

- pp. 309–311; DOI: 10.1175/JHM999.1.
27. Micklin P. Desiccation of the Aral Sea: a water management disaster in the Soviet Union, *Science*, 1988, 241, pp. 1170–1176; DOI: 10.1126/science.241.4870.1170.
 28. Patz J., Campbell-Lendrum D., Holloway T. *et al.* Impact of regional climate change on human health, *Nature*, 2005, 438, pp. 310–317; DOI: 10.1038/nature04188.
 29. Piao S., Ciais P., Huang Y. *et al.* The impacts of climate change on water resources and agriculture in China, *Nature*, 2010, 467, pp. 43–51; DOI: 10.1038/nature09364.
 30. Reynolds J., Smith D., Lambin E. *et al.* Global desertification: Building a science for dryland development, *Science*, 2007, 316, pp. 847–851; DOI: 10.1126/science.1131634.
 31. Sorg A., Bolch T., Stoffel M. Climate change impacts on glaciers and runoff in Tien Shan (Central Asia), *Nature Climate Change*, 2012, No 2, pp. 725–731; DOI: 10.1038/NCLIMATE1592.
 32. Tang Q., Gao H., Lu, H. *et al.*, Remote sensing: hydrology, *Progress in Physical Geography*, 2009, 33, pp. 490–509; DOI: 10.1177/0309133309346650.
 33. Tapley B., Bettadpur S., Ries J. *et al.* GRACE measurements of mass variability in the Earth system, *Science*, 2004, 305, pp. 503–505; DOI: 10.1126/science.1099192.
-

УДК 504.54

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-191-204

А.Н. Огурцов¹, В.В. Дмитриев²

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ
ИНДЕКСА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛИМАТА
КАК КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ
ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЛАНДШАФТА**

АННОТАЦИЯ

В статье рассмотрен индикаторный подход к оценке потенциальной устойчивости ландшафтов. В качестве примера интегрального критерия используется индекс биологической эффективности климата (ТК). Для территории Тверской области выполнены расчёты индекса ТК для оценки устойчивости ландшафтов. Составлены картограммы индекса ТК и его составляющих. Проведен геопространственный анализ и даны оценки потенциальной устойчивости ландшафтов.

Рассмотренный пример картографирования и расчёта индекса ТК может служить отправной точкой для использования в системах многокритериальной оценки состояния и эмерджентных свойств геосистем, построенных на принципах АСПИД-методологии. Данный пример отражает возможность использования индикаторного подхода на первом этапе исследования устойчивости к изменению параметров естественного режима для последующей многокритериальной и интегральной оценки устойчивости к изменению параметров естественного и антропогенного режимов функционирования геосистем.

Использование индекса биологической эффективности климата в качестве индикатора устойчивости позволит активно использовать его в дальнейшем в геоэкологических исследованиях.

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле СПбГУ; 199178, Россия, Санкт-Петербург, ВО, 10-линия 33-35; *e-mail*: aogurcov@yandex.ru

² Санкт-Петербургский государственный университет, Институт наук о Земле СПбГУ; 199178, Россия, Санкт-Петербург, ВО, 10-линия 33-35; *e-mail*: vasilij-dmitriev@rambler.ru

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

устойчивость ландшафта, индикаторы, индекс ТК, оценка, АСПИД-методология, ГИС

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы в науках о Земле, географии, геоэкологии, социоэкологии наметился возросший интерес к обоснованию стратегии устойчивого развития регионов на основе формирования теоретико-методологических положений и методов исследования природно-хозяйственных систем и развития региональной политики. В понятии «природно-хозяйственная геосистема» акцентируется режим природопользования на территории, обуславливающим приоритетное направление анализа и оценки простых и сложных свойств системы, в отличие от других подходов, когда в центр исследования ставятся чисто экономические, социальные или культурологические акценты и проблемы. В целом природно-хозяйственные геосистемы представляют собой особый класс геосистем, в которых при сохранении большинства процессов естественного функционирования ландшафтов, режимы природопользования и созданные человеком техногенные элементы играют важную управляющую и регулирующую роль и обуславливают трансформацию систем. Планирование устойчивого развития и разработка региональной политики неразрывно связаны с унификацией подходов и методов оценки устойчивости и экологического благополучия окружающих человека природных и антропогенно-трансформированных геосистем. Проблема оценки устойчивости многоплановая и сложная, отражающая необходимость количественной оценки способности или неспособности системы сохранять свои свойства и параметры режимов в естественных условиях развития и с учетом разных типов воздействия на неё. Механизмы достижения устойчивых состояний для разных типов геосистем могут различаться, что находит отражение в выборе необходимых и достаточных параметров оценивания и разработке оценочных шкал для классов устойчивости. На первый план выходят вопросы интеграции «многих переменных», характеризующих целостность геосистем, их интегративность, что сопровождается возникновением новых функциональных единиц системы, которые не должны сводиться к простому анализу элементов режимов или поиску величины ответной реакции системы на воздействие, а также к комплексным аддитивным перестановкам уже анализировавшихся элементов режимов или изменений компонентного состава в системе. Но в большинстве исследований авторы ограничиваются покомпонентным анализом состава и качества окружающей среды с помощью традиционных аддитивных, количественных показателей или качественных (балльных) критериев. Примером может служить образовательный геопортал Тверской области [<http://geoportal.tversu.ru/Atlas/>], основу которого составляют около 150 тематических карт, отражающих экологические, социальные, экономические, политические и другие аспекты развития региона. В такой ситуации, когда многообразие и разнокачественность информации затрудняет получение количественных оценок интегративных свойств сложных систем (устойчивость), на первый план выходит необходимость поиска новых подходов к учету пространственно-временной изменчивости интегральных показателей устойчивости, оценочных критериев и поиску методов многокритериальной и интегральной оценки этих свойств. Этот этап сопровождается разработкой методики количественной интегральной оценки состояния геосистем и их системных (интегративных, эмерджентных) свойств, характеризующихся возникновением новых функциональных единиц систем, в качестве которых рассматриваются интегральные показатели нескольких уровней обобщения информации и сводные показатели, характеризующие последний уровень обобщения. Эти показатели отражают целостность систем, могут являться основой их систематики, позволяют сравнивать состояние систем в пространстве и времени или выявлять эффекты взаимосвязи и взаимодействия, не аддитивные по отношению к локальным внутрисистемным эффектам, рассматриваемым, как правило, на покомпонентном уровне.

В Санкт-Петербургской университетской школе экологической географии предложены концептуальные эколого-географические модели оценки состояния и устойчивости геосистем [Исаченко, 2001; Исаченко, Резников, 1996]. В основе этих моделей лежит представление о географической среде региона как об организованной целостности, обладающей интегральными свойствами, состоящей из соподчиненных геосистем разных уровней, что служит логической предпосылкой для экологического синтеза. При этом в качестве содержательной основы синтетических оценочных моделей используется совокупность показателей, характеризующих различные состояния геосистем. Согласно основным положениям концепции динамики ландшафтов, основанной на понятиях *местоположения* и набора *состояний* разной длительности (Г.Исаченко, Резников, 1996), устойчивость рассматривается в динамическом аспекте, то есть применительно к каждой из возможных модификаций определенного типа (вида) геокомплексов. При ландшафтно-динамическом подходе к устойчивости рекомендуется рассматривать три формы её проявления: 1) *потенциальную устойчивость* – способность геокомплексов противостоять внешнему воздействию, сохранять своё состояние в течение заданного интервала времени неизменным; 2) *восстанавливаемость* – способность возвращаться в то состояние, которое наблюдалось до возмущающего воздействия; 3) *вариантность поведения* – возможность реализации различных динамических траекторий после или в период осуществления воздействия. Выделенные три формы проявления устойчивости близки к тому, что М.Д. Гродзинский [Гродзинский, 1987] называл соответственно инертностью, восстанавливаемостью и пластичностью.

Следуя данному подходу, устойчивость нельзя непосредственно измерить, невозможно найти какой-либо единый (универсальный) показатель устойчивости ландшафта. Справедливо рекомендуется по отдельности определять устойчивость ландшафта к каждому конкретному возмущающему фактору. Но и при таком раздельном подходе остаётся открытым вопрос о количественной мере (точнее – мерах) устойчивости. При классификации, а также оценке или ранжировании ландшафтов по признакам их устойчивости на первый план выдвигается тезис о невозможности использовать какие-либо прямые показатели, относящиеся именно к этому их свойству, что вынуждает авторов искать косвенные признаки и показатели. Следует отметить, что и в этом случае авторы, уходя от «прямых показателей», вводят собственную балльную систему оценки устойчивости, суммируют баллы и используют полученную сумму в качестве новой функциональной единицы систем, отражающей их устойчивость. Результаты такой оценки закладываются в основу методики составления карт устойчивости к площадным антропогенным воздействиям или потенциала устойчивости геосистем.

В других подходах [Снакин В.В., Мельченко В.Е., Бутовский Р.О. и др., 1992; Дмитриев, 2000] под *устойчивостью геосистемы* к изменению параметров режимов понимается её способность сохранять свои свойства и параметры режимов в условиях действующих на неё внешних и внутренних нагрузок. Тогда *уязвимыми* к изменению параметров режимов будут геосистемы, не способные сохранять указанные свойства на определенном временном интервале функционирования. Под *инертностью* системы понимается способность системы сохранять при внешнем воздействии исходное состояние в течение некоторого времени; под *пластичностью* – способность системы переходить из одного состояния равновесия в другое, сохраняя при этом внутренние связи, и под *восстанавливаемостью* системы – способность системы возвращаться в исходное состояние после временного внешнего воздействия на неё. Первые два понятия трактуются авторами как *адаптационная* устойчивость, третье – как *регенерационная*. При этом термин *потенциальная устойчивость* либо не используется авторами, либо под *потенциальной устойчивостью* авторы понимают способность геосистемы сохранять свои свойства и параметры функционирования в условиях естественного изменения элементов режимов, характеризующих физико-географические, климатические, гидрологические условия. В данном подходе это первый шаг в оценке устойчивости, после которого следует оценка устойчивости к воздействию определенного типа. В итоге оценка

устойчивости представляет собой многоуровневую и многокритериальную оценку способности систем сохранять свои свойства и параметры естественного и антропогенного режимов по совокупности параметров оценивания внутри определенного класса устойчивости.

Однако при оценке геосистем по многим показателям исследователь, как правило, сталкивается с проблемой их несравнимости в целом, когда по одним критериям проявление оцениваемого свойства геосистемы лучше другой, а по другим – хуже. Ещё одним проявлением такой несравнимости является то, что по разным исходным характеристикам «наилучшими» и «наихудшими» являются разные геосистемы. Более того, одна и та же геосистема может быть «наилучшей» по одним характеристикам и «наихудшей» – по другим. Поэтому основным содержанием исследований остаётся выявление указанной неопределенности и решение данной проблемы в целом.

В то же время индикаторный подход, активно развивающийся в последние годы, позволяет выделить ключевые индикаторы во многих геоисследованиях для оценки простых (аддитивных) и сложных (неаддитивных) свойств.

Разработка индикаторов устойчивости позволит активно использовать их в дальнейшем в геоэкологических исследованиях.

В качестве инструмента для разработки индикаторов и многокритериальной оценки состояния геосистем в Институте наук о Земле СПбГУ разработана компьютерная система Geo-expert оригинальных модельных алгоритмов, реализующих методологию АСПИД (Анализ Синтез Показателей при Информационном Дефиците) [Васильев, Огурцов, Хованов, 2004].

В основе данной методологии заложены следующие принципы:

- принцип линеаризации, позволяющий переходить от частично упорядоченного по предпочтительности множества векторов отдельных показателей устойчивости географических систем к линейно упорядоченному множеству сводных (интегральных) оценок этих геосистем;
- принцип арифметизации, позволяющий получать числовые оценки для исходной нечисловой информации, лежащей в основе построения показателей и определения весовых коэффициентов;
- принцип рандомизации, позволяющий моделировать дефицит информации, обычно существующий на всех этапах синтеза интегральных оценок геосистем.

Алгоритмическая реализация указанных принципов позволяет сформировать максимально достоверную и адекватную оценочную модель ландшафтной структуры региона за счёт того, что:

- используется разнородная информация о диапазонах возможного варьирования значений весовых коэффициентов (неточная информация);
- используется нечисловая информация о сравнительной весомости отдельных показателей, выражаемая суждениями типа «больше – меньше – равно»;
- появляется возможность оперировать неполной информацией, когда значения некоторых весовых коэффициентов не входят в описанные выше случаи;
- появляется возможность использовать порядковую информацию относительно сравнительного предпочтения объектов картографирования;
- появляется возможность получения модельных интегральных (синтетических) показателей в условиях дефицита информации о точных значениях весовых коэффициентов параметров исследуемых объектов.

Система Geo-expert предназначена для получения интегральных оценок качества сложных объектов и явлений, различных по природе и масштабу, включая решение задач анализа и синтеза геопространственно распределенной информации в рамках региона.

Идея модельных построений состоит в переходе от неопределённого выбора весовых коэффициентов к случайному (рандомизированному) выбору этих коэффициентов из множества всех допустимых наборов весовых коэффициентов. В результате мы получаем не только

интегральные оценки, но и возможность оценить их точность и достоверность. Учёт при моделировании нечисловой, неточной и неполной информации позволяет не только уменьшить неопределённость, но и чаще всего избежать её.

Важная роль в исследованиях по интегральной оценке отводится ГИС-технологии как аналитическому инструменту, позволяющему получать геопространственную информацию по сводным характеристикам состава и качества окружающей среды.

Использование географических информационных систем совместно с комплексом интегральных показателей позволяет получить новые оценочные данные по качеству природно-территориальных комплексов различных пространственных масштабов.

В рамках научного направления, связанного с разработкой моделей многокритериальной оценки и картографических оценочных моделей природных комплексов, к настоящему времени накоплен достаточный опыт исследований методологического и экспериментального характера, направленных на разработку методик интегральной оценки состояния геосистем в условиях дефицита информации и их адаптацию применительно к задачам эколого-географических исследований и ГИС-картографирования. В процессе этих исследований были разработаны оригинальные методики интегральной оценки, картографические модели, позволяющие учитывать нечисловую, неточную, неполную информацию. Основные положения и методические приёмы рассмотренного подхода были апробированы при разработке моделей интегральной оценки устойчивости растительного и почвенного покрова [Дмитриев, Огурцов, 2012; Дмитриев, Огурцов, 2014; Машкин и др., 2013; Огурцов, Хованов, 2003].

Особо следует отметить, что при решении задачи оценки устойчивости ландшафтов региона зачастую информации, налагаемой на значимость отдельных критериев, бывает явно недостаточно, что, однако, не является камнем преткновения для процедуры оценки, базирующейся на принципах АСПИД-методологии. В этом случае для получения оценок значимости отдельных критериев (весовых коэффициентов) используется информация интегрального характера, отражающая оценку ландшафтов в целом и позволяющая ранжировать исследуемые ландшафты по степени сохранения или потери устойчивости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Как известно, при системном геоэкологическом оценивании приоритетное значение имеет аргументированный и научно обоснованный выбор территориальных таксонов оценивания и анализ неаддитивных свойств, которые отражают объективные эколого-географические закономерности. Носителями такой информации являются геосистемы различного масштаба, а интегральная предопределённость оценки состава и свойств среды заложена в ландшафтной организации территории региона.

Исследования потенциальной устойчивости природно-территориальных комплексов проводились для территории Тверской области. В качестве индикатора устойчивости нами использовался индекс биологической эффективности климата (ТК) [Исаченко, 2001], представляющий собой интегральный критерий тепло- и влагообеспеченности, от которого зависит устойчивость ландшафта. В публикациях отмечено, что на региональном уровне высокие значения индекса характерны для наиболее устойчивых ландшафтов, а низкие – для неустойчивых [Абалаков, Лопаткин 2014].

В зависимости от величины индекса ТК предлагается 5-ступенчатая оценочная шкала (таблица 1).

Таблица 1. Оценочная шкала устойчивости геосистем по величине индекса ТК по [Абалаков, Лопаткин, 2014]

Table 1. Geosystem stability rating scale by TK index according to [Abalakov, Lopatkin, 2014]

Оценочная шкала устойчивости	Величина индекса ТК
наиболее неустойчивые	≤ 8
Неустойчивые	8–12
умеренно устойчивые	12–16
Устойчивые	16–20
наиболее устойчивые	≥ 20

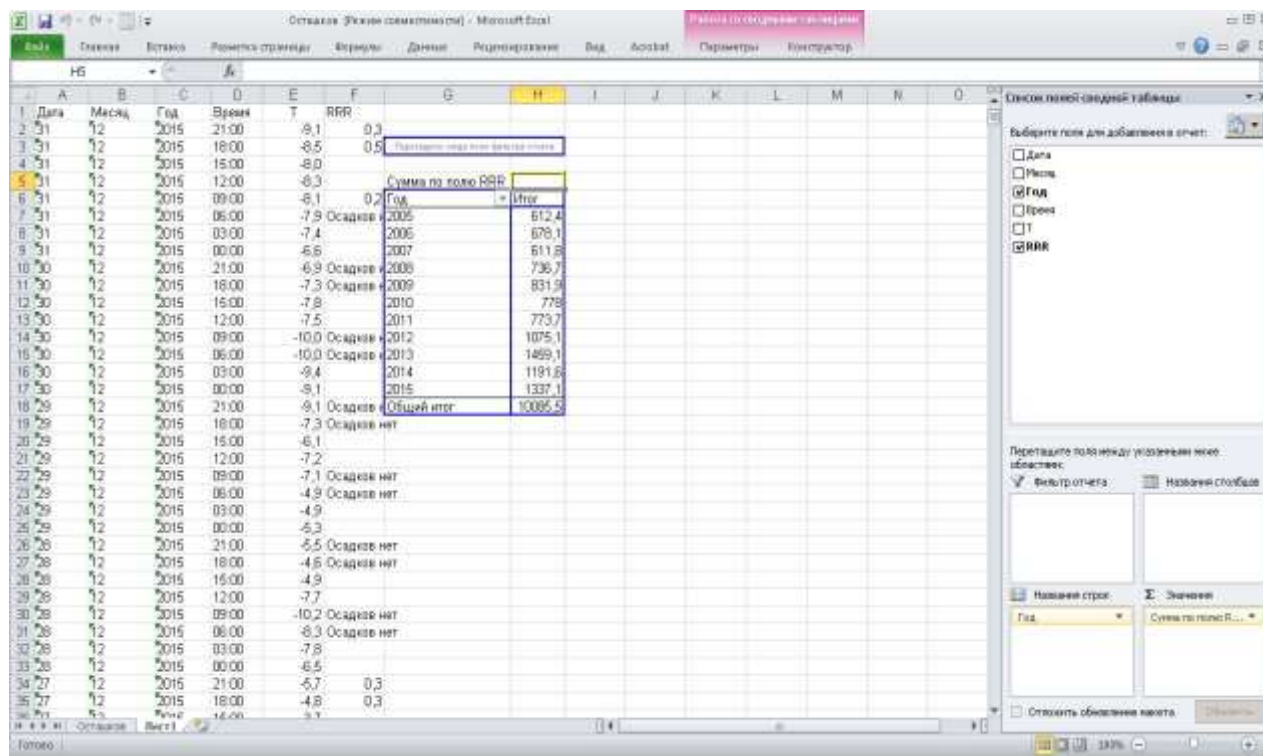


Рисунок 1. Пример сводной таблицы расчёта годовой суммы осадков по метеорологическому пункту Осташиков

Figure 1. Example of the summary table of calculation of the annual sum of rainfall on meteorological point Ostashkov

Расчёт индекса ТК проводился по формуле, предложенной Н.Н. Ивановым [Иванов, 1962]:

$$TK = 0,01 \sum T_{>10} \times K_u$$

где $\sum T_{>10} \times K_u$ – произведение суммы активных температур $> 10^\circ$; и коэффициента увлажнения K_u , который определялся из отношения годового количества осадков к годовой испаряемости. Годовая испаряемость рассчитывалась по [Коломыц, 2010]:

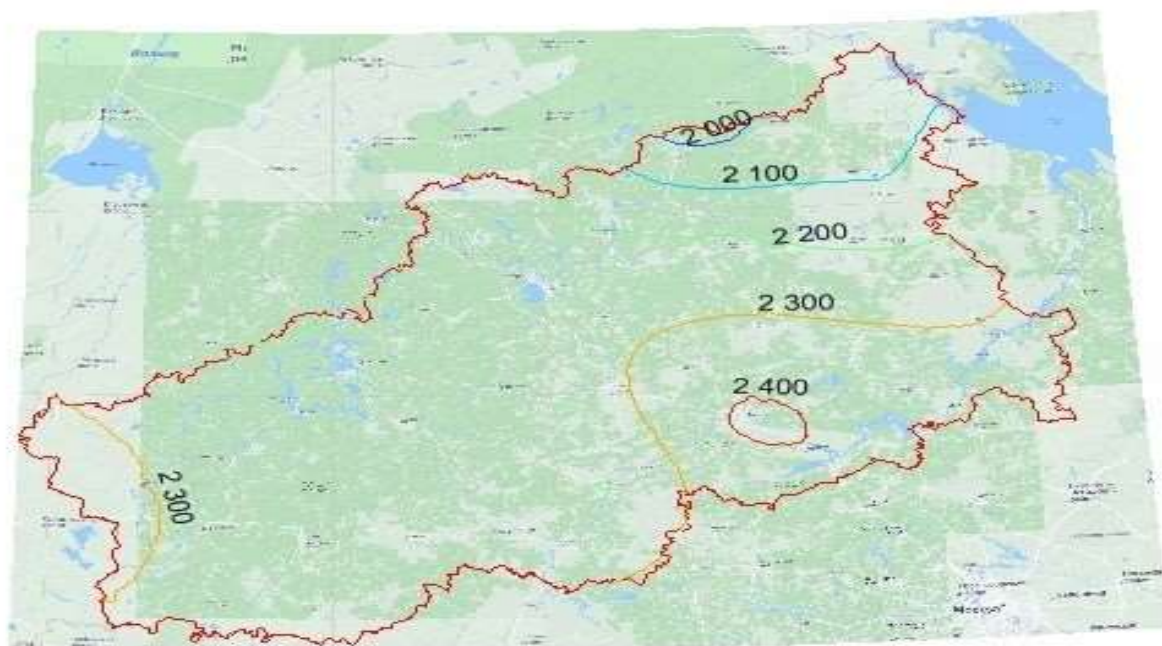
$$E_0 = 1384 - 161,6 \times t_{\text{июля}} + 6,245 \times t_{\text{июля}}^2$$

где $t_{\text{июля}}$ – средняя температура июля месяца.

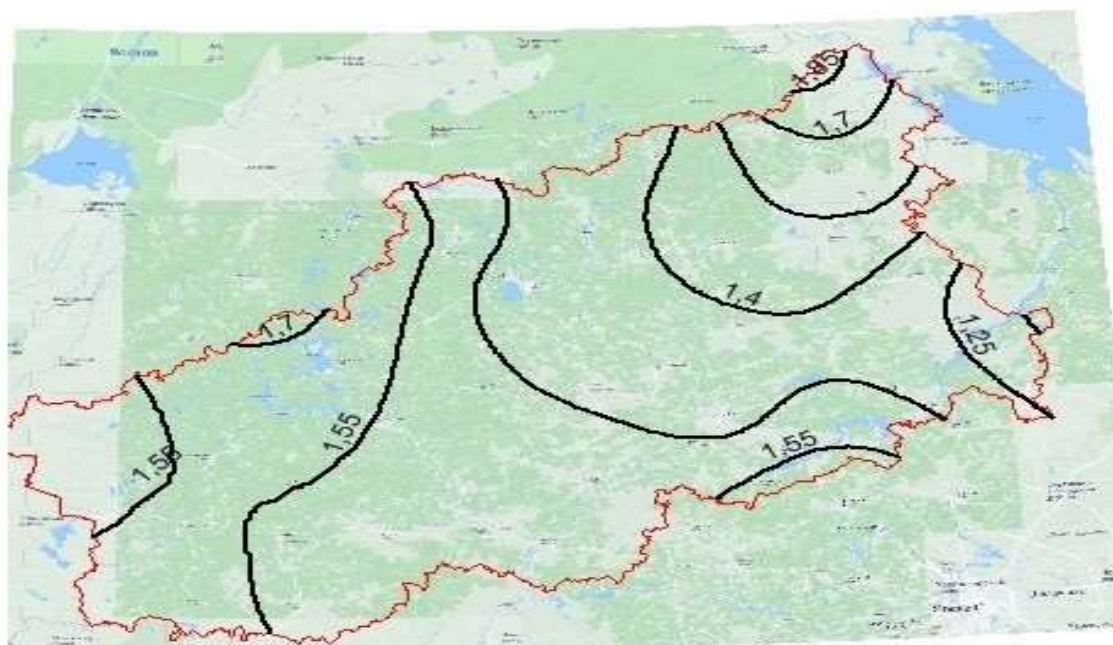


Рисунок 2. Диаграмма среднегодового количества осадков и испаряемости по метеостанциям

Figure 2. Chart of Average Annual Amount of Precipitation and Evaporability on meteorological stations



а



б

Рисунок 3. Картограммы суммы активных температур $> 10^{\circ}$ (а) и коэффициента увлажнения (б)

Figure 3. Cartograms of amount of active temperatures $>$ of 10° (а) and moisturizing factor (б)

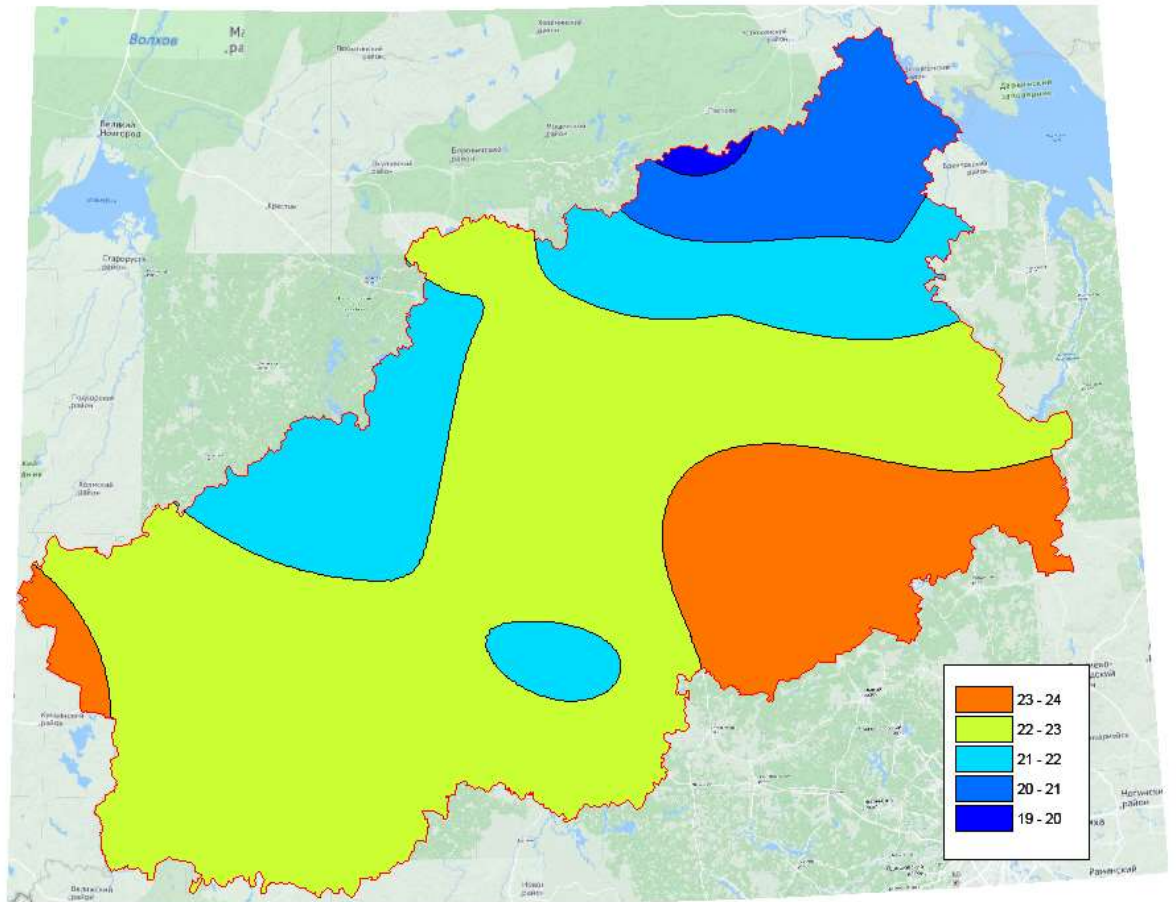


Рисунок 4. Картограмма индекса биологической эффективности климата
Figure 4. Cartogram of climate biological effectiveness index

В качестве исходных данных для расчёта индекса ТК и последующего построения интерполяционных карт по сеточной области размером 200x217 узлов служила информация по 23 метеостанциям с 2005 по 2015 гг.

Обработка и анализ метеоданных проводился в программе Microsoft Excel. С помощью инструмента «сводная таблица» программы была проведена группировка метеоданных и расчёт суммы активной температуры, годового количества осадков и годовой испаряемости. Ниже, на рисунке 1, приведен пример сводной таблицы расчёта годовой суммы осадков по метеорологическому пункту Осташков и диаграмма среднегодового количества осадков и испаряемости по метеостанциям (рисунок 2).

Представленная в табличной форме метеоинформация в формате Excel была импортирована в ГИС MapInfo и привязана к карте через процедуру «создание точечных объектов» по координатам метеостанций. В ходе этой процедуры был получен исходный массив данных для построения средствами ГИС по сеточной области интерполяционных моделей тематических поверхностей. После проведения интерполяционной процедуры были составлены картограммы компонентов индекса ТК (суммы активных температур и коэффициента увлажнения) (рисунок 3) и индекса биологической эффективности климата (рисунок 4).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ рисунка 2 показывает, что за рассмотренный период повсеместно фиксируется превышение осадков над испаряемостью. Лишь для двух пунктов отмечается близость значений этих параметров, что нашло своё отражение в величинах коэффициента увлажнения, которые здесь больше 1 (рисунок 3б). Наибольшие значения коэффициента характерны для северо-восточной периферии области. В этом же северо-восточном направлении по мере увеличения коэффициента увлажнения отмечается уменьшение суммы активных температур. Наивысшие суммы активных температур (рисунок 3а) отмечаются в юго-восточной части области. Здесь формируется локальный тепловой максимум с величинами, превышающими 2400. Повышенный тепловой фон имеет место и на западе Тверской области. Но здесь суммы активных температур несколько ниже, чем на юго-востоке области. В целом же по области средние величины коэффициента увлажнения и суммы активных температур составляют соответственно 1,5 и 2240.

Особенности изменений величин тепла и влаги отразились на пространственном распределении индекса биологической эффективности климата (ТК) (рисунок 4). В юго-восточной части и на западе области формируются зоны с величинами индекса ТК 23–24. В северо-восточном направлении величины ТК снижаются до 19–20. Значительная часть территории области (58 %) попадает в зону с индексами ТК 22–23.

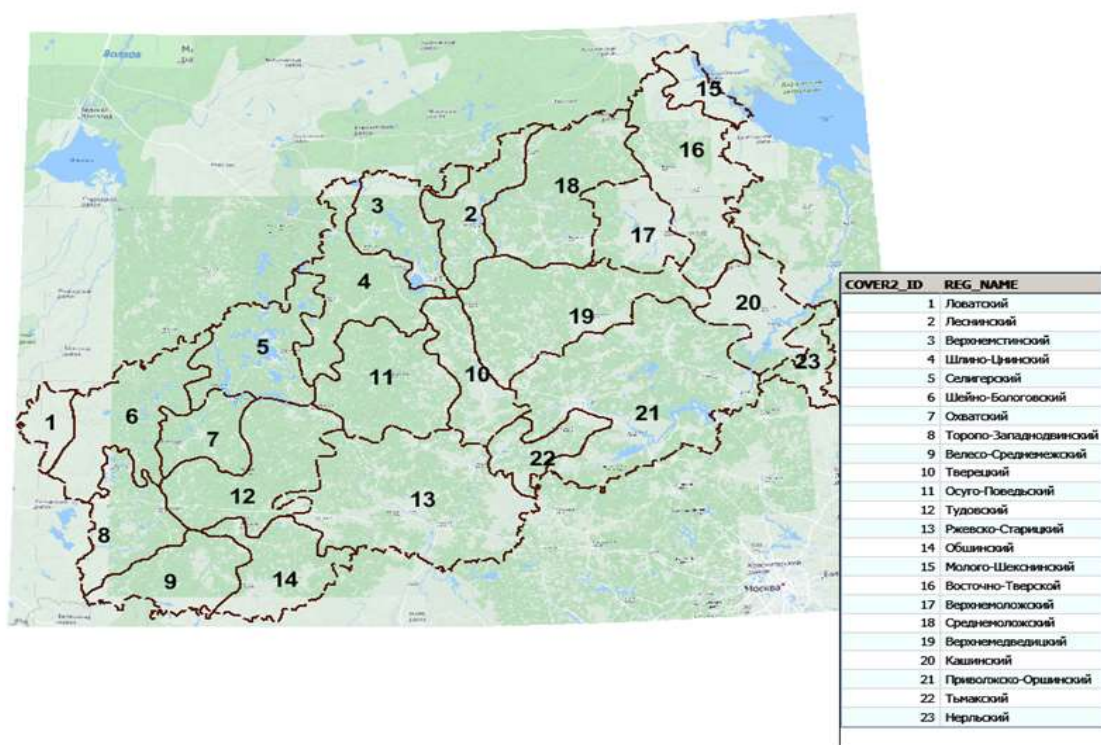


Рисунок 5. Ландшафтная карта Тверской области (на уровне ландшафтного района) по [Ткаченко, 1992]

Figure 5. Landscape map of Tver Region (at the level of the landscape area) according to [Tkachenko, 1992]

Соотнесение картограммы индекса биологической эффективности климата с картой ландшафтов Тверской области (рисунок 5) и их анализ показывает, что ландшафты региона по величине индекса ТК изначально относятся к устойчивым и наиболее устойчивым природно-территориальным комплексам. В ландшафтной структуре Тверской области наибольшим распространением характеризуются природно-территориальные комплексы с индексом биологической эффективности климата более 20. Среди них наибольшей устойчивостью с индексом биологической эффективности климата 23–24 характеризуются ландшафтные районы в южной части Верхневолжской провинции. Такую же величину ТК имеют ландшафты в западной части Ловатского и Шлино-Цнинского ландшафтных районов.

ВЫВОДЫ

В современной литературе существуют терминологические несоответствия многих понятий, связанных с устойчивостью. Часто авторы не оговаривают механизмы формирования устойчивости (1 – адаптационная – до некоторого предела свойства не меняются, и 2 – регенерационная – утраченные свойства быстро восстанавливаются), в оценочных исследованиях устойчивости смешиваются механизмы её формирования (присутствуют одновременно 1 и 2), подменяют термины (устойчивость – чувствительность, устойчивость – изменчивость, устойчивость – самоочищение, устойчивость – сложность, устойчивость – разнообразие). Встречаются попытки оценить устойчивость на покомпонентной основе. В оценке устойчивости доминируют балльный или балльно-индексный подходы. Медленно развивается индексология оценки устойчивости, встречаются работы, в которых под устойчивостью понимается вектор состояния системы, представленный в виде суммы или произведения параметров состояния, взятых со своими весами, реже абсолютизируется один из индексов и ему приписываются: универсальность, интегральность и т. п. свойства. Медленно развиваются исследования по оценке устойчивости к воздействиям разного типа, к изменению устойчивости при внешнем воздействии на систему. Рассмотренный пример картографирования и расчета индекса ТК может служить отправной точкой для использования в системах многокритериальной оценки состояния и эмерджентных свойств геосистем, построенных на принципах АСПИД-методологии. Данный пример отражает возможность использования индикаторного подхода на первом этапе исследования устойчивости к изменению параметров естественного режима для последующей многокритериальной и интегральной оценки устойчивости к изменению параметров естественного и антропогенного режимов функционирования геосистем.

Использование индекса биологической эффективности климата в качестве индикатора устойчивости позволит активно использовать его в дальнейшем в геоэкологических исследованиях.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность Российскому Фонду фундаментальных исследований за поддержку исследований по оценке устойчивости в рамках выполнения гранта РФФИ № 16-05-00715-а, а также Институту наук о Земле СПбГУ за помощь в организации работ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абалаков А.Д., Лопаткин Д.А.* Устойчивость ландшафтов и её картографирование // Известия Иркутского государственного университета. – 2014. – Т. 8. – Серия «Науки о Земле». – С. 2–14.
2. *Васильев В.Ю., Огурцов А.Н., Хованов Н.В.* Организация специализированных приложений для ГИС на принципах АСПИД-методологии // Устойчивое развитие территорий: геоинформационное обеспечение и практический опыт. Материалы международной конференции Интеркарто 10. Владивосток (Россия) – Чаньчунь (КНР), 2004. – С.134–143.

3. География Тверской области / Под ред. А.А. Ткаченко, Тверь, РИО комитета информпечати, 1992. – 289 с.
4. Гродзинский М.Д. Устойчивость геосистем: Теоретический подход к анализу и методы количественной оценки // Изв. АН СССР. – Сер. Геогр. – 1987. – № 6. – С. 5–15.
5. Дмитриев В.В. Эколого-географическая оценка состояния внутренних водоёмов. Дисс. на соиск. учен. степ. докт. геогр. наук. – СПб., – 2000. – 419 с.
6. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Подходы к оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. I. Интегральная оценка устойчивости наземных и водных геосистем // Вестник СПбГУ. – Серия 7. – Вып. 3, 2012. – С. 65–78.
7. Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Подходы к оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. III. Интегральная оценка устойчивости почвы и наземных геосистем // Вестник СПбГУ. – Серия 7. – Вып. 4, 2014. – С. 114–130.
8. Иванов Н.Н. Показатель биологической эффективности климата // Изв. ВГО. – 1962. – Т. 94. – Вып. 1. – С. 65–70.
9. Исаченко А.Г. Экологическая география России. – СПб: Изд-во СПбГУ, 2001. – 328 с.
10. Исаченко Г.А., Резников А.И. Динамика ландшафтов тайги Северо-Запада Европейской России. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 1996. – 166 с.
11. Коломыц Э.Г. Локальные коэффициенты увлажнения и их значение для экологических прогнозов // Известия РАН. Серия географическая, 2010. – № 5. – С. 61–72.
12. Машкин Ю.Л., Орлов С.В., Разживин В.Ю., Огурцов А.Н. Интегральная оценка и пространственный анализ потенциальной устойчивости почвенного покрова болотоземельской тундры к загрязнению нефтяными углеводородами // Инженерные изыскания. – № 13, 2013. – С. 60–67.
13. Огурцов А.Н., Хованов Н.В. АСПИД-картографирование оценок экологического состояния и устойчивости географических систем // ГИС для устойчивого развития территорий. Материалы Международной конференции InterCarto9. Новороссийск-Севастополь 27–29 июня 2003 г. – Севастополь, 2003. – С. 370–377.
14. Снакин В.В., Мельченко В.Е., Бутовский Р.О., Воронцова Л.И., Васильева Н.П., Ресин А.Л., Алябина И.О., Баранова С.С., Ербанова Л.Н., Кочетова Н.И., Кречетов П.П., Ломакина Г.А., Моргун Л.В., Головина Л.В., Барабанова Г.С. Оценка состояния и устойчивости экосистем. – М.: ВНИИПрирода, 1992. – 127 с.

Aleksandr N. Ogurtsov¹, Vasily V. Dmitriev²

GEOINFORMATION ANALYSIS OF THE INDEX OF BIOLOGICAL EFFICIENCY OF CLIMATE AS CRITERION FOR EVALUATION OF POTENTIAL STABILITY OF THE LANDSCAPE

ABSTRACT

The article considers indicator approach to assessment of potential stability of landscapes. As an example of integrated criterion the index of climate biological efficiency (TK) has been used. Calculations of TK index for assessment of stability of landscapes have been executed for the territory of Tver Region. Cartograms of TK index and its components have been made. Geospatial analysis has been carried out and estimates of potential stability of landscapes are given.

The example of mapping and calculation of the TK index serves as a starting point for using it in multi-criteria assessment of the state and emergent properties of geosystems built on the principles of ASPID-methodology. This example reflects the possibility of using the indicator approach in the first stage of the study of resistance to changes in the parameters of natural regime for the subsequent multicriteria and integral assessment of resistance to changes in the parameters of natural and anthropogenic regimes of geosystems functioning.

The use of the index of climate biological efficiency as an indicator of sustainability will make it possible to actively use it in future in geoecological research.

KEYWORDS:

stability of a landscape, indicators, TK index, assessment, ASPID methodology, GIS

REFERENCES

1. Abalakov A.D., Lopatkin D.A. Ustojchivost' landshaftov i ee kartografirovanie [Stability of landscapes and its mapping], Izvestija Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta, 2014, T. 8, Serija "Nauki o Zemle", pp. 2–14 (in Russian).
2. Vasil'ev V.Ju., Ogurtsov A.N., Hovanov N.V. Organizacija specializirovannyh prilozhenij dlja GIS na principah ASPID-metodologii [Organization of specialized applications for GIS on the principles of ASPID-methodology], Ustojchivoe razvitie territorij: geoinformacionnoe obespechenie i prakticheskij opyt. Materialy mezhdunarodnoj konferencii InterKarto 10. Vladivostok (Rossija) – Chan'chun' (KNR), 2004, pp. 134–143 (in Russian).
3. Geografija Tverskoj oblasti [Geography of Tver Region] Pod red. A.A.Tkachenko, Tver': RIO komiteta informpechati, 1992, 289 p. (in Russian).
4. Grodzinskij M.D. Ustojchivost' geosistem: Teoreticheskij podhod k analizu i metody kolichestvennoj ocenki [Stability of Geosystems: A theoretical approach to the analysis and quantification methods], Izv.AN SSSR, Ser. geogr., 1987, No 6, pp. 5–15 (in Russian).
5. Dmitriev V.V. Ekologo-geograficheskaja ocenka sostojanija vnutrennih vodoemov [Ecological and geographical assessment of inland waters] Diss. na soisk. uchen. step. dokt. geograf. nauk, St. Petersburg, 2000, 419 p. (in Russian).
6. Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N. Podhody k ocenke i GIS-kartografirovaniju ustojchivosti i ekologicheskogo blagopoluchija geosistem. I. Integral'naja ocenka ustojchivosti nazemnyh i vodnyh geosistem [Approaches to assessment and GIS-

¹ Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences; 199178, Russia, St. Petersburg, VO, 10-line 33-35; e-mail: aogurtsov@yandex.ru

² Saint Petersburg State University, Institute of Earth Sciences; 199178, Russia; St. Petersburg, VO, 10-line 33-35, e-mail: vasily-dmitriev@rambler.ru

- mapping of stability and ecological wellbeing of geosystems. I. Integrated assessment of stability of land and water geosystems], Vestnik SPbGU, Serija 7, Vyp. 3, 2012, pp. 65–78 (in Russian).
7. Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N. Podhody k ocenke i GIS-kartografirovaniju ustojchivosti i jekologicheskogo blagopoluchija geosistem. III. Integral'naja ocenka ustojchivosti pochvy i nazemnyh geosistem [Approaches to assessment and GIS-mapping of stability and ecological wellbeing of geosystems. III. Integrated assessment of stability of the soil and land geosystems], Vestnik SPbGU, Serija 7, Vyp. 4, 2014, pp. 114–130 (in Russian).
 8. Ivanov N. N. Pokazatel' biologicheskoy effektivnosti klimata [The indicator of the biological effectiveness of climate], Izv. VGO, 1962, T. 94, Vyp. 1, pp. 65–70 (in Russian).
 9. Isachenko A.G. Ekologicheskaja geografija Rossii [Ecological geography of Russia], St. Petersburg: Izd-vo SPbGU, 2001, 328 p. (in Russian).
 10. Isachenko G.A., Reznikov A.I. Dinamika landshaftov tajgi Severo-Zapada Evropejskoj Rossii [The dynamics of taiga landscapes of the North-West of the European Russia], St. Petersburg: Izd-vo SPbGU, 1996, 166 p. (in Russian).
 11. Kolomyc Je.G. Lokal'nye koefficienty uvlazhnenija i ih znachenie dlja ekologicheskikh prognozov [Local coefficients of moisture and their importance for ecological forecasts], Izvestija RAN, Serija geograficheskaja, 2010, No 5, pp. 61–72 (in Russian).
 12. Mashkin Ju.L., Orlov S.V., Razzhivin V.Ju., Ogurtsov A.N. Integral'naja ocenka i prostranstvennyj analiz potencial'noj ustojchivosti pochvennogo pokrova bol'shezemel'skoj tundry k zagryzneniju neftjanymi uglevodorodami [Integrated assessment and spatial analysis of potential resistance of a soil cover of Bolshezemelskaya Tundra to pollution by oil hydrocarbons], Inzhenernye izyskanija, 2013, No 13, pp. 60–67 (in Russian).
 13. Ogurtsov A.N., Hovanov N.V. ASPID-kartografirovanie ocenok ekologicheskogo sostojanija i ustojchivosti geograficheskikh system [ASPID-mapping assessments of ecological condition and sustainability of geographical systems], GIS dlja ustojchivogo razvitiya territorij. Materialy Mezhdunarodnoj konferencii InterCarto9. Novorosijsk-Sevastopol' 27–29 ijunja 2003 g., Sevastopol', 2003, pp. 370–377 (in Russian).
 14. Snakin V.V., Mel'chenko V.E., Butovskij R.O., Voroncova L.I., Vasil'eva N.P., Resin A.L., Aljabina I.O., Barinova S.S., Erbanova L.N., Kochetova N.I., Krechetov P.P., Lomakina G.A., Morgun L.V., Golovina L.V., Barabanova G.S. Ocenka sostojanija i ustojchivosti ekosistem [Assessment of the state and stability of ecosystems], Moscow: VNIIPriroda, 1992, 127 p. (in Russian).
-