

## ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР В ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЕ ЮГА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

*В статье сообщается о современном экологическом состоянии почвенного покрова в лесостепной зоне на юге Красноярского края, о распределении тепла и влаги и варьировании урожайности за многолетний период.*

**Ключевые слова:** почва, профиль, горизонт, слой, гумус, кислотность, фосфор, калий, азот, температура, осадки, урожайность, гидротермический коэффициент, индекс сухости.

N.A. Yegunova, E.A. Zagorodnyaya, R.G. Potylitsyn

## SOIL - CLIMATE INDICES AND GRAIN CULTURE PRODUCTIVITY IN THE FOREST-STEPPE ZONE OF THE KRASNOYARSK TERRITORY SOUTH

*The article reports on the current environmental condition of the soil cover in the forest-steppe zone of the Krasnoyarsk Territory south; on the distribution of heat and moisture and yield variation for the long-term period.*

**Key words:** soil, profile, horizon, layer, humus, acidity, phosphorus, potassium, nitrogen, temperature, precipitation, crop yield, hydrothermal coefficient, dryness index.

**Введение.** Урожайность сельскохозяйственных культур как рекультивирующий показатель земледелия и растениеводства представляет большой интерес для исследований агроклиматического потенциала конкретных территорий. По мнению ряда авторов, агроэкологические условия вегетации сельскохозяйственных культур в Сибири характеризуются чрезвычайным разнообразием. Здесь наблюдается сильно выраженная контрастность температурно-влажностных режимов как в зональном аспекте, так и в межгодовых циклах, что является следствием внутриконтинентального расположения региона. Всё это обуславливает высокую пространственно-временную вариабельность урожайности зерновых культур [11].

**Цель исследования.** Работа выполнена в целях установления влияния почвенно-климатических факторов на урожайность зерновых культур за период 1990–2012 гг.

### **Задачи исследования:**

- установить современное экологическое состояние почв;
- изучить распределение тепла и влаги на почвенном покрове;
- выявить динамику урожайности зерновых культур за период 1990–2012 гг.;
- рассмотреть зависимость урожайности зерновых культур от климатических факторов.

**Объекты и методы исследования.** Административно изученная нами территория расположена в границах земель ООО «Знаменское» Минусинского района. Среди сельскохозяйственных угодий преобладает пашня. Хозяйство специализируется на выращивании зерновых культур: пшеницы, ячменя и овса. Почвенный покров исследуемой площади слагают чернозёмы выщелоченные, чернозёмы обыкновенные и их полугидромофные аналоги – лугово-чернозёмные почвы. Согласно «Классификации и диагностике почв России» (2004), чернозёмы выражаются типами глинисто-иллювиальных и криогенно-мицелярных почв. Лугово-чернозёмные почвы именуются как чернозёмы гидрометаморфизированные. Для изучения почвенного покрова использовали профильный метод. В отобранных образцах почвы определены главные агрономические показатели почвенного плодородия. Данные по урожайности зерновых культур обработаны по программе Statistika 5.0 for Windows Microsoft Excel. Для оценки увлажнения почвы в вегетационный период использовали гидротермический коэффициент (ГТК), предложенный Г.Т. Селяниновым [12]. Вместе с тем, по мнению ряда авторов, важна особенность режима выпадения осадков в период сева и в первой фазе развития растений (май – июль). Соотношение тепла и влаги в первые три месяца вегетационного периода рассчитывали по М.И. Будыко в форме индекса сухости (ИС) [7]. Зависимость урожайности зерновых культур от величины ГТК и ИС определялась методом корреляционного анализа [1].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Изученные типы почв вошли в отдел аккумулятивно-гумусовых и рассматриваются как агроестественные [4]. На поверхности распаханых территорий визуально заметны процессы деградации, вызванные ветровой и водной эрозией. Негативные явления на почвенном покрове отмечены также и в материалах почвенной съёмки, выполненной в 1979 году институтом «Вос-тсибгипрозем» [10]. В силу сложившейся ситуации вариабельность основных свойств почвы увеличивается.

В нашем исследовании отбор почвенных проб в разрезах произведён послойно через десять сантиметров. Кроме основных разрезов, в пределах отдельного таксономического уровня почвы произведена выборка образцов почвы на десяти пробных площадках до глубины иллювиального горизонта. Данные анализов почвенных проб обработаны методами вариационной статистики и приведены в таблице. Основная статистическая характеристика каждого показателя – среднее арифметическое. По мнению И.В. Михеевой, характеристика среднего значения воспроизводит менее половины информации о статистических свойствах в совокупности [9]. Для полной оценки варьирования использованы дисперсия, ошибка средней, минимальное и максимальное значение, стандартное отклонение и коэффициент вариации.

Агрочернозёмы глинисто-иллювиальные занимают покатые южные и юго-восточные склоны плоских вершин и слабонаклонные водораздельные пространства с бугристым микрорельефом. В профиле почвы выделяются следующие горизонты: PU–AU–BII–BI2–Cca. Трансформируемый в PU тёмногумусовый горизонт мощностью 50-55 см имеет рыхлое сложение (0,99), комковато-пылеватую структуру, большое количество корневых и пожнивных остатков. Распылённая масса утрачивает внутриагрегатные поры, что способствует быстрой потере почвенной воды, изменению биологической активности и выдуванию мелкозёма при дефляции. На поверхности почвы визуально просматриваются вымочки и промоины. Промоины до 25 см, расстояние между ними более 25 м. Среди разновидностей гранулометрического состава преобладают тяжёло- и чаще всего среднесуглинистые разновидности почв. Содержание гумуса высокое и составляет 6,49 % [3]. Необходимо заметить, что данный показатель является наиболее варьирующим в сравнении с другими свойствами. Минимальное значение гумуса равно 5,02 %, максимальное обозначилось показанием 7,14 %. Реакция почвенного раствора слабокислая. Ёмкость катионного обмена (ЕКО) достигает 40,8 мг/100г почвы. При оценке величины ЕКО следует отметить высокую устойчивость почвы к антропогенному воздействию [4]. Максимальное количество нитратного азота не превышает 1,9 мг/кг почвы. Так же, как и гумус, азот характеризуется наиболее высоким коэффициентом изменчивости ( $V=21\%$ ). Обеспеченность подвижными элементами фосфора достигает 345 мг/кг почвы, калия – 79 мг/кг почвы. Вариабельность их в пространстве невысокая.

#### Статистические характеристики показателей основных свойств почв в гумусово-аккумулятивном горизонте почвы

Статисти- ческие характе- ристики	Гумус,%	рН водный	ЕКО, мг-экв/ 100г почвы	N – NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
				мг/кг		
Агрочернозёмы глинисто-иллювиальные						
X <sub>ср</sub>	6,49	6,7	40,8	1,6	345	79
S <sub>x</sub>	0,48	0,03	3,4	0,22	27	1,4
σ <sup>2</sup>	2,14	0,008	11,3	0,12	316	53,4
S	1,46	0,09	3,4	0,34	17,8	7,3
Min - max	5,02–7,14	6,5–7,0	36,7–44,1	1,4–1,9	253–380	36,5–120
V, %	22	1	8	21	5	9
Агрочернозёмы криогенно-мицелярные						
X <sub>ср</sub>	4,17	7,2	30,7	1,4	504	176
S <sub>x</sub>	0,07	0,03	2,9	0,18	45	17
σ <sup>2</sup>	0,05	0,08	9,64	0,7	98	4202
S	0,22	0,28	3,1	0,84	111	65
Min - max	3,86–4,33	6,9–7,4	24,4 – 32,6	1,2–1,6	437–561	106–199
V, %	5	4	10	60	22	37
Агрочернозёмы гидрометаморфизированные						
X	7,4	6,1	42,1	2,3	112	42,6
S <sub>x</sub>	0,53	0,05	4,3	0,34	13	5,24
σ <sup>2</sup>	2,19	0,06	14,5	0,3	2,25	3,02
S	1,48	0,25	3,81	0,55	15	1,74
Min - max	6,7–7,6	5,7–6,6	34,4–46,9	1,4–2,8	103–134	26,4–58,9
V, %	20	4	9	24	13	4

Территория распространения чернозёмов криогенно-мицелярных приурочена к участкам земель в переходной зоне от лесостепи к степи. По условиям рельефа почвы сформированы на относительно ровных предгорных понижениях [2]. Профиль чернозёма криогенно-мицелярного подразделяется на горизонты: PU–AU–BC<sub>амс</sub>–BC<sub>а</sub>–C<sub>са</sub>. Почвообразующими породами служат лёссовидные жёлто-бурые суглинки элювиально-делювиального происхождения. Мощность гумусового слоя не более 45 см. Гранулометрический состав почвы среднесуглинистый иловато-крупнопылеватый. Гранулометрическая дифференциация выражена слабо: коэффициент дифференциации не превышает 1,1.

Мелкокомковатая структура в пахотном слое сменяется на комковатую и ореховато-комковатую в средней части профиля и плитчато-порошистую в почвообразующей породе. Горизонт PU равномерно прокрашен, уплотнён (1,21–1,25 г/см³) и диагностируется с заметным переходом в подпахотный. По содержанию гумуса (4,17 %) почвы характеризуются как среднегумусные [7]. Ёмкость катионного обмена максимально равна 32,6 мг-экв /100г почвы. Среднестатистический параметр ЕКО представлен показанием 30,7 мг-экв /100 г почвы и по степени устойчивости к антропогенной нагрузке данный подтип уступает выше-характеризуемым почвам. Содержание нитратного азота низкое. Варьирование N – NO<sub>3</sub> очень высокое. Это объясняется прежде всего тем, что нитратный азот самый мобильный почвенный показатель, его динамика зависит от времени года, рельефа, типа растительности, содержания органического вещества и гидротермических условий. Содержание фосфора в среднем составляет 504 мг/кг, калия – 176 мг/кг.

Чернозёмы гидрометаморфизированные занимают пространства логов и пологие склоны северных экспозиций. Профиль почвы разделяется на следующие генетические горизонты: PU–AU<sub>q</sub>–Biq–C<sub>саq</sub>. Используются данные почвы в условиях пашни ограниченно. От автоморфных чернозёмов они отличаются высокой мощностью гумусового горизонта (до 70 см и более), с содержанием гумуса в среднем 7,4 % и глубоким оглеением. Обеспеченность подвижными формами фосфора повышенная, калия средняя, азота низкая (см. табл.).

Существенным критерием при оценке климатических факторов в земледельческой зоне служит соотношение тепла и влаги. По данным ГМО «Минусинск», среднегодовые температуры воздуха за 23-летний период отличаются высоким варьированием (рис.1).

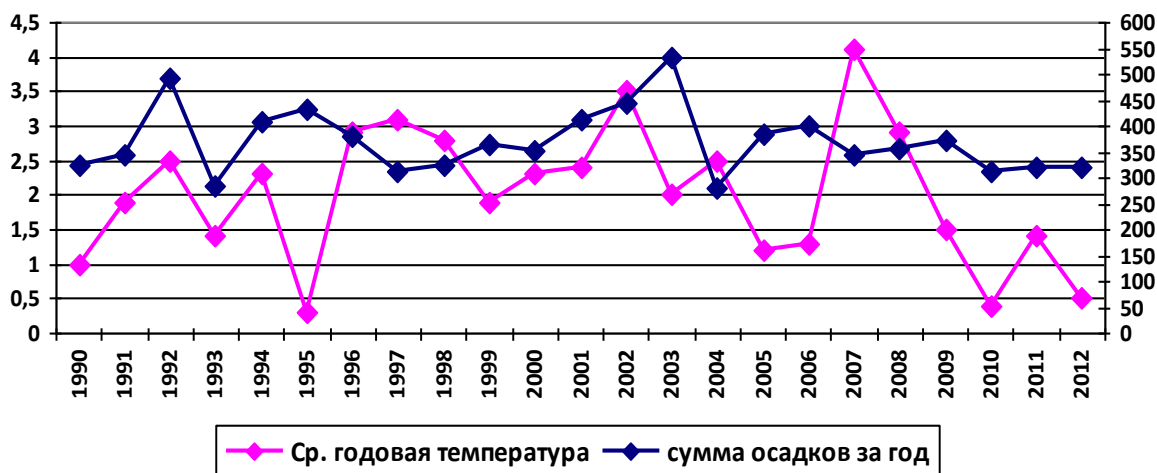


Рис. 1. Среднегодовые показатели температуры воздуха и осадков

Минимальные среднегодовые температуры воздуха с показаниями 0,3–0,5° С наблюдались в 1995, 2010, 2012 годах. Максимального (4° С) среднегодовой показатель температуры воздуха достиг в 2007 году. Наибольшее количество осадков выпало в 2003 году, их сумма составила 552 мм. В засушливые годы (1993–2004) осадков выпадало в сумме 280 мм. Однако оценка условий увлажнения территории по количеству выпадающих осадков не совсем корректна, так как осадки являются лишь одной из составляющих приходной части водного баланса. Этим, в частности, объясняется тот факт, что при одинаковой сумме осадков в различных районах увлажнение бывает разным. Поэтому в агрометеорологии для оценки условий увлажнения территории используют косвенные показатели, представляющие собой отношение прихода влаги (осадков) к её максимально возможному расходу (испаряемости). Наибольшее распространение получил гидротермический коэффициент [6]. Ещё более важная особенность режима выпадения осадков в тёплый период года – малое количество во время весеннего сева и в первой фазе развития растений, отчего зави-

сит урожайность. Г.М.Сергеев и А.В. Резников предложили рассчитывать соотношение тепла и влаги в форме показателя сухости по М.И. Будыко. Показатель сухости близок к её радиационному индексу и может быть применён как при общих климатических характеристиках, так и при решении различных хозяйственных задач [7]. Расчёты по увлажнению территории показали, что неблагоприятные условия, связанные с недостатком влаги, в первые десять лет наблюдений определились в 1990 году и в последние 2 года уходящего столетия. Из них 1998 год по показаниям индекса сухости (5,21) выдался очень засушливым. В последующие периоды наблюдений по ГТК засушливость выявлена в 2000 году и с 2009 по 2012. Высоким показателем индексов сухости отметился 2012 год (2,22). По Б.А. Доспехову, совместное влияние температуры и осадков по-разному отражается на урожае при достаточном увлажнении. С одной стороны, отрицательное действие высоких температур проявляется в меньшей степени, чем при недостатке осадков. С другой стороны, видно, что в условиях достаточного увлажнения осадки периода май–июль используются наиболее эффективно в диапазоне среднемесячных температур 15–22°C [1].

Климат является важным фактором, влияющим на распределение растений и их продуктивность, но и не единственным. На уровень урожайности совместно с природными условиями оказывает влияние интенсификация производства: механизация, химизация, внедрение передовых технологий [6].

Период мониторингового наблюдения за урожаем полевых культур приходится на годы проведения радикальных реформ АПК. По данным урожайности, выбранным из материалов экономического отдела землепользователя ООО «Знаменское» Минусинского района, следует, что максимальные сборы зерна отметились в начале 90-х годов (см. рис.1). Самый низкий урожай наблюдался в 1995 году. Затем урожайные данные по 2001 год отличались колебаниями в пределах: пшеницы – 24,5–19,8 ц/га; овса – 22,9–13,6; ячменя – 14,4–10,9 ц/га. В последующие десять лет низкими урожаями зерновых характеризуются 2001, 2007 и 2012 годы. Особенно это заметно по величине урожая пшеницы, которая не достигала 10 ц/га. Значительные изменения урожайности зерна, в замечаниях руководства предприятия, часто обусловлены агротехническими приёмами, интенсивность которых на период реформирования была неодинаковой. По данным государственной станции агрохимической службы «Минусинская», органические удобрения на полях использовались в незначительном количестве. Максимальные объёмы минеральных удобрений дозой до 50 кг д.в./га вносились в 1990–1993 годах. В 1994 году нормы внесения удобрений сократились почти в 4 раза. Увеличение объёмов минеральных удобрений до 40 кг д.в./га возобновилось с 2002 года. В отчёте агрохимического обследования за 2010 год приведены расчеты потребности в питательных веществах на учётной площади посевов. Всего под посевные территории рекомендовали внести 164,204 т д. в. В составе ассортимента минеральных удобрений с внесением в физическом весе должны применить: аммиачной селитры (N-34,4%) – 299 тонн; аммофоса (N – 12%, P – 52%) – 76 тонн; сульфата аммония (N – 21%) – 57 тонн. Потребность в калийных удобрениях отсутствует. По факту за период 2010–2012 гг. внесено в среднем на 1 га пашни 25,4 кг NPK. Вынос питательных веществ урожаем и сорняками составил 104,9 кг/га [8].

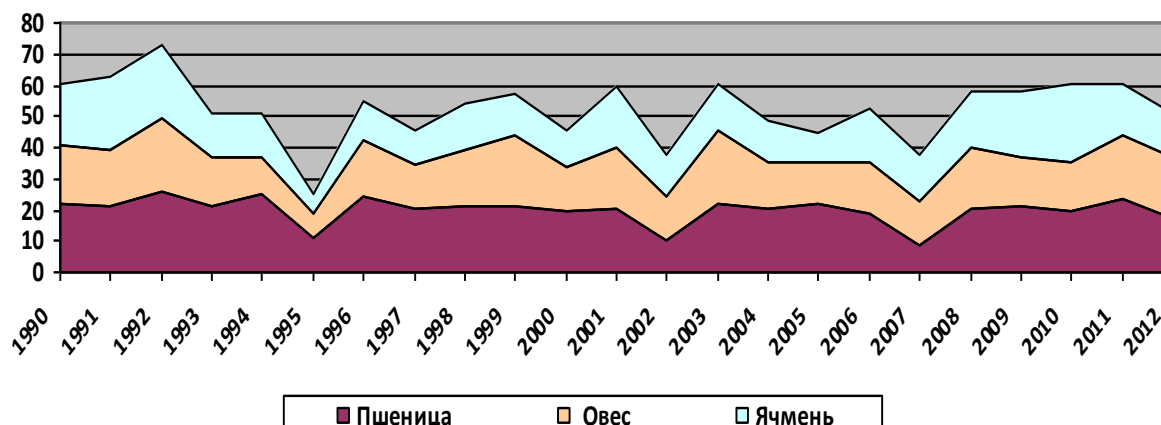


Рис. 2. Динамика урожайности зерновых культур, ц/га

Известно, что нарушение баланса питательных веществ ухудшает не только химический состав почвы, но и качество продукции растениеводства.

Методом множественной линейной корреляции мы установили зависимость урожая от агроклиматических факторов. Значимость множественной корреляции оценивали по F-критерию. Связь между урожаем (х),

ГТК (y), ИС (z) рассчитана для полевых культур со значениями коэффициента множественной корреляции (R<sub>xyz</sub>): пшеница – 0,6205; овёс – 0,6811; ячмень – 0,6523. Квадрат коэффициента множественной корреляции называется коэффициентом множественной детерминации. Его значением определяется доля вариации зависимой переменной под воздействием изучаемых факторов [1]. Судя по коэффициенту множественной детерминации, величина урожая полевых культур менее чем на 50 % зависела от условий погоды.

**Заключение.** Изучение современного состояния свойств и режимов почв показало, что почвы характеризуются слабокислой реакцией почвенного раствора, достаточно высоким содержанием гумуса и подвижных форм фосфора и калия и низким содержанием азота в гумусово-аккумулятивном горизонте. Плотность сложения суглинистой по гранулометрическому составу почвы в пределах 1–25 г/см<sup>3</sup>, по мнению ряда учёных, для большинства сельскохозяйственных культур является оптимальной. Дальнейшее уплотнение приводит к ухудшению физических почвенных условий и снижению урожайности.

Для оценки условий распределения тепла и влаги использовали гидротермический коэффициент по Г.Т. Селянинову и индекс сухости по М.И. Будыко. В результате проведённого анализа за двадцатитрёхлетний период наблюдений недостаток влаги отмечился в начале и в конце 90-х годов, в 2000 году и в последние четыре года.

Урожайность полевых культур варьировала с существенными различиями. Низкие урожаи собраны в 1995, в 2002, 2007 и в 2012 гг. Урожай пшеницы в неблагоприятные годы не превышал 10 ц/га, овса и ячменя 15 ц/га.

Корреляционным методом установлено, что влияние на величину урожая полевых культур совместно с климатом более чем на 50% могли оказывать другие факторы.

### Литература

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). – 6-е изд., стереотип. – М.: ИД Альянс, 2011. – 352 с.
2. Бугаков П.С., Чупрова В.В. Агрохимическая характеристика почв земледельческой зоны Красноярского края. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 1995. – 176 с.
3. Гришина Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М.: Изд-во МГУ, 1986. – 244 с.
4. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение. – М.: КолосС, 2010. – 687 с.
5. Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов В.Д. Тонгоногов, И.Н. Лебедева [и др.]. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
6. Лосев А.П., Журина Л.П. Агрометеорология. – М.: КолосС, 2004. – 301 с.
7. Лысанова Г.И. Агроландшафтные исследования геосистем Минусинской котловины // География и природные ресурсы. – 2001. – № 2. – С. 90–98.
8. Материалы агрохимического обследования почв сельскохозяйственных угодий ООО «Знаменское» Минусинского района Красноярского края / ФГБУ Гос. станция. – Минусинск, 2012. – 28 с.
9. Михеева И.В. Вероятностно-статистические модели свойств почв. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 198 с.
10. Отчёт о почвенном обследовании в совхозе «Лугавский» Минусинского района Красноярского края / Объединение «Росгипрозем», Институт «Востсибгипрозем». – Красноярск, 1979. – 65 с.
11. Сапега В.А., Турсумбекова С.В., Сапега С.В. Связь урожайности зерновых с показателями гидротермического коэффициента в условиях Тюменской области // Агро XXI. – 2010. – № 10. – С.17–19.
12. Селянинов Г.Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата // Мировой агроклиматический справочник. – Л.: Гидрометеиздат, 1937. – С. 5–27.

