

В.Н. Синюкович, И.В. Латышева¹

О характере современных климатических изменений на южном побережье оз. Байкал

*Лимнологический институт СО РАН,
¹ Иркутский госуниверситет, г. Иркутск*

Поступила в редакцию 27.02.2006 г.

Характеризуются климатические условия на южном Байкале на основе режимных наблюдений за температурой воздуха, атмосферными осадками и стоком рек. Выявлены изменения в характере увлажнения и термического режима территории, которые в той или иной степени должны проявляться и в формировании потоков вещества из атмосферы.

Введение

В районах с высокой загрязненностью атмосферы интенсивность аэрозольных потоков на подстилающую поверхность во многом определяется условиями увлажнения и термического режима территорий. В пределах горного обрамления котловины оз. Байкал приземный воздух наиболее загрязнен на участке южного побережья, находящемся на обращенном к озеру склоне хребта Хамар-Дабан.

Формирование климата в этом районе, как и на всем побережье озера, носит сложный характер и происходит в условиях высокой орографической изолированности, значительной тепловой инерции озера, определяющей температурный контраст в системе «озеро—суша», меридионального простирания горных хребтов, на наветренных склонах которых получают развитие вертикальные орографические токи, усиливающие процессы облако- и осадкообразования и др. Среди климатических факторов рассматриваемой территории, оказывающих влияние на поступление вещества из атмосферы и изменение его роли в загрязнении почвенного покрова и поверхностных вод, в первую очередь следует выделить повышенную увлажненность и наличие температурных инверсий. Повышенная загрязненность атмосферы в этом районе обусловлена переносом аэрозоля и газов от Иркутско-Черемховского промышленного комплекса и наличием мощного локального источника загрязнения — Байкальского ЦБК.

В свою очередь, режим выпадения осадков и другие характеристики климата здесь также могут существенно трансформироваться, так как зависят от количества аэрозолей в атмосфере [1].

Анализ изученности атмосферных выпадений для Южного Байкала показывает, что кроме известных общих закономерностей зависимости химического состава осадков от соответствующего состава атмосферы [2, 3] здесь получены оценки

качественного состава атмосферных аэрозолей и осадков, выполнены расчеты потоков отдельных веществ из атмосферы [4—6 и др.], свидетельствующие о росте ее загрязненности. Происходящие в результате этого изменения химического состава поверхностных вод [7] косвенно указывают на соответствующие изменения в составе примесей в воздухе над рассматриваемой территорией и позволяют судить о масштабах атмосферной составляющей загрязнения южной части оз. Байкал.

В то же время исследований по связи характеристик климата и атмосферных выпадений [4, 8, 9] пока еще не достаточно для суждения о роли температурных условий и режима увлажнения и их изменчивости в формировании аэрозольного загрязнения территории. Исходя из этого, цель настоящей работы заключается в анализе современных климатических изменений в рассматриваемом регионе.

В качестве исходных данных нами использованы режимные наблюдения Росгидромета за температурой воздуха и атмосферными осадками метеорологических станций, расположенных в населенных пунктах на юго-восточном побережье озера — Байкальске, Слюдянке, Танхое и высокогорной станции Хамар-Дабан (высота над уровнем озера 985 м, расстояние от озера около 10 км). Режим стока территории оценивался по сведениям о водности основных рек территории — Снежной, Утулик, Хара-Мурин.

Помимо годовых, использовались значения гидрометеорологических элементов за теплый (апрель—сентябрь) и холодный (октябрь—март) сезоны.

Общая характеристика климатических условий территории

Температура воздуха как на различных участках побережья Байкала, так и на прибрежных склонах гор заметно различается, однако основные температурные изменения происходят достаточно

согласованно на всей территории Байкальской котловины. Более того, весь юг Сибири относится к одному району синфазных колебаний годовых и сезонных температур воздуха [10]. Коэффициенты корреляции r годовых температур воздуха по станциям, расположенным в разных частях побережья озера, составляют 0,5–0,8, а в холодные сезоны 0,6–0,9. Абсолютные экстремумы температуры воздуха достаточно близки: минимум составляет $-40 \dots 43$ °С, а максимум $+30 \dots 32$ °С [11]. Термическая стратификация на юге Байкала характеризуется приземной и приподнятой инверсией, достигающей 500–750-метровой высоты [11].

В начале теплого сезона Байкал оказывает охлаждающее влияние на прибрежные территории, а в конце него и в начале зимы — отепляющее.

Наиболее характерной особенностью климата рассматриваемой территории Хамар-Дабанского склона является повышенная увлажненность, в особенности на участке побережья Байкальск–Танхой. Это обусловлено орографическими особенностями местности, а именно понижением Приморского хребта в истоке р. Ангары, через которое сюда поступают северо-западные воздушные массы (это подтверждает рост оптической толщи атмосферы над Байкалом на данном участке [12]), переносящие в Байкальском регионе основное количество влаги и атмосферных примесей. В результате годовое количество осадков на побережье озера составляет 500–700 мм, а в горах вдвое больше. Вместе с осадками в высокогорье северо-западного склона Хамар-Дабана выпадает, например, до $1,3 \text{ т/км}^2$ в год сульфатов, тогда как на противоположный южный склон на порядок меньше [8].

Распределение осадков и особенно речного стока внутри года отличается крайней неравномерностью: до 80–90% их годового объема приходится на теплый период. Интенсивному выпадению атмосферных осадков в теплый период года способствует и активизация циклонической деятельности над Монголией, откуда южные циклоны часто выходят на юг Прибайкалья.

Водность рек территории также высока. Модуль речного стока с этой части склона достигает $20\text{--}25 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2$ [13], тогда как в среднем для бассейна озера он составляет около $4 \text{ л/с с } 1 \text{ км}^2$ [14].

Химический состав воды хамар-дабанских рек формируется при низкой скорости химического выветривания и в условиях повышенного увлажнения предопределяет формирование вод с низкой концентрацией ионов, что позволяет отслеживать даже незначительные изменения их качественного состава, в особенности в отношении не свойственных им ингредиентов.

Отмечаемые во второй половине XX в. заметные изменения в ионном составе атмосферных осадков и речных вод [4, 7, 15], в частности повышение доли сульфатов и снижение гидрокарбонатов и кальция, свидетельствуют о растущей загрязненности атмосферы в этом регионе. При анализе вызывающих их причин в первую очередь необходимо установить: насколько изменяются или остаются

стабильными участвующие в этих процессах климатические факторы.

Изменчивость основных элементов гидрометеорологического режима

Глобальное потепление, усилившееся с конца 1970-х гг., на Байкале проявилось значительно интенсивнее, чем в среднем на Земле, хотя и несколько слабее, чем в Прибайкалье [16]. Кроме того, на Байкале рост температуры начался с конца первого десятилетия XX в. и продолжался до середины столетия, после чего она до 1970 г. оставалась пониженной в связи с формированием ветви спада внутривекового температурного цикла. Началось следующего снижения температуры приходится здесь на 1996 г.

На юге Байкала изменения температуры были аналогичными, несколько различаясь на побережье и в горной части территории. Так, в горах потепление 1970–1995 гг. было заметным только в середине этого периода, что согласуется с данными [17] о характере изменений температуры по высокогорной станции Ильчир (Восточный Саян) и подтверждает более высокую устойчивость термических условий в горных районах.

Более заметные различия температуры на побережье и в горах выявляются при сравнении ее сезонных значений (рис. 1, б, в), обусловленных, очевидно, тепловым влиянием Байкала. Например, на ст. Хамар-Дабан температура воздуха в теплые сезоны наиболее существенно повышалась после холодного 1983 г., значительный рост ее наблюдался в последнее пятилетие XX в. На побережье температура в эти сезоны после 1990 г. существенно не увеличивалась. Температуры воздуха холодных сезонов понижались в течение всего последнего 10-летия XX в. и в горах, и на побережье (особенно с 1996 г.). В ходе годовых значений температура (в результате такого разнонаправленного характера изменений ее сезонных значений) вблизи озера четко выражено понижение именно с 1996 г., а на ст. Хамар-Дабан в это время заметных аномалий годовой температуры не происходит.

Долговременные тенденции климата в холодное время года также лучше выражены на прибрежной территории. За 1966–2002 гг., например, прирост температуры в холодные сезоны для Байкальска в среднем составлял $0,08$ °С/год, а для ст. Хамар-Дабан только $0,03$ °С/год.

Многолетние изменения годовых температур воздуха в целом больше зависят от колебаний температур холодных сезонов в силу большей амплитуды их колебаний. Для ст. Хамар-Дабан, например, связь искомых показателей по коэффициенту корреляции составляет 0,59. Температура теплых сезонов с годовой связана слабее ($r = 0,44$), а между собой термические условия теплых и холодных сезонов здесь практически не связаны ($r = 0,09$). На побережье связь годовых температур с сезонными (и сезонных между собой) более значима — величина r в среднем выше на $0,2\text{--}0,3$.

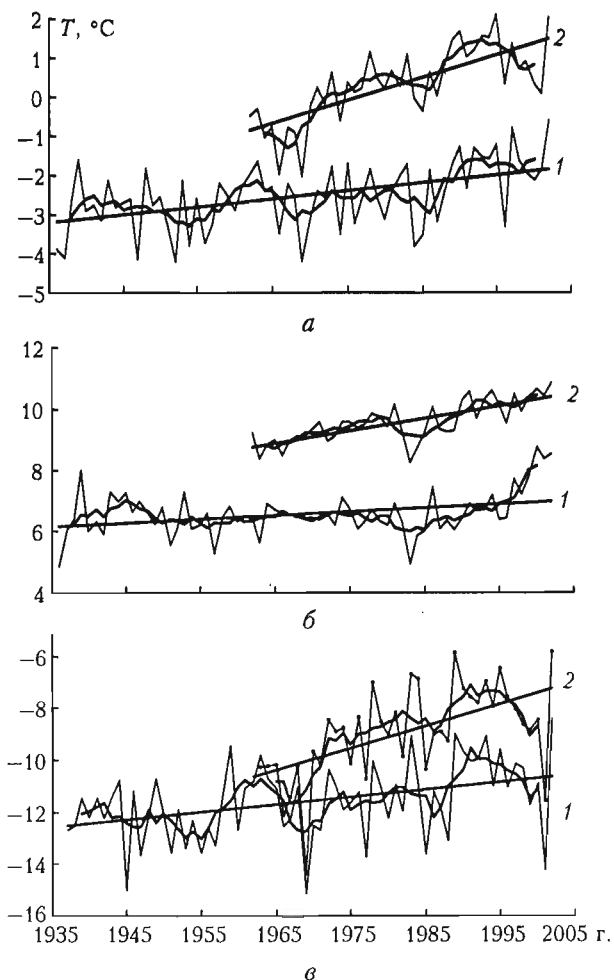


Рис. 1. Колебания годовой (а) температуры воздуха в теплые (б) и холодные (в) периоды по метеостанциям Хамар-Дабан (1) и Байкальск (2). Текущие значения, сглаженные по пятилетиям (жирная линия), и тренд (прямая линия)

На фоне повышения среднегодовой температуры воздуха в исследуемом районе отмечается некоторое уменьшение годового количества атмосферных осадков, обусловленное снижением увлажненности территории в теплое время года (рис. 2,а). Данная тенденция характерна и для большинства сопредельных территорий, в том числе и для Прибайкалья [17]. Тем не менее максимальное годовое выпадение осадков и в Прибайкалье, и в Забайкалье приходится на начало 1970-х гг. Если судить по сглаженному ходу осадков, для которого заметно проявление циклов длительностью 20–25 лет, то данный максимум, скорее всего, является результатом внутривековой ритмичности увлажненности территории. При этом на большей ее части он наблюдался в 1973 г. и составлял в горной части (ст. Хамар-Дабан) 1940 мм, а на прибрежных станциях (Култук, Слюдянка, Тапхой) 800–900 мм. В Байкальске максимум осадков, составляющий 1043 мм, был отмечен несколько раньше – в 1971 г.

Как и в случае с температурами воздуха, долговременные тенденции осадков по сезонам не сов-

падают, и если в теплые сезоны осадки в целом постепенно уменьшаются, то в холодные они, наоборот, возрастают (рис. 2,б). Последнее подтверждается и увеличением запасов воды в снеге в конце зимы по результатам снегосъемок.

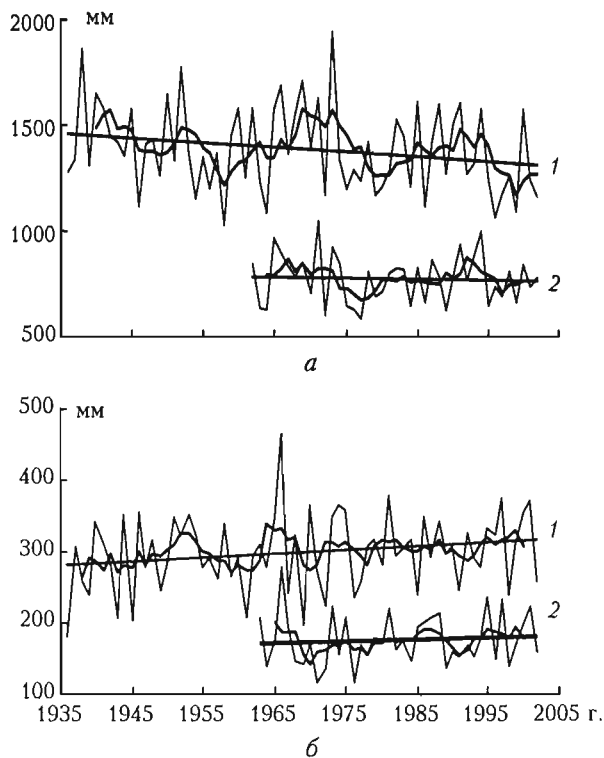


Рис. 2. Многолетние колебания сумм выпавших осадков в теплые (а) и холодные (б) периоды по метеостанциям Хамар-Дабан (1) и Байкальск (2)

Среднее снижение выпадения осадков в теплые сезоны составляет по ст. Хамар-Дабан 2,7 мм/год, а по Байкальску и Слюдянке несколько меньше – 0,8–1,0 мм/год. Положительный тренд осадков холодного времени года значительно ниже – всего 0,2–0,5 мм/год.

Анализ многолетней изменчивости годового стока Хамар-Дабанских рек выявляет устойчивое чередование маловодных и многоводных лет и периодов, подтверждая повышенную вариабельность основных обуславливающих их факторов – атмосферных осадков и температуры воздуха. В многолетнем аспекте изменения стока обнаруживают статистически слабо значимую тенденцию некоторого снижения. В то же время водность зимних месяцев, наоборот, увеличивается, и эта направленность, судя по отдельным рекам, носит явно не случайный характер. Так, для р. Хара-Мурин значимость тренда для стока первого квартала ($0,02 \text{ м}^3/\text{с}$) превышает 1%-й уровень значимости (рис. 3).

Повышение водности рек в зимнее время является, скорее всего, следствием отмеченного выше общего смягчения климатических условий в холодные сезоны, обуславливающих в том числе и более раннее начало весеннего снеготаяния.

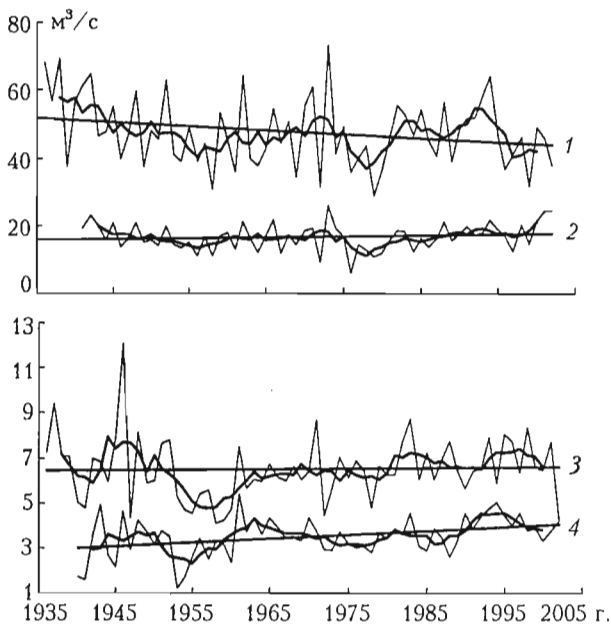


Рис. 3. Изменчивость годового стока рр. Снежной (1) и Утулик (2); зимней водности (январь–март) р. Снежной (3) и Хара-Мурина (4)

Представленные изменения климатических факторов на юге Байкала, как и повышение средних температур воздуха в различных регионах Северного полушария, происходят при одновременном усилении теплых эпизодов Эль-Ниньо – Южной осцилляции и повышении активности северо-атлантических и северо-тихоокеанских центров действия атмосферы, усиливающих или ослабляющих влияние повышенной концентрации парниковых газов на температуру воздуха [18, 19].

В условиях дестабилизации климата возрастает роль региональных особенностей циркуляции атмосферы, проявляющихся в изменении интенсивности зональных и меридиональных форм циркуляции. В Сибирском секторе в течение XX в. происходило усиление меридиональной циркуляции, повторяемость которой (по классификации Вангенгейма–Гирса) в Западной Сибири увеличилась на 59 дней в году [20], хотя с 1984 г. наметилась обратная тенденция. Наибольшие изменения коснулись весеннего и летнего сезонов, при этом годовые осадки на юге территории, вблизи которой располагается и рассматриваемый нами регион, уменьшились на 50 мм.

В циркуляционном режиме над Азией в конце прошедшего столетия наблюдалась устойчивая тенденция ослабления азиатского антициклона. По отношению к середине XX в. приземное давление в якутском очаге к концу столетия понизилось в среднем на 12, в монгольском – на 22, а в уральском – на 24 гПа [21]. Указанное ослабление азиатского максимума происходило на фоне усиления зонального переноса и более частых интрузий теплых масс воздуха на материк. И наоборот, аномально холодные зимы 2000–2001 гг. (и январь 2006 г.) как следствие усиления азиатского антициклона, возможно, являются откликом Сибирского

сектора на эпизодически возникающие аномалии температуры поверхности океана в тропической зоне Тихого океана, обусловленные событиями Эль-Ниньо, в фазу которого над материком развивается меридиональная северная группа циркуляции и наблюдаются экстремальные понижения температуры в Сибири [22].

Заключение

В результате анализа многолетней изменчивости основных характеристик климата и стока рек северо-западного склона хр. Хамар-Дабан на Южном Байкале обнаружены существенные изменения этих величин во второй половине и особенно в конце XX в. В целом они согласуются с ходом общих климатических тенденций в Сибирском регионе, однако вследствие природных особенностей территории имеют свои отличительные особенности. Потепление, начавшееся в 1970 г., в разрезе как годовых, так и сезонных значений температуры, сильнее проявляется в прибрежных районах, чем в горной части территории. В последние 5 лет XX в. температуры теплых сезонов, наоборот, наиболее существенно возрастали в горах.

За счет изменившихся условий циркуляции атмосферы в Сибирском секторе и под влиянием местных природных особенностей на исследуемой территории отмечены снижение осадков в теплые периоды года и повышение в холодные. Идентичные изменения характерны и для стока рек региона.

Изменившиеся климатические условия территории, несомненно, отражаются и на процессах аэрозольного загрязнения территории, доступной воздушным потокам из загрязненных промышленных районов и располагающей локальными источниками загрязнения, которые поддерживают высокую скорость генерации аэрозольных частиц. Наличие приземных инверсий и обильные осадки обуславливают здесь выпадение из атмосферы значительного количества некоторых соединений. Подтверждением этому служат наблюдаемые изменения химического состава речных вод, свидетельствующие о соответствующих колебаниях интенсивности аэрозольного загрязнения территории и тенденции его увеличения.

В соответствии с прогнозируемым в научной литературе продолжением текущего потепления в дальнейшем можно ожидать не только перестройки процессов конвективного переноса тепла и влаги, но и перераспределения различных аэрозольных субстанций, в свою очередь способных повлиять на составляющие радиационного и теплового баланса атмосферы, в связи с чем временная изменчивость климатических условий в регионе должна оставаться объектом повышенного внимания.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 04-05-64839).

1. Куценогий К.П. Мониторинг атмосферных аэрозолей Сибири // Оптика атмосфер. и океана. 1996. Т. 9. № 6. С. 704–711.

2. Гиренко А.Х. Некоторые закономерности в химии вод атмосферы // Гидрохим. материалы. 1959. Т. 28. С. 101–111.
3. Вернадский В.И. История природных вод. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 4. Кн. 2. 479 с.
4. Ходжер Т.В., Потемкин В.Л., Оболкин В.А. О роли атмосферы в формировании химического состава вод оз. Байкал // Оптика атмосфер. и океана. 1999. Т. 12. № 6. С. 512–515.
5. Ходжер Т.В. Исследование состава атмосферных выпадений и их воздействия на экосистемы Байкальской природной территории: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М.: Ин-т географии РАН, 2005. 44 с.
6. Ветров В.А., Кузнецова А.И. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1997. 236 с.
7. Сороковикова Л.М., Нецветаева О.Г., Томберг И.В., Ходжер Т.В., Погодаева Т.В. Влияние атмосферных осадков на химический состав речных вод Южного Байкала // Оптика атмосфер. и океана. 2004. Т. 17. № 5–6. С. 423–427.
8. Кокорин А.О., Политов С.В. Поступление загрязняющих веществ из атмосферы с осадками в Южном Прибайкалье // Метеорол. и гидрол. 1991. № 1. С. 48–54.
9. Латышева И.В., Макухин В.Л., Потемкин В.Л. Исследование характеристик Азиатского максимума и его влияния на загрязнение атмосферы в регионе оз. Байкал // Оптика атмосфер. и океана. 2005. Т. 18. № 5–6. С. 466–470.
10. Синюкович В.Н. Сезонные колебания температуры воздуха на территории Юга Сибири // Проблемы прогностических исследований природных явлений. Новосибирск: Наука, 1979. С. 30–36.
11. Структура и ресурсы климата Байкала и сопредельных пространств. Новосибирск: Наука, 1977. 272 с.
12. Балин Ю.С., Еришов А.Д., Пеннер И.Э. Лидарные корабельные исследования аэрозольных полей в атмосфере оз. Байкал. Часть 2. Поперечные разрезы // Оптика атмосфер. и океана. 2003. Т. 16. № 7. С. 587–597.
13. Синюкович В.Н., Троицкая Е.С. Средний сток рек Байкальской котловины и его определение при недостоверности наблюдений // Геогр. и природ. ресурсы. 2000. № 4. С. 60–64.
14. Афанасьев А.Н. Водные ресурсы и водный баланс бассейна оз. Байкал. Новосибирск: Наука, 1976. 238 с.
15. Вотинцев К.К., Ходжер Т.В. Химический состав атмосферных осадков в районе оз. Байкал // Геогр. и природ. ресурсы. 1981. № 4. С. 100–105.
16. Шмаряев М.Н., Куимова Л.Н., Синюкович В.Н., Цехановский В.В. Климат и гидрологические процессы в бассейне оз. Байкал в XX столетии // Метеорол. и гидрол. 2002. № 3. С. 71–78.
17. Густокашина Н.Н. Многолетние изменения основных элементов климата на территории Предбайкалья: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2000. 23 с.
18. Мохов И.И., Елисеев А.В., Хворостьянов Д.В. Эволюция характеристик межгодовой климатической изменчивости, связанной с явлениями Эль-Ниньо / Ланья // Изв. РАН. Физ. атмосфер. и океана. 2000. Т. 36. № 6. С. 741–751.
19. Сидоренков Н.С. Механизмы межгодовой изменчивости атмосферы и океана // Тр. Гидрометцентра. 2000. Вып. 335. С. 26–41.
20. Виноградова Г.М., Завалишин Н.Н., Кузин В.И. Изменчивость сезонных характеристик климата Сибири в течение XX века // Оптика атмосфер. и океана. 2000. Т. 13. № 6–7. С. 604–607.
21. Латышева И.В., Иванова А.С., Мордвинов В.И. Особенности зимней циркуляции в районе Азиатского антициклона // Оптика атмосфер. и океана. 2004. Т. 17. № 5–6. С. 448–452.
22. Бышев В.И. Синоптическая и крупномасштабная изменчивость океана и атмосферы. М.: Наука, 2003. 343 с.

V.N. Sinyukovich, I.V. Latysheva. On characteristic features of recent climatic changes on Lake Baikal south coast.

This work deals with the description of climatic conditions in Southern Baikal based on the regime observations for air temperature, atmospheric precipitation and river flows. Changes in the type of moistening and thermal regime of the territory have been revealed, which can result in one way or another in the formation of different substance flows from the atmosphere.