

АГРОЭКОЛОГИЯ



УДК 631.1+551.5:519.8

Ю.Б. Кирста,
Н.Ю. Курепина,
О.В. Ловцкая

ПРОГНОЗ КЛИМАТА И АГРОКЛИМАТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА АЛТАЙСКОГО КРАЯ ДО 2020 ГОДА

Ключевые слова: моделирование, прогноз, региональный климат, агроклиматический потенциал, Алтайский край.

Введение

Системный анализ ритмического влияния наземной растительности и человеческого общества на динамику регионального климата в умеренной зоне показал, что эта динамика имеет строго определенные информационные статистические характеристики и подчиняется известным вековым климатическим циклам, состоящим из трех характерных 33-летних фаз [1]. На территории России эти фазы охватывают 1918-1950, 1951-1983 и 1984-2020 гг., последняя из которых несколько длиннее. С помощью разработанной прогностической имитационной модели агроклиматического потенциала (АП) и климатических трендов (модель АПКТ) также установлено [1-3], что система «растительность-человек» стабилизирует средние за 33-летние фазы векового цикла значения среднемесячных температур воздуха и месячных осадков [4]. Модель описывает с теоретически наилучшей точностью структурно-функциональную организацию агроэкосистем зерновых и динамику их базовых процессов, включая фенологическое развитие растений, влагообмен в почвах, формирование урожая, эффективность землепользования (зависящую от уровня технологий, плодородия почв, вложений и эффективности управления сельским хозяйством). Это позволило через решение обратной задачи восстанавливать и количественно оценивать на выбранных территориях

климатические тренды. Определение последних в пределах отдельных 33-летних фаз как природно-обусловленных периодов климатических оценок и способствовало выводу о стабилизации в каждой фазе средних значений климатических характеристик. Стабилизация, в свою очередь, означает возможность прогноза климата и АП в пределах 1984-2020 гг.

Метод и исходные данные

Расчет климатических трендов и АП в модели АПКТ может выполняться для районов, областей, федеральных округов, государств. АП характеризуемой территории соответствует ожидаемой для нее урожайности зерновых, определяемой найденными трендами. Такой АП имеет очевидное преимущество перед общепринятыми методами расчета агроклиматических и биоклиматических ресурсов территории, так как адекватно учитывает весь комплекс основных факторов среды, влияющих на развитие и продуктивность растений. Вторым преимуществом АП является его сопоставимость со среднемноголетней урожайностью зерновых – основной характеристикой, используемой в сельском хозяйстве.

Входными данными модели АПКТ являются многолетний ряд урожаев зерновых по официальной статистической отчетности, среднемноголетние среднемесячные температуры воздуха и среднемноголетние месячные осадки за период, не обязательно совпадающий с имеющимися данными об урожаях. Добавление к модели ГИС-технологий позволяет создавать цифровые

пространственные базы климатических данных в компактной и удобной для математической обработки форме, а картографических методов – визуализировать результаты расчетов. Модель успешно апробирована для различных территорий с континентальным и умеренным климатом, в частности, для оценки многолетних изменений АП и климата в зернопроизводящих зонах России и США [2, 3].

Проведенный при разработке модели АПКТ анализ показал, что традиционное описание многолетних изменений температур воздуха и осадков как их увеличение или уменьшение на некоторую величину является приближенным и вносит значительную ошибку в расчеты. Найдено наиболее адекватное (обеспечивающее теоретически наилучшую точность расчетов) описание климатических трендов, когда изменения месячных значений температур воздуха отдельно для холодного и теплого периодов года, а также осадков, характеризуются в процентах от их среднемноголетних месячных величин [2, 3].

Изменения климатических характеристик, пропорциональные месячным значениям, очевидно, означают такое же пропорциональное изменение их среднемноголетних значений. В результате уравнения для климатических трендов определяются однозначным образом и позволяют максимально адекватно отразить многолетние климатические изменения. Среднемноголетние значения среднемесячных температур воздуха T и месячных осадков P для каждого из 12 месяцев находятся по формулам:

$$\begin{aligned} \bar{T} &= c_1 \bar{T}_{наб} \text{ для } T < 0^\circ\text{C}, \\ \bar{T} &= c_2 \bar{T}_{наб} \text{ для } T \geq 0^\circ\text{C}, \quad \bar{P} = c_3 \bar{P}_{наб}, \end{aligned} \quad (1)$$

где \bar{T} , \bar{P} – среднемноголетние значения T ($^\circ\text{C}$) и P (мм) за рассчитываемый в модели период времени;

$\bar{T}_{наб}$, $\bar{P}_{наб}$ – среднемноголетние значения T и P за период наблюдений;

c_1, c_2, c_3 – пропорциональный сдвиг среднемноголетних значений соответствующих месячных климатических характеристик в расчетном периоде времени относительно периода наблюдений. В свою очередь, климатические тренды определяются уравнениями:

$$\begin{aligned} T &= \bar{T} [1 + a_1 (k - N/2)] \\ \text{для } T < 0, \quad T &= \bar{T} [1 + a_2 (k - N/2)] \quad (2) \\ &\text{для } T \geq 0, \\ P &= \bar{P} [1 + a_3 (k - N/2)], \end{aligned}$$

где T – среднемесячная температура воздуха, $^\circ\text{C}$;

P – месячные осадки, мм;

a_1, a_2, a_3 – тренды, характеризующиеся долям (процентами) ежегодного увеличения/уменьшения месячных значений температур воздуха для холодного ($T < 0^\circ\text{C}$), теплого ($T \geq 0^\circ\text{C}$) периодов и осадков соответственно;

k – порядковый номер года в рассматриваемом многолетнем периоде, $k = 1, \dots, N$;

N – общее число рассчитываемых по модели лет.

В свою очередь, многолетний тренд эффективности землепользования характеризуется через множитель

$$(1 + a_4)^{k-1} \quad (3)$$

в рассчитываемой урожайности зерновых. Этот коэффициент снижает или увеличивает урожайность при $a_4 < 0$ или $a_4 > 0$ соответственно. Значение параметра a_4 определяется многолетними изменениями почвенных характеристик, применяемых сельскохозяйственных технологий и других факторов.

Как уже указывалось, системой «растительность-человек» в каждой ее 33-летней фазе стабилизируются только сдвиги трендовых прямых c_1, c_2, c_3 . Поэтому эти сдвиги, найденные (идентифицированные) в процессе решения обратной задачи по многолетнему ряду урожая, используются для прогноза климатических изменений и АП. Далее все параметры трендовых прямых для удобства будут выражаться в процентах (умножаться на 100).

На рисунке 1 приведена схема формирования входных данных и решения обратной задачи по определению параметров климатических трендов, тренда эффективности землепользования и АП с помощью модели АПКТ. В состав Алтайского края входят 60 муниципальных районов, распределяемых по семи почвенно-климатическим зонам (рис. 2). Среднемноголетние месячные характеристики температур и осадков для районов определялись с использованием лицензионной ГИС-платформы ESRI ArcGIS Desktop 10.0.

С учетом требования однородности многолетних рядов урожаев нами взята урожайность зерновых и зернобобовых культур в хозяйствах всех категорий Алтайского края по каждому району, выражаемая в ц/га посевной площади в первоначально-оприходованном весе. Однородность рядов совместно с теоретически наилучшей точностью модели АПКТ гарантировали наиболее точную оценку параметров всех трендов и динамики АП. При нахождении рассчитываемых параметров модели АПКТ все-

гда соблюдалось требование, что их число не менее чем на порядок должно быть меньше количества данных об урожаях зерновых [1].

Результаты исследования

Для каждого из 60 муниципальных районов Алтайского края с помощью средств ArcGIS 10.0 и картографических методов нами определены среднеголетние месячные характеристики температур и осадков, требующиеся для оценки АП и эффективности землепользования по модели АПКТ. Результаты идентификации параметров модели АПКТ по климатическим характеристикам и наблюдаемой в муниципальных районах Алтайского края урожайности зерновых 1984-2011 гг. позволили осуществить климатический прогноз для края в целом. Он выполнен по изложенной выше методологии и характеризует усредненные по районам прогнозные величины метеорологических факторов для всех месяцев года

(табл. 1, рис. 3). Точность прогноза составляет около 1% [4].

Возделывание зерновых зависит, наряду с климатическими факторами, от меняющихся в пределах края почвенных условий, учет которых можно выполнить неявным образом при идентификации, уточняющей некоторые параметры модели отдельно для каждой из семи почвенно-климатических зон. Для такой новой идентификации нами было выбрано девять варьируемых параметров. Они включали показатели климатических трендов в уравнениях (1)-(2), показатель уровня сельскохозяйственных технологий и плодородия почв, тренд эффективности землепользования в (3) и коэффициент зависимости урожая от транспирации влаги растениями. Значения остальных параметров оставались теми же, что и полученные для Алтайского края в целом или еще ранее для Сибирского федерального округа и России [4].

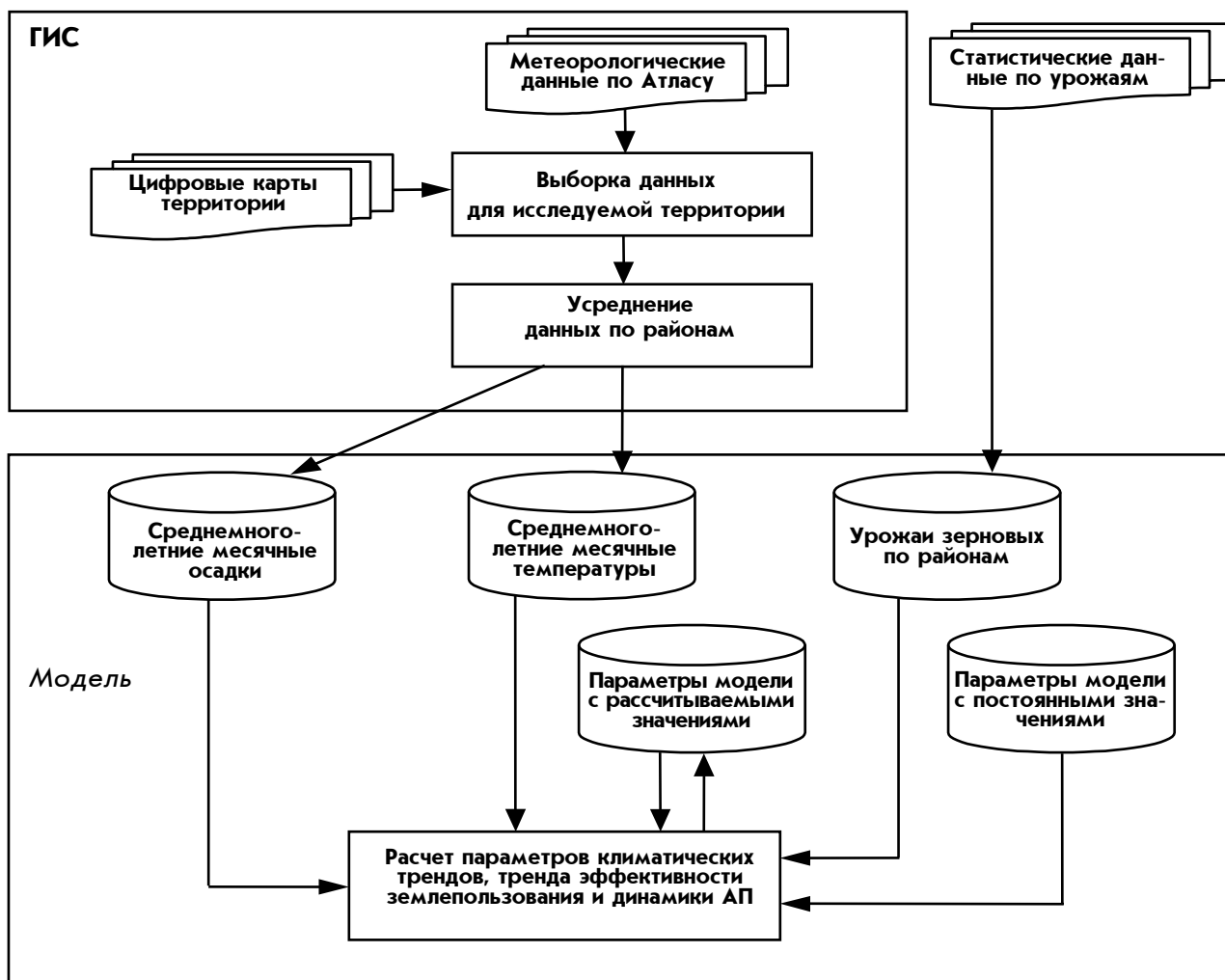


Рис. 1. Схема формирования входных данных для модели АПКТ (среднеголетние климатические характеристики рассчитываются по среднеголетним метеорологическим данным реанализа 1965-1974 гг. согласно Агроэкологическому атласу России и сопредельных стран [5])

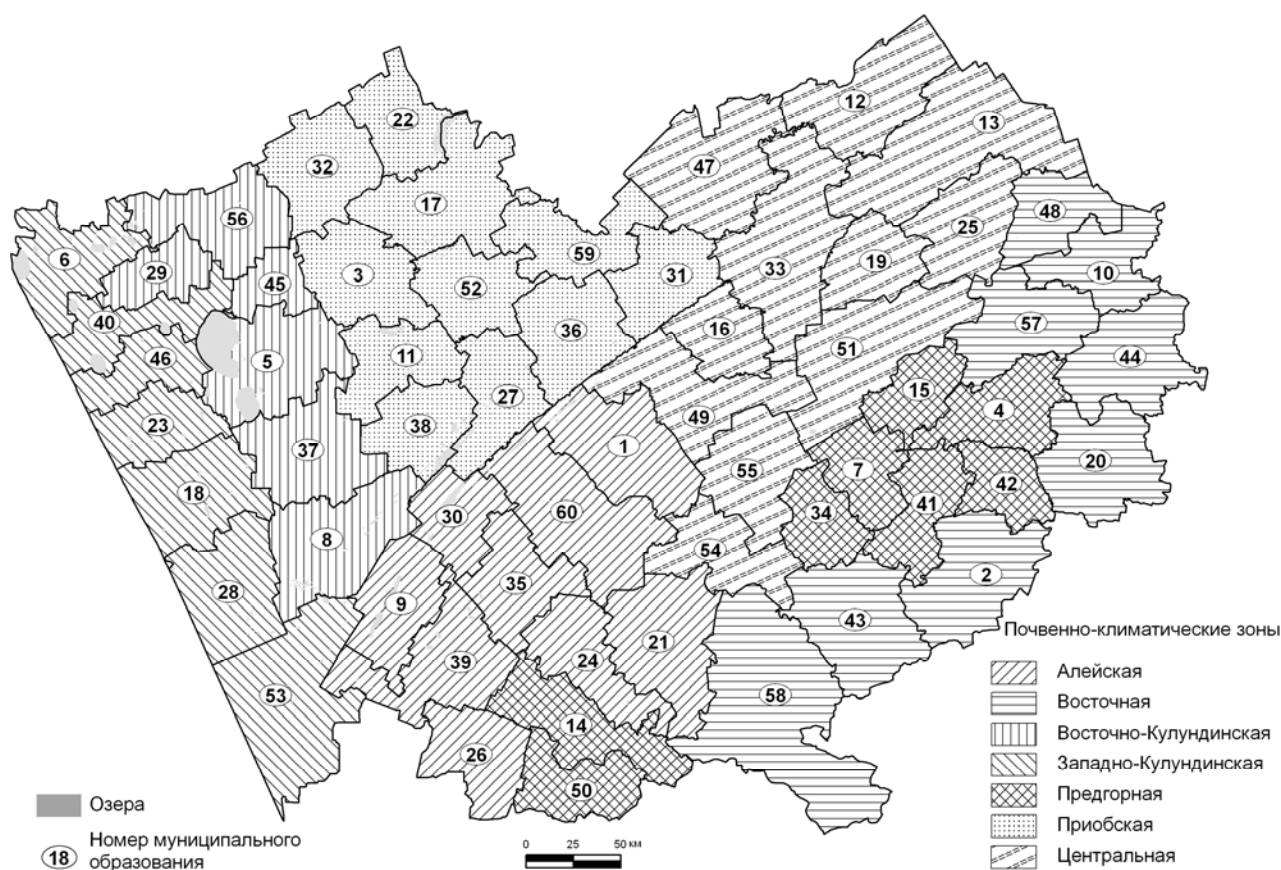


Рис. 2. Почвенно-климатические зоны и отвечающие им муниципальные районы Алтайского края (нумерация районов дана по таблице 2)

Таблица 1

Прогноз до 2020 г. сдвигов трендовых прямых месячных климатических характеристик для территории Алтайского края, %*

Параметры трендов		1984-2011 гг.	2012-2020 гг.
Сдвиг	среднегодовых температур воздуха для холодного периода года	94,4	94,4
	среднегодовых температур воздуха для теплого периода года	106,6	106,6
	среднегодовых значений осадков	103,9	103,9
Тренд	температур для холодного периода года	0,00	0
	температур для теплого периода года	-0,01	0
	осадков	-0,01	0
	эффективности землепользования	0,01	0,01

* Сдвиги (выше-ниже) у аппроксимирующих характеристики трендовых прямых (1)-(2) выражаются в процентах от использованных среднегодовых месячных данных реанализа за 1965-1974 гг. Тренды (наклоны этих же прямых в (2)) отвечают изменениям характеристик в процентах за год.

Муниципальные районы Алтайского края различаются по результативности управления сельским хозяйством и производством зерновых в частности. Поэтому они должны иметь индивидуальные значения параметров линий тренда, характеризующих эффективность землепользования. Определяя эти значения через модель АПКТ, мы, очевидно, получаем наиболее объективную оценку такой эффективности для каждого района, поскольку из нее вычлняется (через значения других параметров) все основные природные факторы, влияющие на урожай-

ность зерновых [1]. С целью выполнения такой оценки для каждого из 60 районов края нами была опять решена обратная задача по идентификации двух связанных с землепользованием параметров модели АПКТ: показателя уровня сельскохозяйственных технологий и плодородия почв (аналогичен сдвигу прямой тренда) и тренд эффективности землепользования. Остальные параметры были зафиксированы с прежними значениями, найденными для почвенно-климатической зоны или Алтайского края в целом.

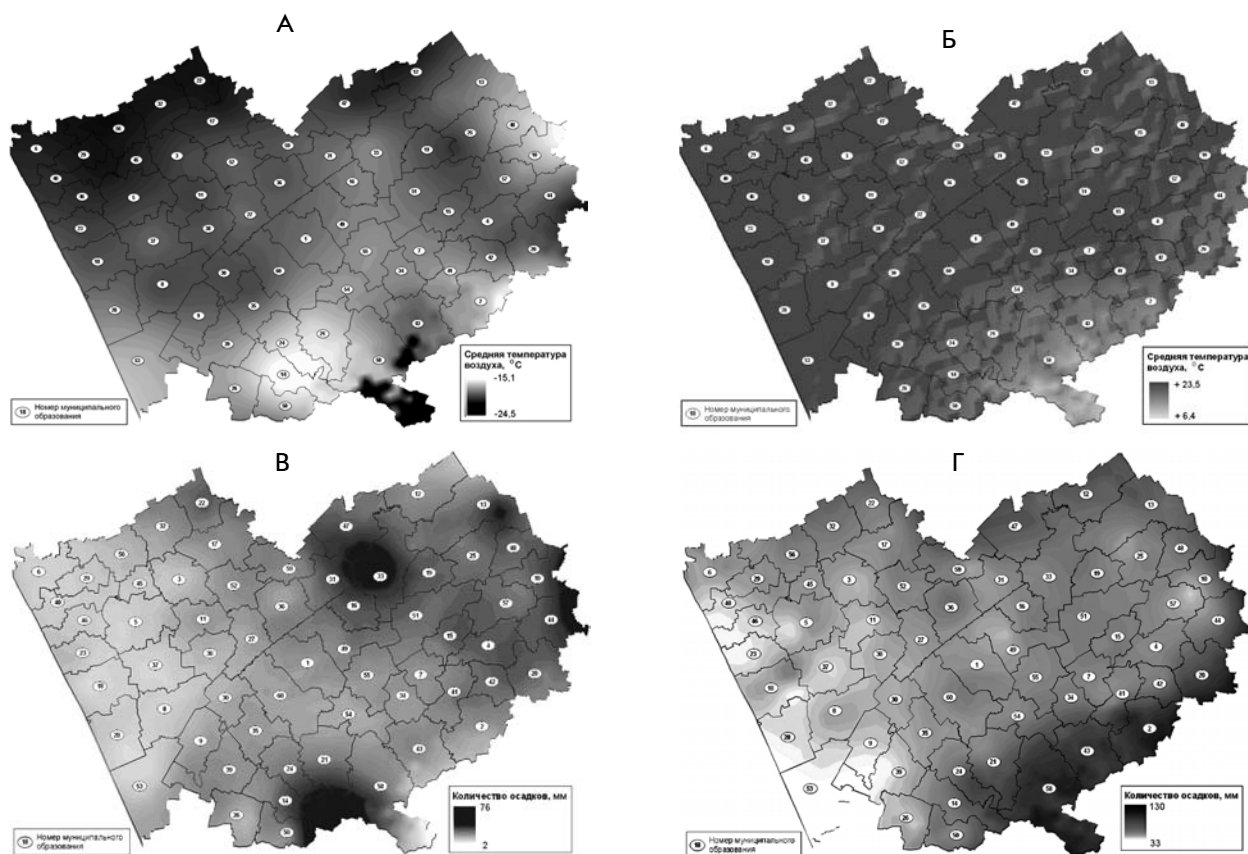


Рис. 3. Прогноз до 2020 г. среднемноголетних температур воздуха (А – январь, Б – июль) и осадков (В – январь, Г – июль) для территории Алтайского края

Таблица 2

Тренды эффективности землепользования (в процентах от текущего уровня землепользования) и прогноз агроклиматического потенциала АП (ожидаемой урожайности зерновых) для муниципальных районов Алтайского края

Районы	Тренд, % за год	Изменение АП за 2012-2020 гг., ц/га	Районы	Тренд, % за год	Изменение АП за 2012-2020 гг., ц/га
1	2	3	4	5	6
1. Алейский	0,006	12,0-12,6	31. Павловский	0,028	22,2-27,8
2. Алтайский	0,012	16,6-18,3	32. Панкрушихинский	0,026	15,6-19,1
3. Баевский	0,012	13,2-14,5	33. Первомайский	0,020	15,9-18,7
4. Бийский	0,027	22,9-28,4	34. Петропавловский	0,032	24,4-31,5
5. Благовещенский	-0,012	9,4-8,6	35. Поспелихинский	0,016	13,4-15,2
6. Бурлинский	0,014	8,3-9,3	36. Ребрихинский	0,013	14,6-16,2
7. Быстро-Истокский	0,026	20,6-25,3	37. Родинский	0,002	10,9-11,1
8. Волчихинский	0,003	10,7-11,0	38. Романовский	0,025	21,0-25,6
9. Егорьевский	0,004	9,5 9,8	39. Рубцовский	0,019	11,2-13,0
10. Ельцовский	0,005	11,3 11,7	40. Славгородский	0,015	8,3-9,4
11. Завьяловский	0,019	20,1-23,4	41. Смоленский	0,032	26,1-33,7
12. Залесовский	0,032	18,3-23,5	42. Советский	0,028	20,5-25,6
13. Заринский	0,026	17,6-21,5	43. Солонешенский	-0,003	7,2-7,1
14. Змеиногорский	0,016	17,5-19,9	44. Солтонский	-0,009	9,4-8,7
15. Зональный	0,036	25,6-33,9	45. Суетский	0,014	11,1-12,4
16. Калманский	0,025	17,1-20,8	46. Табунский	0,016	8,1-9,2
17. Каменский	0,028	17,1-21,3	47. Тальменский	0,022	15,2-18,1
18. Ключевской	0,027	12,3-15,2	48. Тогульский	0,026	18,7-23,0
19. Косихинский	0,032	20,0-25,7	49. Топчихинский	0,032	20,3-26,1
20. Красногорский	0,007	10,9-11,4	50. Третьяковский	0,026	21,7-26,5
21. Краснощековский	0,000	12,3-12,3	51. Троицкий	0,035	21,2-28,1
22. Крутихинский	0,013	14,9-16,5	52. Тюменцевский	0,018	15,3-17,6

1	2	3	4	5	6
23. Кулундинский	-0,002	6,5-6,4	53. Угловский	0,005	4,4-4,5
24. Курьинский	-0,002	8,8-8,6	54. Усть-Калманский	0,034	19,1-25,0
25. Кытмановский	0,023	17,9-21,4	55. Усть-Пристанский	0,026	16,0-19,7
26. Локтевский	0,017	11,0-12,7	56. Хабарский	0,002	10,6-10,8
27. Мамонтовский	0,020	19,4-23,3	57. Целинный	0,007	13,9-14,6
28. Михайловский	0,010	10,5-11,4	58. Чарышский	0,006	11,3-11,8
29. Немецкий	0,000	12,0-12,0	59. Шелаболихинский	0,033	22,0-28,6
30. Новичихинский	0,011	13,8-15,1	60. Шипуновский	0,008	12,7-13,5

Установленные в результате идентификации модели АПКТ тренды эффективности землепользования и прогноз АП для муниципальных районов Алтайского края приведены в таблице 2. Прогноз осуществлялся при нулевых значениях климатических трендов, которые не прогнозируются из-за их нестабильности в пределах 33-летних фаз столетнего цикла [4]. Изменение в 2012-2020 гг. АП, то есть ожидаемой урожайности зерновых, определяется найденным отдельно по каждой почвенно-климатической зоне Алтайского края сдвигом климатических характеристик в уравнении (1) (который используется в качестве прогнозного) при сохранении прежнего (среднего за 1984-2011 гг.) тренда эффективности землепользования каждого муниципального района.

Заключение

С помощью прогностического математического комплекса, включающего прогностическую имитационную модель АПКТ, ГИС-технологии обработки данных и картографические методы, осуществлен прогноз региональных изменений климата, динамики АП и эффективности землепользования в Алтайском крае до 2020 г. Эта задача выполнена на основе полученной средствами ГИС и картографическими методами климатической информации по характеризуемой территории вместе с данными государственной статистики об урожаях зерновых путем решения обратной задачи для модели АПКТ. При этом для каждого муниципального района Алтайского края определялись:

- ежегодный ход фенологического развития растений (зерновых);
- ежегодная помесечная динамика влажности почвы, включая зимний период;
- процесс формирования ожидаемого урожая каждого года и его величина;
- среднеголетние значения среднемесячных температур воздуха и месячных осадков для исследуемого многолетнего периода;
- многолетние тренды температур воздуха и осадков;
- многолетний тренд эффективности землепользования (зависящий от уровня технологий, плодородия почв, вложений и

эффективности управления сельским хозяйством);

- многолетняя динамика АП (урожай зерновых для восстановленных по трендам для отдельных лет климатических условий и эффективности землепользования).

Разработанный прогностический комплекс можно также использовать для оперативного прогноза урожаев зерновых в текущем году путем использования в модели АПКТ сезонных метеорологических прогнозов. Выполненные с помощью комплекса оценки эффективности землепользования позволяют объективно оценить качество управления зернопроизводством как на уровне края, так и уровне отдельных муниципальных районов.

Библиографический список

1. Кирста Ю.Б., Кирста Б.Ю. Информационно-физический закон построения эволюционных систем. Системно-аналитическое моделирование экосистем: монография. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2009. – 270 с.
2. Kirsta Yu.B. System-analytical modelling-Part I: General principles and theoretically best accuracies of ecological models. Soil-moisture exchange in agroecosystems // Ecol. Modelling.-2006. – Vol. 191. – P. 315-330.
3. Kirsta Yu.B. System-analytical modelling-Part II: Wheat biotime run and yield formation. Agroclimatic potential, Le Chatelier principle, changes in agroclimatic potential and climate in Russia and the U.S. // Ecol. Modelling. – 2006. – Vol. 191. – P. 331-345.
4. Кирста Ю.Б., Ловцкая О.В. Прогноз климатических изменений в зернопроизводящих зонах Сибири и России // Мир науки, культуры, образования. – 2009. – № 7 (19). – С. 9-13.
5. Афонин А.Н., Грин С.Л., Дзюбенко Н.И., Фролов А.Н. (ред.) Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения [Интернет-версия 2.0].-2008 <http://www.agroatlas.ru>.

Работа осуществлена при поддержке гранта РФФИ 12-05-98068-р_сибирь_а. Также использовались результаты междисциплинарного интеграционного проекта № 70 фундаментальных исследований СО РАН на 2012-2014 гг.