

Д.А. Чупина<sup>1</sup>, И.Д. Зольников<sup>2</sup>, Е.Н. Смоленцева<sup>3</sup>

## МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ НАИБОЛЕЕ УЯЗВИМЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ АКТИВИЗАЦИИ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ДИНАМИКОЙ КЛИМАТИЧЕСКОГО УВЛАЖНЕНИЯ (НА ОСНОВЕ ГИС И ДЗ)

### АННОТАЦИЯ

*В статье предложена методика выявления наиболее уязвимых территорий при активизации экзогенных процессов, обусловленных иссушением/увлажнением климата. Методика основана на предположении, что одни формы и типы рельефа придают устойчивость к внешним воздействиям, а другие – обуславливают повышенную уязвимость. Для равнинных территорий с близким залеганием к поверхности грунтовых вод большое значение имеет взаимосвязь параметров рельефа и увлажнения (грунтового и климатического). На основе морфометрического анализа выделены участки земной поверхности, к которым приурочены природно-территориальные комплексы (ПТК), испытывающие на себе влияние дополнительного поверхностного увлажнения и грунтовых вод, условно названные нами «гидроморфными»; а также ПТК, развивающиеся вне связи с грунтовыми водами при нормальном атмосферном увлажнении, условно названные «автоморфными». Ранжирование территории по степени уязвимости проводится на основе экспертной оценки. Разработанная методика полностью базируется на использовании ГИС-технологий (ArcGIS 10.2.1.), весь фактический материал получен на основе обработки цифровой модели рельефа SRTM. В результате построены две схемы уязвимости территории Барабинской равнины для двух трендов климатических изменений: иссушения и увлажнения. Эти схемы позволяют оценить степень уязвимости наземных экосистем одновременно на всей территории и локально по каждому её участку на среднемасштабном уровне исследования. Полученные результаты дополняют существующие представления о пространственном распределении трансформаций ландшафтных компонентов при изменении условий увлажнения–иссушения и показывают дискретно–мозаичный характер этих трансформаций. Практическая значимость разработанной методики обусловлена тем, что для территории юга Западной Сибири, относящейся к зоне рискованного земледелия, актуальна оценка потенциальной степени уязвимости в условиях усиления засушливости и экстремальности климата.*

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

*аридизация, цифровые модели рельефа, SRTM, уязвимость, автоморфность, гидроморфность, экзогенные процессы*

### ВВЕДЕНИЕ

В нашей работе мы затрагиваем понятие уязвимости природных систем, которое многими исследователями трактуется по-разному и является достаточно дискуссионным [Hinkel, 2011; Коробов и др., 2014]. Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК, англ. IPCC) дано следующее определение уязвимости: «степень, до которой система подвержена отрицательным воздействиям изменения климата, включая его изменчи-

<sup>1</sup> Институт геологии и минералогии имени В.С.Соболева СО РАН; 630090, Россия, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3; e-mail: chupina\_da@igm.nsc.ru

<sup>2</sup> Институт геологии и минералогии имени В.С.Соболева СО РАН; 630090, Россия, Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3; e-mail: zol@igm.nsc.ru

<sup>3</sup> Институт почвоведения и агрохимии СО РАН; 630090, Россия, Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2; e-mail: smolentseva@issa.nsc.ru

вость и экстремумы, или не в состоянии справиться с ними. Уязвимость является функцией характера, магнитуды и скорости изменения и изменчивости климата, которым подвергнута система, её чувствительности к ним и её адаптационной способности» (IPCC, 2007, с. 883). Мы используем этот термин в его нынешнем определении МГЭИК: «Уязвимость – склонность или предрасположенность понести ущерб» (IPCC, 2012, с. 564).

ГИС и ДЗ широко применяются для оценки уязвимости экосистем, основываясь на разных подходах. Некоторые исследователи оценивают тренд изменений растительности в различных экосистемах, следующих за отрицательным воздействием на них [Huang *et al.*, 2010; Kennedy *et al.*, 2007; Kennedy *et al.*, 2010]. Другие изучают тренды изменений восстанавливающихся нарушенных экосистем постфактум, чтобы определить, была ли система уязвима до воздействия (поскольку система отреагировала отрицательно, следовательно, она должна была быть уязвима) [Duguay *et al.*, 2012; Nepstad *et al.*, 2004]. Также среди работ можно выделить исследования, посвящённые использованию дистанционного зондирования для оценки стресса растительности, вызванного водой, питательными веществами или потеплением [Hilker *et al.*, 2011; Michaelian *et al.*, 2011]. Наиболее полный обзор зарубежных исследований в этой области приведён в статье [Smith *et al.*, 2014]. Авторы не только рассмотрели исследования уязвимости различных наземных экосистем в разных климатических поясах на основе ДЗ (леса умеренного пояса, тропические леса, бореальные леса, полузасушливые земли, прибрежные районы и Арктики), но и дали оценку возможности использования данных дистанционного зондирования для разработки систем раннего предупреждения в случае возрастающей уязвимости. В этих работах зачастую используются различные алгоритмы обработки временных рядов [Huang *et al.*, 2010; Kennedy *et al.*, 2007, 2010], индексы, получаемые на основе спутниковых данных: SVI (spectral vegetation indices), EVI (enhanced vegetation index), TVX (temperature vegetation index), PRI (Photochemical Reflectance Index) [Hilker *et al.*, 2011]; наиболее часто распространённые – NDVI и LAI (leaf area index) [Duguay *et al.*, 2012; Nepstad *et al.*, 2004]. Эти индексы могут использоваться в комплексе с другими данными: метеорологическими и полевыми. В своей работе Nepstad использовал спутниковые данные GOES-8 для расчёта почвенного увлажнения [Nepstad *et al.*, 2004]. В работе М. Michaelian рассчитывался индекс климатического увлажнения на основе метеорологических данных и с помощью ГИС интерполировался на исследуемую территорию [Michaelian *et al.*, 2011]. Также есть примеры использования ГИС и ДЗ для анализа процессов аридизации на территории степей и пустынь Сибирского региона и его ближайшего окружения. В экосистемах полупустынь и пустынь Монголии для контроля над параметрами засухи исследовалось отношение между индексами LST и NDVI (LST/NDVI) [Баяржагал, 2005]. При изучении динамики очагов опустынивания засушливых земель Северо-Западного Прикаспия использовался среднемесячный коэффициент корреляции между альбедо и температурой поверхности [Золотокрылин, 2011]. Климатические экстремумы детектировались на основе индекса SCEI [Золотокрылин, 2012], который представляет собой сумму отклонений от многолетних средних значений влажности почвы, NDVI, альбедо, температуры поверхности, нормированных по среднему квадратичному отклонению. Для территории юга Западной Сибири космические снимки всего масштабного ряда (MODIS, Landsat, Aster, Spot, Quick-Bird) использовались вместе с данными натурных наблюдений (сопряжённые геолого-геоморфологические, почвенные и ботанические исследования) при разработке комплексной технологии картографирования и мониторинга природно-территориальных комплексов [Зольников и др., 2011].

В данной работе мы хотим предложить свой подход к выявлению наиболее уязвимых территорий при изменении климата. Реакции экосистем на региональные изменения климата и антропогенный пресс контролируются геолого-геоморфологическим каркасом территории, который представляет собой рельеф (формы и типы) и слагающие его отложения. Район исследования (Барабинская равнина) относится к лесостепной зоне. Литогенная основа ПТК, развитых на данной территории, представлена преимущественно субэральным покровом, однородным по гранулометрическому составу. Гидрогеологические условия таковы, что

грунтовые воды в понижениях рельефа близко подходят к поверхности, что предопределяет большое количество озёр разной солёности и заболачивание отдельных участков. Таким образом, геолого–геоморфологические условия в районе исследования являются причиной сильной зависимости растительности от увлажнения. Кроме того, Барабинская равнина в настоящее время активно эксплуатируется в сельскохозяйственном производстве. Из-за возрастающих рисков при использовании сельскохозяйственных угодий возникает необходимость прогнозирования сокращения ресурсных территорий. Такие риски среди прочего обусловлены возрастающей экстремальностью климата на фоне долговременного тренда к иссушению климата в регионе, что может приводить к увеличению частоты возникновения и интенсивности проявлений опасных гидрометеорологических явлений (сильных паводков, наводнений, ураганов, засух, сильных ливней) [Второй..., 2014]. Изменения климатического увлажнения территории опасны как сами по себе, так и своими последствиями, поскольку они могут приводить к активизации ряда экзогенных процессов (ветровая и водная эрозия почв), а также засолению/рассолению почвенно–грунтовой толщи [Meуer, 2008]. При смене гидрологического режима происходят изменения в растительном покрове: постепенно в зависимости от климатического тренда (иссушение/увлажнение) характерные растительные сообщества замещаются ближайшими в схеме ценозов [Королук, 2010]. Таким образом, особое значение приобретает учёт районов, где экосистемы наиболее уязвимы вследствие активизации экзогенных процессов, вызванных климатическими изменениями.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Методика выявления наиболее уязвимых территорий при активизации экзогенных процессов, обусловленных иссушением/увлажнением климата, состоит из следующих процедур: 1) выделение форм рельефа; 2) построение схемы типов рельефа; 3) разделение каждого типа рельефа на автоморфный и гидроморфный подтип; 4) построение схемы уязвимости на основе экспертной оценки. Основой для создания итоговых схем является геолого–геоморфологический каркас территории, который был построен на основе морфометрического анализа рельефа [Чупина, 2014]. Фактической основой стала цифровая модель рельефа (ЦМР) SRTM (SRTM 90m DEM version 4), которая находится в открытом доступе (<http://srtm.csi.cgiar.org>). ГИС-обработка морфометрических показателей производилась в программном пакете ArcGIS 10.2.1.

### **Выделение форм рельефа**

Рельеф исследуемой территории состоит из грив, современных и палеоозёрных котловин, узких речных долин с редкими озеровидными расширениями и пологоволнистой равнинной поверхности. С использованием методики, указанной выше, были выделены все формы рельефа. Современные озёра проявились по нулевому значению углов и азимутов как абсолютно плоские участки, палеоозёрные котловины – на основе статистического распределения значений диапазона углов. Для грив, имеющих доминирующую северо-западную ориентировку, выделялись две грани по азимутальным характеристикам, но наиболее корректно они были закартированы по статистическому распределению значений относительных высот.

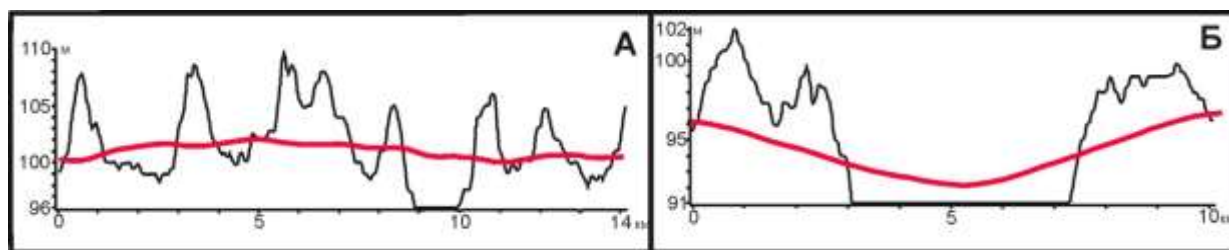
### **Построение схемы типов рельефа**

Типы рельефа на указанной территории выделялись по удельному площадному соотношению доминирующих форм рельефа методом скользящего окна, реализованного в процедуре «Density» (модуль Spatial Analyst). Пороги выделения доминирующих форм определялись в зависимости от процентного соотношения занимаемой площади в окне и для каждого конкретного набора форм рельефа были разными. В связи с тем, что гривы и палеоозёрные котловины имеют достаточно крупные размеры, радиус окна составил 10 км. В скользящем окне указанного размера были выделены области распространения грив и озёрных поверхностей. При наложении этих областей были получены контуры гривно-озёрного рельефа.

фа. Таким образом, была получена схема четырёх типов рельефа: гривный, равнинный, гривно-озёрный, озёрный.

### **Разделение каждого типа рельефа на автоморфный и гидроморфный подтип**

Для учёта взаимосвязи параметров рельефа и увлажнения (грунтовое и климатическое) предложен морфометрический показатель, позволяющий разделять типы рельефа на авто- и гидроморфные подтипы. Он строится на основе ЦМР как отклонение высот от тренда земной поверхности (рисунок 1). Сначала строится общий тренд высот определённого типа рельефа – среднее значение высот с помощью процедуры «Focal statistics». Размер скользящего окна подбирается в зависимости от особенностей территории. В нашем случае диаметр скользящего окна составил 5 км. Затем тренд вычитается из цифровой модели рельефа. Этот показатель отражает вертикальный разброс высот относительно усреднённой поверхности. В таком случае гидроморфным подтипам соответствуют отрицательные значения и вогнутые формы рельефа, к которым приурочены ПТК, испытывающие на себе влияние дополнительного поверхностного увлажнения и грунтовых вод. К автоморфным подтипам относятся территории с положительными значениями этого показателя с ПТК, развивающимися вне связи с грунтовыми водами и при нормальном атмосферном увлажнении.



*Рисунок 1. Разделение на автоморфный и гидроморфный подтип:*

*А – гривно-озёрного рельефа, Б – озёрного рельефа*

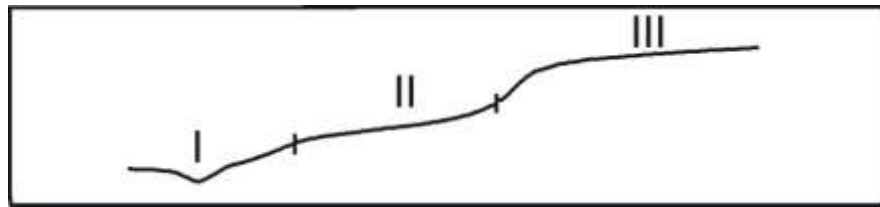
**Figure 1. Automorphic and hydromorphic landscapes with ridges and lakes (A), lakes (B)**

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

В нашей методике мы используем допущение, что четыре типа рельефа, развитые на исследуемой территории, а именно: гривный, равнинный, гривно-озёрный, озёрный, изначально в указанной последовательности, характеризуются уменьшением автоморфности и увеличением гидроморфности. Такие выводы были сделаны на основе предварительного изучения карт четвертичных отложений и объяснительных записок к ним, а также на распределении высотных отметок. Это обусловлено тем, что для ландшафтов характерна ярусность, т.е. выделение в ландшафтной структуре регионов высотно-генетических ступеней, зафиксированных в основных генетических уровнях развития рельефа [Казаков, 2007]. На равнинах (рисунок 2) выделяются следующие ярусы:

Изначально мы получаем схему типов рельефа, разделённых на два подтипа – автоморфный и гидроморфный. Для того чтобы на основании этих данных получить схему уязвимости территории необходимо рассмотреть, какие возможные экзогенные процессы могут развиваться для каждого отдельного типа и подтипа рельефа в зависимости от тренда климатических изменений (иссушение/увлажнение).

В случае увлажнения климата на гидроморфных участках происходит более значительное повышение уровня грунтовых вод по сравнению с автоморфными, что в дальнейшем может приводить к заболачиванию или затоплению. Следовательно, для любого типа рельефа, выделенного нами, степень уязвимости гидроморфных участков будет выше на градацию, чем степень уязвимости автоморфных участков. С учётом нашего допущения составлена легенда для ранжирования территории по степени уязвимости к процессам увлажнения (рисунок 3).



**Рисунок 2.** Ярусность равнинных ландшафтов [по Л.К. Казакову, 2007]

- I – низины с интразональными гидроморфными ландшафтами;
- II – низменные зональные неэлювиальные ландшафты со следами гидроморфизма;
- III – элювиальные типичные зональные ландшафты возвышенных равнин

**Figure 2.** Tiering of landscapes on plain area [by Kazakov L. K., 2007]

- I – low-lying hydromorphic landscapes;
- II – low-lying landscapes with traces of hydromorphism;
- III automorphic landscapes



**Рисунок 3.** Легенда к схеме ранжирования территории

по степени уязвимости к процессам увлажнения

**Figure 3.** The legend to the scheme of ranked territory

according to the degree of vulnerability caused by exogenous processes under humidification

Увеличение аридности климата вызывает другой набор возможных экзогенных процессов и будет иметь иное площадное распространение уязвимых территорий. При аридизации наиболее негативными процессами на территории Барабы могут быть: деградация гидроморфных участков, вплоть до полного высыхания современных озёр и появления на их месте солончаков и сильно засоленных почв; развитие дефляционных и водно-эрозионных процессов на незакрепленных растительностью поверхностях [Meyer *et al.*, 2008]. Автоморфные участки в этом случае также дестабилизируются. На них может происходить уменьшение продуктивности растительных сообществ, снижение проективного покрытия растительности и её почвозащитной роли и как следствие – активизация дефляционных процессов, водной эрозии (при сильных ливневых осадках из-за экстремальности климата). Масштаб проявления этих процессов для разных типов рельефа и их подтипов может значительно различать-

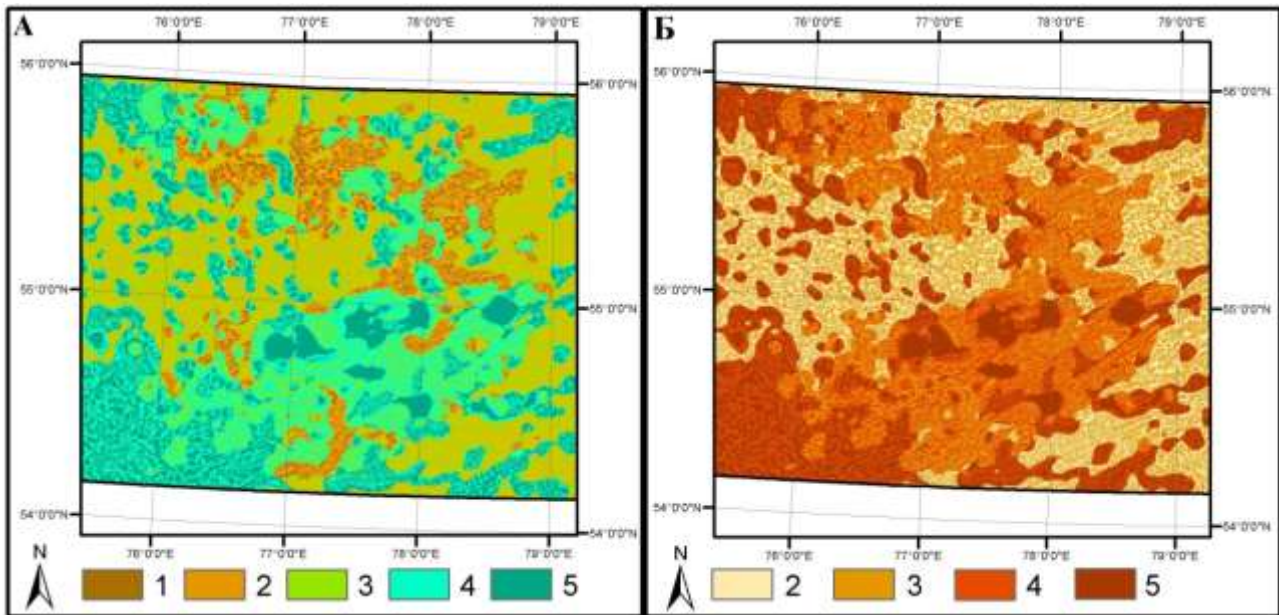


ся. Однако при тренде иссушения увеличение степени уязвимости различных типов рельефа, и особенно гидроморфных участков в них, не так равнозначно как в случае с трендом увлажнения. Легенда для схемы ранжирования территории по степени уязвимости к процессам аридизации приведена на рисунке 4.

		Автоморфный подтип	Гидроморфный подтип	Гидроморфность типов рельефа ↓
		<b>гивный рельеф</b>		
		<b>сильно уязвимый</b> деградация растительного покрова с последующим развитием дефляционных и водно-эрозионных процессов	<b>средне уязвимый</b> дополнительное атмосферное увлажнение снижает степень уязвимости	
		<b>равнинный рельеф</b>		
		<b>средне уязвимый</b> уменьшение продуктивности растительных сообществ, снижение проективного покрытия растительности и её почвозащитной роли	<b>слабо уязвимый</b> понижение уровня грунтовых вод, изменение степени и химизма засоления почвенно-грунтовой толщи, возможна трансформация почвенно-растительного покрова	
		<b>гивно-озёрный рельеф</b>		
		<b>средне уязвимый</b> уменьшение продуктивности растительных сообществ, снижение проективного покрытия растительности и её почвозащитной роли	<b>сильно уязвимый</b> сокращение площадей озёр, увеличение площадей солончаков и сильно засоленных почв, дефляционные и водно-эрозионные процессы	
		<b>озёрный рельеф</b>		
		<b>сильно уязвимый</b> дефляционные и водно-эрозионные процессы	<b>очень сильно уязвимый</b> деградация озёр, вплоть до полного высыхания, увеличение площадей солончаков и сильно засоленных почв, значительная активизация дефляционных и водно-эрозионных процессов	
Автоморфность типов рельефа ↑				

**Рисунок 4.** Легенда к схеме ранжирования территории по степени уязвимости к процессам аридизации

**Figure 4.** The legend to the scheme of ranked territory according to the degree of vulnerability caused by exogenous processes under aridification



**Рисунок 5.** Схемы ранжирования территории по степени уязвимости при активизации экзогенных процессов, обусловленных:

*А – увлажнением климата, Б – иссушением климата*

Степень уязвимости: 1 – очень слабая, 2 – слабая, 3 – средняя, 4 – сильная, 5 – очень сильная

**Figure 5.** Schemes of ranked territory

*according to the degree of vulnerability caused by exogenous processes under humidification (A) and aridification (B).*

The degree of vulnerability: 1 – very low, 2 – low, 3 – medium, 4 – high, 5 – very high

Полученные легенды показывают, что природно-территориальные комплексы на различных типах и подтипах рельефа Барабинской равнины по-разному реагируют на динамику климатического увлажнения, в зависимости от его тренда. При положительном тренде увлажнения степень уязвимости территорий с различным типом рельефа возрастает в такой последовательности: гривный, равнинный, гривно-озёрный, озёрный. При аридизации климата сильно уязвимыми становятся автоморфные поверхности гривного рельефа, а также озёрный рельеф в целом. Наименее уязвимыми являются территории с равнинным рельефом. Для них прогнозируется слабая и средняя степень уязвимости как при аридизации, так и при увлажнении. Территории с озёрным рельефом являются наиболее уязвимыми во все эпохи. Во влажные периоды они заполняются водой или заболачиваются, в засушливые – засоляются; на них развиваются эоловые процессы. Пример полученных схем ранжирования территории по степени уязвимости при активизации экзогенных процессов, обусловленных иссушением/увлажнением климата, представлены на рисунке 5.

## ВЫВОДЫ

Разработанная ГИС-методика выявления наиболее уязвимых территорий при активизации экзогенных процессов, обусловленных иссушением или увлажнением климата позволяет строить оценочные карты. Результаты, полученные благодаря предложенной методике, в значительной степени дополняют существующие представления о дискретно-мозаичном характере пространственного распределения трансформаций ландшафтных компонентов при изменении условий увлажненности [Zolnikov *et al.*, 2016]. Новизной этих моделей является возможность оценить степень трансформации наземных экосистем одновременно на всей территории и локально по каждому её участку на среднемасштабном уровне исследования.

Однако предложенная методика разработана прежде всего для территории Барабинской равнины, с её конкретным набором форм и типов рельефа и однородной литогенной осно-

вой. Для регионов с неоднородной литогенной основой и иным влиянием рельефа на распределение ПТК закономерности пространственного распределения наиболее уязвимых территорий могут быть другими. Соответственно, для составления аналогичных схем для других регионов необходима корректировка и/или доработка данной методики.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ проект № 16–35–00409 мол\_a.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баяржагал Ю., Карнели А.* Индексы NDVI и LST, представленные NOAA–AVHRR для выявления засух в Монголии // *Аридные экосистемы*. – 2005. – Т.11, № 26–27. – С. 73–78.
2. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме. – М.: Росгидромет, 2014. – 94 с.
3. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* Спутниковый индекс климатических экстремумов засушливых земель // *Аридные экосистемы*. – 2012. – Т. 18, № 4 (53). – С. 5–12.
4. *Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б.* Тенденция опустынивания Северо-Западного Прикаспия по MODIS-данным // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. – 2011. – Т. 8, № 2. – С. 217–225.
5. *Зольников И.Д., Глушкова Н.В., Лямина В.А., Смоленцева Е.Н., Королюк А.Ю., Безуглова Н.Н., Зинченко Г.С., Пузанов А.В.* Индикация динамики природно-территориальных комплексов юга Западной Сибири в связи с изменениями климата // *География и природ. ресурсы*. – 2011. – № 2. – С. 155–160.
6. *Казаков Л.К.* Ландшафтоведение с основами ландшафтного планирования. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 336 с.
7. *Коробов Р., Тромбицкий И., Сыродоев Г., Андреев А.* Уязвимость к изменению климата: Молдавская часть бассейна Днестра: Монография. – Междунар. ассоц. хранителей реки Есо-TIRAS. – Кишинёв: Elan Poligraf, 2014. – 336 с.
8. *Королюк А.Ю.* Проявление динамики экосистем в пространственной структуре растительного покрова на юге Западной Сибири // *Растительный мир Азиатской России*. – 2010. – № 2 (6). – С. 12–16.
9. *Чупина Д.А.* Автоматическое выделение форм и комплексов рельефа на основе морфометрического ГИС-анализа (на примере Венгерского района Новосибирской области) // *Геоморфология*. – 2014. – №3. – С. 43–50.
10. *Duguay B., Alloza J.A., Baeza M.J., De la Riva J., Echeverria M., Ibarra P., Llovet J. Perez F., Cabello, Rovira P., Vallejo R.V.* Modeling the Ecological Vulnerability to Forest Fires in Mediterranean Ecosystems Using Geographic Information Technologies // *Environmental Management*. – 2012. – Vol. 50. – № 6. – Pp.1012–1026. DOI 10.1007/s00267–012–9933–3.
11. *Hilker T., Coops N. C., Wulder M.A., Black T.A., Guy R.D.* The use of remote sensing in light use efficiency based models of gross primary production: a review of current status and future requirements // *Science of the Total Environment*. 2008. – Vol. 404. – №2–3. – Pp. 414–423; <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.11.007>.
12. *Hinkel J.* Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of the science-policy interface // *Global Environmental Change*. – 2011. – Vol. 21. – Pp. 198–208.
13. *Huang C., Goward S.N., Masek J.G., Thomas N., Zhu Z., Vogelmann J.E.* An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks // *Remote Sensing of Environment*. – 2010. – Vol. 114, № 1. – Pp. 183–198; <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.017>.



14. IPCC. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson, (eds.)]. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 976 p.
15. IPCC. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change [C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). – Cambridge: Cambridge University Press, 2012. – 582 p.
16. Kennedy R.E., Cohen W.B., Schroeder T.A. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics // Remote Sensing of Environment. – 2007. – Vol. 110. – №3. – Pp. 370–386; <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.03.010>
17. Kennedy R.E., Yang Z., Cohen W.B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr – Temporal segmentation algorithms // Remote Sensing of Environment. – 2010. – Vol. 114. – № 12. – Pp. 2897–2910; <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008>.
18. Meyer B.C., Schreiner V., Smolentseva E.N., Smolentsev B.A. Indicators of desertification in the Kulunda steppe in the south of Western Siberia // Archives of Agronomy and Soil Science. – 2008. – Vol. 54. – № 6. – Pp. 585–603; <http://dx.doi.org/10.1080/03650340802342268>.
19. Michaelian M., Hogg E.H., Hall R.J., Arsenault E. Massive mortality of aspen following severe drought along the southern edge of the Canadian boreal forest // Global Change Biology. – 2011. – Vol. 17. – № 6. – Pp. 2084–2094; <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02357.x>.
20. Nepstad D., Lefebvre P., Lopes da Silva U., Tomasella J., Schlesinger P., Solorzano L., Moutinho P., Ray D., Benito G.J. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin wide analysis // Global Change Biology. – 2004. – Vol. 10. – Pp. 704–717. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00772.x.
21. Smith A.M.S., Koldenb C.A., Tinkhama W.T., Talhelma A.F., Marshall J.D., Hudak A.T., Boschetti L., Falkowski M.J., Greenberge J.A., Anderson J.W., Kliskey A., Alessa L., Keefe R.F., Gosz J.R. Remote sensing the vulnerability of vegetation in natural terrestrial ecosystems // Remote Sensing of Environment. – 2014. – Vol. 154. – Pp. 322–337.
22. Zolnikov I.D., Glushkova N.V., Smolentseva E.N., Chupina D.A., Pchel'nikov D.V., Lyamina V. A. GIS and Remote Sensing Data-Based Methods for Monitoring Water and Soil Objects in the Steppe Biome of Western Siberia // Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia [Editors: Mueller, Lothar, Sheudshen, Askhad K., Eulenstein, Frank]. – Springer, 2016. – Pp. 253–268. DOI 10.1007/978-3-319-24409-9\_9.

Darya A. Chupina<sup>1</sup>, Ivan D. Zolnikov<sup>2</sup>, Elena N. Smolentseva<sup>3</sup>

**THE METHOD FOR IDENTIFYING THE MOST VULNERABLE AREAS CAUSED BY EXOGENOUS PROCESSES UNDER ARIDIFICATION/HUMIDIFICATION (BASED ON GIS AND RS)**

**ABSTRACT**

*The paper presents the method of identifying the most vulnerable territories under exogenous processes caused by aridification/humidification. It is based on the assumption that some forms and types of relief increase resistance of terrestrial ecosystems to external influences, while other kinds of relief make them vulnerable. The relationship between landscape and moistening (ground and climatic) is of great importance to plains which have groundwater close to the surface. We have used morphometric analysis to divide the territory into hydromorphic and automorphic landscapes. Hydromorphic territories are those that are affected by additional surface moistening and groundwater, while automorphic landscapes are less dependent on groundwater under normal atmospheric moisture. The territory is ranked according to the degree of vulnerability by expert evaluation method. The developed approach is based entirely on using GIS software (ArcGIS 10.2.1) and processing the DEM SRTM. As a result, two models of vulnerability of natural terrestrial ecosystems to exogenic processes on Baraba Plain (Western Siberia) have been created for both aridification and humidification cases. The opportunity to estimate the vulnerability is the novel feature for these models of terrestrial ecosystems, in both regional and local scales. The results obtained confirm the existing ideas about the discrete mosaic character of changes in spatial landscape patterns in the area under consideration. For the southern part of Western Siberia where farming is risky the assessment of the potential degree of vulnerability for ecosystems under conditions of increasing climate aridity and extremes is relevant.*

**KEYWORDS:**

*aridification, Digital Elevation Model (DEM), SRTM, vulnerability of terrestrial ecosystems, hydromorphic and automorphic landscapes, predictive modeling*

**REFERENCES**

1. Bayarjargal Y., Karneli A. Indeksy NDVI i LST predstavlenyye NOAA–AVHRR dlya vyavleniya zasuh v Mongolii [NOAA–AVHRR derived NDVI and LST for detecting droughts in Mongolia]. *Aridnyye ekosistemy*, 2005, Vol. 11, No 26–27, pp. 73–78 (in Russian).
2. Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. Tekhnicheskoe rezyume [The second assessed report about climatic changes and their impact on the Russian Federation territory by Hydromet. Technical Summary]. Moscow: Roshydromet Publ., 2014, 94 p. (in Russian).
3. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. Sputnikovyy indeks klimaticheskikh ekstremumov zasushlivykh zemel [Satellite climatic extremes index of dryland]. *Aridnyye ekosistemy*, 2012, Vol. 18, No 4, pp. 5–12 (in Russian).
4. Zolotokrylin A.N., Titkova T.B. Tendentsiya opustynivaniya severo-zapadnogo Prikaspiya po MODIS-dannym [Desertification tendency in North-West Caspian region according to

---

<sup>1</sup> Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; Russia, Novosibirsk, Akademik Koptyug ave 3, 630090; *e-mail*: chupina\_da@igm.nsc.ru

<sup>2</sup> Sobolev Institute of Geology and Mineralogy Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; Russia, Novosibirsk, Akademik Koptyug ave 3, 630090; *e-mail*: zol@igm.nsc.ru

<sup>3</sup> Institute of Soil Science and Agrochemistry Siberian Branch of Russian Academy of Sciences; Russia, Novosibirsk, Akademik Lavrentiev ave 8/2, 630090; *e-mail*: smolentseva@issa.nsc.ru

- MODIS data]. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa*, 2011, Vol. 8, No 2, pp. 217–225 (in Russian).
5. Zolnikov I.D., Glushkova N.V., Lyamina V.A., Smolentseva E.N., Korolyuk A.Yu., Bezuglova N.N., Zinchenko G.S., Puzanov A.V. Indikatsiya dinamiki prirodno–territorialnykh kompleksov yuga Zapadnoy Sibiri v svyazi s izmeneniyami klimata [Indication of dynamics of environmental complexes of the south of Western Siberia with reference to climatic changes]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2011, No 2, pp. 155–160 (in Russian).
  6. Kazakov L.K. *Landshaftovedeniye s osnovami landshaftnogo planirovaniya* [Landscape science with basics of landscape planning]. Moscow: Akademiya Publ., 2008, 336 p. (in Russian).
  7. Corobov R., Trombitsky I., Sirodov G., Andreev A. *Uyazvimost k izmeneniyu klimata: Moldavskaya chast basseyna Dnestra* [Climate change vulnerability: Moldavian part of the Dniester River basin]. Kishinev: Elan Poligraf Publ., 2014, 336 p. (in Russian).
  8. Korolyuk A.Ju. *Proyavleniye dinamiki ekosistem v prostranstvennoy strukture rastitelnogo pokrova na yuge Zapadnoy Sibiri* [Relationships between ecosystem dynamics and vegetation structure on the southern part of Western Siberia]. *Rastitelnyj mir Aziatskoj Rossii*, 2010, No 6, pp.12–16 (in Russian).
  9. Choupina D.A. *Avtomatichekoye vydeleniye form i kompleksov relyefa na osnove morfometricheskogo GIS-analiza (na primere Vengerovskogo rayona Novosibirskoy oblasti)* [An automatic identification of landforms and their complexes based on GIS analysis of morphometric parameters (Vengerovsk District of Novosibirsk Region as an example)]. *Geomorfologiya*, No 3, 2014, pp. 43–50 (in Russian).
  10. Duguay B., Alloza J.A., Baeza M.J., De la Riva J., Echeverria M., Ibarra P., Llovet J. Perez F., Cabello, Rovira P., Vallejo R.V. Modeling the Ecological Vulnerability to Forest Fires in Mediterranean Ecosystems Using Geographic Information Technologies. *Environmental Management*, 2012, Vol. 50, No 6, pp.1012–1026. DOI 10.1007/s00267–012–9933–3.
  11. Hilker T., Coops N.C., Wulder M.A., Black T.A., Guy R.D. The use of remote sensing in light use efficiency based models of gross primary production: a review of current status and future requirements. *Science of the Total Environment*, 2008, Vol. 404, No 2–3, pp. 414–423. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.11.007>.
  12. Hinkel J. Indicators of vulnerability and adaptive capacity: Towards a clarification of the science-policy interface. *Global Environmental Change*, 2011, Vol. 21, pp. 198–208.
  13. Huang C., Goward S.N., Masek J.G., Thomas N., Zhu Z., Vogelmann J.E. An automated approach for reconstructing recent forest disturbance history using dense Landsat time series stacks. *Remote Sensing of Environment*, 2010, Vol. 114, No 1, pp. 183–198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2009.08.017>.
  14. IPCC. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, C.E. Hanson (eds.)]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, 976 p.
  15. IPCC. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [C.B. Field, V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, P.M. Midgley (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge University Press, 2012, 582 p.
  16. Kennedy R.E., Cohen W.B., Schroeder T.A. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. *Remote Sensing of Environment*, 2007, Vol. 110, No 3, pp. 370–386. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2007.03.010>.
  17. Kennedy R.E., Yang Z., Cohen W.B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr – Temporal segmentation algorithms. *Remote*

- Sensing of Environment, 2010, Vol. 114, No 12, pp. 2897–2910. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008>.
18. Meyer B.C., Schreiner V., Smolentseva E.N., Smolentsev B.A. Indicators of desertification in the Kulunda steppe in the south of Western Siberia. Archives of Agronomy and Soil Science, 2008, Vol. 54, No 6, pp. 585–603. <http://dx.doi.org/10.1080/03650340802342268>.
  19. Michaelian M., Hogg E.H., Hall R.J., Arsenault E. Massive mortality of aspen following severe drought along the southern edge of the Canadian boreal forest. Global Change Biology, 2011, Vol. 17, No 6, pp. 2084–2094. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02357.x>.
  20. Nepstad D., Lefebvre P., Lopes da Silva U., Tomasella J., Schlesinger P., Solorzano L., Moutinho P., Ray D., Benito G.J. Amazon drought and its implications for forest flammability and tree growth: A basin-wide analysis. Global Change Biology. 2004, Vol. 10, pp. 704–717. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00772.x.
  21. Smith A.M.S., Koldenb C.A., Tinkhama W.T., Talhelma A.F., Marshall J.D., Hudak A.T., Boschetti L., Falkowski M.J., Greenberg J.A., Anderson J.W., Kliskey A., Alessa L., Keefe R.F., Gosz J.R. Remote sensing the vulnerability of vegetation in natural terrestrial ecosystems. Remote Sensing of Environment, 2014, Vol. 154, pp. 322–337.
  22. Zolnikov I.D., Glushkova N.V., Smolentseva E.N., Chupina D.A., Pchelnykov D.V., Lyamina V. A. GIS and Remote Sensing Data-Based Methods for Monitoring Water and Soil Objects in the Steppe Biome of Western Siberia. Novel Methods for Monitoring and Managing Land and Water Resources in Siberia. [Mueller, Lothar, Sheudshen, Askhad K., Eulenstein, Frank (eds.)]. Springer, 2016, pp. 253–268. DOI 10.1007/978-3-319-24409-9\_9.

УДК 004.9+351.777.6

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-104-111

**Л.И. Сергиенко<sup>1</sup>, С.В. Паринов<sup>2</sup>, С.П. Никонова<sup>3</sup>**

**МОНИТОРИНГ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ СВАЛОК  
НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ  
ИЗ ОБЩЕДОСТУПНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ  
НА ПРИМЕРЕ Г. ВОЛЖСКОГО**

**АННОТАЦИЯ**

*Одной из актуальных проблем, связанных с ухудшением качества окружающей природной среды, является ненадлежащее обращение с твёрдыми бытовыми отходами. По данным Государственного доклада о состоянии окружающей среды за 2014 год, в Российской Федерации образовалось около 180 млн т твёрдых бытовых отходов, что привело к увеличению площади полигонов и свалок более чем на 5000 га. Объём образовавшихся отходов всех классов опасности из года в год растёт и практически в 2 раза превышает объём их использования и обезвреживания. При этом не учитывается огромный объём отходов, незаконно вывезенных на пустыри вблизи городов или посёлков. Для решения этой проблемы эффективным средством борьбы выступает экологический мониторинг. С развитием сети Интернет и повышением доступности базы данных спутниковых карт наблюдается воз-*

<sup>1</sup> Волжский Гуманитарный институт (филиал) ФГАОУ ВО «Волгоградского государственного университета»; Россия, 404133, Волгоградская обл., Волжский, ул. 40 лет Победы, 11; e-mail: Sergienko.l@bk.ru

<sup>2</sup> Волгоградский государственный технический университет ФБГОУ ВО; Россия, 400005, Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, 28; e-mail: Ser\_p94@mail.ru

<sup>3</sup> Волгоградский государственный технический университет ФБГОУ ВО; Россия, 400005, Волгоград, пр-т им. В.И. Ленина, 28; e-mail: Nika.svetlova@bk.ru