами

не более трёх дней подряд. Для каждой декады с момента установления устойчивого снежного покрова учитывались средняя толщина снежного покрова $H_{\text{сп}}$, см, и температура почвы на глубине узла кушения озимых зерновых $T_{\text{куш}}$, °С.

Тенденции смещения сроков установления устойчивого снежного покрова. На рис. 2 приведены данные по срокам установления снежного покрова на опытных полях за 30 лет – с 1991 по 2021 г. Средняя дата практически совпадает с началом календарной зимы – 1 декабря. Достаточно хорошо выражен линейный тренд увеличения запаздывания установления устойчивого снежного покрова. Приведём уравнение регрессии со статистически значимым углом наклона (p -критерий составляет 0,0036): $Y \sim kX$, где $k = 1,39 (\pm 0,44)$, $R = 0,52$. Коэффициент детерминации $R^2 = 0,26$ показывает, что 26% (более четверти) вариальности срока установления устойчивого снежного покрова объясняется именно течением времени по годам, т.е. тенденция к более позднему установлению снежного покрова – объективный прогрессирующий процесс.

Заметна тенденция учащения экстремально поздних сроков образования устойчивого снежного покрова – вплоть до второй, третьей декады января. За исследуемый период это явление было в 2006 (20 января), 2013 (12 января) и 2019

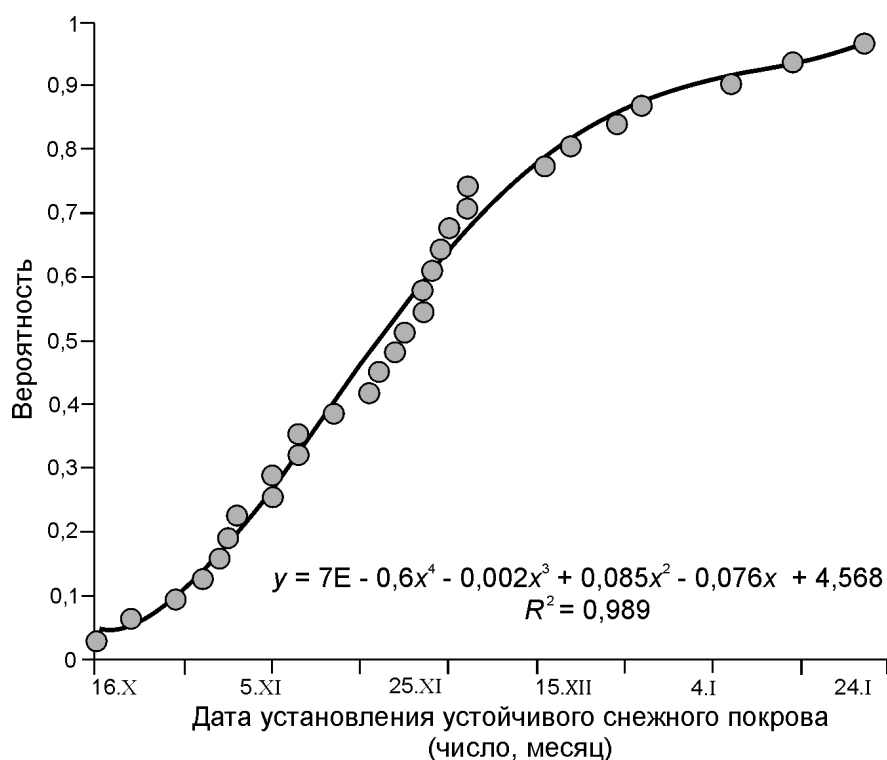


Рис. 3. Эмпирическая кривая вероятности даты установления устойчивого снежного покрова для Москвы и Московской области для периода наблюдений с 1991 по 2021 г.

Fig. 3. Empirical curve of the probability for the stable snow cover formation date observed in Moscow and the Moscow region in the period of 1991–2021

(23 января) годах. На рис. 3 приведена эмпирическая функция для данных рис. 2 вероятности установления снежного покрова в зависимости от календарной даты. Она может использоваться для оценки рисков при принятии агрономических решений, например, при планировании сроков сева озимых зерновых или уборки сахарной свёклы.

Оценка рисков поражения озимых снежной плесенью в зависимости от режима снежного покрова. Несмотря на наблюдаемые тенденции сокращения времени между становлением и сходом снежного покрова [3], по-прежнему актуальна проблема выпревания озимых зерновых культур в результате развития снежной плесени [5]. Выделение типов зим [6] в связи с прогрессирующей неустойчивостью климата теряет актуальность. В отдельные периоды зима может быть и морозной, и мягкой, и снежной. За последние 20 лет необходимые условия для развития снежной плесени озимых зерновых (полностью соответствующие третьему критерию Руководящего документа) были в 2010/11, 2012/13, 2017/18 гг. Для этих зим данные при-

ведены в таблице. Однако ни в одну из этих трёх зим выпревание озимых не отмечалось. Зато зима 2020/21 г. формально не вполне удовлетворяет условиям — в третью декаду января и первую декаду февраля средняя толщина снежного покрова была хоть и немного, но ниже 30 см (см. таблицу), однако выпревание произошло (см. рис. 1). Никакого противоречия здесь нет, так как выполнение условий предполагает не неизбежность, а высокую вероятность события.

Учитывая, что скорость развития микробиоты положительно связана с температурой, а недостаточность поступления кислорода и длительность схождения снега — с толщиной снежного покрова, предлагается следующая простая оценка риска развития снежной плесени r с использованием результатов подекадных инструментальных наблюдений. Оценка составлена на основе среднего произведения температуры узла кушения на толщину снежного покрова и длительность опасного явления (число декад, начиная с шестой). Если толщина снежного покрова не ниже 30 см держится не менее шести декад и температура почвы

Толщина устойчивого снежного покрова (числитель) и температура почвы на глубине узла кушения для четырёх зим по декадам (знаменатель)*

Месяц	Декада	2010/11 г.	2012/13 г.	2017/18 г.	2020/21 г.
Ноябрь	II	—	—	2/1,5	—
	III	1/0,3	8/—	1/—0,7	4/0,5
Декабрь	I	3/—4,1	14/—	7/—0,1	3/—2,6
	II	8/—1,5	13/0,4	3/0,5	8/—2,4
	III	18/—0,6	13/—0,3	4/0,3	12/—1
Январь	I	32/—0,4	21/0,0	2/0,3	19/—0,4
	II	30/—0,3	28/0,1	7/—0,5	32/—0,8
	III	39/—0,2	45/0,2	19/—0,2	(27)/—0,2
Февраль	I	41/—0,1	48/0,2	45/0,0	(28)/—0,2
	II	50/—0,2	38/0,3	44/—0,1	48/—0,3
	III	47/—0,1	36/0,4	42/—0,1	48/—0,2
Март	I	45/—0,1	40/0,3	45/0,0	36/—0,2
	II	37/—0,1	48/0,3	43/—0,1	35/—0,3
	III	23/—0,1	58/0,3	37/0,0	22/—0,1
Апрель	I	9/0,0	41/0,2	14/0,8	2/2,0
	II	—	17/—	—	—
Уровень риска <i>r</i>		99	251	117	70

*Жирным шрифтом выделены периоды, когда для шести и более декад подряд выполнялись все критерии условия развития снежной плесени озимых зерновых. Прочерки в таблице означают отсутствие снежного покрова.

на глубине узла кушения не ниже -1°C , то оценка риска имеет следующий вид:

$$r = (N - 5) / N \sum_{H_i > 30} H_i (T_i + 1),$$

где N — число декад, в которых выполнялись условия; H_i — толщина устойчивого снежного покрова, см; T_i — температура почвы на глубине узла кушения, $^{\circ}\text{C}$; i — декада наблюдаемого явления.

По предлагаемой оценке, риск равен нулю при длительности менее шести декад или при температурах ниже -1°C . Значения оценённого риска r приведены в нижней строке таблицы. Наибольший риск развития снежной плесени имел место зимой 2012/13 г. ($r = 251$). Доминирующий метод предупреждения выпревания — химический, т.е. внесение фунгицидов осенью при посеве озимых зерновых. Однако дефицит ресурсов и предположение, что зима будет малоснежной, провоцируют отход от технологических регламентов при принятии агрономического решения. В этой ситуации рассчитанная высокая оценка риска может служить основанием для считающегося устаревшим агротехнического приёма — ускорение весеннего снеготаяния путём снижения альбедо снежного покрова. Известны рекомендации по снижению альбедо на полях, особенно в низинах, для ускоре-

ния таяния путём разбрасывания торфяной крошки, золы или порошка графита [7, 8].

Выводы

1. Среди трёх агрометеорологических опасных явлений, связанных с режимом снежного покрова, регламентированных действующим на территории Российской Федерации Руководящим документом РД 52.04.563—2013 [2] для Москвы и Московской области, наибольшую опасность представляет собой выпревание озимых зерновых (снежная плесень). Вымерзание посевов за последние 30 лет не наблюдалось. Риск раннего установления снежного покрова постепенно теряет актуальность в связи с выраженным трендом его запаздывания.

2. Предложенная модель оценки риска развития снежной плесени на основе подекадных метеорологических инструментальных учётов показала, что за последние 20 лет в Москве четыре зимы — 2010/21, 2012/13, 2017/18, 2020/21 — имели благоприятные условия для её развития.

3. Анализ сроков установления устойчивого снежного покрова за последние 30 лет с 1991 по

2021 г. показал, что в Московской области достаточно выражен линейный тренд увеличения запаздывания становления устойчивого снежного покрова.

4. Предлагаемая эмпирическая функция вероятности становления снежного покрова в зависимости от календарной даты может быть использована для оценки рисков при принятии агрономических решений (сроков сева озимых зерновых и уборки других культур) в условиях Московской области.

Благодарности. Исследование выполнено при финансовой поддержке Российской Федерации (со-

глашение с Минобрнауки России № 075-15-2020-805) «Актуальные научные задачи стратегии адаптации потенциала землепользования России в современных условиях беспрецедентных вызовов (экономический кризис, изменения климата, кризис глобальных тенденций природопользования)».

Acknowledgments. The study was carried out with the financial support of the Russian Federation (agreement with the Ministry of Education and Science of Russia № 075-15-2020-805) «Actual scientific tasks of the strategy of adapting the potential of land use in Russia in modern conditions of unprecedented challenges (economic crisis, climate change, crisis of global trends in nature management)».

Литература

References

1. Руководящий документ РД 52.04.563—2013. Инструкция по подготовке и передаче штормовых сообщений наблюдательными подразделениями. СПб.: Главная геофизич. обсерватория, 2013. 53 с.
2. Титкова Т.Б., Виноградова В.В. Сроки залегания снежного покрова на территории России в начале XXI в. по спутниковым данным // Лёд и Снег. 2017. Т. 57. № 1. С. 25—33.
3. Peng S., Piao S., Ciais P., Friedlingstein P., Zhou L., Wang T. Change in snow phenology and its potential feedback to temperature in the Northern Hemisphere over the last three decades // Journ. of Environmental Research Letters. 2013. V. 8. № 1. P. 1—10.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Метеорологические наблюдения на станциях. Вып. 3. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 92 с.
5. Овсянкина А.В. Исходный материал в селекции озимой ржи к снежной плесени // Плодоводство и ягодоводство России. 2012. Т. 34. № 2. С. 78—81.
6. Галахов Н.Н. Выделение типов зим по высоте и динамике снежного покрова на большей части территории СССР // Роль снежного покрова в природных процессах. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С. 11—26.
7. Bruehl G.W., Sprague R., Fisher W.R., Nagamitsu M. Snow molds of winter wheat in Washington // Washington Agric. Exper. Stn. Bull. 1966. V. 677. P. 1—21.
8. Bruehl G.W., Cunfer B.M. Physiologic and Environmental Factors that affect the Severity of Snow Mold of Wheat // Phytopathology. 1971. V. 61. P. 792—798.
1. *Rukovodjashhij dokument RD 52.04.563—2013. Instrukcija po podgotovke i peredache shtormovyh soobshhenij nabljudatel'nyh podrazdelenijami.* Guidance document. GD 52.04.563—2013. Instructions for the preparation and transmission of storm messages by observation units. St. Petersburg: Main Geophysical Observatory, 2013: 53 p. [In Russian].
2. *Titkova T.B., Vinogradova V.V.* The timing of the snow cover on the territory of Russia at the beginning of the XXI century. by satellite data. *Led i Sneg.* Ice and Snow. 2017, 57 (1): 25—33. [In Russian].
3. *Peng S., Piao S., Ciais P., Friedlingstein P., Zhou L., Wang T.* Change in snow phenology and its potential feedback to temperature in the Northern Hemisphere over the last three decades. *Journ. of Environmental Research Letters.* 2013, 8 (1): 1—10.
4. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stancijam i postam. Meteorologicheskie nabljudenija na stancijah.* Manual for hydrometeorological stations and posts. Meteorological observations at stations: V. 3. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1985: 92 p. [In Russian].
5. *Ovsjankina A.V.* Source material for breeding winter rye to snow mold. *Plodovodstvo i Jagodovodstvo Rossii.* Fruit and berry growing in Russia. 2012, 34 (2): 78—81. [In Russian].
6. *Galahov N.N.* Identification of winter types according to the height and dynamics of snow cover in most of the territory of the USSR. *Rol' snezhnogo pokrova v prirodnyh processah.* The role of snow cover in natural processes. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1961: 11—26. [In Russian].
7. *Bruehl G.W., Sprague R., Fisher W.R., Nagamitsu M.* Snow molds of winter wheat in Washington. *Washington Agric. Exper. Stn. Bull.* 1966, 677: 1—21.
8. *Bruehl G.W., Cunfer B.M.* Physiologic and Environmental Factors that affect the Severity of Snow Mold of Wheat. *Phytopathology.* 1971, 61: 792—798.