

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ, ДИНАМИКА И ЭВОЛЮЦИЯ ГЕОСИСТЕМ

УДК 550.83(517.3):551.583(517.3)

DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(9-14)

К. Г. ЛЕВИ^{1,2}, Е. А. КОЗЫРЕВА^{1,2}, А. И. МИРОШНИЧЕНКО²¹ Иркутский научный центр СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, levi@crust.irk.ru, kozireva@crust.irk.ru² Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, mai@crust.irk.ru**МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ МОНГОЛИИ**

Исследования последних лет были ориентированы на выявление закономерностей активизации экзогенных процессов и природно-климатических изменений. Приводимые в статье материалы представляют собой результат комплексного анализа данных исторического, дендрохронологического и инженерно-геологического мониторинга. Инженерно-геологический мониторинг проводился на Улан-Баторском геодинамическом полигоне (2012–2016 гг.) с учетом геолого-геоморфологических условий и с использованием морфометрических методов анализа рельефа. Установлен ряд закономерностей развития овражно-балочной сети на территории полигона и, в частности, в городе Улан-Баторе. Ход природно-климатических изменений оценивался по данным дендрохронологических наблюдений на 26 станциях, расположенных на территории Монголии, исключая Гоби. Активизация экзогенных процессов находится в прямой зависимости от погодно-климатических изменений. Анализ временных рядов проводился с использованием методов математической статистики. Для верификации полученных результатов были привлечены данные исторических сообщений о возникновении в регионе наводнений, засух и дзуда, наносивших раньше и наносящих в настоящее время большой социально-экономический вред государству. Длина временных дендрохронологических рядов составляла 500 лет и более, а исторических хронологий — около 400 лет. На основе статистического анализа установлена периодичность возникновения неблагоприятных явлений, построены статистические модели развития погодно-климатических изменений с прогнозом развития природных процессов до 2050 г.

Ключевые слова: опасные процессы, мониторинг, погодно-климатические изменения, дендрохронология, статистика.

K. G. LEVI^{1,2}, E. A. KOZYREVA^{1,2}, AND A. I. MIROSHNICHENKO²¹ Irkutsk Scientific Center SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia, levi@crust.irk.ru, kozireva@crust.irk.ru² Institute of the Earth's Crust SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 128, Russia, mai@crust.irk.ru**MODELING OF ENGINEERING-GEOLOGICAL AND CLIMATE CHANGES IN THE TERRITORY OF MONGOLIA**

In recent years, most climate change research have focused on determining patterns of exogenous processes activation and natural environmental and climate variability. This paper presents materials resulted from a comprehensive analysis of historical data, dendrochronological and geotechnical monitoring. The latter was conducted on the Ulaanbaatar geodynamic test site (polygon) (2012–2016) taking into account the geological and geomorphological conditions and using techniques for morphometric analysis of the relief. Some regularities in the development of the gullies and ravines network within the polygon area have been established, specifically, in Ulaanbaatar city and its immediate vicinity. The ongoing natural environmental and climate changes have been estimated according to dendrochronological observations at 26 stations located in most of the territory of Mongolia, except for the Gobi Desert. Activation of exogenous processes is in direct relationship to weather conditions and climate changes. Time series analysis was conducted using the mathematical statistics methods. The verification of the results obtained was underpinned by historical data on the flooding, droughts, and dzud events reported earlier and still occurring in the region, which have always been causing disastrous environmental and socio-economic consequences. The dendrochronological series was 500 years in length, or more, while historical chronology is spanning a period of 400 years. Based on the statistical analysis, the frequency of adverse events was established, and statistical models of weather and climate changes were built, which include predictions of future trends in the course of natural environmental processes until 2050.

Keywords: dangerous processes, monitoring, weather and climate change, dendrochronology, statistics.

ВВЕДЕНИЕ

Исследования ориентированы на выявление закономерностей активизации экзогенных процессов на основе мониторинга на Улан-Баторском геодинамическом полигоне (2012–2016 гг.) и природно-климатических изменений по данным дендрохронологических исследований на территории Монголии. Активизация экзогенных процессов находится в прямой зависимости от погодно-климатических изменений. Для верификации полученных результатов были привлечены данные исторических сообщений о возникновении в регионе наводнений, засух и дзуда, наносивших большой социально-экономический ущерб государству. Длина дендрохронологических временных рядов составила около 500 лет, а исторических хронологий — около 400 лет.

МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА УЛАН-БАТОРСКОМ ГЕОДИНАМИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ

Работы на территории Улан-Баторского геодинамического полигона были ориентированы на изучение инженерно-геологических особенностей развития, выявление закономерностей локализации и динамики экзогенных геологических процессов во времени и пространстве. Эти исследования важны для статистического моделирования природной и погодно-климатической ситуации, прогнозирования ее изменений для территориального планирования и управления природными ресурсами [1, 2]. Результаты мониторинга остаются главным критерием оценки степени современной трансформации геологической среды под воздействием природно-климатических и антропогенных факторов. На территории Улан-Баторской агломерации катастрофические паводки и грязекаменные потоки достаточно частое явление [2].

На основе инженерно-геологического районирования и морфометрического анализа [3] элементарных водосборных бассейнов организовано 11 ключевых участков для мониторинга динамики эрозионного процесса (рис. 1).

Водосборные бассейны, составляющие Улан-Баторский бассейн и являющиеся его сегментами, рассматриваются как система речных бассейнов различных порядков, участвующих в формировании современного рельефа.

Для оценки потенциальной эрозионной опасности территории полигона использован бассейновый подход и систематизация водосборных бассейнов методом Хортонa. Местным базисом эрозии для водосборных бассейнов является р. Туул-Гол. Анализировались водосборные бассейны, примыкающие к Туул-Голу устьевыми частями. Водосборами первого порядка считались водотоки, выходящие устьем к главной реке. Второй порядок появляется вследствие слияния двух водотоков первого порядка. Третий является результатом слияния двух водотоков второго порядка и т. д. Таким образом, выделены бассейны I порядка — 136 объектов площадью 61,387 км²; II порядка — 75 объектов площадью 128,911 км²; III порядка — 47 объектов площадью 312,849 км²; IV порядка — 11 объектов площадью 513,502 км² и V порядка — 11 объектов площадью 1990,109 км². Инженерно-геологические области выделены по высотному положению водораздельных поверхностей, подобласти — по глубине и густоте эрозионного расчленения и преобладающей крутизне склонов.

Важным погодно-климатическим аспектом развития комплекса экзогенных процессов является засушливость территории с кратковременными ливневыми осадками, приводящими к залповому выбросу рыхлого материала из овражно-балочной сети, особенно в черте городской застройки. Мониторинг эрозионного процесса показал, что происходит линейный прирост оврагов в пределах локальных участков. Линейное приращение вершин большинства оврагов не превышало 1 м и составило от 0,03 до 0,29 м. Максимальные приращения протяженности зафиксированы в двух оврагах и равны 0,89–0,92 м. Положительная динамика (одновременное углубление и расширение оврага, линейный рост вершины) была зафиксирована в оврагах участка Налайх, развивающихся в пределах водосборов с более высокими абсолютными отметками водоразделов, имеющих большую глубину расчленения (115 м) и площадь водосбора, менее густо расчлененных (1,78 км/км²). Анализ изменения поперечных профилей оврагов показал, что на большинстве из них происходит расширение бортов за счет обвалов грунта, формирования нависающих карнизов. Величина бокового приращения оврагов варьируется от 0,03 до 0,46 м. Расширение бортов оврагов сопровождается уменьшением глубины оврага. Так, например, расширение бортов оврага на 0,22 и 0,46 м, зафиксированное в поперечном профиле, привело к уменьшению глубины оврага на 0,7 м. В среднем уменьшение глубины оврагов в поперечных

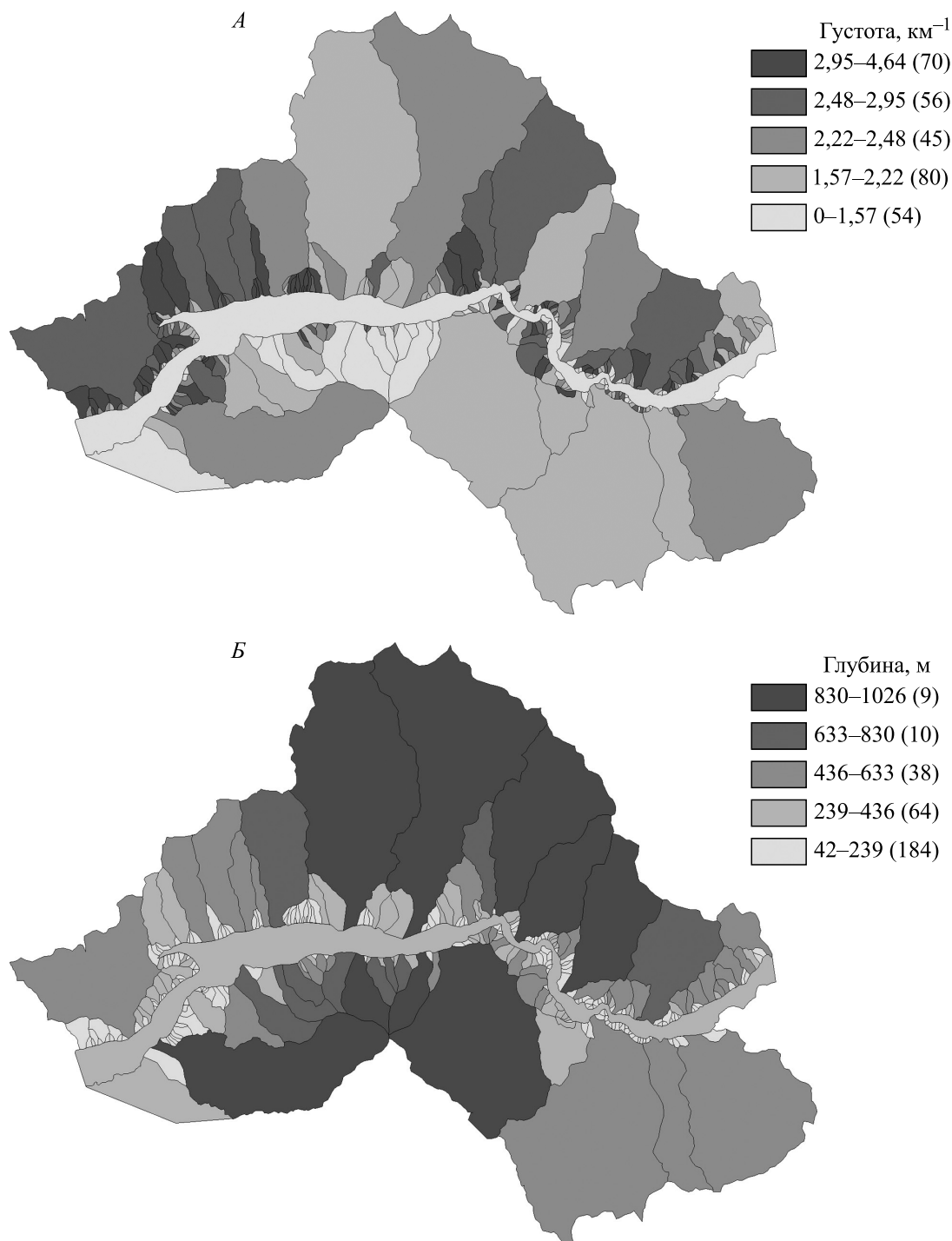


Рис. 1. Густота (А) и глубина (Б) эрозионного расчленения территории Улан-Баторской агломерации.

створах составило 0,03–0,24 м. На первый взгляд, небольшие значения прироста овражно-балочной сети в погодичном измерении кажутся незначительными, однако, учитывая залповый выброс материала, процесс имеет уже угрожающий характер.

За период 2012–2013 гг. в большинстве оврагов наблюдалось преобладание боковой эрозии над глубинной, сопровождающееся незначительным (до 0,46 м) расширением оврагов и аккумуляцией делювиально-пролювиальных отложений в днище.

В водосборных бассейнах с большей глубиной расчленения и площадью водосбора преобладала глубинная эрозия, что отразилось в положительной динамике роста ширины, глубины и протяженности оврага. В 2013–2015 гг. у большинства обследуемых оврагов наблюдалось постоянное увеличение площади поперечных створов. Динамика роста составила от 0,21 до 2,53 м². Максимальные приращения площади створов зафиксированы в оврагах, расположенных на ключевых участках с большей водосборной площадью и глубиной расчленения элементарных водосборов. Анализ климатического фактора показал, что период 2013–2015 гг. характеризовался большим количеством ливневых дождей в сравнении с периодом 2012–2013 гг.

Таким образом, для территории Улан-Баторской агломерации выполнена оценка морфометрических параметров бассейнов — площади, длины водотоков, экспозиции, уклона тальвегов и склонов. Показатели морфометрии водосборных бассейнов впоследствии позволят выполнить моделирование различных показателей водного потока, мощности и скорости стока, прогноз склоновых процессов, транспортирующей способности потоков. Материалы мониторинга являются основой для практического применения при разработке мероприятий по снижению социально-экономических рисков от развития катастрофических геологических процессов. Все происходящее на геодинамическом полигоне находится под прямым воздействием погодно-климатических изменений, на которых мы и остановимся ниже.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ОСНОВЕ ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Для построения моделей погодно-климатических изменений [4–6] и прогноза [7, 8] их дальнейшего развития до 2050 г. были использованы древесно-кольцевые хронологии из международной базы данных [9, 10]. Места расположения станций отбора образцов древесины приведены в таблице.

Для статистических моделей первоначально строились кривые вариаций во времени дендроиндикационных параметров по 26 станциям и на основе исторических сведений о возникновении дзудов (массовая гибель животных от жажды и бескормицы в зимний период), засух и наводнений [11]. Вычисленные линейные дендрохронологические тренды показали устойчивую тенденцию ухудшения погодно-климатических условий практически на всей территории страны, а перечисленные выше процессы, наоборот, имели положительную тенденцию. Затем был выполнен фурье-анализ кривых и

Локализация станций отбора образцов древесины на территории Восточной Сибири и Монголии

Станция	Координаты		Станция	Координаты	
	с. ш.	в. д.		с. ш.	в. д.
Байкал	53°13'00"	107°45'00"	Баян-Нуур	48°27'00"	95°06'00"
Телецкое	51°31'45"	87°42'53"	Даян-Нуур	48°21'32"	88°49'55"
Доод-Нуур	51°19'45"	99°22'50"	Улаагчийн-Хар-Нуур	48°20'01"	96°07'31"
Гусиное	51°12'06"	106°23'32"	Могод	48°16'39"	102°59'07"
Хубсугул	51°06'00"	100°30'00"	Тэрхийн-Цагаан-Нуур	48°10'15"	99°43'20"
Увс-Нуур	50°20'00"	92°45'00"	Хар-Нуур	48°05'11"	93°11'03"
Уурэг-Нуур	50°10'00"	91°00'00"	Хар-Ус-Нуур	48°04'00"	92°24'00"
Торейские	50°03'26"	115°35'21"	Зайсан	48°00'00"	84°00'00"
Харгал-Нуур	49°55'28"	102°45'09"	Улаанбаатар	47°57'28"	106°54'42"
Кудер	49°46'29"	107°31'06"	Буйр-Нуур	47°47'17"	117°41'52"
Ачит-Нуур	49°30'27"	90°33'04"	Толбо-Нуур	48°35'38"	90°00'18"
Сангийн-Далай-Нуур	49°16'00"	98°56'00"	Угий-Нуур	47°45'39"	102°46'02"
Хяргас-Нуур	49°10'17"	93°20'52"	Дургун-Нуур	47°39'30"	93°28'38"
Ойгон-Нуур	49°09'00"	96°34'00"	Нуур-II	47°31'36"	98°46'31"
Далайнор	48°58'23"	117°26'08"	Хангай	47°05'56"	100°27'05"
Хэнтий аймаг, ст. Онон	48°54'00"	111°10'00"	Нуур-I	46°41'40"	96°47'04"
Айраг-Нуур	48°53'00"	93°26'00"	Шаргин-Цагаан-Нуур	46°15'39"	95°01'02"
Тэлмэн-Нуур	48°47'02"	97°18'58"	Буунт-Цагаан-Нуур	45°35'21"	99°08'50"
Хотон-Нуур	48°40'04"	88°16'23"	Орог-Нуур	45°02'50"	100°42'48"
Хурган-Нуур	48°33'01"	88°34'57"	Баян-Тухумийн-Нуур	43°34'33"	103°10'40"

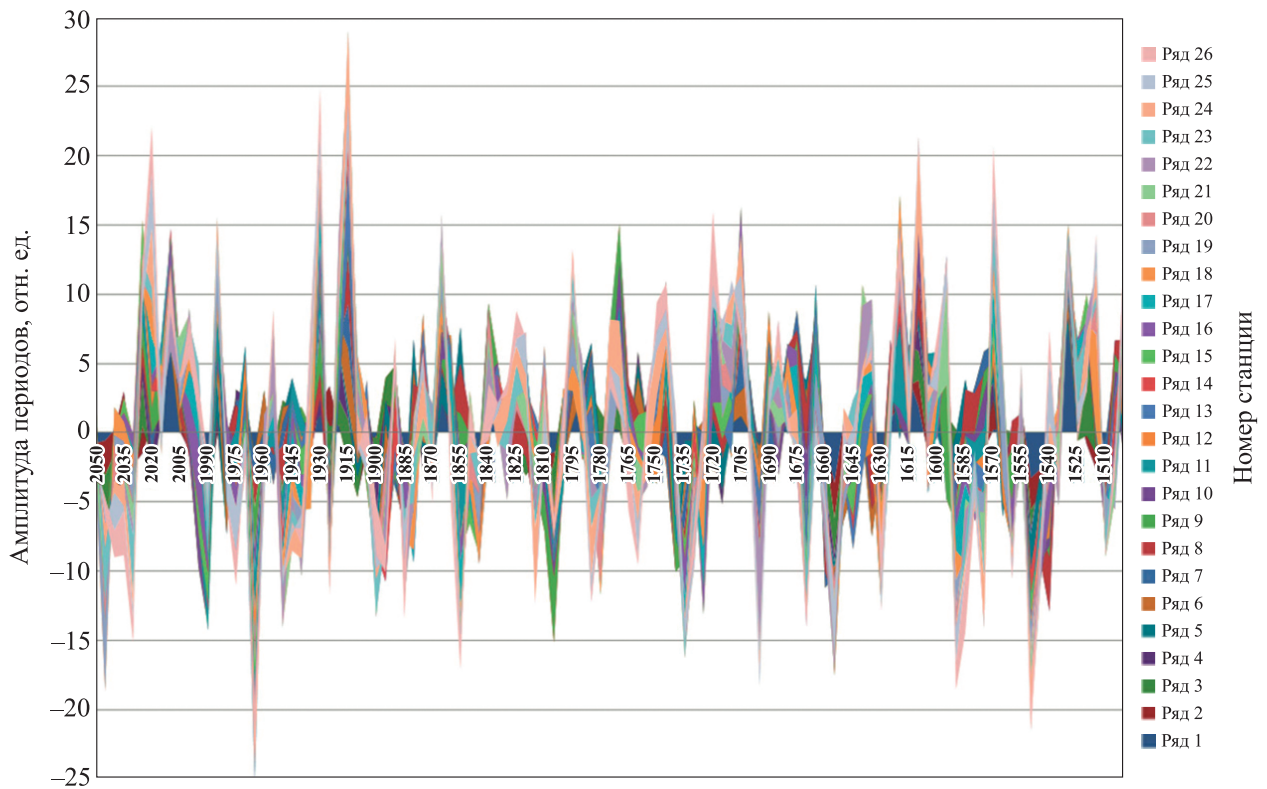


Рис. 2. Прогнозные модели погодно-климатических изменений.

Станции: 1 — Могод; 2 — Нуур-1; 3 — Нуур-2; 4 — Онон; 5 — Улаанбаатар; 6 — Байкал-дендро; 7 — Байкал-Сарма; 8 — Баян-Нуур; 9 — Далайнор; 10 — Даян-Нуур; 11 — Доод-Нуур; 12 — Кудер; 13 — Ойгон-Нуур; 14 — Орог-Нуур; 15 — Орхон; 16 — Сангийн-Далай-Нуур; 17 — Тэлмэн-Нуур; 18 — Тэрхин-Цагаан-Нуур; 19 — Увс-Нуур; 20 — Угий-Нуур; 21 — Уурэг-Нуур; 22 — Хангай; 23 — Харгал-Нуур; 24 — Хар-Ус-Нуур; 25 — Хубсугул; 26 — Хяргас-Нуур. Зеленая кривая — комфортные условия произрастания древостоев, желтая — дискомфортные условия.

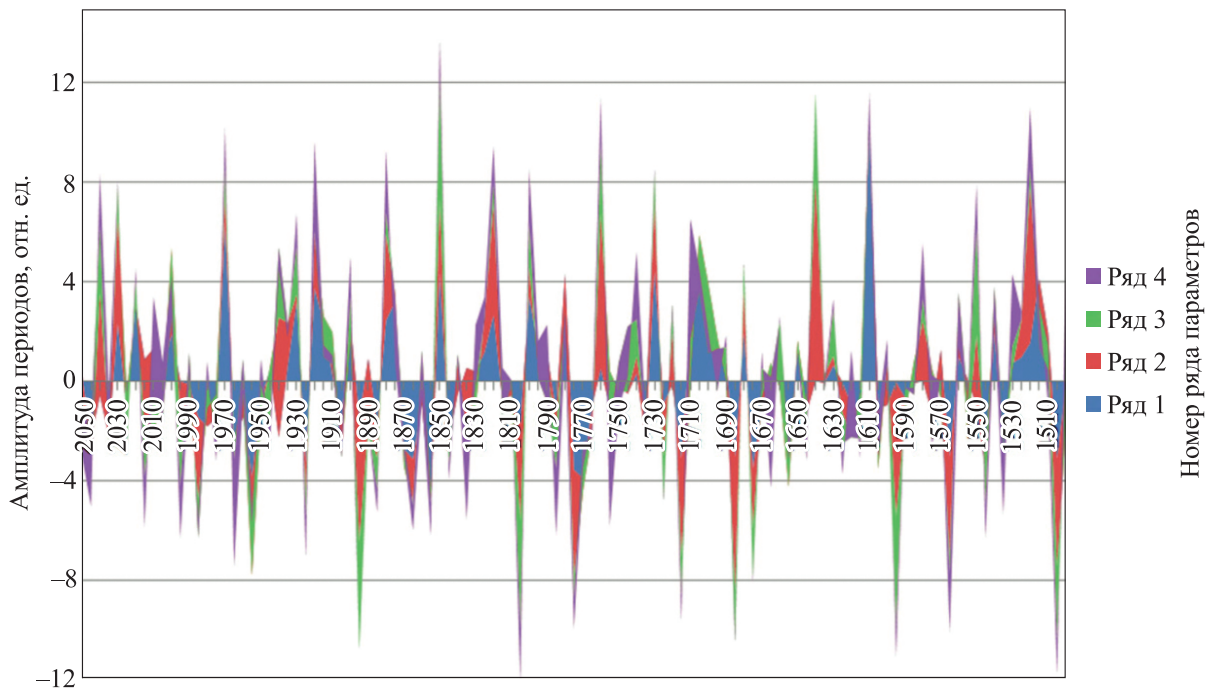


Рис. 3. Модели опасных процессов [11].

1 — дзуд; 2 — засухи; 3 — наводнения; 4 — природные пожары. Зеленая кривая — всплески активизации, желтая — спад активности.

выявлены значимые периоды вариаций для каждой станции и каждого процесса. На основе полученных значений периодов построены модельные кривые изменений путем суммирования гармоник. Учитывая тот факт, что длины хронологий составляли на менее 500 лет, мы смогли продлить модели до 2050 г. (рис. 2, 3).

На рис. 2 приведены кривые погодно-климатических изменений для 26 станций. На рис. 3 показаны кривые активизации ряда опасных процессов (дзуды, засухи, наводнения, природные пожары) [11].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе морфометрического анализа водосборных бассейнов на Улан-Баторском геодинамическом полигоне проведен мониторинг развития овражно-балочной сети, что впоследствии позволит моделировать показатели водного потока, мощности и скорости стока, делать прогноз склоновых процессов, транспортирующей способности потоков. Материалы мониторинга являются основой для практического применения при разработке мероприятий по снижению социально-экономических рисков от развития катастрофических геологических процессов.

На основании статистического моделирования делается вывод об ухудшения погодно-климатических условий практически на всей территории Монголии с возможными локальными местными отклонениями от общего тренда.

Учитывая прямое влияние погодно-климатических изменений на развитие опасных экзогенных процессов (линейную и плоскостную денудацию), можно полагать, что в ближайшие десятилетия экзогеодинамическая опасность будет нарастать.

Работа выполнена в рамках Интеграционной программы ИИЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Девяткин Е. В.** Кайнозой Внутренней Азии. — М.: Наука, 1981. — 195 с.
2. **Козырева Е. А., Мазаева О. А., Рыбченко А. А., Баярсайхан К., Дэмбэрэл С.** Опасные экзогенные геологические процессы Монголо-Сибирского региона (факторы, оценка, контроль) // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. — Иркутск: ИЗК СО РАН, 2016. — С. 223–228.
3. **Философов В. П.** Основы морфометрического метода поисков тектонических структур. — Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1975. — 232 с.
4. **Евдокименко М. Д., Копцев С. Г.** Дендрохронология засух в Забайкалье // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии: Тез. докл. V Всесоюз. совещ. — Свердловск, 1990. — С. 58–59.
5. **Галазий Г. И.** Зависимость годичного прироста деревьев от изменений климата, уровня воды и рельефа на северо-западном побережье Байкала // Геоботанические исследования и динамика берегов и склонов на Байкале. — Л.: Наука, 1972. — С. 71–214.
6. **Ваганов Е. А., Бриффа К. А., Наурызбаев М. М., Швейнгрубер Ф. Г., Шиятов С. Г., Шишов В. В.** Длительные климатические изменения в Арктической области Северного полушария // Докл. РАН. — 2000. — Т. 375, № 1. — С. 103–106.
7. **Дружинин И. П.** Долгосрочный прогноз и информация. — Новосибирск: Наука, 1987. — 254 с.
8. **Дубров А. М., Мхитарян В. С., Трошин Л. И.** Многомерные статистические методы. — М.: Финансы и статистика, 2000. — 350 с.
9. **NOAA Paleoclimatology Tree Ring Datasets** [Электронный ресурс]. — <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo/f?p=517:1:0> (дата обращения 14.09.2016).
10. **Леви К. Г., Козырева Е. А.** Анализ и предварительный прогноз развития опасных экзогенных процессов на юге Восточной Сибири // Материалы IV Междунар. конф. (Иркутск — пос. Аршан, 6–10 сент. 2016 г.). — Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2016. — С. 128–137.
11. **Задонина Н. В., Леви К. Г.** Хронология природных и социальных феноменов в Сибири и Монголии. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 2008. — 760 с.

Поступила в редакцию 17 октября 2016 г.