

Н. Н. ГУСТОКАШИНА, Е. В. МАКСЮТОВА

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЗАСУШЛИВОСТИ В СТЕПИ И ЛЕСОСТЕПИ ПРЕДБАЙКАЛЯ

Дана оценка засушливым условиям степной и лесостепной зон Предбайкалья по гидротермическому коэффициенту (ГТК) Селянинова, рассчитанного за май–сентябрь 1940–2000 гг. Проанализированы тенденции изменения ГТК и его составляющих, выявлены периоды засух и сильных засух, их продолжительность и повторяемость. При помощи регрессионной модели восстановлены величины ГТК с конца XIX в.

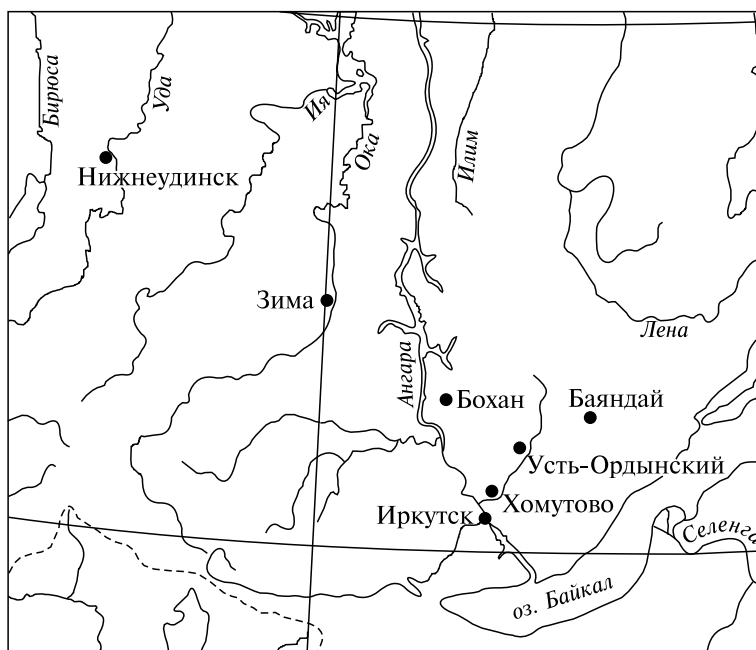
The arid conditions in the steppe and forest-steppe zone of the Prebaikalia are assessed from Selyaninov's hydrothermal coefficient (HNC) as calculated for May–September 1940–2000. An analysis was made of the trends of the HTC and its component to reveal periods of droughts and strong droughts, and their duration and recurrence rate. The regression model was used to reconstruct the values of the HNC since the end of the 19th century.

Территория наших исследований — сельскохозяйственная зона Предбайкалья — относится к Приангарскому и Иркутско-Черемховскому степным и лесостепным районам (рис. 1).

В результате многолетней изменчивости ряда факторов, как природных, так и антропогенных, структурные и функциональные характеристики ландшафтов претерпевают значительные изменения, а в экстремальных ситуациях могут полностью трансформироваться. Во второй половине XX в. на большей части территории Предбайкалья наблюдалось повышение средней годовой температуры воздуха при одновременном понижении годовых сумм атмосферных осадков и уменьшении прихода коротковолновой солнечной радиации. Распределение интенсивности изменений рассматриваемых климатических элементов различно [1].

© 2006 Густокашина Н. Н., Максютова Е. В.

Рис. 1. Схема территории исследований и расположение метеорологических станций.



Кроме изучения колебаний отдельных климатических элементов определенный интерес вызывает исследование интегральных характеристик территории, в частности гидротермических условий. Последние описываются различными коэффициентами, часто представляющими собой соотношение величин температуры воздуха и количества осадков. Ранее нами рассмотрены изменения гидротермического коэффициента (ГТК) за период активной вегетации (июнь–август) в степной и лесостепной зоне Предбайкалья. В качестве пределов были приняты $\text{ГТК} \leq 0,8$ (состояние засухи) и $\text{ГТК} \leq 0,4$ (состояние сильной засухи) [2].

Неблагоприятные агроклиматические явления существенно снижают сельскохозяйственный потенциал. При атмосферной засухе (в отсутствии осадков) и при большом радиационном притоке тепла происходит процесс активного прогревания и относительного иссушения воздуха. На территории исследования крайне неравномерные условия атмосферного увлажнения и особенности термического режима приводят к резкому недостатку влаги в начале периода активной вегетации растений (май–июнь). В июле и августе, наоборот, преобладает дождливая погода.

Динамика коэффициентов засушливости рассматривается на основе показателей многолетних колебаний температуры воздуха и атмосферных осадков, характеризующих обеспеченность территории ресурсами тепла и влаги. Для расчета величин гидротермического коэффициента по Селянинову использованы данные за вегетационный период (май–сентябрь) с 1940 по 2000 г. по метеостанциям Нижнеудинск, Зима, Бохан, Баяндай, Усть-Ордынский, с 1956 по 2000 г. по ст. Хомутово и с 1882 по 2000 г. по ст. Иркутск [3–5]. ГТК рассчитывается как отношение суммы осадков за некоторый период времени к сумме температур выше 10°C , уменьшенной в 10 раз, за тот же период.

При резко изменчивом климате Предбайкалья осредненный показатель увлажнения не учитывает критические его значения в наиболее засушливые, неблагоприятные для растений периоды вегетации (сухость весны и начала лета), поэтому целесообразно учитывать значения ГТК в эти периоды.

При анализе многолетних гидротермических условий Предбайкалья за 1940–2000 гг. выявлено, что наступление атмосферной засухи возможно в любом месяце вегетационного периода, при этом в мае отмечено максимальное количество как засушливых лет (33–64 %), так и лет с сильной засухой (8–15 %) (табл. 1). В июне повторяемость засушливых периодов составляет 18–43 % случаев. Минимальное количество лет с засухой и с сильной засухой приходится на август.

Таблица 1

Повторяемость засух по месяцам на метеостанциях Предбайкалья, %

Станция	ГТК $\leq 0,8$ ($\leq 0,4$)				
	май	июнь	июль	август	сентябрь
Нижнеудинск	33 (13)	25 (2)	10 (2)	3 (0)	18 (0)
Зима	36 (11)	36 (5)	20 (2)	20 (0)	20 (5)
Бохан	54 (15)	43 (13)	23 (2)	20 (2)	20 (8)
Баяндай	51 (8)	30 (7)	10 (0)	5 (0)	15 (3)
Усть-Ордынский	61 (8)	31 (8)	11 (2)	15 (2)	13 (5)
Хомутово	64 (10)	31 (8)	11 (2)	11 (0)	15 (5)
Иркутск	34 (8)	18 (5)	8 (0)	8 (0)	8 (0)

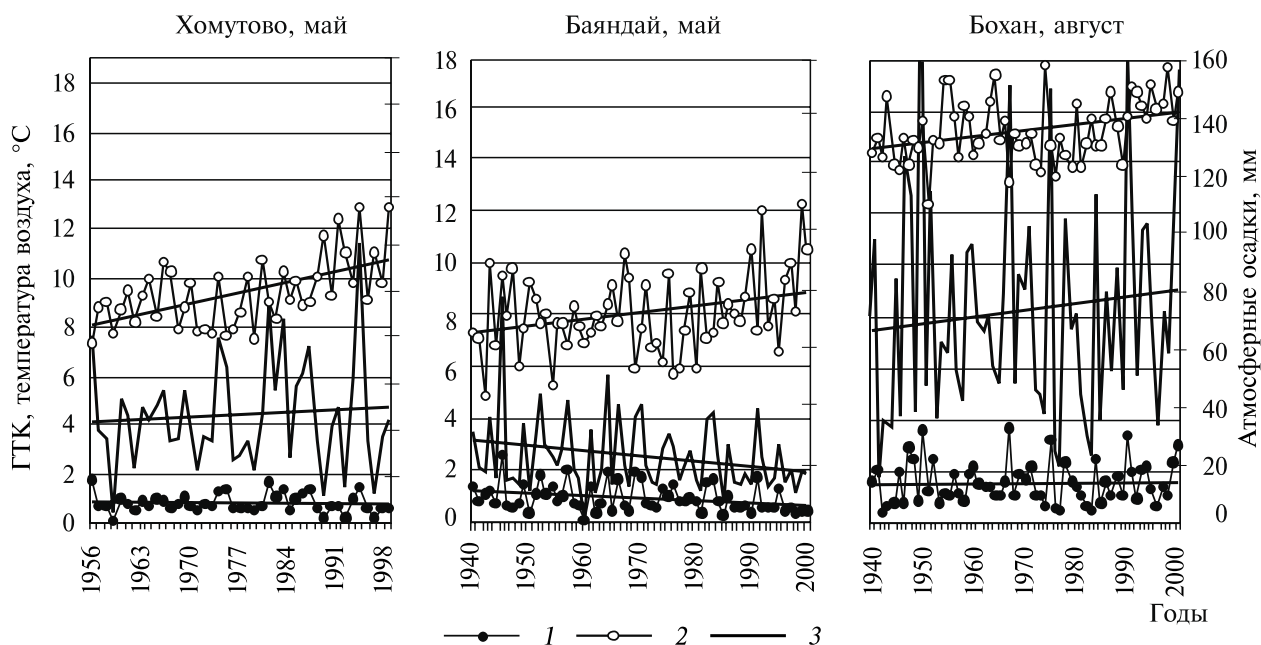


Рис. 2. Многолетние изменения гидротермического коэффициента Селянинова (1), температуры воздуха (2), атмосферных осадков (3) на метеостанциях Предбайкалья.

Несмотря на то, что в мае повторяемость засушливых периодов максимальна, сильная засуха отмечается лишь в одном из семи случаев. В сентябре же при сравнительно редких случаях засух количество сильных засух возрастает, т. е. каждая вторая-третья засуха является сильной.

Анализ коэффициентов засушливости показал, что засухи или сильные засухи в Предбайкалье отмечались везде в мае 1960, 1985, 1993 гг. и в июне 1979 г. Сильные засухи, охватившие большую часть территории исследования, наблюдались также в 1950, 1990 гг. — в мае и в 1969, 1972 г. — в июне. Состояния сильной засухи в сентябре отмечены лишь в отдельных местах в 1951, 1958, 1978, 2000 гг. В этом месяце засухи или сильные засухи возможны лишь в некоторых пунктах, а на остальной территории наблюдаются удовлетворительные условия увлажнения.

На большей части территории Предбайкалья состояние засухи наблюдалось: в мае в 1945, 1946, 1947, 1959, 1962, 1965, 1968, 1971, 1981, 1989, 1992, 1996, 1997, 1998, 2000 гг.; в июне — в 1945, 1957, 1967, 1976, 1984, 1990, 1991 гг.; в июле — в 1943, 1975, 1993 гг.; в августе — в 1942, 1977, 1983, 1985 гг.; в сентябре — в 1978 г. Также на большей части территории состояние засухи дважды в году отмечалось в июне и сентябре 1941, 1954, 1958, 1999 гг.; в мае и сентябре 1953 и 1963 гг.; в июне и июле 1943 и 1993 гг.; а трижды — в мае, июне и сентябре — в 1958, 1990 гг. Состояние засухи в мае-июне наблюдалось в 1991 г.; в мае, июле и сентябре — в 1951 г.; в июле-августе — в 1944 г.

Составляющие ГТК имеют различные тенденции изменения в течение вегетационного периода (рис. 2, табл. 2). На всей территории прослеживается рост температуры воздуха в мае, августе и сен-

Таблица 2

Изменение климатических показателей за период 1940–2000 гг.

Станция	Осадки, %/10 лет					Температура, °С/10 лет					ГТК, %/10 лет				
	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX	V	VI	VII	VIII	IX
Нижнеудинск	8	-6	-4	2	1	0,3	-0,0	-0,0	0,1	0,0	4	-6	-2	1	0
Зима	4	-5	-7	2	0	0,3	-0,0	0,0	0,2	0,1	1	-5	-6	1	0
Бохан	-2	-3	2	3	-4	0,2	-0,0	0,1	0,2	0,1	-4	-2	1	2	-5
Баяндай	-8	-1	2	2	2	0,3	-0,1	-0,1	0,1	0,0	-9	0	2	1	-1
Усть-Ордынский	2	0	4	7	4	0,2	-0,1	0,0	0,1	0,1	1	1	4	6	4
Хомутово*	2	10	-2	7	6	0,6	-0,1	0,1	0,3	0,2	-4	13	-3	0	4
Иркутск	1	2	1	1	2	0,3	-0,1	0,1	0,2	0,1	0	2	1	0	0

* Тренды рассчитаны за период 1956–2000 гг.

тябре. Тенденции изменения температуры воздуха в июне–июле близки к нулю. Изменение осадков носит более локальный характер. С мая по июль отмечаются разнонаправленные тенденции (до 10 % за 10 лет от среднего многолетнего количества осадков). В августе и сентябре тренды осадков в основном положительные. Тенденции изменения ГТК в большинстве случаев совпадают по знаку с направлением тренда атмосферных осадков. Таким образом, многолетние изменения гидротермических условий в большей степени зависят от изменений атмосферных осадков, чем от изменений температуры воздуха.

В процессе исследования рассчитаны коэффициенты линейной корреляции между рядами ГТК на всех рассматриваемых станциях за пять месяцев вегетационного периода. Наиболее тесная связь в течение почти всех месяцев ($R = 0,97–0,99$) наблюдается между рядами ГТК по станциям Усть-Ордынский и Хомутово, исключение составляет июнь ($R = 0,81$). Достаточно высокие коэффициенты корреляции получены для станций Иркутск–Усть-Ордынский и Иркутск–Хомутово в сентябре: 0,91 и 0,96 соответственно. В остальные месяцы их величины для этих же пар станций составляют 0,82–0,89.

Следующие по величине коэффициенты (0,70–0,76) характеризуют связь между рядами показателя засухи на станциях Иркутск–Бохан (июль–сентябрь) и Баяндай–Бохан (август, сентябрь). Коэффициенты корреляции почти для всех остальных пар станций попадают в пределы от 0,35 до 0,67 при значимости $\leq 0,05$. Исключение составляют станции Нижнеудинск и Зима, для которых в большинстве случаев уровень значимости $> 0,05$, а хорошая связь отмечается в основном между собой (0,51 — июнь, 0,38 — июль, 0,67 — сентябрь) и в редких случаях с рядами на других станциях: Нижнеудинск–Бохан (0,43 — май, 0,46 — июнь, сентябрь), Нижнеудинск–Баяндай (0,42 — сентябрь), Зима–Бохан (0,46–0,61 — июнь–сентябрь), Зима–Баяндай (0,48 — сентябрь).

Синхронность колебаний температуры воздуха на всех станциях подтверждается высокими коэффициентами корреляции (0,92–0,98). Связь между рядами осадков менее тесная при $R 0,50–0,70$, в основном совпадающих с аналогичными для ГТК. Таким образом, значимость взаимосвязей между рядами ГТК во многом определяется мезомасштабными процессами атмосферной циркуляции, которые индицируются распределением атмосферных осадков.

Прогноз как отдельных метеорологических характеристик, так и комплексных показателей, таких как ГТК, считается одной из основных задач в климатологии. Его достоверность определяется наличием достаточной информационной базы, часть которой опирается на многолетние данные инструментальных наблюдений метеорологических станций. К сожалению, начало этих рядов для большинства станций Предбайкалья приходится лишь на 1940-е гг. Только ст. Иркутск располагает информацией о температуре воздуха и атмосферных осадках с конца XIX в., т. е. в два раза более длинными рядами наблюдений по сравнению с остальными станциями. В связи с этим перед нами встал вопрос о возможности восстановления рядов указанных метеопараметров и непосредственно самого ГТК с помощью регрессионной модели.

Для восстановления рядов ГТК могут быть использованы уравнения линейной регрессии при $R 0,25–0,96$ (значимость $\leq 0,05$). Удовлетворительные результаты, применительно к нашим задачам, были получены лишь для тех станций, где коэффициенты линейной корреляции с данными по ст. Иркутск выше 0,90 (Усть-Ордынский и Хомутово в сентябре). В остальных же случаях, по мере уменьшения указанных коэффициентов, происходит сглаживание восстановленных рядов, что ведет к уменьшению амплитуды колебаний и «потере» критических значений за отдельные годы, т. е. тех величин, которые характеризуют состояние засухи, особенно сильной засухи. Если же $R < 0,80$, то мы можем говорить лишь о сохранении общих закономерностей колебаний в восстановленных рядах, а значит — о возможности определения только продолжительности существующих циклов, но никак не о повторяемости засух (рис. 3).

Согласно результатам спектрального анализа явно выраженной периодичности в возникновении засух не выявлено. Приблизительно во все рассматриваемые месяцы намечаются периоды 2–4 года, 5–7 лет, а в мае прослеживается и 30-летняя цикличность засух.

Ряды, полученные путем восстановления непосредственно коэффициентов засушливости, и аналогичные, полученные расчетом ГТК при использовании восстановленных значений температуры воздуха и атмосферных осадков, оказались одинаково близкими к реальному с коэффициентом корреляции между ними 0,99. Поэтому в дальнейшем целесообразнее использовать первый вариант восстановления рядов ГТК.

За весь период инструментальных наблюдений (1882–2000 гг.) на ст. Иркутск количество лет с засухой (сильной засухой) составило: для мая — 34 (10), июня — 26 (6), июля — 16 (4), августа — 10 (2), сентября — 14 (4). Состояние сильной засухи в трех (май, июль, сентябрь) из пяти месяцев отмечалось в 1884 г. Остальные годы по условиям недостаточного увлажнения характеризуются следующим образом. Засуха непрерывной продолжительностью три месяца (май–июль) наблюдалась в 1993 г.,

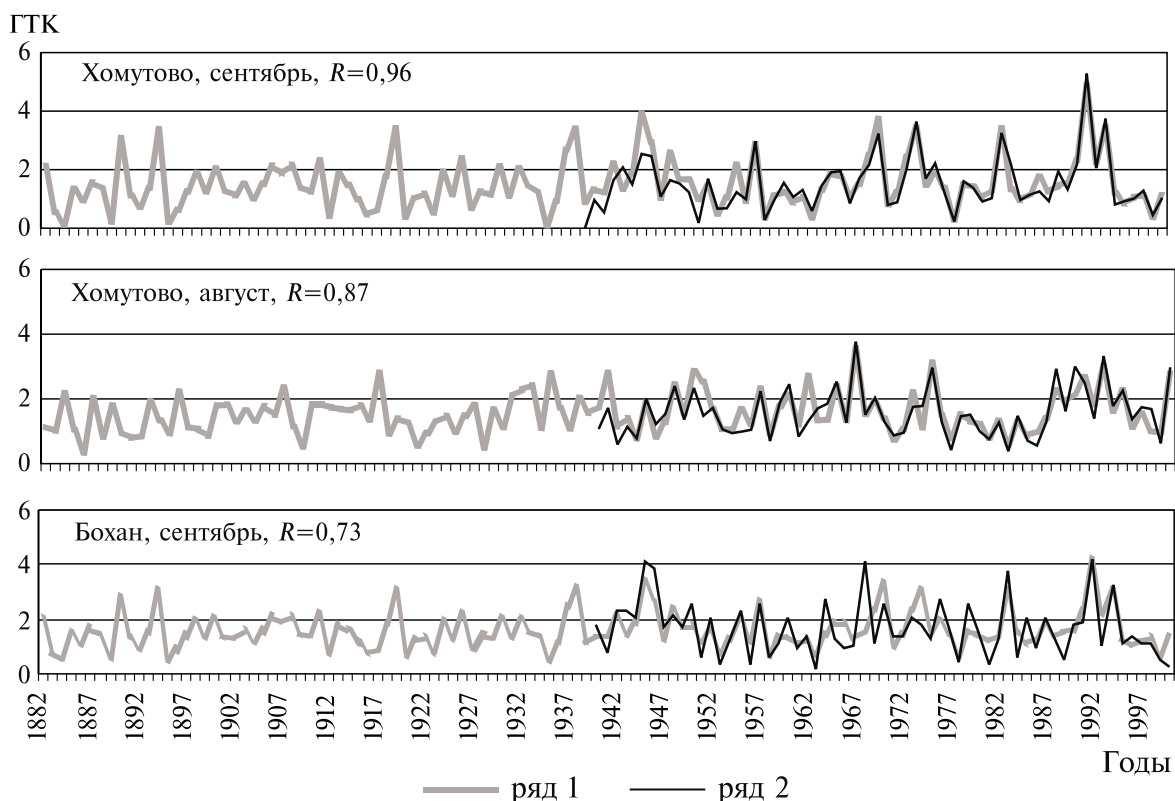


Рис. 3. Многолетний ход величин ГТК, полученных по данным наблюдений (ряд 2) и по восстановленным значениям (ряд 1) с различными коэффициентами корреляции с данными по ст. Иркутск.

два месяца — май—июнь — в 1917, 1934, 1945, 1969, 1972, 1990 гг., июнь—июль — в 1888, 1889, 1897, 1900 гг., июль—август — в 1921 г.

С конца XIX в. до настоящего времени можно отметить некоторые тенденции в изменении повторяемости засух. С уменьшением среднего значения ГТК в мае повторяемость засух увеличивается, а с его повышением в остальные месяцы — уменьшается. Тенденции изменения ГТК за 100 лет составляют: для Иркутска в мае $-0,21$, в июне $0,26$, в июле $0,66$, в августе $0,44$, в сентябре $0,40$; для восстановленных значений ГТК в сентябре на станциях Усть-Ордынский и Хомутово $0,35$ и $0,33$ соответственно.

С уменьшением среднего значения ГТК повторяемость засух увеличивается, а с его повышением — уменьшается. Таким образом, в пределах рассматриваемого периода май стал более засушливым (тренд $-0,21/100$ лет). В остальные месяцы, особенно в июле (тренд $0,66/100$ лет), произошло уменьшение количества лет с засухой. Выводы, полученные по результатам анализа коэффициентов регрессии, подтверждаются при сравнении повторяемости засушливых явлений на ст. Иркутск за два периода (1882–1939 и 1940–2000 гг.) (рис. 4).

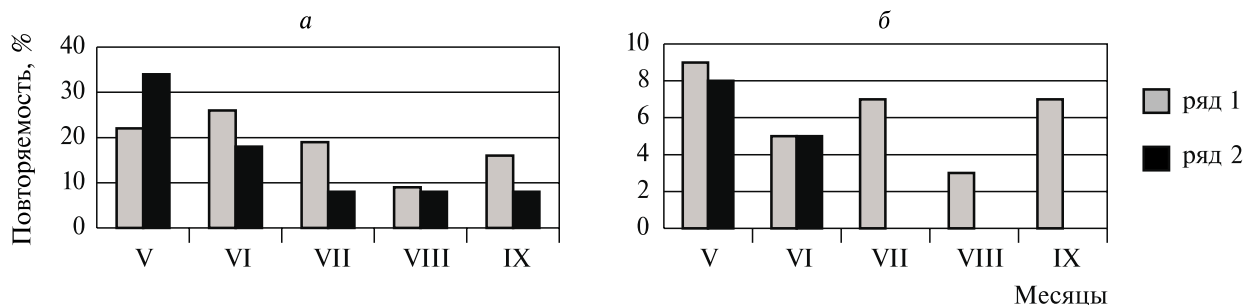


Рис. 4. Повторяемость засух (а) и сильных засух (б) на ст. Иркутск за периоды 1882–1939 гг. (ряд 1) и 1940–2000 гг. (ряд 2).

Надо отметить, если количество засух в мае в 1940–2000 гг. по сравнению с 1882–1939 гг. возросло, а в остальные месяцы уменьшилось, то повторяемость сильных засух в мае уменьшилась, в июне осталась прежней, а в июле–сентябре во второй половине XX в. случаев с сильной засухой вообще не наблюдалось. Таким образом, климат Предбайкалья за последние 120 лет стал менее засушливым, а это, в свою очередь, благоприятно сказывается на агроклиматических характеристиках территории.

Согласно результатам исследований увеличение повторяемости засух наблюдается в мае, когда на рассматриваемой территории начинается период вегетации, т. е. в это время следует уделять особое внимание процессу дополнительного увлажнения.

Интересно было бы сравнить между собой повторяемость засух в различных ландшафтах. Для реализации этой задачи наиболее подходит индекс S , рассчитанный Д. А. Педем. По его мнению, засуху необходимо характеризовать не абсолютными величинами температуры и осадков, как это предлагает Г. Т. Селянинов, а их аномалиями по сравнению с климатической нормой. Нами были рассчитаны величины S для Иркутска с мая по сентябрь за весь период наблюдений (1882–2000 гг.).

Результаты анализа распределения S во многом повторяют выводы, полученные при рассмотрении коэффициентов Селянинова, что подтверждается высокими коэффициентами корреляции между ними. Однако даже в июле при максимальном коэффициенте 0,86 отмечаются несовпадения в определении засушливых лет двумя различными способами. Как уже говорилось ранее, состояние засухи определяется коэффициентом Селянинова $<0,8$, состояние сильной засухи коэффициентом $<0,4$. По Педю соответствующие условия атмосферной засухи характеризуются индексами >1 и >2 .

Согласно результатам анализа ГТК Селянинова с 1882 по 2000 г. в Иркутске наблюдалось 34 засухи в мае, 26 — в июне, 16 — в июле, 10 — в августе, 14 — в сентябре. Если рассматривать индексы Педя, то аналогичные месяцы характеризуются следующей повторяемостью засух — 25, 28, 30, 31 и 25 соответственно. При этом совпадение в определении засухи отмечается в 45 % случаев в мае, в 59 % — в июне, 48 — в июле, 24 — в августе и в 26 % в сентябре. Состояние сильной засухи подтверждается обоими методами в мае 1884, 1924, 1950, 1951, 1990, 2000 гг., в июне 1969, 1979 гг., в июле 1887, 1900, 1921 гг., в августе 1886, 1928 гг., в сентябре 1895, 1935 гг.

Для более достоверной оценки условий увлажнения рассматриваемой территории необходимо сопоставление колебаний тех и других коэффициентов с рядами биопродуктивности растений.

Таким образом, в данной работе нами проведен анализ региональных особенностей только атмосферных засух. Полученные результаты подтверждают большую трудность их прогнозирования. В дальнейшем для мониторинга, оценки и прогноза засушливых явлений необходимо учесть почвенные и атмосферно-почвенные засухи. При этом должна быть привлечена информация об особенностях почвы, ее влажности на различных глубинах, запасах снега, температурном режиме воздуха и почвы весной и некоторые другие характеристики.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (05–05–97236) и программы Президиума РАН (16.7).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Густокашина Н. Н. Многолетние изменения основных элементов климата на территории Предбайкалья. — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2003.
2. Густокашина Н. Н., Максютлова Е. В. Атмосферное увлажнение степной и лесостепной зон юга Восточной Сибири // География и природ. ресурсы. — 2004. — Спец. вып.
3. Климатологический справочник СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1955. — Вып. 22, ч. 1, 2.
4. Справочник по климату СССР. Метеорологические данные за отдельные годы. — Л.: Гидрометеоиздат, 1970, 1972. — Вып. 22, 23, ч. 1, 2.
5. Метеорологический ежемесячник. — Новосибирск, 1966–2000 гг. — Вып. 22, ч. 2, № 1–13.

*Институт географии СО РАН,
Иркутск*

*Поступила в редакцию
18 января 2006 г.*