

УДК 551.52

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЫСТРОПРОТЕКАЮЩИХ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

<sup>1</sup>Невидимова О.Г., <sup>2</sup>Янкович Е.П.<sup>1</sup>*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,  
Томск, e-mail: olga-nevidimova@mail.ru;*<sup>2</sup>*Томский политехнический университет, Томск, e-mail: yankovich@tpu.ru*

В статье обсуждаются вопросы оценки пространственно-временного распределения климатических характеристик солнечной радиации, ветра, осадков, температуры на территории юга Западной Сибири в контексте их влияния на динамику быстропротекающих геоморфологических процессов. В качестве основных показателей рассматриваются суммарная солнечная радиация, температура воздуха, скорость ветра, количество осадков. На основе многолетних данных для юга Западной Сибири исследована их сезонная и территориальная изменчивость. В результате проведенного анализа были раскрыты некоторые особенности поступления солнечной энергии, годового хода и пространственного распределения повторяемости ветра по градиентам скорости и направлению, термического режима, атмосферных осадков. Выполненное районирование исследуемой области с использованием платформы ARCGis 10.2 на основе обобщения актинометрической и метеорологической информации позволило дифференцировать территорию по особенностям радиационного, термического, ветрового режима и осадков. Сделан вывод о том, что наблюдаемые на территории юга Западной Сибири изменения климата имеют существенную пространственную и временную неоднородность и значительным образом влияют на ход современных экзогенных процессов.

**Ключевые слова:** суммарная солнечная радиация, ветровой режим, температура воздуха, количество осадков, геоморфологический процесс

## CLIMATIC CONDITIONS OF THE FORMATION OF FAST GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES IN THE SOUTH OF WEST SIBERIA

<sup>1</sup>Nevidimova O.G., <sup>2</sup>Yankovich E.P.<sup>1</sup>*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS,  
Tomsk, e-mail: olga-nevidimova@mail.ru;*<sup>2</sup>*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, e-mail: yankovich@tpu.ru*

The article discusses the evaluation of the climatic characteristics of solar radiation, wind, precipitation, temperature in the territory south of West Siberia and their impact on the dynamics of fast geomorphological processes. The main indicators are considered total solar radiation, air temperature, wind speed, rainfall. Based on long-term of data for the South Western Siberia explored their seasonal and spatial variability. The analysis revealed particularly solar radiation, annual variations and spatial distributions of occurrence of wind speed and direction, thermal regime, precipitation. Zoning of the South of Western Siberia with the ARCGis 10.2 allowed differentiating the territory for the characteristics of radiation, thermal, wind and precipitation regime. It was concluded that the observed on the territory of the South of Western Siberia climate change have significant spatial and temporal heterogeneity and significantly affect the course of modern exogenous processes.

**Keywords:** total solar radiation, wind regime, air temperature, precipitation, geomorphological process

Активность экзогенных процессов обуславливают различные факторы, включая перепады температуры, интенсивность осадков, силу и направление ветра. Именно климатические факторы в сочетании с определенными литогенными и орографическими условиями могут иметь большое влияние на скорость и интенсивность современных быстропротекающих геоморфологических процессов. Такие процессы – реализованная онлайн морфологическая сущность экзогенного преобразования земной поверхности, когда рельеф её меняется буквально на глазах. Нередко скорость, частота проявления, как и величина перемещаемых в результате этих процессов масс, характеризуются высокими значениями, контрастны во

времени и пространстве. Поэтому быстропротекающие геоморфологические процессы часто формируют опасные для жизни и хозяйственной деятельности человека ситуации. Пространственно-временная изменчивость климатических характеристик, особенно усилившаяся в последнее время, оказывает значительное влияние как на ход геоморфологических процессов, так и на вероятности рискоформирующих ситуаций. В этой связи особую актуальность приобретают исследования, задачей которых является региональная оценка современной климатической обстановки и ведущих метеорологических факторов, непосредственно воздействующих на динамику рельефа земной поверхности. Для равнинной части

юга Западной Сибири подобный анализ имеет ценность, прежде всего, из-за происходящей здесь существенной трансформации гидротермических условий, которая меняет не только интенсивность и скорость отдельных геоморфологических процессов, но и вызывает изменения динамики большинства экзогенных процессов в зоне денудации.

### Материалы и методы исследования

Климатические условия формирования быстропротекающих геоморфологических процессов на территории Западной Сибири определяются её положением внутри материка Евразии. Отсутствие преград на севере позволяет проникать арктическим массам воздуха, которые несут сухость и низкие температуры, а открытость с юга благоприятствует поступлению прогретого континентального воздуха [3]. Общей особенностью этой территории является активная циклоническая деятельность, обуславливающая большую изменчивость погоды, резкий суточный и годовой ход приземной температуры. Радиационный режим Западной Сибири характеризуется значительными колебаниями продолжительности солнечного сияния и количества солнечной энергии, поступающей на земную поверхность. Вариации от широтного распределения солнечной энергии обусловлены в основном облачностью. Зимой под влиянием отрога Азиатского антициклона формируются довольно низкие температуры; абсолютные минимумы по ряду станций составляют  $-52^{\circ}\text{C}$ . Суровость зимних условий усугубляют частые ветра и метели. Отмечается почти зональное распределение осадков по территории, в северо-восточных районах осадков больше, к югу их количество уменьшается. Природно-климатическая зональность южной части Западной Сибири характеризуется компактностью, разнообразием, контрастностью. Так, переход от лесоболотных ландшафтов южной тайги к сухим степным пространствам крайних южных районов довольно резкий из-за локальности лесостепной зоны. Поэтому даже небольшое изменение климатических показателей может приводить к существенной трансформации природных условий и, соответственно, к изменениям в структуре и динамике современного рельефа; в том числе часть процессов может диффундировать, распространяясь на соседние ландшафты.

В гипсометрическом отношении исследуемая территория юга Западной Сибири не отличается широким разбросом отметок: от 300 м на востоке до 90 м на западе. Дренажность обеспечивается развитой гидрографической сетью, обилием оврагов, балок; глубина залегания верхнего уровня грунтовых вод в речных долинах менее 5 метров. Почвообразующие породы, вовлекаемые в геоморфологическое движение, имеют высокую подверженность процессам переноса, что может играть существенную роль в формировании опасных ситуаций: в северной части исследуемой территории распространены глины и тяжелые суглинки, к югу начинают преобладать супеси, к востоку – лессовидные суглинки.

Таким образом, ландшафтно-климатические особенности юга Западной Сибири формируют пространственно-временное своеобразие современных геоморфологических процессов. Спектр их довольно

широк: от экзогенных процессов, характерных для гумидного климата с избыточным увлажнением (эрозионно-аккумулятивные процессы) до субаридного морфогенеза (эолово-дефляционные процессы).

Важнейшей климатической характеристикой, определяющей интенсивность многих геоморфологических процессов, является солнечное излучение. Причинами неравномерного поступления лучистой энергии Солнца на земную поверхность являются не только астрономические факторы, но и морфологические особенности этой поверхности. Изменчивость инсоляции, обусловленная рельефом, определяется в первую очередь морфометрическими характеристиками склонов. Для анализа особенностей дифференциации солнечной радиации на склонах были рассчитаны прямая, рассеянная и суммарная радиации, приходящие на склоны различной крутизны и экспозиции в отсутствие облачности, при средних условиях облачности с использованием актинометрических данных 14 метеостанций Западной Сибири. Расчет осуществлялся с использованием методических рекомендаций К.Я. Кондратьева [4], М.С. Аверкиева [1], Б.А. Айзенштат [2], С.И. Сивкова [5].

Для оценки метеорологических условий формирования быстропротекающих процессов и их изменений на территории Западной Сибири исходными данными являлись временные ряды среднемесячных значений температур, осадков и ветрового режима за периоды 1961–1990 гг., 1991–2015 гг. по 45 метеостанциям. Обобщение актинометрической и метеорологической информации проводилось с использованием платформы ARCGIS 10.2.

### Результаты исследований и их обсуждение

Выраженной широтностью характеризуется распределение солнечной энергии при ясном небе по территории южной части Западной Сибири. Приход суммарной радиации при реальных условиях облачности изменяется от  $3628 \text{ МДж/м}^2$  в северной части территории до  $4728 \text{ МДж/м}^2$  к югу, что соответствует 65–75% от возможного при ясном небе за год. Амплитуда годового хода значительна и может достигать  $630 \text{ МДж/м}^2$  (рис. 1). Доля прямой солнечной радиации в суммарной составляет от 17% до 60% в зависимости от местоположения станции и сезона. Фактор широтной зональности распределения солнечной энергии осложняется региональными особенностями формирования облачности, прозрачности атмосферы, отражательной способностью и наличием неровностей земной поверхности. Неравномерное распределение солнечной радиации по склонам разной крутизны и ориентации является одной из основных причин возникновения термической дифференциации поверхностей и, соответственно, скорости изменения структуры рыхлых склоновых отложений. Воздействие колебания температур проявляется не только в условиях макрорельефа, но и в условиях

микрорельефа. Это особенно важно для равнинной территории Западной Сибири, когда значительные уклоны возможны в основном на участках, прилегающих к речной сети, и в районах гривного рельефа, ярко выраженного в юго-западной части. Так, например, в Томской области, где более 90% площади – это поверхности с уклонами менее 5°, существенное различие в поступающей на земную поверхность солнечной энергии возможно лишь на менее чем 6% территории (рис. 2). Именно здесь на квадратный метр приходится до 4600 МДж, на остальной территории солнечная энергия распределяется относительно равномерно и в зависимости от экспозиции и крутизны составляет от 3400 до 3800 МДж/м<sup>2</sup>.

Также для оценки степени изменчивости поступления солнечной энергии были рассчитаны средние квадратичные отклонения продолжительности солнечного сияния, отношения наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к максимально возможной и число дней без солнца.

Значительные отклонения наблюдаются в основном в теплый период по северным станциям исследуемой территории для зоны южной тайги, летом по югу лесостепной зоны и связаны с изменчивостью циркуляционных процессов и условиями образования облачности. Так, среднее квадратичное отклонение отношения наблюдавшейся продолжительности солнечного сияния к максимально возможной на граничных станциях лесостепной зоны в апреле доходит до 14%.

Температурный фон на юге Западной Сибири в последние десятилетия претерпел заметную трансформацию. Отмечается хо-

рошо выраженная, устойчивая тенденция потепления с 1960-х гг. Среднегодовая температура испытывает четко выраженный положительный тренд (рис. 3). Например, по станции Барабинск (центральная лесостепь) амплитуда среднегодовой температуры составляет от -2,3°C (1954 г.) до 2,7°C (1995 г.) при среднем значении 1,2°C. Последние 12 лет среднегодовая температура почти ежегодно превышала 1°C. Согласно полученным оценкам, на всей территории отмечался рост температуры со средней скоростью 0,34°C за 10 лет. Для обширной равнинной территории полученные значения повышения средней температуры за период 1991–2015 гг. колеблются от 0,92 до 0,68°C. Наиболее интенсивное потепление отмечается в северных районах исследуемой части Западной Сибири (южная тайга) и районах юго-востока (смешанные леса). В результате анализа также было выявлено повышение нижнего и верхнего пределов многолетней изменчивости внутригодового хода температуры. Значительный вклад в тенденцию повышения среднегодовой температуры вносят февраль, март, апрель, октябрь, а остальные месяцы имеют либо очень небольшую положительную аномалию, либо отрицательную.

В контексте формирования быстропротекающих геоморфологических процессов существенен положительный тренд апреля. Апрель – период особой неустойчивости температурного режима, когда интенсивность стока талых вод может многократно увеличить эрозионную опасность, плоскостной смыв, развитие оползневых процессов.

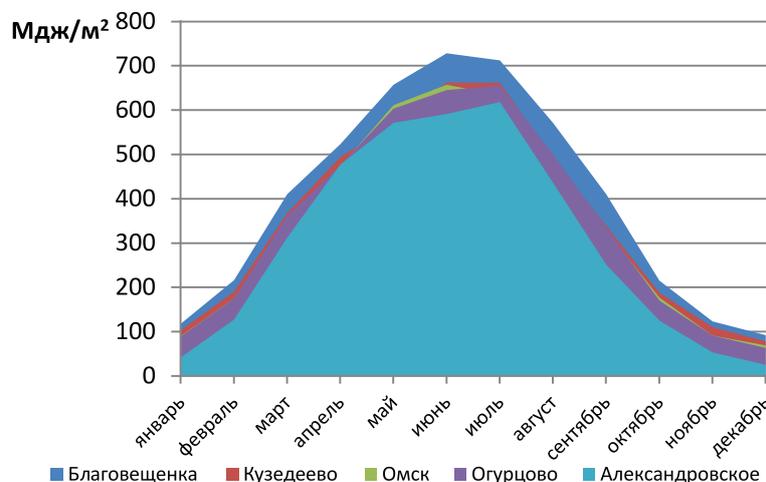


Рис. 1. Годовой ход суммарной радиации на метеостанциях юга Западной Сибири (1961–1990 гг.)

Другим существенным компонентом, характеризующим трансформацию климатического режима, являются атмосферные осадки. Они способствуют и общему увлажнению всей территории, и обеспечивают как поверхностный, так и подземный сток. Анализ временной изменчивости количества осадков показал, что в целом для зоны южной тайги Западной Сибири основной тенденцией является увеличение количества осадков. Причем величина роста среднегодового количества осадков в 2,5 раза превышает уровень снижения количества осадков, хотя обе величины незначительны и в абсолютном выражении не превышают 2,8 мм за период 1991–2015 гг. Тенденция роста сумм осадков

наиболее ярко выражена в центральных и восточных районах южной тайги. Следует отметить, что для большинства этих территорий в последнее время отмечаются зональные активизации опасных экзогенных процессов: береговая, овражная эрозии, оползни и т.д. Другим важным результатом анализа изменчивости количества осадков является выявление факта снижения этого показателя для западных районов исследуемой части южной тайги. В условиях роста среднегодовых температур, особенно при потеплении самой холодной части зимы, снижение количества осадков создает предпосылки для деградации многолетней, реликтовой мерзлоты и для активизации термокарстовых явлений.

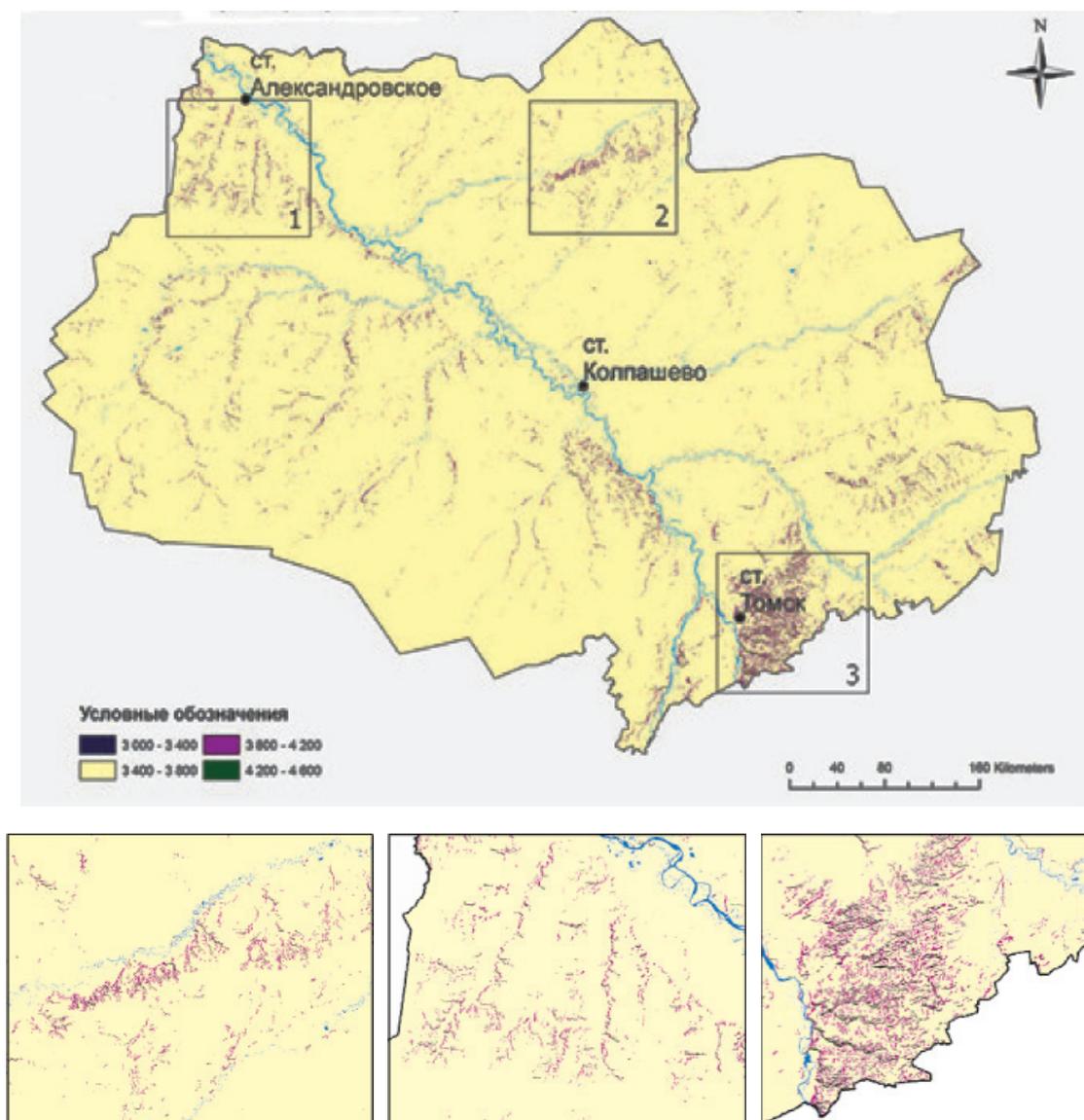


Рис. 2. Суммарная солнечная радиация, поступающая на наклонные поверхности, МДж/м<sup>2</sup>/год (Томская область)

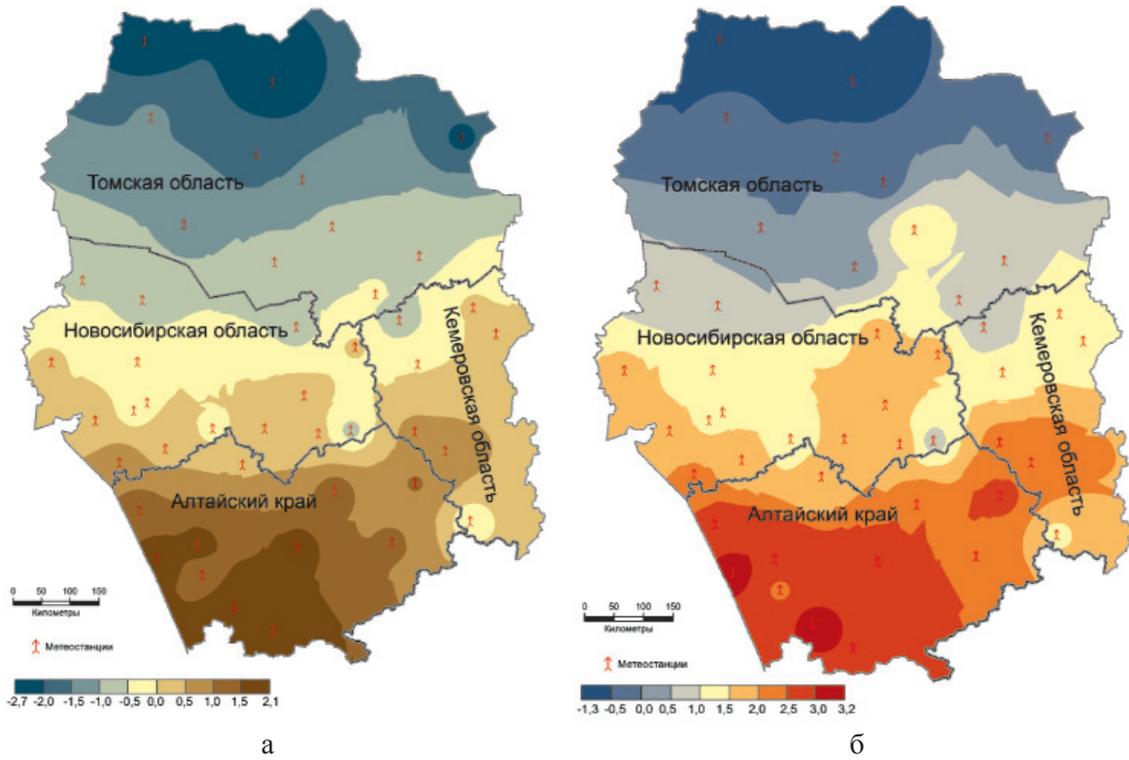


Рис. 3. Распределение среднегодовой температуры по территории южной части Западной Сибири: а – период 1961–1991 гг.; б – период 1991–2015 гг.

Основной тенденцией в изменении количества осадков лесостепной зоны юга Западной Сибири с 1960-х годов является их уменьшение за год и теплый сезон (рис. 4). Осадки же за холодный период, наоборот, демонстрируют незначительное увеличение. Сочетание теплых состояний холодного сезона с обильными осадками зимой и недостатком влаги летом ведет к интенсификации влагооборота, уменьшению влагосодержания почвогрунтов и, как следствие, благоприятствует развитию эоловых процессов. Заметим, что подобные ситуации из-за особенностей внутригодового распределения осадков и увеличения

весеннего дефляционно опасного периода периодически возникают не только в лесостепи, но и в некоторых районах южной тайги, и в зоне смешанных лесов Западной Сибири. Все это, учитывая скорости развития эоловых процессов, может существенно осложнять хозяйственную деятельность.

Анализ ветрового режима показал, что на территории южной тайги наибольшую повторяемость имеют ветры южного и юго-западного направления. В годовом ходе четко прослеживается увеличение северных ветров на границе южной тайги и зоны смешанных лесов с мая по август. Однако доминирующее направление ветров

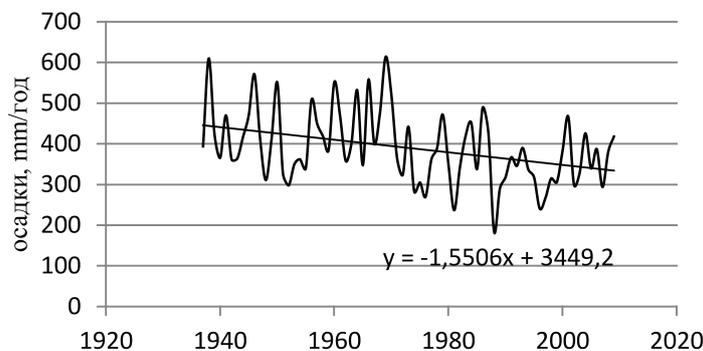


Рис. 4. Временная динамика и тренд годового количества осадков для ст. Омск (южная лесостепь)

в летние месяцы сложно выделить. Так, например, вероятность в период июнь – август северного и северо-западного направления составляет 29–30% для южной тайги и 20–22% для смешанных лесов.

Годовой ход скорости ветра на всей территории юга Западной Сибири четко дифференцирован. Наибольшие скорости ветра наблюдаются в сезон весна-осень. Среднегодовые скорости изменяются от 4,3 до 2,1 м/с. Различие в полях скоростей за дневной и ночной сроки выражено только для теплого периода. Весной дневные скорости ветра больше ночных в среднем на 1,5 м/с. Проведенный анализ показал, что в регионе преобладают ветры со скоростями от 1–2 до 5–6 м/с, которые составляют в среднем 85% всех возможных скоростей ветра в год. Скорости ветра 10–12 м/с для южной тайги наблюдаются довольно редко, повторяемость их составляет не более 7%. Однако для центральной части лесостепной зоны такие скорости не исключительное событие, например по ст. Барабинск количество дней с ветром выше 8 м/с составляет в среднем 157. Наибольшее число дней с сильным ветром наблюдается в мае, когда усиливается циклоническая деятельность. Количество выпадающих осадков тогда несколько возрастает, что, однако, не дает стойкого увеличения относительной влажности: май, июнь – самые сухие месяцы года. Если учитывать, что пороговые эрозионные значения скорости ветра для почв юга Западной Сибири составляют от 3–4 до 9–12 м/с, а наибольшая повторяемость случаев с эрозионно опасными ветрами приходится на весну и осень, то степень опасности ветровой эрозии на большей части исследуемой территории характеризуется как повышенная.

### Заключение

Для каждой природно-климатической зоны характерны свои сочетания тепла и влаги и, соответственно, свой комплекс геоморфологических процессов. Для оцен-

ки климатообусловленности, интенсивности и направленности геоморфологических процессов, формирующих современный рельеф, следует анализировать не только особенности пространственного и временного распределения энергии солнца, температуры, осадков и ветра в конкретном месте, но и совокупную динамику комплексов климатических параметров. По результатам проведенного исследования установлено, что юг Западной Сибири имеет разнонаправленные тренды основных климатических показателей, а их пространственная дифференциация предопределяет сложное взаимодействие зональных экзогенных процессов с азональными. Выполненное районирование исследуемой территории позволило дифференцировать территорию по особенностям радиационного, термического, ветрового режима и осадков; их пространственное распределение в различные периоды года имеет существенное значение при оценке закономерности распространения и динамики современных геоморфологических процессов. Колебания термического и влажностного режимов контролируют спектр геоморфологических процессов, динамику, уровень интенсивности, дальность действия. Выявление степени согласованности хода геоморфологических процессов с климатическими аномалиями позволит прогнозировать вероятность формирования опасных геоморфологических ситуаций.

### Список литературы

1. Аверкиев М.С. Освещенность различно ориентированных поверхностей рассеянным светом атмосферы по наблюдениям в Москве // Вестник МГУ, сер. физ.-мат. и ест. наук. – М.: Изд-во МГУ, 1950. – С. 163–170.
2. Айзенштат Б.А. Метод расчета составляющих радиационного баланса горной долины // Труды Сред. аз. НИГМИ. – 1964. – № 18. – С. 3–47.
3. Евсеева Н.С. Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской равнины / Н.С. Евсеева, А.А. Земцов. – Томск: Изд-во ТГУ, 1990. – 242 с.
4. Кондратьев К.Я. Актинометрия. – Л.: Гидрометеоздат, 1965. – 690 с.
5. Сивков С.И. Методы расчёта характеристик солнечной радиации. – Л., 1968. – 323 с.