

Вестник

Томского государственного

университета

№ 364

Ноябрь

2012

- ФИЛОЛОГИЯ
- ФИЛОСОФИЯ, СОЦИОЛОГИЯ, ПОЛИТОЛОГИЯ
- КУЛЬТУРОЛОГИЯ
- ИСТОРИЯ
- ПРАВО
- ЭКОНОМИКА
- ПСИХОЛОГИЯ И ПЕДАГОГИКА
- НАУКИ О ЗЕМЛЕ
- БИОЛОГИЯ
- ХИМИЯ

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Майер Г.В., д-р физ.-мат. наук, проф. (председатель); **Дунаевский Г.Е.**, д-р техн. наук, проф. (зам. председателя); **Ревушкин А.С.**, д-р биол. наук, проф. (зам. председателя); **Катунин Д.А.**, канд. филол. наук, доц. (отв. секретарь); **Берцун В.Н.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Воробьёв С.Н.**, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.; **Гага В.А.**, д-р экон. наук, проф.; **Галажинский Э.В.**, д-р психол. наук, проф.; **Глазунов А.А.**, д-р техн. наук, проф.; **Голиков В.И.**, канд. ист. наук, доц.; **Горцев А.М.**, д-р техн. наук, проф.; **Гураль С.К.**, д-р пед. наук, проф.; **Демешкина Т.А.**, д-р филол. наук, проф.; **Демин В.В.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Ершов Ю.М.**, канд. филол. наук, доц.; **Зиновьев В.П.**, д-р ист. наук, проф.; **Канов В.И.**, д-р экон. наук, проф.; **Кузнецов В.М.**, канд. физ.-мат. наук, доц.; **Кулижский С.П.**, д-р биол. наук, проф.; **Парначёв В.П.**, д-р геол.-минерал. наук, проф.; **Портнова Т.С.**, канд. физ.-мат. наук, доц., директор Издательства НТЛ; **Потекаев А.И.**, д-р физ.-мат. наук, проф.; **Прозументов Л.М.**, д-р юрид. наук, проф.; **Прозументова Г.Н.**, д-р пед. наук, проф.; **Пчелинцев О.А.**, зав. редакционно-издательским отделом ТГУ; **Рыкун А.Ю.**, д-р социол. наук, доц.; **Сахарова З.Е.**, канд. экон. наук, доц.; **Слизов Ю.Г.**, канд. хим. наук, доц.; **Сумарокова В.С.**, директор Издательства ТГУ; **Сущенко С.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Тарасенко Ф.П.**, д-р техн. наук, проф.; **Татьянин Г.М.**, канд. геол.-минерал. наук, доц.; **Унгер Ф.Г.**, д-р хим. наук, проф.; **Уткин В.А.**, д-р юрид. наук, проф.; **Черняк Э.И.**, д-р ист. наук, проф.; **Шилько В.Г.**, д-р пед. наук, проф.; **Шрагер Э.Р.**, д-р техн. наук, проф.

НАУЧНАЯ РЕДАКЦИЯ ВЫПУСКА

Галажинский Э.В., д-р психол. наук, проф.; **Демешкина Т.А.**, д-р филол. наук, проф.; **Зиновьев В.П.**, д-р ист. наук, проф.; **Канов В.И.**, д-р экон. наук, проф.; **Кулижский С.П.**, д-р биол. наук, проф.; **Парначёв В.П.**, д-р геол.-минер. наук, проф.; **Прозументов Л.М.**, д-р юрид. наук, проф.; **Прозументова Г.Н.**, д-р пед. наук, проф.; **Унгер Ф.Г.**, д-р хим. наук, проф.; **Черняк Э.И.**, д-р ист. наук, проф.; **Шилько В.Г.**, д-р пед. наук, проф.

Журнал «Вестник Томского государственного университета» включён в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» (http://vak.ed.gov.ru/ru/help_desk/list/)

ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ КЛИМАТА И ОБВОДНЕННОСТИ ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ ПО ДАННЫМ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ, МОДЕЛЬНОГО РЕАНАЛИЗА И СПУТНИКОВОЙ АЛЬТИМЕТРИИ

Дается оценка тепло- и влагообеспеченности разных гидролого-климатических и болотных зон по данным метеорологических станций, модельного реанализа и метода спутниковой альтиметрии. На первом этапе проведен анализ температуры воздуха и осадков в Обском бассейне по данным метеорологических станций и модельного реанализа ERA-40 и оценена их согласованность. На втором этапе работы методом радарной альтиметрии (спутник TOPEX/Poseidon) определена величина и временная изменчивость площадей затопляемых и переувлажненных территорий, а также предложена классификация речных бассейнов по характеру сезонного хода коэффициента обводненности. Выявлена связь между обводненностью и осадками теплого периода для ряда водосборов, что свидетельствует о хорошей репрезентативности данных альтиметрии для оценки временной динамики увлажненности.

Ключевые слова: Западная Сибирь; изменчивость климата; обводненность территорий; модельный реанализ; спутниковая альтиметрия.

В настоящее время изменение климата подтверждается многими фактами. Рост средней глобальной приповерхностной температуры воздуха в XX в., по оценкам разных авторов [1–3], составлял 0,6–0,7°C. Изменения климата в разных регионах более индивидуальны и отличаются от общих глобальных показателей. Установлено, что на территории Сибири в 1955–1990 гг. происходило значительно более существенное, чем в среднем по земному шару, потепление с нарастающей к началу 1990-х гг. интенсивностью, причем с повышением среднегодовой температуры воздуха снижалась амплитуда ее сезонных колебаний [4]. За период 1978–2006 гг. в Западной Сибири средняя скорость потепления составила 0,32°C/10 лет, в то время как по России в целом – 0,43, а по земному шару – 0,18°C/10 лет [5]. По данным [6, 7], потепление в Сибири за последний климатический (30-летний) период характеризуется неоднородной субрегиональной структурой с очагами ускоренных темпов потепления до 0,5°C/10 лет. Изменения климата в Сибири также характеризуются увеличением атмосферных осадков в зимний и весенний периоды [8, 9], толщины снежного покрова [10] температуры почвогрунтов [11], деградацией многолетней мерзлоты [12], сокращением площадей озер [13–15] и изменением речного стока [9, 16–18]. Наряду с изменениями термического режима происходит изменение общего увлажнения территории, а также гидрологического режима. Воздействие факторов как естественного, так и антропогенного характера, накладываясь друг на друга, могут вызывать изменения водных ресурсов регионального масштаба.

Западная Сибирь является уникальным болотным регионом. Средняя заболоченность равнины составляет 50%, а отдельных ее районов (Сургутское Полесье, Васюганье) – до 70–75% [19]. Наличие большого количества болот и озер на территории равнины и замедленные процессы стока обуславливают относительно высокое испарение влаги с поверхности водосборов. Вместе с тем большое количество талых и дождевых вод задерживается в болотных торфяниках.

Для прогноза будущих изменений климата требуются многолетние данные по климатическим и гидрологическим характеристикам. Однако редкая сеть пунктов гидрометеорологических наблюдений, а также недоступность большинства территорий вследствие огромного количества болот создают трудности для

мониторинга гидрологического режима. Поэтому привлечение современных данных модельного реанализа и спутниковой альтиметрии, обеспечивающих регулярное покрытие всей изучаемой территории, позволяет дополнить натурные наблюдения и расширить область исследований.

Основной целью данной работы является оценка внутри- и межгодовой изменчивости тепло- и влагообеспеченности разных гидролого-климатических и болотных зон в связи с изменением климата по данным модельного реанализа, метеорологических станций и спутниковой альтиметрии.

1. Исходные данные и методы

Для того чтобы выявить зональные географические изменения на территории Западно-Сибирской равнины, в качестве объектов исследования выбраны водосборы рек среднего размера, располагающиеся в следующих гидролого-климатических [20] и болотных [19] зонах:

1. Зона избыточного увлажнения и недостаточной теплообеспеченности, зоны бугристых болот – водосборы рек Полуй, Надым, Пур, Таз.
2. Зона избыточного увлажнения и выпуклых олиготрофных болот – водосборы рек Северная Сосьва, Конда, Тавда, Назым, Лямин, Тромъеган, Вах, Большой Юган, Тым.
3. Зона преимущественно избыточного и достаточного на крайнем юге увлажнения и достаточной теплообеспеченности, соответствующая зоне плоских евтрофных и мезотрофных болот – водосборы рек Тура и Омь в ее верховьях.
4. Зона недостаточного увлажнения и достаточной теплообеспеченности, зона вогнутых евтрофных и засоленных болот – здесь располагаются низовья бассейна Оми и область внутреннего стока (или бессточная область) Обь-Иртышского междуречья.

1.1. Данные гидрометеорологических станций и модельного реанализа

В качестве исходной информации для оценки характера климатической изменчивости по температуре воздуха и атмосферным осадкам послужили: 1) архивы Всероссийского НИИ гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ–

МЦД) – данные суточного разрешения по метеорологическим станциям Западной Сибири [21]) и 2) данные модельного реанализа ERA-40 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды [22]. Результаты наблюдений на метеостанциях использованы нами для контроля данных модельного реанализа. Ниже приводится краткое описание этих данных.

Климатическая база данных суточного разрешения ВНИИГМИ–МЦД. Анализ данных по температуре воздуха и атмосферным осадкам проводился по станциям Березово с 1936 по 2005 г. (69 лет наблюдений) и Барабинск с 1901 по 2005 г. (104 года). Эти станции расположены в разных частях исследуемой территории и выбраны для сравнения с данными реанализа. Первая из них расположена почти в устье р. Северная Сосьва, вторая – примерно на северной границе области замкнутого стока Обь-Иртышского междуречья. Данные архива по температуре и осадкам регулярно корректируются. Ряды данных по осадкам откорректированы в ВНИИГМИ–МЦД для исключения неоднородностей – они содержат поправки на смачивание и поправки, связанные с переходом на сети от дождемеров к осадкомерам. Тем не менее данные по осадкам содержат существенную инструментальную неоднородность, связанную, в частности, с недоучетом твердых осадков, особенно при метелях и сильных ветрах [5].

Модельный реанализ ERA-40 представляет собой результат численного моделирования с ассимилированием наземных и спутниковых данных. У разных моделей реанализа координатная сетка индивидуальна. В реанализе ERA-40 Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ECMWF), помимо стационарных наземных наблюдений, использовался огромный объем данных дистанционного зондирования. Архив содержит данные за период с сентября 1957 по август 2002 г. с пространственным разрешением $2,5^\circ$ по широте и долготе в узлах регулярной сетки и разрешением во времени 6 часов. Архивные данные по температуре воздуха и атмосферным осадкам осреднялись нами по всем узлам регулярной сетки, попадающим в пределы каждого исследуемого водосбора за два периода: 1958–2001 и 1993–2001 гг. (второй из них соответствует времени работы спутника TOPEX/Poseidon).

1.2. Спутниковые данные TOPEX/Poseidon

Изменения температуры воздуха и атмосферных осадков приводят к изменениям в режиме обводненности территории. Под обводненностью понимается степень увлажнения какой-либо территории, которую можно рассчитать количественно [20] или, как будет показано ниже, применить спутниковую альтиметрию.

Для оценки изменчивости обводненности исследуемых водосборов нами предлагается использовать измерения спутникового альтиметра TOPEX/Poseidon (Т/Р). Суть метода заключается в том, что радар альтиметра испускает сигнал в направлении надира (вертикально вниз), сигнал отражается от земной поверхности (сухой или обводненной в той или иной степени) и принимается бортовым приемником. Время от начала отражения сигнала до его приема позволяет установить расстояние между спутником и земной поверхностью и

определить положение относительно референц-эллипсоида. В дополнение к этому альтиметрические измерения позволяют получать информацию о свойствах поверхности через энергию отраженного от нее сигнала, выраженную в децибелах (дБ). В работе нами используются данные измерений альтиметра TOPEX/Poseidon с частотой излучения 13,6 ГГц в K_u диапазоне и энергией принимаемого сигнала в диапазоне значений от 15 до 25 дБ. Временная дискретность повторения измерений вдоль трека спутника Т/Р составляет 10 дней с пространственным разрешением около 6 км. Карта-схема покрытия спутниковыми трассами (треками) исследуемых водосборов представлена на рис. 1. Для оценки обводненности ландшафтов (включающих реки, озера, болота) анализировался отраженный сигнал, или коэффициент обратного рассеяния (КОР) в децибелах. Определялось общее количество альтиметрических измерений в каждом цикле и количество измерений, приходящихся на водную поверхность, точнее, поверхность, классифицируемую нами как водная и на самом деле являющуюся в достаточной степени обводненной. На ней постоянно (в виде рек, озер) или временно (в виде разного типа болот, топей, речных пойм) присутствует вода. Обводненность территории предлагается измерять коэффициентом обводненности $K_{обв}$, вычисляемым как отношение количества измерений над водной поверхностью $N_{obs(дБ)}$ к общему количеству измерений N_{obs} в каждом спутниковом цикле:

$$K_{обв} = N_{obs(дБ)} / N_{obs} \times 100\%. \quad (1)$$

Количество измерений N_{obs} за 10-дневный спутниковый цикл для исследуемых водосборов варьирует в среднем от 49 до 753 точек в зависимости от площади каждого из них (табл. 1).

Очевидно, что величина $K_{обв}$ изменяется во времени по сезонам года, а для каждого сезона – из года в год, и отражает пространственно-временную динамику увлажненности исследуемой территории. Для разграничения обводненной и необводненной поверхностей следует предварительно задать пороговое значение коэффициента обратного рассеяния. Открытая вода дает большее значение КОР, чем менее увлажненная поверхность. Его величина зависит также от характера подстилающей поверхности – от рельефа, почвогрунтов, растительности. Например, в случае открытой водной поверхности сигнал сильный: $КОР \geq 15$ дБ. Отраженный сигнал слабее, например, в горных областях с большим разнообразием уклонов элементарных поверхностей, от которых отражение происходит под разными углами с большими потерями энергии, а также на поросших густой травой суходольных лугах или в лесу. Пороговое значение КОР зависит от типа ландшафта, поэтому в общем случае для каждого водосбора следует выбирать индивидуальное значение этого критерия. Для более объективной оценки порогового значения КОР для каждого водосбора нами использована картографическая информация: задавались разные значения КОР и по формуле (1) для летнего наиболее сухого сезона (с июля по сентябрь) вычислялись соответствующие им минимальные коэффициенты обводненности $K_{обв}$. Значения последних сравнивались с имеющимися данными по гидрографическим характеристикам водосборов (озерность + заболоченность) по монографиям [23, 24], карте растительности Западно-Сибирской равнины [25], отражающими от-

носителю площадь постоянно увлажненных угодий на водосборе. В ходе сравнения выбирается такое пороговое значение КОР (в диапазоне от 15 до 25 дБ), которое наилучшим образом соответствует картографическим

данным (табл. 1). Например, для водосборов зоны I (бугристых болот), а также части водосборов зоны II определенное таким образом пороговое значение КОР оказалось равным 25 дБ.

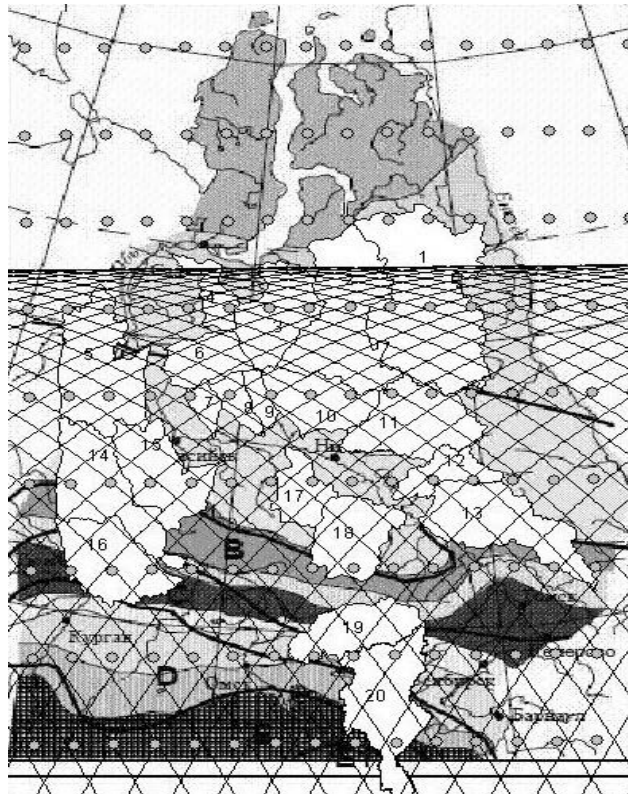


Рис. 1. Схема покрытия водосборов координатной сеткой модельного реанализа (круглые символы) и спутниковыми трассами (сплошные линии): водосборы рек: 1 – Таз, 2 – Пур, 3 – Надым, 4 – Полуи, 5 – Северная Сосьва, 6 – Казым, 7 – Назым, 8 – Лямин, 9 – Пим, 10 – Тромьеган, 11 – Вах, 12 – Тым, 13 – Кеть, 14 – Тавда, 15 – Конда, 16 – Тура, 17 – Большой Юган, 18 – Васюган, 19 – Омь, 20 – область внутреннего стока Обь-Иртышского междуречья и спутниковыми трассами (треки Т/Р, покрытие до 66°с.ш.)

Таблица 1

Сезонные значения коэффициента обводненности для водосборов по данным спутника TOPEX/Poseidon

№ п/п	Водосборы рек	Площадь водосбора, км ²	Среднее число наблюдений 10-дневного цикла N _{obs}	K _{обс} по данным TOPEX /Poseidon, %	Пороговое значение КОР, дБ	Относительная площадь постоянно увлажненных земель на водосборной площади (f _{оз} +f _з), %	
						Справочник [23, 24]	Карта растительности [25]
1	Надым	64 000	407	65	25	49	55
2	Пур	112 000	628	74	25	–	52
3	Таз	150 000	753	44	25	–	31
4	Полуй	21 000	173	40	25	–	32
5	Пим	12 700	49	97	25	82	–
6	Назым	15 200	47	29	25	31	–
7	Лямин	15 900	56	88	25	73	–
8	Вах	76 700	261	46	25	47	–
9	Тромьеган	55 600	209	90	25	62	–
10	Казым	35 600	156	39	25	21	–
11	Тым	32 300	101	32	24	28	–
12	Северная Сосьва	91 150	299	24	21	24	–
13	Конда	72 800	218	54	21	53	–
14	Васюган	61 800	161	34	20	33	–
15	Большой Юган	34 700	91	32	20	35	–
16	Кеть	94 200	248	39	21	–	–
17	Область внутреннего стока Обь-Иртышского междуречья	115 500	229	22	21	–	–
18	Омь	52 600	124	40	18	41	–
19	Тавда	88 100	194	35	15	49	–
20	Тура	80 400	185	35	15	–	–

Примечание. f_{оз} – озерность, f_з – заболоченность.

2. Результаты и обсуждение

2.1. Анализ трендов температуры воздуха и атмосферных осадков за период 1958–2001 гг. на исследуемых водосборах

Известно, что достоверность данных реанализа для разных метеорологических величин неодинакова. Этим данным нередко присущи систематические погрешности [26]. Качество данных реанализа также зависит от плотности наблюдательной сети. В работе [27] получены оценки качества осадков по данным реанализа ERA-40 для бассейнов северных рек Обь, Енисей, Лена и Маккензи и показано, что в целом они удовлетворительно согласуются с откорректированными данными наблюдений на метеостанциях. Одна-

ко в этой же работе подчеркивается, что данные ERA-40 необходимо использовать с осторожностью, в особенности в северных областях, вследствие высоких температурных инверсий в зимнее время и высокой облачности в летнее время. Несмотря на ряд ограничений [28], данные реанализа являются полезными источниками информации, даже при анализе осадков и испарения.

Для оценки качества данных ERA-40 при анализе основных климатических параметров (температуры воздуха и осадков) нами были сопоставлены данные реанализа с наблюдениями на станциях Березово и Барабинск (рис. 2). Коэффициенты линейного тренда, парной линейной корреляции по температуре воздуха и атмосферным осадкам между данными реанализа и станций представлены в табл. 2.

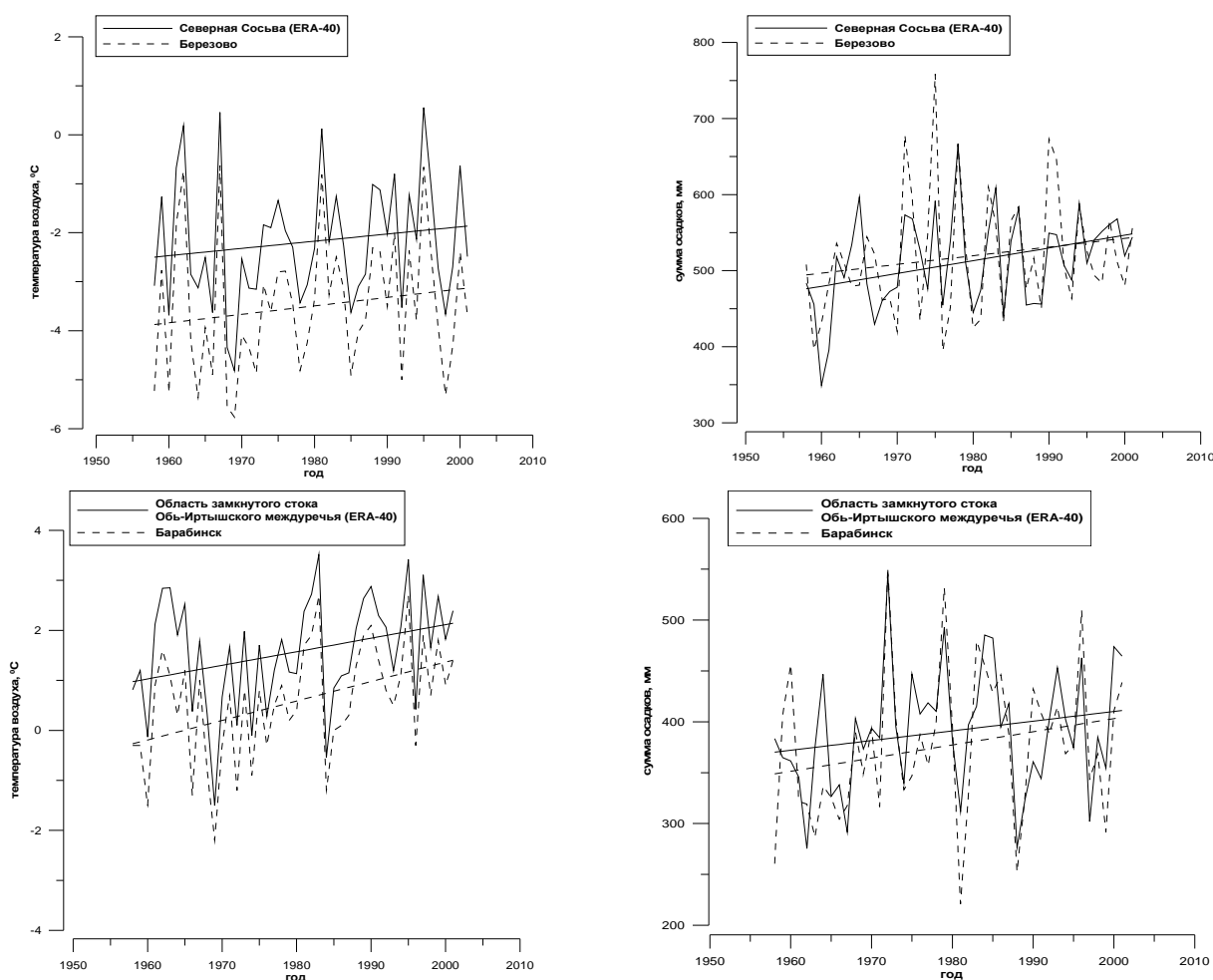


Рис. 2. Хронологический график среднегодовой температуры воздуха и сумм атмосферных осадков по данным модельного реанализа и метеорологическим станциям

Таблица 2

Значения коэффициентов линейного тренда, корреляции и его стандартного отклонения по температуре воздуха и атмосферным осадкам между данными реанализа и метеорологическими станциями

Параметр	Тренд (°C/П, мм)	$r_{xy} (°C)/S_r$	$r_{xy} (мм)/S_r$
Реанализ (С. Сосьва)	0,15/16,8	0,98/0,14	0,66/0,60
Березово	0,17/11,5		
Реанализ (область внутреннего стока Обь-Иртышского междуречья)	0,27/9,5	0,97/0,17	0,71/0,57
Барабинск	0,34/12,9		

Примечание. r_{xy} – коэффициент парной корреляции, S_r – стандартное отклонение коэффициента корреляции.

В целом данные реанализа по температуре воздуха точнее описывают изменения климата на исследуемой территории, чем по атмосферным осадкам [26]. Следует отметить, что различия модельных результатов и данных наблюдений могут быть также связаны с тем, что модельные оценки ERA-40 характеризуются пространственным разрешением 2,5°, а данные наблюдений относятся к отдельным станциям [29].

Проведенный анализ данных по температуре воздуха за 1958–2001 гг. показал, что наиболее сильное потепление наблюдается в северной части равнины, о чем свидетельствуют коэффициенты линейных трендов (рис. 3, табл. 3). Статистическая значимость трендов определялась по критерию Стьюдента с вероятностью $\alpha = 0,05$.

Водосборы, на которых наблюдаются значимые тренды по среднегодовой температуре воздуха, можно разделить на 3 географически различные группы, отличающиеся друг от друга по условиям теплообеспеченности: 1) водосборы рек Полуй, Надым, Таз и Пур с наиболее сильным очагом потепления на водосборе реки Надым (0,37°C/10 лет); 2) водосборы рек Тромъеган, Вах, Большой Юган с наиболее выраженным потеплением на реке Тромъеган (0,34°C/10 лет); 3) водосборы рек Васюган, Омь и область внутреннего стока Обь-Иртышского междуречья с самым высоким трендом на реке Васюган (0,28°C/10 лет). Значимое увеличение атмосферных осадков наблюдается на водосборах рек: Северная Сосьва, Конда, Тавда, Тура, Таз, Назым и Вах.

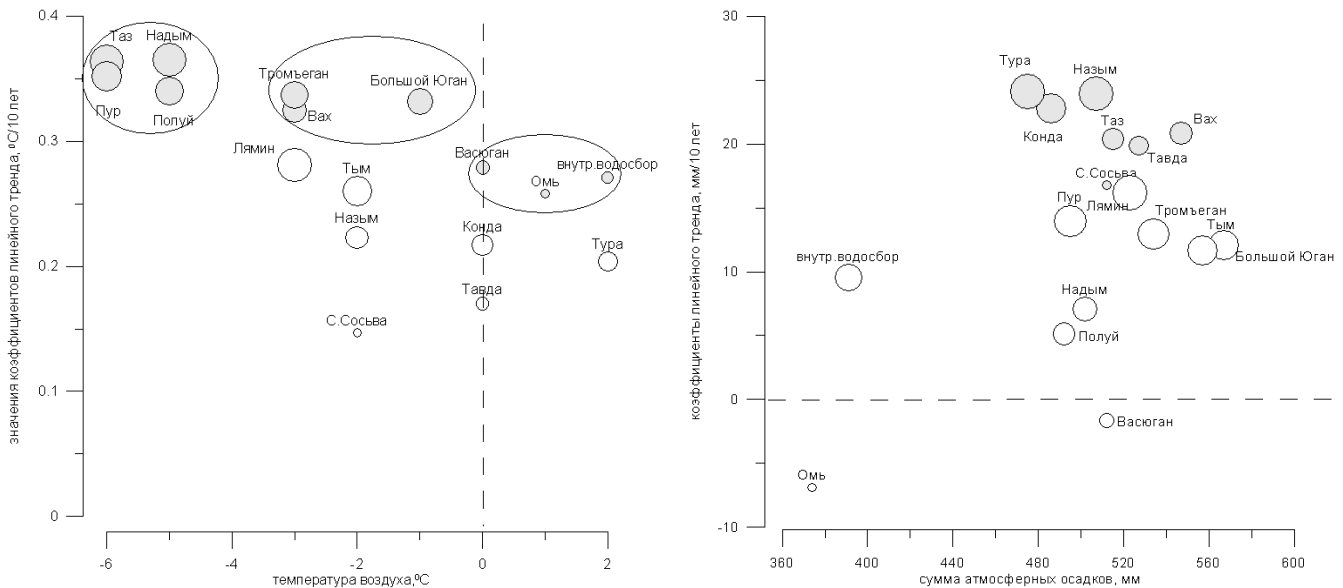


Рис. 3. Многолетние температуры воздуха и суммы атмосферных осадков, а также коэффициенты линейных трендов (размер «кружков» показывает значения коэффициентов линейного тренда, «кружки» серого цвета показывают значимые тренды по температуре воздуха и сумме осадков на водосборах)

Таблица 3

Значения коэффициентов линейного тренда данных модельного реанализа и станций

Название водосбора и метеорологических станций	Коэффициент линейного тренда, °C/10 лет	Коэффициент линейного тренда, мм/10 лет
Полуй	0,34	5,1
Надым	0,37	7,1
Пур	0,35	14,0
Таз	0,36	20,4
Северная Сосьва	0,15	16,8
Конда	0,22	22,8
Тавда	0,17	19,9
Тура	0,20	24,1
Назым	0,22	23,9
Лямин	0,28	16,2
Тромъеган	0,34	13,0
Вах	0,33	20,8
Большой Юган	0,33	12,1
Тым	0,26	11,7
Васюган	0,28	-1,6
Омь	0,26	-6,9
Область внутреннего стока Обь-Иртышского междуречья	0,27	9,5
Березово	0,10	18,1
Барабинск	0,26	0,46

Таким образом, выявленные изменения свидетельствуют о постепенном увеличении в исследуемых рай-

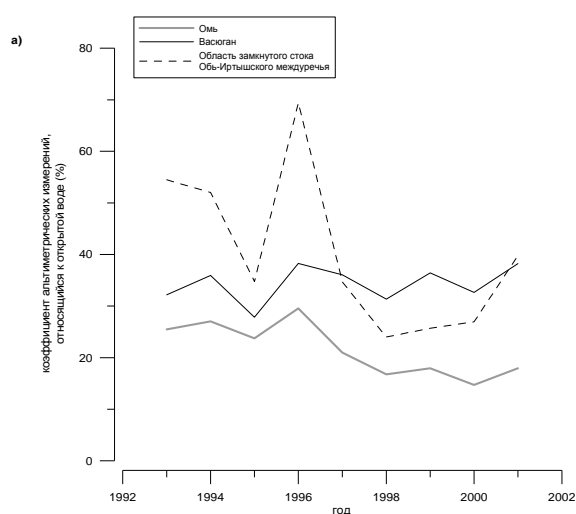
онах среднегодовой температуры воздуха и в большинстве случаев – сумм атмосферных осадков.

2.2. Временная изменчивость обводненности водосборов по данным альтиметрического спутника TOPEX/Poseidon

2.2.1. Классификация исследуемых водосборов по характеру межгодового хода коэффициента обводненности

Проблемам районирования территории Западно-Сибирской равнины посвящено много работ [17, 30]. Например, классификация В.А. Земцова [17] основана на сходстве многолетней изменчивости годового и месячного стока рек. В данной работе было отмечено, что между выделенными кластерами со сходными колебаниями существуют широкие «нейтральные» полосы с переходным режимом колебаний.

Районирование территории можно производить не только на основе данных наблюдений на гидрологических постах, но и с использованием метода спутниковой альтиметрии. Нами была предпринята попытка классификации рек бассейна Оби по характеру межгодового хода минимальных коэффициентов обводненности за весь летний период, которая отражающей особенности природных режимов речных водосборов. В результате выделено четыре географических района. Первый из них включает центральную часть Обь-Иртышского междуречья (бассейны рек Омь, Васюган)



и его бессточную область. Второй район объединяет реки Зауралья и северной части Обь-Иртышского междуречья (бассейны рек Северная Сосьва, Конда, Тавда, Тура и Большой Юган). В этой группе рек выделяются 2 подгруппы: а) Северная Сосьва, Конда, Тавда, Тура и б) Большой Юган. В третьем районе оказались реки Обь-Енисейского междуречья (бассейны рек Вах, Тым, Кеть). Четвертый район объединяет реки Сургутского Полесья, а также реки, текущие к северу от Сибирских Увалов (бассейны рек Назым, Лямин, Пим, Тромъеган, Казым, Таз, Пур, Надым, Полуй). В данной группе выделяется 3 подгруппы водосборов рек: а) Пур, Надым, Казым; б) Тромъеган, Пим, Полуй, Таз; в) Лямин, Назым.

Предложенная нами классификация исследуемых водосборов по сходству межгодового хода сезонного коэффициента обводненности достаточно хорошо согласуется с классификацией В.А. Земцова [17]. Сравнение обеих классификаций показало, что совпадают районы центральной части Обь-Иртышского междуречья (кроме водосбора реки Васюган), Зауралья и северной части Обь-Иртышского междуречья, Сургутского Полесья и рек, текущих к северу от Сибирских Увалов. В последней группе нами представлено более подробное деление водосборов рек на подгруппы. Пример группировки водосборов представлен на рис. 4.

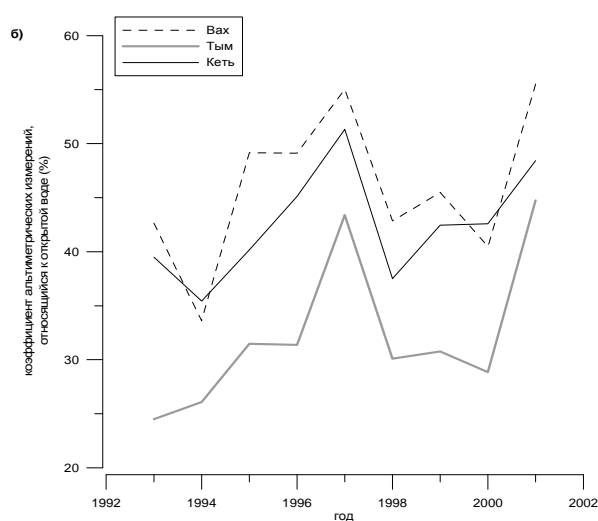


Рис. 4. Типы водосборов по межгодовому ходу коэффициента обводненности: а – первый район; б – третий район

2.2.2. Факторы, влияющие на обводнение территории водосборных бассейнов

Обводненность территории зависит от соотношения составляющих водного баланса (осадков, испарения, стока) и теплообеспеченности и механизмов стекания избытка влаги в речную сеть, представляющего собой естественный дренаж территории [31]. В представленной работе рассматриваются атмосферные осадки по данным модельного реанализа ERA-40, распределение которых зависит от общей циркуляции атмосферы и физико-географических особенностей территории.

При рассмотрении сумм осадков за холодный (октябрь–май) и теплый (июнь–сентябрь) периоды были выявлены значимое уменьшение последних на водо-

сборах рек Таз, Тромъеган, Пур, Надым, Вах и увеличение на водосборе реки Тура. Значимый положительный тренд осадков тепло периода наблюдался только на водосборе реки Вах.

Выявлены группы водосборов, для которых межгодовая изменчивость обводненности хорошо согласуется с суммой летних атмосферных осадков. В каждой группе водосборов можно отметить маловодные и многоводные группы лет. Например, в первой группе максимум значений наблюдался в 1996 г. для всех водосборов, а в третьей группе – в 2001 г., и минимум – в 1994 г. на водосборе реки Вах. В четвертой группе было отмечено 3 водосбора рек: Полуй с максимумом в 1996 г. и минимумом в 1994 г., Лямин с максимумом в 2000 г. и Тромъеган с максимумом в 2001 г. Несмотря

на большую межгодовую изменчивость коэффициента обводненности и короткий период наблюдений (8 лет), удалось установить, что со временем наблюдается значимое уменьшение обводненности в области внутреннего стока Обь-Иртышского междуречья.

Для выявления статистической зависимости между минимальной обводненностью внутри летнего периода и суммой осадков летнего периода вычислены коэффициенты парной линейной корреляции r_{xy} и их стандартные погрешности S_r на всех исследуемых водосборах. Было выявлено несколько водосборов со значимыми коэффициентами корреляции: Северная Сосьва ($r_{xy} = 0,79$, $S_r = 0,48$), Тым ($r_{xy} = 0,90$, $S_r = 0,30$), Омь ($r_{xy} = 0,94$, $S_r = 0,25$). Таким образом, можно предположить, что обводненность территории в существенной мере зависит от суммы осадков летнего периода.

Климатические условия являются определяющими в формировании общей водности территории. Температура воздуха определяет тепловой режим атмосферы, а атмосферные осадки являются основным источником увлажнения [32, 33]. При этом характер распределения осадков во многом определяется зональностью территории, которая хорошо выражена на Западно-Сибирской равнине. В результате проведенного анализа данных реанализа за 43 года было выявлено значимое увеличение средней годовой температуры воздуха в каждой рассматриваемой гидролого-климатической и ландшафтной зоне. Оказалось, что наиболее сильное потепление наблюдалось на севере равнины, на водосборе реки Надым, что подтверждается самым высоким коэффициентом линейного тренда: $0,37^\circ\text{C}/10$ лет. Значимое увеличение температуры воздуха в 1958–2001 гг. отмечено также на водосборе реки Вах. Здесь половина территории (55%) ландшафтного района занимают ли-

цензионные участки нефтедобывающих предприятий, что, вероятно, вызывает нарушение гидрологического режима, изменения рельефа, почвенно-растительного покрова и микроклимата территорий [34]. Значимое увеличение годовых атмосферных осадков (1958–2001 гг.) наблюдается на водосборах рек Северная Сосьва, Конда, Тавда, Тура, Таз, Назым и Вах. Это также отмечается для летних осадков в 1993–2001 гг. Водосборы, на которых наблюдаются значимые тренды по температуре воздуха, были сгруппированы по трем географическим районам: север равнины, район Сибирских Увалов и район центральной части Обь-Иртышского междуречья с его бессточной областью.

Изменчивость в режиме обводненности территории сложно отследить только наземными наблюдениями, а недоступность большинства территорий равнины вследствие ее высокой заболоченности еще больше усложняет решение данной задачи. Поэтому нами был использован метод спутниковой альтиметрии для исследуемых водосборов за период с 1993–2001 гг. Предложенная нами классификация по характеру сезонного хода коэффициента обводненности достаточно хорошо согласуется с классификацией рек В.А. Земцова по колебаниям годового и месячного стока. Выявленная связь между обводненностью и осадками теплого периода для ряда водосборов свидетельствует о хорошей репрезентативности данных альтиметрии. Данные спутникового альтиметра TOPEX/Poseidon за 8-летний период наблюдений не позволили выявить значимые тренды вследствие малой длины ряда. Но можно предположить, что и в дальнейшем будет происходить изменение обводненности территорий. Будущие исследования данной проблемы могут быть продолжены с использованием новых программ спутниковой альтиметрии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I. et al. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850 // J. Geophys. Res. 2006. Vol. 111, L. 12106, doi:10.1029/2005JD006548.
2. Hansen J., Sato M., Ruedy R., Lo K. Global Temperature. 2005. GISS, NASA, NY. URL: <http://data.giss.nasa.gov>
3. Luginina K.M., Groisman P.Ya., Vinnikov K.Ya. et al. Monthly surface air temperature time series area-averaged over the 30-degree latitudinal belts of the globe, 1881–2004 // Trends: A Compendium of Data on Global Change, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, US DOE, Oak Ridge, Tennessee, USA. 2005. URL: <http://cdiac.esd.ornl.gov/trends/temp/luginina/luginina.html>
4. Региональный мониторинг атмосферы. Природно-климатические изменения. Томск : МГП «РАСКО», 2000. Ч. 4. 270 с.
5. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Изменения климата. М. : Росгидромет, 2008. Т. 1. 228 с.
6. Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В. Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2008. Т. 1, № 4. С. 323–344.
7. Кабанов М.В. Некоторые закономерности климатических и экосистемных изменений в Сибири // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. 2008. Т. 1, № 4. С. 312–322.
8. Serreze M.C., Bromwich D.H., Clark M.C. et al. The large-scale hydroclimatology of the terrestrial Arctic drainage system // J. Geophys. Res. 2003. Vol. 108, doi:10.1029/2001JD000919.
9. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Последствия изменений климата. М. : Росгидромет, 2008. Т. 2. 288 с.
10. Булыгина О.Н., Корицунова Н.Н., Разуваев В.Н. Изменения характеристик снежного покрова на территории России в последние десятилетия // Труды ГУ «ВНИИГМИ МЦД». 2007. Вып. 173. С. 54–62.
11. Васильев А.А., Дроздов Д.С., Москаленко Н.Г. Динамика температуры многолетне-мерзлых пород Западной Сибири в связи с изменениями климата // Криосфера Земли. 2008. Т. 12, № 2. С. 10–18.
12. Анисимов О.А., Нельсон Ф.Е. Влияние изменения климата на вечную мерзлоту в Северном полушарии // Метеорология и гидрология. 1997. № 5. С. 71–80.
13. Кирпотин С.Н., Лапина Е.Д., Мироньчева-Токарева Н.П., Блейтен В. «Обвальный» термокарст в Западно-Сибирской субарктике и тенденции глобальных климатических изменений // Экологические, гуманитарные и спортивные аспекты подводной деятельности : материалы III Междунар. науч.-практ. конф. Томск : Томский государственный университет, 2004. С. 163–169.
14. Smith L.C., Sheng Y., McDonald G.M., Hinzman L.D. Disappearing Arctic lakes // Science. 2005. Vol. 308, № 5727. P. 1429.
15. Крацова В.И., Быстрова А.Г. Изменения размеров термокарстовых озер в различных районах России за последние 30 лет // Криосфера Земли. 2009. Т. 13, № 2. С. 16–26.

16. Земцов В.А., Паромов В.В., Савичев О.Г. Изменения водного стока крупных рек юга Западной Сибири в XX столетии // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия : материалы Междунар. науч. конф. Томск, 2000. С. 321–324.
17. Земцов В.А. О многолетней изменчивости речного стока в Западной Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2003. Вып. 4, № 3. С. 137–139.
18. Girppa M., Mognard N.M., Toan T.Le, Biancamaria S. Geophys. Res. Lett. 2007. Vol. 34, L. 15403. doi:10.1029/2007GL030165.
19. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим / К.Е. Иванов, С.М. Новиков. Л. : Гидрометеоздат, 1976. 448 с.
20. Мезенцев В.С., Карнацевич И.В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л. : Гидрометеоздат, 1969. 168 с.
21. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. URL: www.meteo.ru
22. Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды. URL: <http://www.ecmwf.int/research/era/Products/>
23. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Т. 15: Алтай и Западная Сибирь. Вып. 3: Нижний Иртыш и Нижняя Обь. 1971–1975. Л. : Гидрометеоздат, 1978. 248 с.
24. Гидрология заболоченных территорий зоны многолетней мерзлоты Западной Сибири / С.М. Новиков. СПб. : ВВМ, 2009. 536 с.
25. Растительность Западно-Сибирской равнины. М 1:1500000. М. : Изд-во ГУГК, 1976. 4 л.
26. Kalnay E. Atmospheric Modeling, Data Assimilation and Predictability. Cambridge, UK : Cambridge University Press, 2003. 341 p.
27. Serreze M.C., Barrett A., Lo F. Northern high latitude precipitation as depicted by atmospheric reanalyses and satellite retrievals // Monthly Weather Review. 2005. Vol. 133. P. 3407–3430.
28. Cullather R.I., Bromwich D.H., Serreze M.C. The atmospheric hydrologic cycle over the Arctic Basin from reanalyses. Part I : Comparison with observations and previous studies // Journal of Climate. 2000. Vol. 13. P. 923–937.
29. Мохов И.И., Карпенко А.А., Стотт П.А. Наибольшие скорости регионального потепления климата в последние десятилетия с оценкой роли естественных и антропогенных причин // Доклады Академии наук. 2006. Т. 406, № 4. С. 1–6.
30. Кузин П.С., Бабкин В.И. Географические закономерности гидрологического режима рек. Л. : Гидрометеоздат, 1979. 200 с.
31. Иванов К.Е. Основы гидрологии болот лесной зоны. Л. : Гидрометеоздат, 1957. 500 с.
32. Швер Ц.А. Атмосферные осадки на территории СССР. Л. : Гидрометеоздат, 1976. 302 с.
33. Жаков С.И. Общие закономерности режима тепла и увлажнения на территории СССР. Л. : Гидрометеоздат, 1982. 227 с.
34. Козелкова Е.Н. Экологическое состояние водотоков бассейна реки Вах // Проблемы региональной экологии. 2008. № 5. С. 99–102.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 1 октября 2012 г.