

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

<https://doi.org/10.32014/2020.2518-1726.45>

Volume 3, Number 331 (2020), 127 – 134

УДК 528; 519.876.5, 004.891

МРПТИ: 20.23.27; 28.23.29

A.B. Kairanbayeva¹, D.V. Panyukova², G.B. Nurpeissova³, K.A. Turekulova⁴¹Institute of the Ionosphere, National Center for Space Research and Technology, Almaty, Kazakhstan²The Satbaev University, Almaty, Kazakhstan;³The Caspian University, Almaty, Kazakhstan;⁴The Institute of Seismology, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: kairanbaeva_a@mail.ru; haleth@mail.ru; kerey97@mail.ru; turekulova.is@mail.ru

INTELLECTUAL FORECASTING OF LANDSLIDES

Abstract. All over the world remote monitoring and satellite imagery is taking part in urban and construction planning. Therefore, while biggest city of Republic of Kazakhstan is placed on a land with a risk of landslides, it is reasonable to use satellite technologies to assess the land surface deformation before construction started. The remote monitoring is providing results as an array of numeric data that can be converted into a surface map. However, besides real time monitoring of possible landslides, it is possible to forecast such deformation in dynamic. Such dynamical model is presented as an array of time series of parameters, which then can be converted into dynamically changed map. Analytical modeling can provide such forecasting with high accuracy but demand decent amount of data for every forecasting case. Intellectual methods of forecasting operate with lack of information and provide results with acceptable margin of error. Authors suggest designing intellectual models on periodic data from satellite images for landslides' forecasting. Moreover, best-designed model can become a base for software package to provide such dynamic modeling of land's deformation online for public and private use.

Key words: GPS, remote sensing, landslide processes, intellectual models, forecasting, dynamic model.

Introduction. Research relevance is defined by decay of built structures near and in one of the most populated city in Kazakhstan – Almaty – because of landslides, mudflows and dramatic changes of climatic conditions. That confirms importance of modern GIS usage developed on the basis of ground and space monitoring data for forecasting dangerous situations (mudflows, landslides) and diagnostics of land's condition.

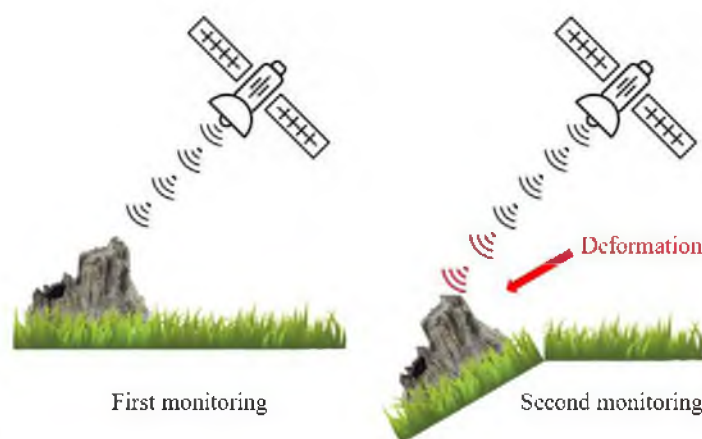
Nowadays technologies of satellite imagery and remote monitoring are widely used all over the world at land use [1, 2] and urban areas planning [3-5]. This significantly reduces the working time of specialists and optimizes the work at a planning stage of various works at the state and local levels.

Mapping landslides near built structures is necessary condition for making optimal technical decisions in their construction and operation due to possible destruction of the slope. Number of researches on the forecasting of landslide's risk was carried out over the past two decades around the world [6-21]. For mapping the landslide's risks, the researchers used various approaches, which can be grouped into three main types: statistical, computer modeling and analytical techniques. If there is a necessity to process a large data set, then use of analytical methods are almost impossible. So, the statistical techniques and computer modeling is widely implemented. In computer modeling with GIS technology following methods are mainly used: decision making trees, support vector points and neural modeling [7-21].

Scientific novelty of research is related to the use of modern satellite technologies with use of intellectual model to forecast the risk of landslides of the areas for future or present construction. The study of the mechanisms of slope processes occurrence using modern satellite technology and mathematical modeling leads to new knowledge in the theory of forecasting the risk of landslides and their influence on the land's building characteristics.

To build intellectual model and improve the accuracy of forecasting the risk of landslides by computer modeling detailed digital elevation model and field data in an area can be used. Evaluation of slope processes using GIS to forecast condition of building lands in Kazakhstan has not been done and proposes a great scientific interest.

Satellite images as a time series data. Remote monitoring and satellite imagery can be used to observe the land surface and its deformation. For example, such monitoring can be provided by use of principle of radar interference. The difference in time delay between sent and received by satellite signal (red signal on the picture 1) represents the difference in surface level. Consequently, such difference in received parameters can show any deformation or landslide. Furthermore by all received from satellite data about monitored surface a map can be formed. If satellites provide a remote monitoring in a periodic manner, resulting maps can form a dynamic model of the surface deformation.



Picture 1 - Method of radar interference in remote monitoring

Satellite images of land for landslides' detection is delivered in form of data sheets about monitored surface as shown in picture 2. Thereat every line describes specific characteristic of the exact coordinates [6].

Then such data is processed to form a surface map as on picture 3 [6] where every parameter is presented on a z-axis for every coordinate specified on x- and y-axis of the graph. The same parameters can be represented in color or in combination of color and height. Author recommend combined method for representing surface deformation for unqualified users.

The implication is that any monitored surface can be presented as an array of numeric data, where its coordinates are shown as an element indexing:

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1m} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & Z_{n2} & \dots & Z_{nm} \end{bmatrix} \quad (1)$$

where Z is one of parameters received from monitoring, n and m are indexes representing coordinates of monitored surface.

Furthermore, the deformation of surface or landslide processes in exact coordinates in dynamic can be presented as a time series of an element in the array:

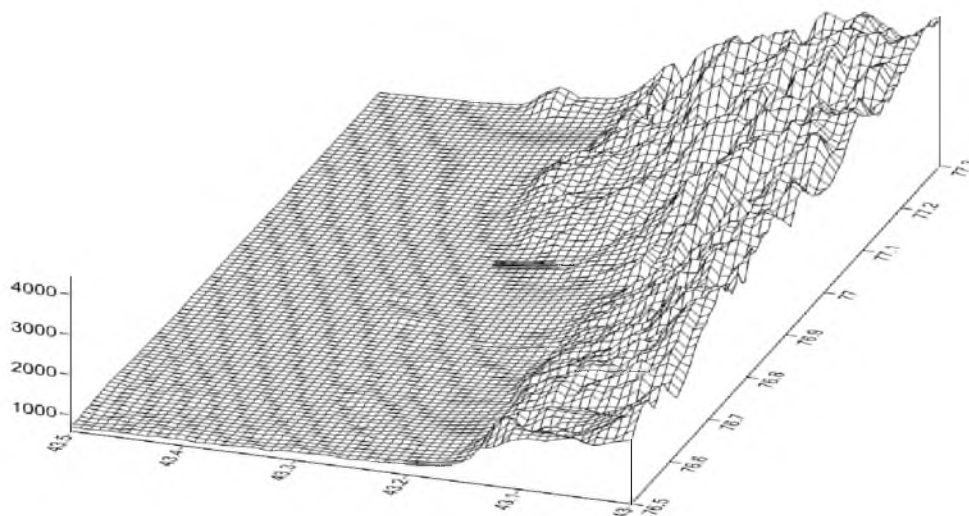
$$Z_{11} = \{Z_{11}^1(t), Z_{11}^2(t + T), Z_{11}^3(t + 2 \cdot T), \dots\}, \quad (2)$$

where Z is one of parameters received from monitoring, t is time, and T is period of time between satellite images.

The resulting form of data can be used to form a mathematical model or design and train an intellectual model for the landslide processes' forecasting.

Lon	Lat	Z	Vel_mm_y_	Coherence	D_20150115	D_20180210
76,823888	43,280471	711,875116	-11,193887	0,694304	0	-40,588146
76,823889	43,280416	724,121679	-8,731388	0,670136	0	-25,104536
76,823889	43,280471	709,486996	-5,370865	0,681943	0	-11,350699
76,823892	43,280434	724,202657	-8,869476	0,69234	0	-24,358576
76,823893	43,280452	709,406511	-4,871862	0,666525	0	-11,289376
76,823895	43,279994	705,810231	-1,896947	0,747738	0	-4,014318
76,823897	43,28047	714,881492	-4,060597	0,66099	0	-10,300287
76,823898	43,28047	713,399774	-3,720258	0,67345	0	-8,853598
76,823899	43,280012	707,656516	-2,496723	0,718306	0	-5,717471
76,823899	43,280452	713,049197	-4,432741	0,761461	0	-9,929994
76,823899	43,280012	705,78585	-1,912691	0,795292	0	-2,329161
76,823903	43,280433	724,359914	-8,949328	0,66616	0	-24,439787
76,823903	43,280231	716,457603	-2,90916	0,675994	0	-10,883619
76,823904	43,28003	705,738837	-2,059825	0,788465	0	-1,850743
76,823906	43,280029	707,430014	-2,05429	0,770657	0	-8,137006
76,823908	43,280029	707,76529	-2,442406	0,723007	0	-9,137286
76,823908	43,280249	716,362962	-2,712636	0,781478	0	-2,636459
76,82391	43,280267	716,531821	-3,066086	0,674425	0	-17,121803
76,823911	43,280468	715,659589	-9,377769	0,667267	0	-36,229301
76,823913	43,283454	714,019161	0,819217	0,710332	0	4,901161
76,823921	43,280449	713,246561	-4,366353	0,73583	0	-10,232582
76,823921	43,280431	711,110533	-4,652173	0,714882	0	-7,789934
76,823923	43,280449	709,461361	-4,05126	0,674233	0	-9,950661
76,823924	43,280247	716,595356	-2,484826	0,701137	0	-3,312304
76,823929	43,283581	712,699376	-0,175425	0,742918	0	2,631488
76,823931	43,280448	713,459047	-3,560992	0,679144	0	-8,998888

Picture 2 - Data received from satellite imagery [6]



Picture 3 - Resulting map of monitored surface [6]

Intellectual method of forecasting of time series. Any data that is presented as a time series can be extrapolated with some level of accuracy [22]. This is one of the main principles used in all forecasting methods. These methods can be divided in three main groups: statistical, computer modeling and analytical techniques. While analytical methods give high accuracy in forecasting, they cannot be implemented in case of large amount of processed parameters or small amount of prior incoming data. Whereas intellectual methods provide a forecasting within reasonable accuracy even in case of information lack.

Intellectual methods include developed regression models, neural networks and expert systems or some combination of them. Choice of exact model for every particular forecasting task is executed by comparing the performance of each researched method [23].

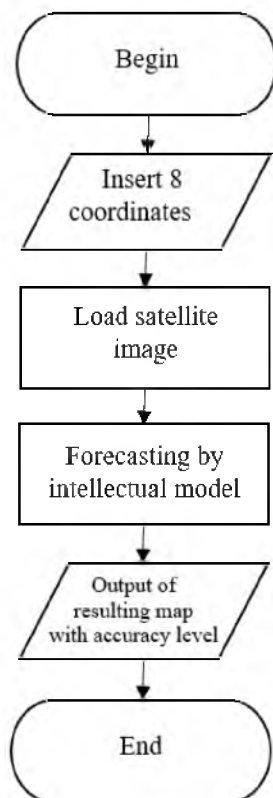
Hereinbefore has been described that satellite imagery can be presented as array of time series data. Authors suggest that such data can be used in designing and training intellectual methods for forecasting of landslides and other surface deformation on a moderate area of Taldikorgan state and Almaty city.

To achieve this goal, periodic remote monitoring of several areas should be provided. Afterward received satellite images should be converted into arrays of time series data. Then this arrays should be divided in two groups: bigger arrays for training (nearly 90 % of all data) and smaller (nearly 10%) – for testing. After that, several models based on different intellectual approaches should be trained on the training data arrays.

The assessment of received model should be provided on previously formed testing arrays. If required accuracy will not be satisfied, models should be modified by combining methods that shown best results. Beside accuracy, the operating time and implementation simplicity should be considered as a choice criterion. In a result, best model can be used for practical implementation.

Possible practical implementation of a forecasting method for landslides' processes

The best forecasting model can be used as a base processor for software package aimed to provide dynamic model of surface deformation to public and private users. The proposed algorithm of interaction between the software package and a user is shown on picture 4.



Picture 4 - Operational algorithm of proposed software package

A user has to provide only eight coordinates (longitude and latitude for four corners of required sector). Then the software download a satellite image of the area in a form of numeric data. This numeric array is processed by the forecasting model, which extrapolates it into another forecasted array. As a result, the forecasted array is converted into the surface map with prediction accuracy limits that is presented to a user.

Proposed software package eliminate requirements for user's proficiency in programming or modeling, as long as in satellite geodesy. At the same time, it provide possibility to remote assessment of exact land for future deformation or landslides. Such preliminary diagnostic in dynamic can decrease economical expenses on pre-construction research of the area on the spot to rule out a possibility of building on a future landslide. Intended users include either governmental committees for urban planning or private constructor who is narrowing down the exact spot for future building.

А.Б. Қайранбаева¹, Д.В. Панюкова², Г.Б. Нүрейсова³, К.А. Турекулова⁴

¹Ионосфера институты, Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы, Алматы, Қазақстан;

²Сәтбаев университеті, Алматы, Қазақстан;

³Каспий қоғамдық университеті, Алматы, Қазақстан;

⁴Сейсмология институты, Алматы, Қазақстан

ЖЕР КӨШКІНДЕРІН ИНТЕЛЕКТУАЛДЫ БОЛЖАУ ЖҮЙЕСІ

Аннотация. Қазақстанның ірі қалаларында, Алматыда және оған жақын жерлерде орналасқан ғимараттар мен қалалық инфрақұрылымдар ауа райының күрт өзгеруіне байланысты сырғыма (көшкін), сел ағындарының әсерінен жиі бұзылады. Сондықтан да зерттеу өзекті болып табылады. Жер үсті-ғарыштық мониторинг деректері негізінде әзірленген қазіргі заманғы геоаппараттық технологияларды қауіпті жағдайларды болжау (селдер, көшкіндер) және құрылысқа пайдаланылатын жерлердің жай-күйін диагностикалау үшін пайдалану маңызды болып табылады.

Қазіргі уақытта бүкіл әлемде жерді пайдалануды жоспарлау кезінде ғарыштық түсірілім және қашықтықтан мониторинг жасау технологиялары жалпы міндеттер үшін де, қала аумақтарын жоспарлау үшін де белсенді пайдаланылады. Бұл мамандардың жұмыс уақытын айтарлықтай үнемдеуге және мемлекеттік, жергілікті деңгейдегі түрлі жұмыстарды жоспарлау кезеңінде жұмысты барынша оңтайландыруға мүмкіндік береді.

Сырғыманы картаға түсіру - көлбеу құлаудың ықтимал аудандарын ескере отырып, әртүрлі құрылыстармен мен инфрақұрылым объектілерін жобалау және қызмет көрсету кезінде оңтайлы техникалық шешімдер қабылдау үшін қажетті шарт. Соңғы екі онжылдықта бүкіл әлемде көшкін қаупін болжау бойынша зерттеулер жүргізілді. Сырғыманың қауіп-қатер карталарын жасау үшін зерттеушілер үш тәсілге топтастыруға болатын түрлі тәсілдерді қолданды: статистикалық, компьютерлік модельдеу және аналитикалық әдістер. Үлкен көлемді деректерді өңдеу қажет болған жағдайда аналитикалық әдістерді қолдану мүмкін емес, сондықтан статистикалық әдістер мен компьютерлік моделдеу кеңінен қолданылады.

Мұндай зерттеулердің ғылыми жаңалығы - қазіргі заманғы спутниктік технологиялар мен математикалық модельдеуді пайдалануға байланысты, құрылыс жоспарланған жер аймағында көшкін пайда болу қаупін болжаудың интеллектуалдық модельдерін пайдалану. Қазіргі заманғы спутниктік технологияларды және моделдеудің математикалық әдістерін қолдана отырып, беткейлік үдерістердің пайда болу механизмдерін зерттеу көшкіндердің пайда болу қаупін болжау теориясында жаңа білім алуға мүмкіндік береді.

Осы мақалада компьютерлік модельдеу арқылы интеллектуалды модельдер құру және болжаудың дәлдігін арттыру үшін мыналар пайдаланылады: рельефтің сандық моделі; құрылысқа жоспарланған жер аумағындағы спутниктік кескіндер мен зерттеу деректері. Қазақстанда құрылысқа жоспарланған жерлердің жай-күйін болжау үшін ГАЖ технологияларын қолдану арқылы көлбеу үрдістер мен шамадан тыс сулану аймақтарын бағалау бұрын жүргізілген жоқ және ғылыми қызығушылық тудырады.

Ұсынылған зерттеу әдістемесі спутниктік суреттерден радарлық интерференцияны пайдалану арқылы алынған сандық мәліметтер мен зерттелетін аймақтағы беттің деформациясы картасының байланысына негізделген. Сонымен, жер бетіндегі сырғыманың ықтималдығы зерттелетін аймақ үшін белгілі бір уақытта бетінің күйін сипаттайтын мәліметтер жиынтығын алу қажет. Осындай ғарыштық зерттеулер сериясын белгілі бір уақыт аралығында белгілі бір жиілікпен жүргізген кезде осы жер учаскесін сипаттайтын әр параметр үшін уақыттық сандық мәндер алынады. Бұл шамаларды уақыт өзгерісіне байланысты беткі

деформацияны сипаттайтын карталар сериясына айналдырылған кезде, зерттелетін аймақта беткейлік өзгерістер мен ықтимал сырғыма процестерінің динамикалық моделі алынады.

Егер нақты деректер жеткілікті болса, уақыт қатарларын процесті аналитикалық модельсіз интеллектуалды болжау әдістерін қолдана отырып сәтті жалғастыруға болады. Жоғарыда айтылғандай, гарыштық зондылауды қолдана отырып, жер бетіндегі уақыт бойынша деформацияны шектеулі параметрлердің уақыттық қатарлары ретінде көрсетуге болады. Демек, мұндай қатарларды аздаған ғана қателігі бар интеллектуалды әдістердің көмегімен "болашаққа экстраполяциялау" мүмкін. Шындығында, бұл шектеулі бастапқы қателіктермен салыстырмалы түрде аз қателіктерді көшкін процестерін болжауға арналған бірқатар модельдерді алуға мүмкіндік береді. Бұл болжау әдістерінің ішінде қазіргі заманғы регрессиялық болжау модельдері, нейрондық желілердің әртүрлі түрлері, анық емес логика және осы әдістердің әртүрлі комбинациясы қолданылады. Интеллектуалды модельді бағалау және таңдау екі негізгі критерийлерге жүгінеді: а) енгізудің қарапайымдылығы және кіріс ақпаратын өңдеу жылдамдығы; б) болжау дәлдігі.

Таңдалған болжау моделінің негізінде авторлар қолданушыға жер бетінің белгілі бір бөлігінің деформациясы туралы болжам алуға мүмкіндік беретін толыққанды бағдарламалық өнімді құруды ұсынады. Қосымшаның келесі жұмыс реті ұсынылады: а) пайдаланушы зерттелетін аймақтың шектік координаттарын белгілейді; б) бағдарламалық пакет гарыштық зондылау жүйелерінен мәліметтер массиві түрінде қажетті кескінді сұрайды; в) деректер таңдалған модельден алынған болжамды нәтижелерге сәйкес белгілі уақыт аралығында экстраполяция жасалады; г) болжамды деректер массиві ықтимал қатені азайта отырып, сұралған аймақтың динамикалық деформация картасы түрінде пайдаланушыға көрсетіледі. Мұндай бағдарламалық жасақтама мемлекеттік және жеке құрылыстар кезінде жоспарланған жер учаскелерін нақты зерттеудің экономикалық шығындарын едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: GPS, қашықтықтан зондылау, көлбеу процестер, интеллектуалды модельдер, болжау, динамикалық модель.

А.Б. Кайранбаева¹, Д.В. Панюкова², Г.Б. Нурейсова³, К.А. Турекулова⁴

¹Институт ионосферы, Национальный центр космических исследований и технологий,
Алматы, Казахстан;

²Университет им.К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан;

³Каспийский университет, Алматы, Казахстан;

⁴Институт сейсмологии, Алматы, Казахстан

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПОЛЗНЕЙ

Аннотация. Актуальность исследования определяется тем, что в крупнейшем городе Казахстана – Алматы и близ него здания и городская инфраструктура часто разрушаются под воздействием оползней, селевых потоков, обусловленных резкими изменениями погодных условий, что говорит о важности использования современных геоинформационных технологий, разработанных на основе данных наземно-космического мониторинга, для прогноза опасных ситуаций (сели, оползни) и диагностики состояния земель, используемых под строительство.

В настоящее время во всем мире при планировании землепользования активно используются технологии космической съемки и дистанционного мониторинга как для общих задач, так и для планирования городских территорий. Это позволяет значительно сократить время работы специалистов и максимально оптимизировать работу еще на этапе планирования различных работ государственного и местного уровня.

Картирование оползней – необходимое условие для принятия оптимальных технических решений при проектировании и обслуживании различных строений и инфраструктурных объектов с учетом вероятных областей разрушения склона. В течение последних двух десятилетий исследования по прогнозированию риска возникновения оползней проводились во всем мире. Для создания карт риска возникновения оползней исследователи использовали различные подходы, которые можно сгруппировать по трем главным типам: статистические, компьютерное моделирование и аналитические методы. При необходимости обработки большого массива данных применение аналитических методов почти невозможно, поэтому более широко применяются статистические методы и компьютерное моделирование.

Научная новизна подобных исследований связана с использованием современных спутниковых технологий и математического моделирования с использованием интеллектуальных моделей прогнозирования, риска возникновения оползней в районе земель, планируемых под строительство.

Изучение механизмов возникновения склоновых процессов с привлечением современных спутниковых технологий и математических методов моделирования позволяет получить новые знания в теории прогноза риска возникновения оползней.

Для построения интеллектуальных моделей и повышения точности прогнозирования компьютерным моделированием в данной статье предполагается использовать: детальную цифровую модель рельефа; данные космических съемок и исследований в районе земель, планируемых под строительство. Оценка склоновых процессов и зон избыточного увлажнения с использованием ГИС-технологий для прогнозирования состояния земель, планируемых под строительство, на территории Казахстана ранее не проводилась и представляет значительный научный интерес.

Предлагаемая методика исследования основана на взаимосвязи числовых данных, полученных с помощью радарной интерференции со спутниковых снимков и карты деформации поверхности в снимаемом районе. Так для исследуемого на вероятность оползней участка земной поверхности необходимо получить массив данных, описывающий состояние этой поверхности на определенный момент времени. При проведении ряда таких космических съемок с определенной периодичностью за определенный отрезок времени будут получены временные ряды числовых значений для каждого параметра, описывающего этот участок земли. При преобразовании этих значений в ряд карт, описывающих деформацию поверхности во времени, будет получена динамическая модель изменения поверхности и вероятных оползневых процессов на исследуемом участке.

При наличии достаточного количества фактических данных временной ряд может быть успешно продолжен с помощью интеллектуальных методов прогнозирования даже без аналитического моделирования процесса. Как было сказано выше, деформацию поверхности земли во времени, снятую с помощью космического зондирования, можно успешно представить, как массив временных рядов ограниченного числа параметров. А, следовательно, такие ряды возможно «экстраполировать в будущее» с помощью таких интеллектуальных методов с приемлемой погрешностью. Фактически это дает возможность получить ряд моделей прогнозирования оползневых процессов с относительно небольшой погрешностью при ограниченных изначальных данных. Среди таких методов прогнозирования используются современные регрессионные модели прогнозирования, нейронные сети разного рода, нечеткая логика и различные комбинации этих методов. Оценка и выбор интеллектуальной модели основываются на двух базовых критериях: а) простоте реализации и скорости обработки входящей информации; б) точности прогнозирования.

На основе выбранной модели прогнозирования авторы предлагают создать полноценный программный продукт, позволяющий пользователю получать прогноз по деформации заданного им участка земной поверхности. Предполагается следующая последовательность работы приложения: а) пользователь задает, ограничивающие координаты исследуемого участка; б) программный пакет запрашивает необходимый снимок с систем космического зондирования в виде массива данных; в) данные экстраполируются на определенный период времени вперед, согласно результатам прогноза, полученным из выбранной модели; г) спрогнозированный массив данных выводится пользователю в виде динамической карты деформации запрашиваемого участка с приведением вероятной погрешности. Применение такого программного продукта может существенно сократить экономические затраты на фактическое исследование участков земель, планируемых под строительство как в государственном, так и в частном строительстве.

Ключевые слова: GPS, дистанционное зондирование, склоновые процессы, интеллектуальные модели, прогнозирование, динамическая модель.

Information about authors:

Kairanbayeva Ainur Berikkalieva – Institute of the Ionosphere, National Center for Space Research and Technology, Scientific secretary, PhD kairanbaeva_a@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9827-4082>;

Panyukova Dina Vasilyevna – The Satbayev University, The department of Automation and control, PhD candidate, halet@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2567-5106>;

Nurpeissova Gulnara Baibolovna – The Caspian University, Professor, kerey97@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4642-3829>;

Turekulova Kulyanda Abilovna - Institute of Seismology, engineer of the highest category in laboratory of “Seismic resilience of buildings and constructions“ turekulova.is@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9709-6413>

REFERENCES

[1] Seyed A.B., Ming Zh., Sajad Sh., Yun Zh. A hierarchical rule-based land use extraction system using geographic and remotely sensed data: A case study for residential uses. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 2014. Vol.47. P. 155–167.

[2] Seyed A.B., Ming Zh., Yun Zh. Development of a land use extraction expert system through morphological and spatial arrangement analysis. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2015. Vol. 37. P. 221–235.

- [3] Saeed B., Ali A. Introducing a novel model of belief–desire–intention agent for urban land use planning. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*. 2013. Vol. 26. P. 2028–2044.
- [4] Michael M. Remote sensing for urban planning and management: The use of window-independent context segmentation to extract urban features in Stockholm. *Computers, Environment and Urban Systems*. 2015. Vol. 52. P.1–9.
- [5] Matthew M., Abduwasit G., Tashpolat T., Filiberto P., Pedro L.-C., Ümüt H., Mamat S, Mario C. Effects of green space spatial pattern on land surface temperature: Implications for sustainable urban planning and climate change adaptation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2014. Vol. 89. P.59–66.
- [6] Ground-space monitoring of technogenic processes in urban areas and assessment of the status of large technical facilities: research report (interim, part 1) / Subsidiary LLP “Institute of ionosphere”. Almaty, 2019. 62p. Inv. №0219RK00124
- [7] Biswajeet P. Remote sensing and GIS-based landslide hazard analysis and cross-validation using multivariate logistic regression model on three test areas in Malaysia. *Advances in Space Research* 45 (2010) 1244–1256.
- [8] Iswar D., Alfred S., Norman K., Vinay K. Dadhwal. Landslide susceptibility mapping along road corridors in the Indian Himalayas using Bayesian logistic regression models. *Geomorphology* 179 (2012) 116–125.
- [9] Ye Fei, He Chuan, Wang Shi-min, Zhang Jin-long. Landscape design of mountain highway tunnel portals in China. *Tunnelling and Underground Space Technology* 29 (2012) 52–68.
- [10] Biswajeet P. A comparative study on the predictive ability of the decision tree, support vector machine and neuro-models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Computers & Geosciences* 51 (2013) 350–365.
- [11] Bovenga F., Wasowski J., Nitti D.O., Nutricato R., Chiaradia M.T.. Using COSMO/SkyMed X-band and ENVISAT C-band SAR interferometry for landslides analysis. *Remote Sensing of Environment* 119 (2012) 272–285.
- [12] Seo Jin Ki, Chittaranjan Ray. Using fuzzy logic analysis for siting decisions of infiltration trenches for highway runoff control. *Science of the Total Environment* 493 (2014) 44–53.
- [13] Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach, P., 1999. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi- scale study, Central Italy. *Geomorphology* 31, 181–216.
- [14] Bai S.B., Wang J., Zhang F.Y., Pozdnoukhov A., Kanevski, M.F., 2008. Prediction of landslide susceptibility using logistic regression: a case study in Bailongjiang River Basin, China. *The 4th International Conference on Natural Computation, The 5th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery*. 25–27 August 2008, Jinan, China. FSKD, 4, 647–651. 10.1109/FSKD.2008.524.
- [15] Bai S.B., Wang J., Pozdnoukhov A., Kanevski M.F., 2009. Validation of Logistic Regression Models for Landslide Susceptibility Maps. *CSIE*, 2, 355–358. *WRI World Congress on Computer Science and Information Engineering*, 2009.
- [16] Lee S., Ryu J.H., Won J.S., Park H.J. Determination and application of the weights for landslide susceptibility mapping using an artificial neural network. *Engineering Geology*, 71 (2004), pp. 289–302.
- [17] Pradhan B., Lee S., Buchroithner M.F. A GIS-based back-propagation neural network model and its cross-application and validation for landslide susceptibility analyses. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34 (3) (2010), pp. 216–235.
- [18] Pradhan B., Chaudhari A., Adinarayana J., Buchroithner M.F.. Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island, Malaysia. *Environmental Monitoring & Assessment*, 184 (2) (2012), pp. 715–727.
- [19] Akgun A., Turk N. Landslide susceptibility mapping for Ayvalik (Western Turkey) and its vicinity by multicriteria decision analysis. *Environmental Earth Sciences*, 61 (3) (2010), pp. 595–611.
- [20] Bui D.T., Pradhan B., Lofman O., Revhaug I., Dick O.B.. Spatial prediction of landslide hazards in Hoa Binh province (Vietnam): a comparative assessment of the efficacy of evidential belief functions and fuzzy logic models. *Catena*, 96 (2012), pp. 28–40.
- [21] Akgun A., Sezer E.A., Nefeslioglu H.A., Gokceoglu C., Pradhan B. An easy-to-use MATLAB program (MamLand) for the assessment of landslide susceptibility using a Mamdani fuzzy algorithm. *Computers & Geosciences*, 38 (1) (2012), pp. 23–34.
- [22] Panyukova D., Nurpeissova G. Review of modern approaches for power load forecasting // *The 15th International Scientific Conference “Information Technologies and Management”*. Riga, 2017. pp.69-71.
- [23] Panyukova D.V., Shiryayeva O.I. Review of modern approaches for electric power consumption forecasting. *Vestnik KazNRTU*, 6 (136) (2019), pp. 509-513.