

**Механизмы регулирования температуры
засушливых земель по наземным и
дистанционным данным**

А.Н.Золотокрылин

Институт географии РАН

E-mail: azolotokrylin1938@yandex.ru

Типы регулирования температуры подстилающей поверхности (Becker et al., 1987)

- **Радиационное:** если альbedo поверхности увеличивается, то поглощенная поверхностью радиационная энергия уменьшается, вызывая уменьшение температуры поверхности и, наоборот.
- **Эвапотранспирационное:** если альbedo поверхности увеличивается, что часто бывает при угнетении и изреживании растительного покрова в период длительного дефицита осадков или при антропогенном воздействии, величина эвапотранспирации уменьшается. Это ведет к повышению температуры поверхности, и наоборот. Эвапотранспирационное регулирование температуры поверхности тесно связано с аэродинамическим регулированием через параметр шероховатости.
- **Аэродинамическое:** если плотность низкого растительного покрова (травостой, кустарники) уменьшается, то поверхность становится ровнее (снижается параметр шероховатости). Это уменьшает передачу поверхностью атмосфере вертикального турбулентного потока тепла и влаги, что повышает температуру поверхности в дневные часы.

Необходимые термины

- «*засушливые земли*» - аридные, семиаридные и сухие субгумидные районы, в которых коэффициент увлажнения, т.е. отношение среднего ежегодного уровня осадков к потенциальной эвапотранспирации по Торнтвейту (КУТ) колеблется в диапазоне от 0.05 до 0.65; Значения КУТ в диапазоне 0.05-0.20, 0.20-0.50 и 0.50-0.65 характеризуют соответственно аридные, семиаридные и сухие субгумидные земли (CCD, 1994);
- «*опустынивание*» – деградация земель в аридных, семиаридных и сухих субгумидных районах в результате действия различных факторов, включая изменение климата и деятельность человека;
- «*деградация земель*» - снижение или потеря биологической и экономической продуктивности и сложной структуры богарных пахотных земель, пастбищ в аридных, семиаридных и сухих субгумидных районах.

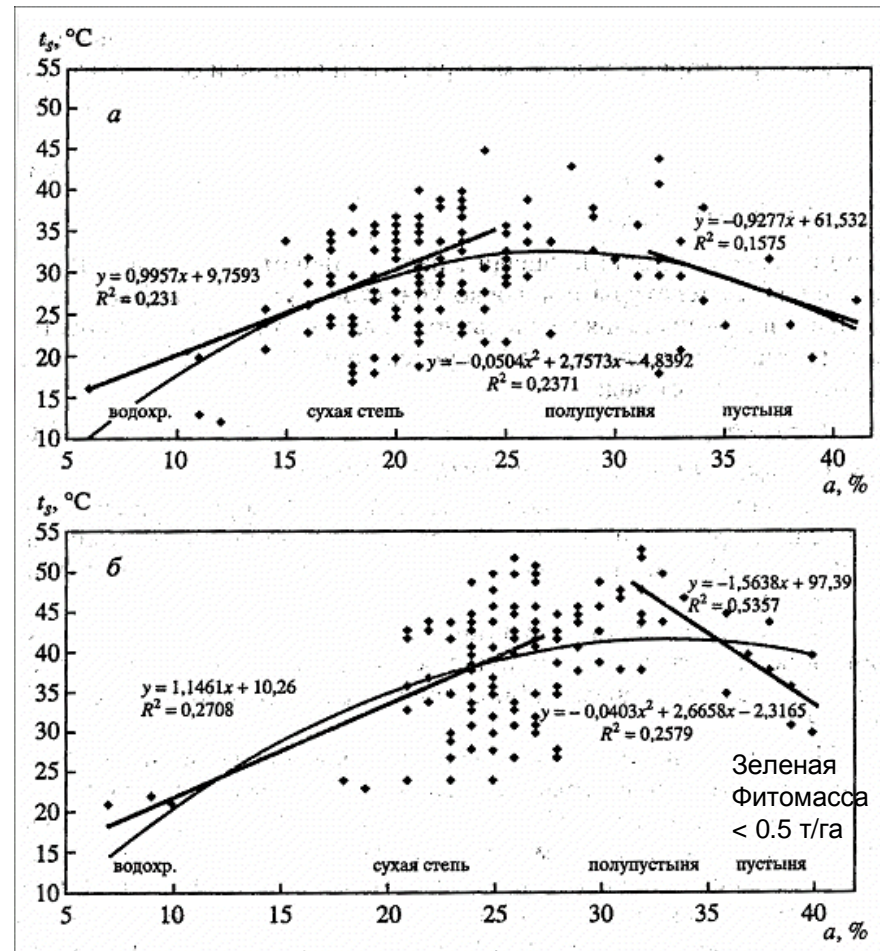
Цель исследования:

- На основании накопленных экспериментальных данных о параметрах подстилающей поверхности засушливых земель определить простой наземный, а затем спутниковый индикатор доминирования радиационного механизма регулирования температуры поверхности в масштабе вегетационного сезона.
- Развитие представления об опустынивании с учетом механизмов регулирования температуры засушливых земель и их роли в обратных связях в региональной климатической системе. Тогда опустынивание можно рассматривать как результат взаимодействия двух составляющих: аридизации (климатообусловленного опустынивания) и антропогенной деградации засушливых земель с обратными связями альбедо-осадки.

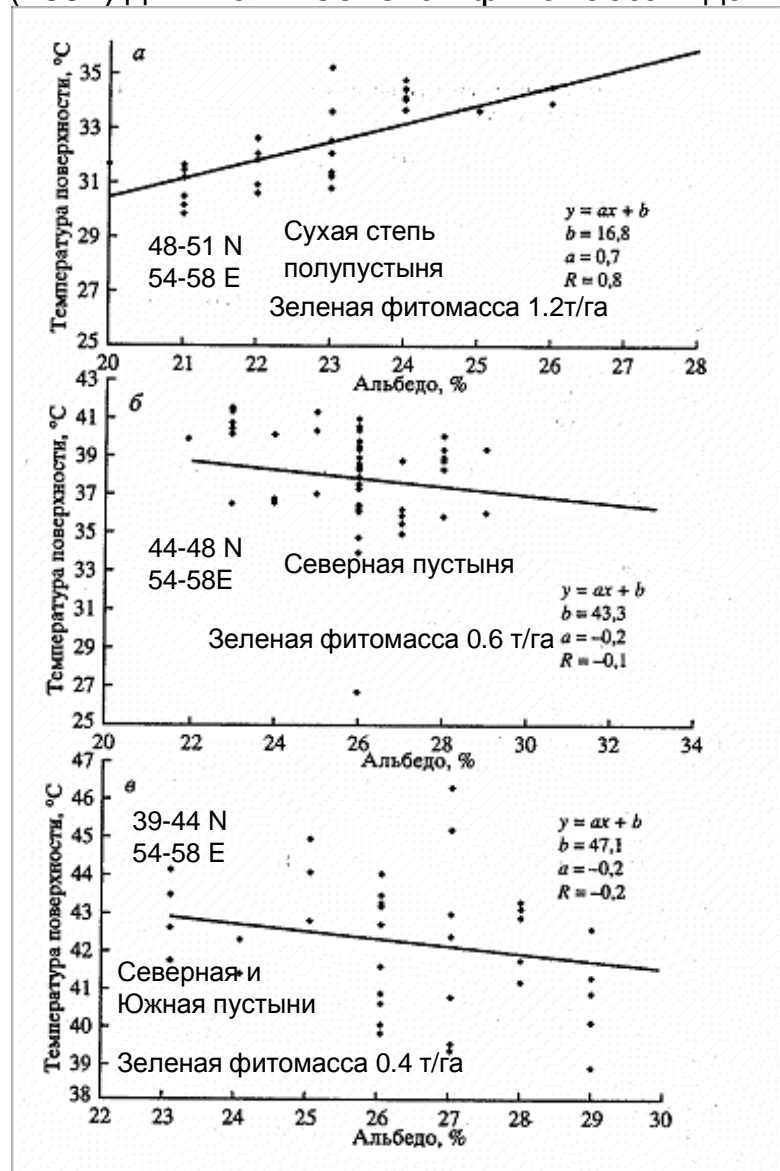
Наземные и дистанционные данные, результаты численных экспериментов на климатических моделях

- Наземные: суточная и сезонная динамика составляющих уравнения теплового баланса и параметров подстилающей поверхности (альbedo, температура и т.д), а также определение зеленой фитомассы и продуктивности в пустынях, полупустынях и сухих степях Средней Азии и Монголии (1981-1986).
- Вертолетные и наземные: межсуточная динамика определенных по наземным и дистанционным данным составляющих теплового баланса и параметров подстилающей поверхности и оценки фитомассы по 250 км трансекте на территории Казахстана (сухая степь – полупустыня – пустыня) (1988-1989).
- Обобщения опубликованных результатов отечественных комплексных экспедиций (Пахта-Аральская -1952, Махталинская -1959, КЭНЕКС-70, КЭНЭКС-71, а также международных экспериментов (ECLATS-1980, Yantala campaign-Niger-1984, NAREX-Sahel-1991-1992, HEIFE-China-1989-1993).
- Результаты численных экспериментов по влиянию параметров поверхности Туранской равнины и Восточной части Прикаспийской низменности на тепло-влагообмен с атмосферой на модели теплового баланса А.Б.Шмакина (1997) и изменения вертикальных турбулентных потоков в приземной атмосфере на тропическую конвекцию в Северной Африке (саванны и леса) на модели LMD-GCM (Polcher, 1995).

Корреляция между альбедо (а) и температурой (t_s) на Или-Балхашском полигоне в Казахстане.
Измерения с вертолета. а) 24-28 апреля 1988 г. б) 21-23 августа 1989 г.



Корреляция между альбедо и температурой поверхности на Туранской равнине (39-51 N и 54-58 E). Альбедо -наблюдения, температура вычислена по модели теплового баланса А.Б.Шмакина (1997) для июля. Зеленая фитомасса – данные Базилевич, 1993



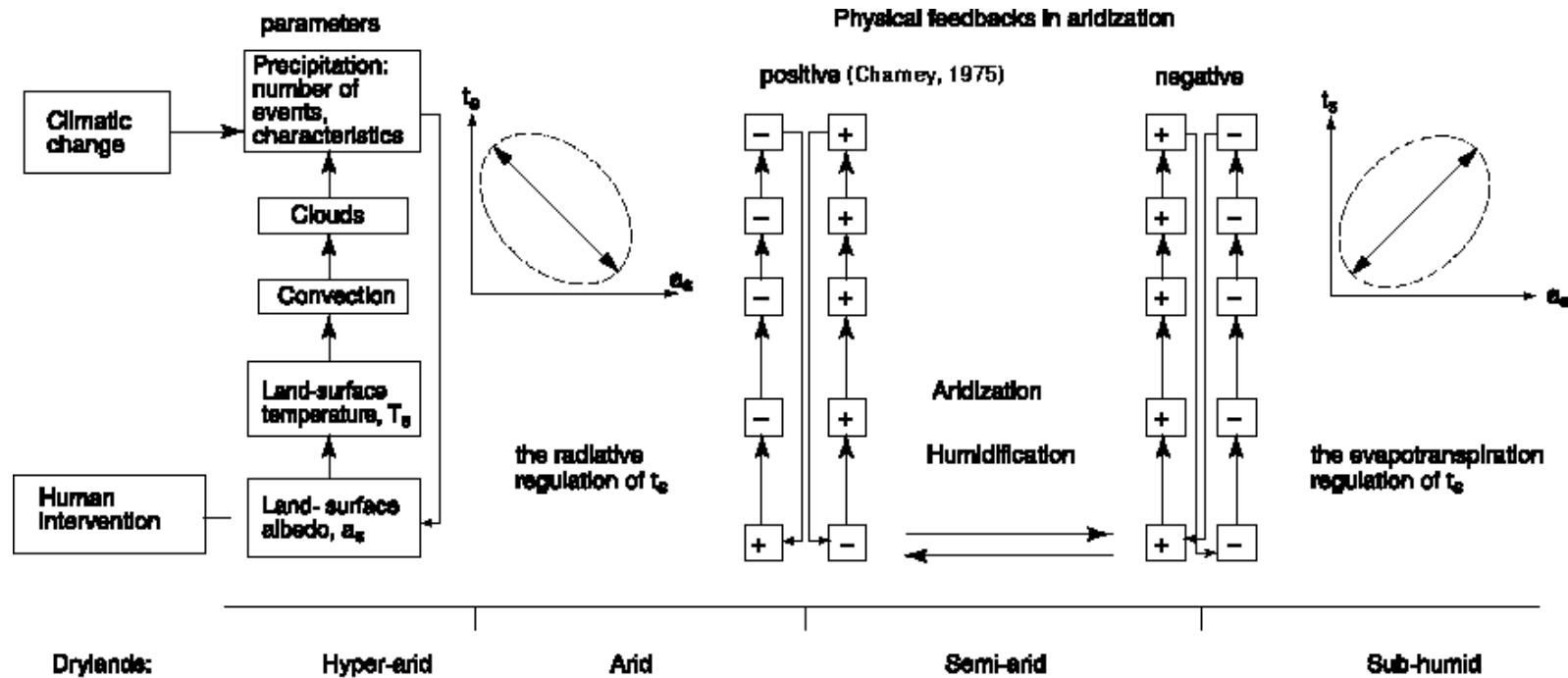
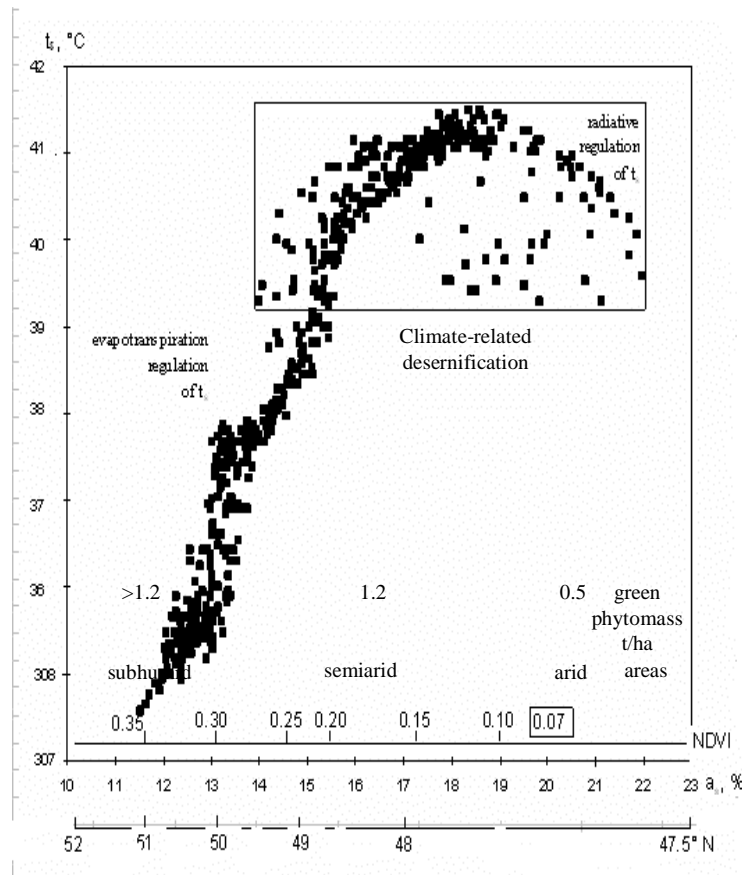


Fig.1. Hypothesis for albedo-precipitation feedbacks in aridization of dry-lands.

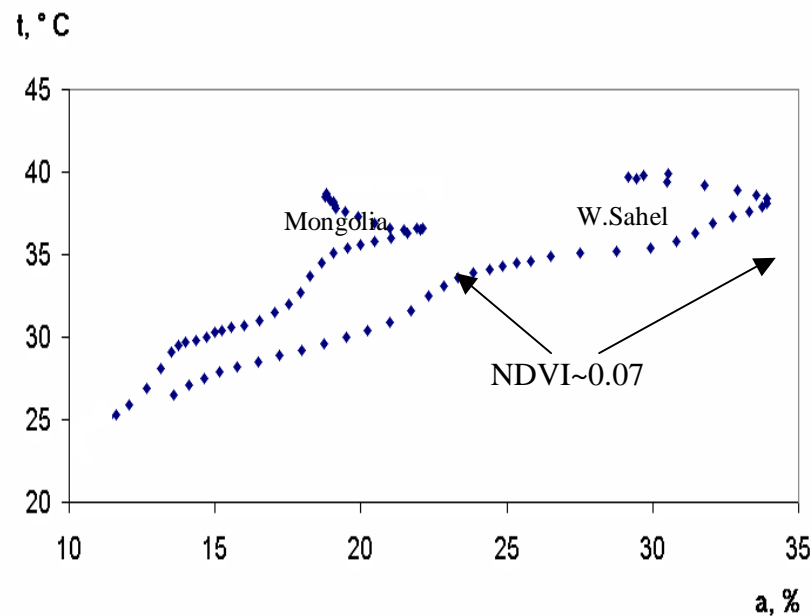
Climate-related desertification is maintained by a **positive** feedback in regional climatic system dominated by radiative regulation of surface temperature. Expansion of positive feedback is blocked by **negative** one dominated by evapotranspiration regulation of surface temperature. Switch from **positive** feedback to the **negative** one is predetermined by the change of heat transfer between surface and atmosphere, if the sensitive heat flux increases. This mechanism takes place in case of simultaneous increase of albedo and surface temperature. The threshold value of green phytomass (0.5 t ha^{-1}) and its indicator NDVI AVHRR (≤ 0.07) below which the **negative** feedback changes over to positive one, has been determined. Anthropogenic degradation of vegetation accelerates attaining of the threshold value of the phytomass and subsequently the expansion of climate-related desertification.

Relationship between monthly surface albedo (a_s) and temperature (t_s) along south-north transect through the Caspian Lowland (47.5-52N, 48-51E). May-September 1985-1991. Data from Gutman et al., 1995.

Observations supporting the hypothesis
 Analysis of surface heat balance observations in Northern Eurasia and Northern Africa reveals negative correlation between albedo and surface temperature in arid areas where the radiative mechanism of surface energy exchange is dominating while a positive correlation is typical for subhumid areas where evapotranspiration plays a significant role. Semiarid areas differ from the surrounding territories by increased variability of energy fluxes and a decrease of correlation between albedo and surface temperature. Thus, there is threshold albedo value determined by vegetation of semiarid areas. If the albedo is above the threshold value, the evapotranspiration regulation mechanism of surface temperature is changed to a radiative one, which increases aridity and is a precursor of desertification. This threshold is close to a no-return point when desertification begins.



Relationship between monthly surface albedo (a_s) and temperature (t_s) along a south-north transect through West Sahel (14-20N, 12-15W) and Mongolia (42-49N, 103-108E). May-September 1985-1991. Data from Gutman et al., 1995



- The picture shows switch of the surface energy exchange mechanism in other dry regions (Mongolia and West Sahel). The values of the threshold albedo are different in these dry regions. But the switch of the surface energy exchange mechanism was observed under equal values of mean seasonal NDVI AVHRR

*Another support of the hypothesis.
Numerical experiments for tropic areas
(Polcher, 1995).*

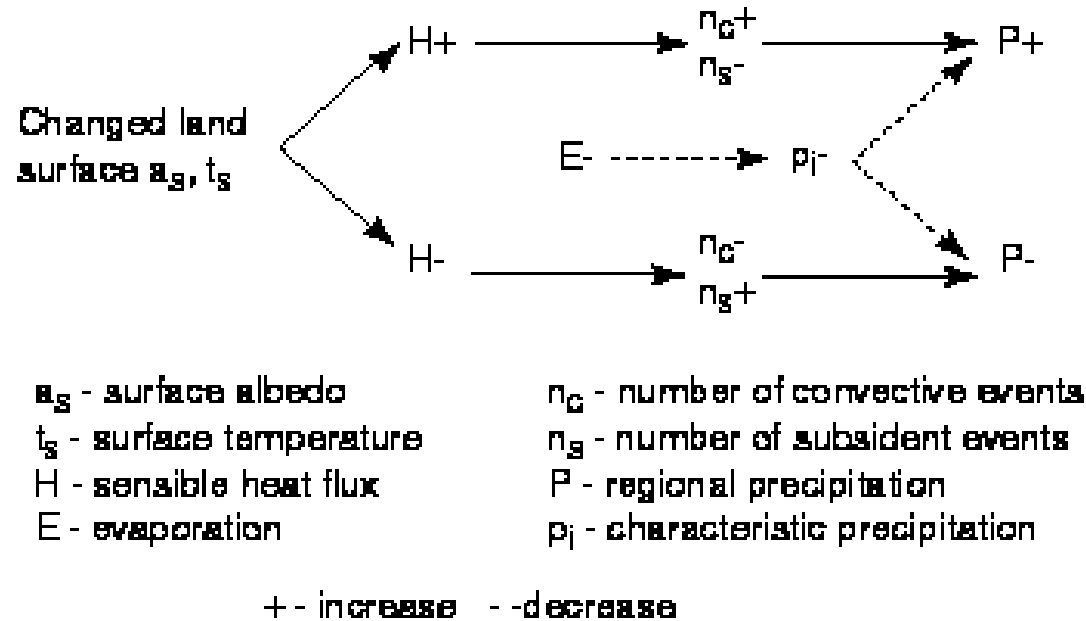


Fig. 3. Schematic representation of the sensitivity of tropical convection to land surface changes in the LMD-GCM (Polcher, 1995).

The different surface albedo (a_s) and temperature (t_s) changes imposed to the LMD-GCM lead to increases as well as reductions of the sensible heat flux (H). If H is reduced (negative correlation between a_s and t_s), the frequency of convection is lowered, which tends to diminish regional precipitation. An increase of subsident events is also found (positive feedback, Charney's mechanism). A higher H leads to the converse effect (negative feedback). *The critical question is raised: what is the sensitivity of convection to land surface changes in semiarid lands of Northern*

The areas of climate-related component of desertification

- Area dominated by the climate-related desertification is a territory, where, in most cases, green phytomass attains threshold value ($\leq 0.5 \text{ t ha}^{-1}$; $\text{NDVI AVHRR} \leq 0.07$) in seasonal and interannual changes. We use $\text{NDVI AVHRR} \leq 0.07$ as a parameter for monitoring the climate-related desertification (the aridization indicator). Indicator is determined as the time period when it takes for $\text{NDVI AVHRR} \leq 0.07$ during the vegetation season.
- As a rule, the area includes a part of arid and semiarid lands in case of slight anthropogenic degradation of the vegetation cover. Sometimes the area expands due to dry subhumid lands degraded as a result of human activities. In the late 20th century importance of the anthropogenic degradation of dry lands as additional regulator of positive feedback increases.

The areas of climate-related component of desertification

- Area dominated by the climate-related desertification is a territory, where, in most cases, green phytomass attains threshold value ($\leq 0.5 \text{ t ha}^{-1}$; $\text{NDVI AVHRR} \leq 0.07$) in seasonal and interannual changes. We use $\text{NDVI AVHRR} \leq 0.07$ as a parameter for monitoring the climate-related desertification (the aridization indicator). Indicator is determined as the time period when it takes for $\text{NDVI AVHRR} \leq 0.07$ during the vegetation season.
- As a rule, the area includes a part of arid and semiarid lands in case of slight anthropogenic degradation of the vegetation cover. Sometimes the area expands due to dry subhumid lands degraded as a result of human activities. In the late 20th century importance of the anthropogenic degradation of dry lands as additional regulator of positive feedback increases.

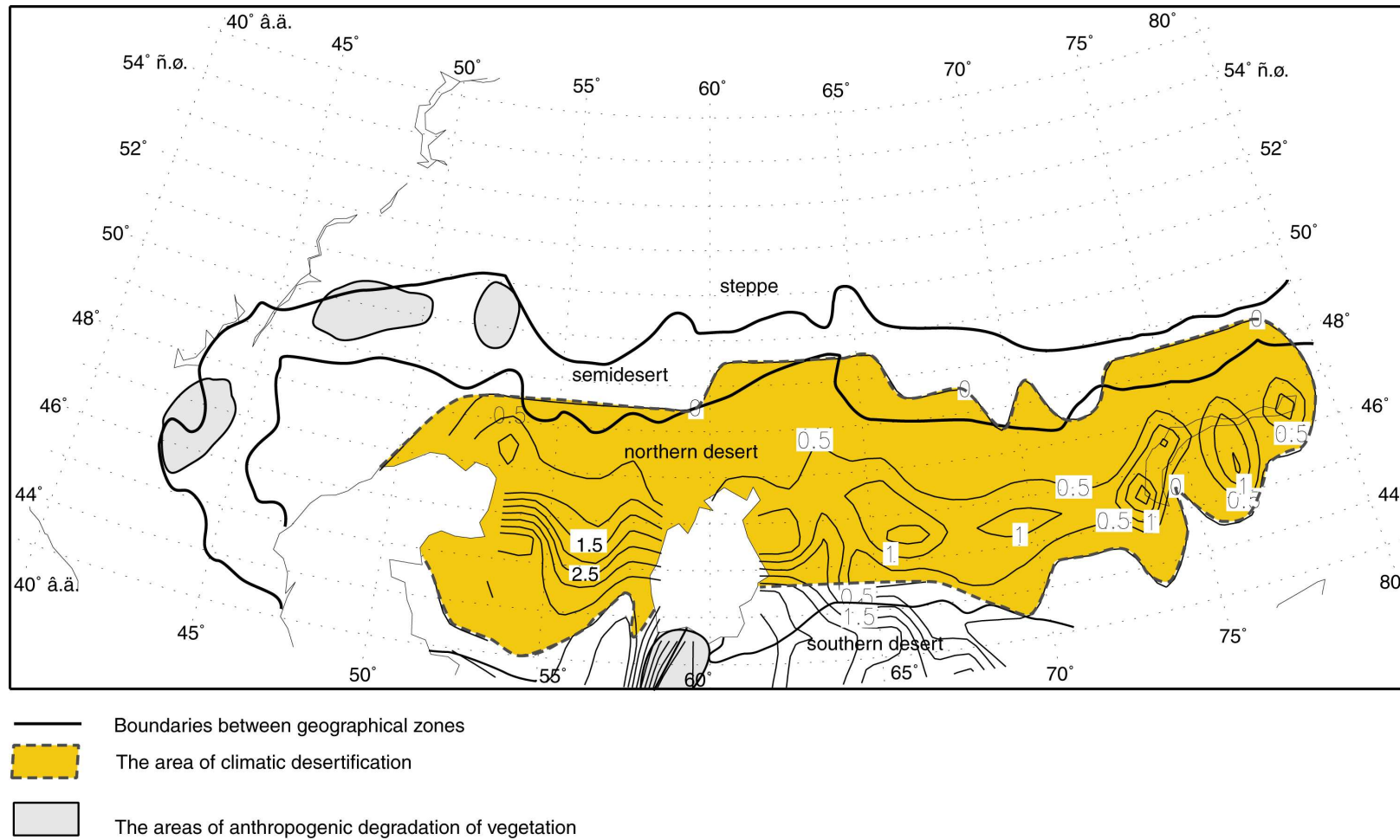


Fig. 6. The North-Turanskiy area of climatic desertification and geographical zones. Isolines - indicator of climatic desertification in month/M.-S. (NDVI ≤ 0.07), May-September 1982-2001.

The area subjected to the climate-related desertification process in Central Asia occupies the most part of semiarid lands (the zone of northern desert).

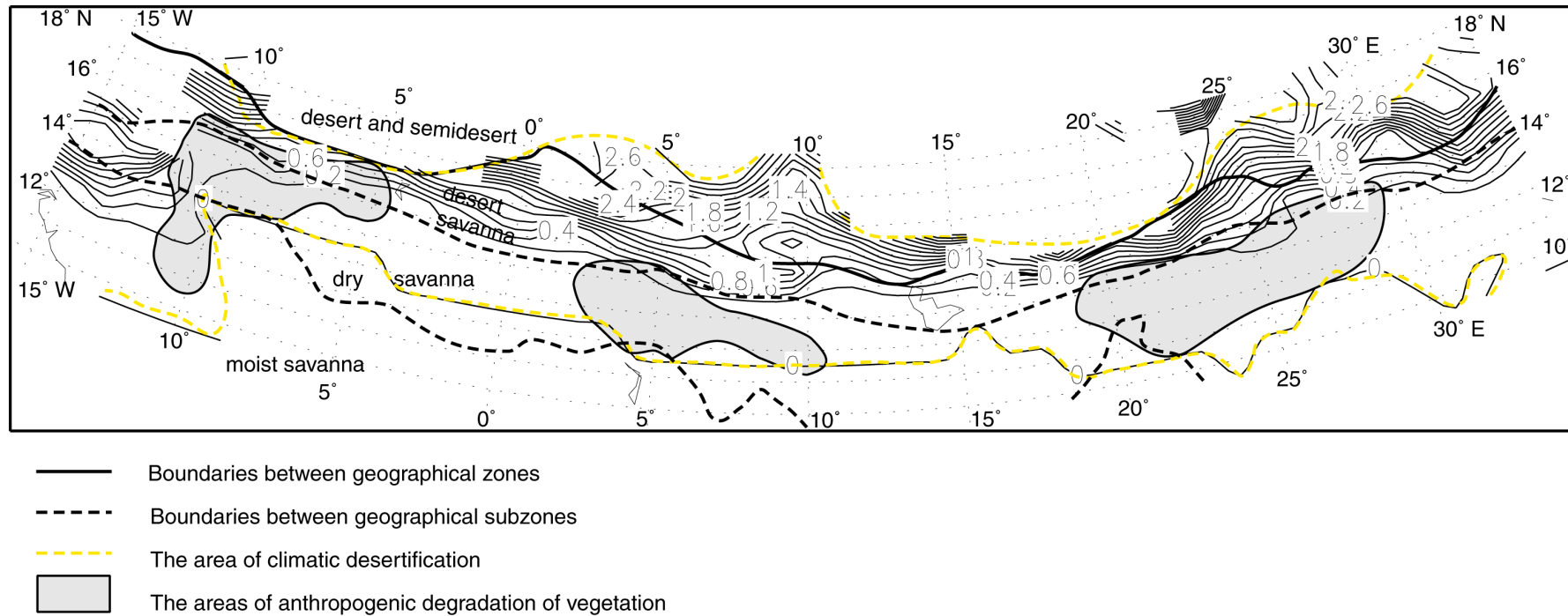


Fig. 7. The Sahel area of climatic desertification and geographical zones. Isolines - indicator of climatic desertification in month/J.-S. (NDVI ≤ 0.07). July -September 1982-2001.

Sahel area of climate-related desertification has expanded in the Western Sahel in the late 20th century due to inclusion of dry subhumid lands.

*Comparison of the past decade (1992-2001) to the previous decade (1982-1991)
The areas of climate-related desertification*

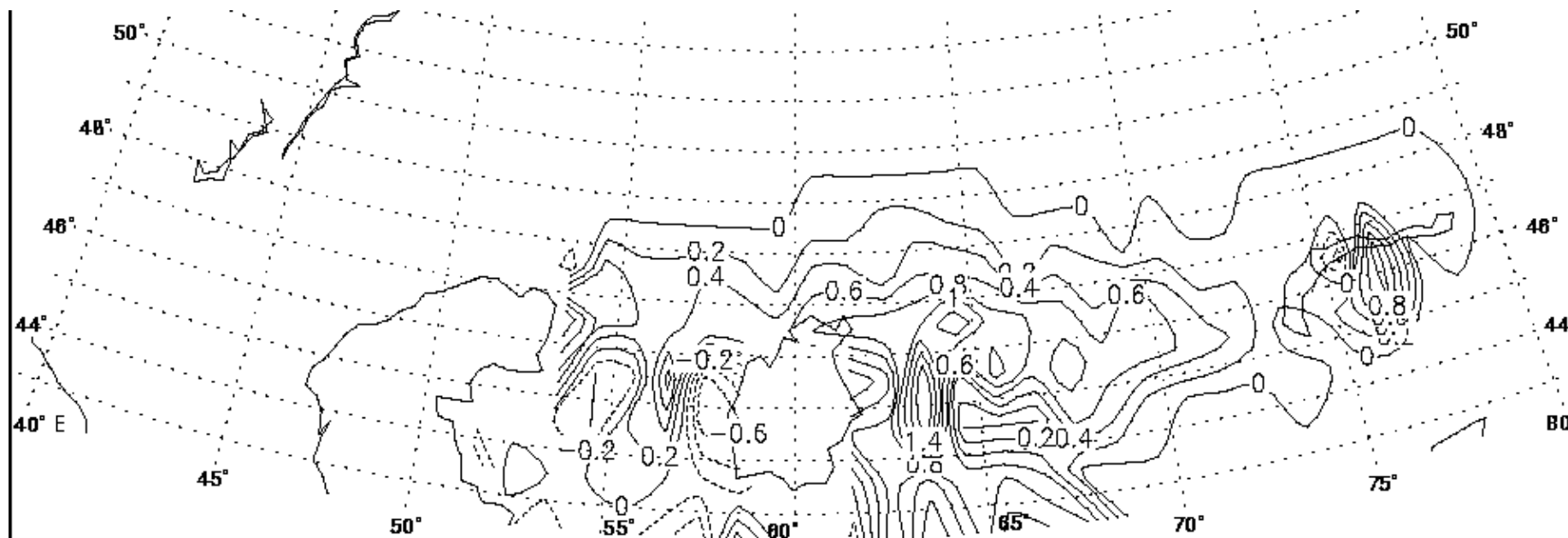


Fig. 10. Change of indicator of climatic desertification in dry lands of the Northern Eurasia for period May-September 1992-2001 in comparison with period 1982-1991. Isoline in month.

The northern limit of the area subjected to the desertification process in Central Asia has remained stable. The area has expanded southward as a result of drying the Aral Sea and landscapes of the Amu-Darya and Syr-Darya delta plains. Comparison of the past decade (1992-2001) to the previous decade (1982-1991) revealed a tendency of reduction of the desertification in the Caspian Lowland and its intensification in the areas between the Aral Sea and Lake Balkhash.

*Comparison of the past decade (1992-2001) to the previous decade (1982-1991)
The areas of climate-related desertification*

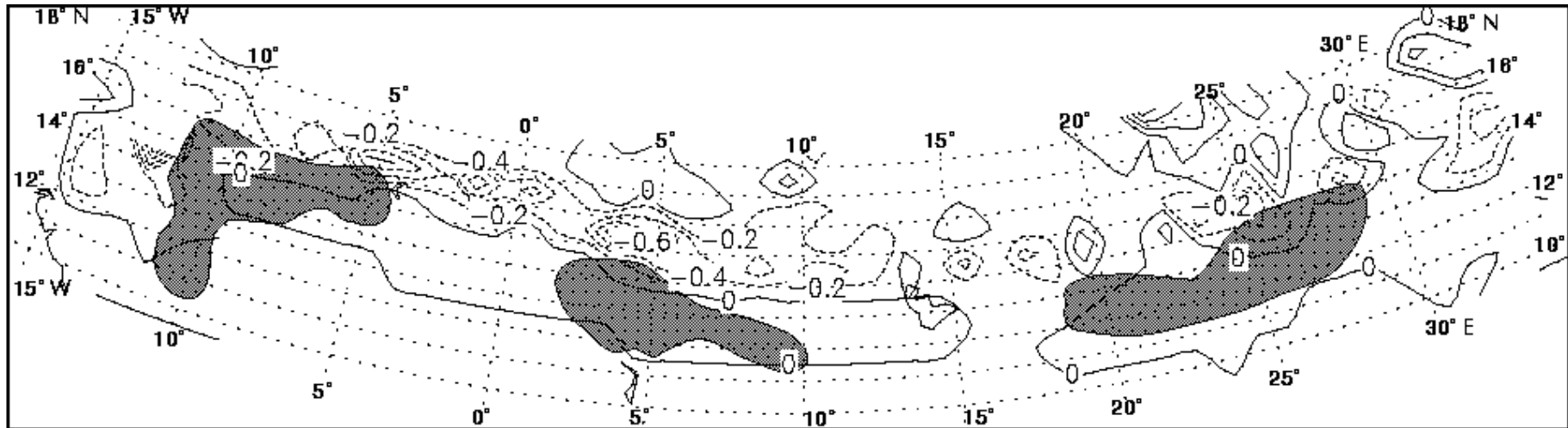


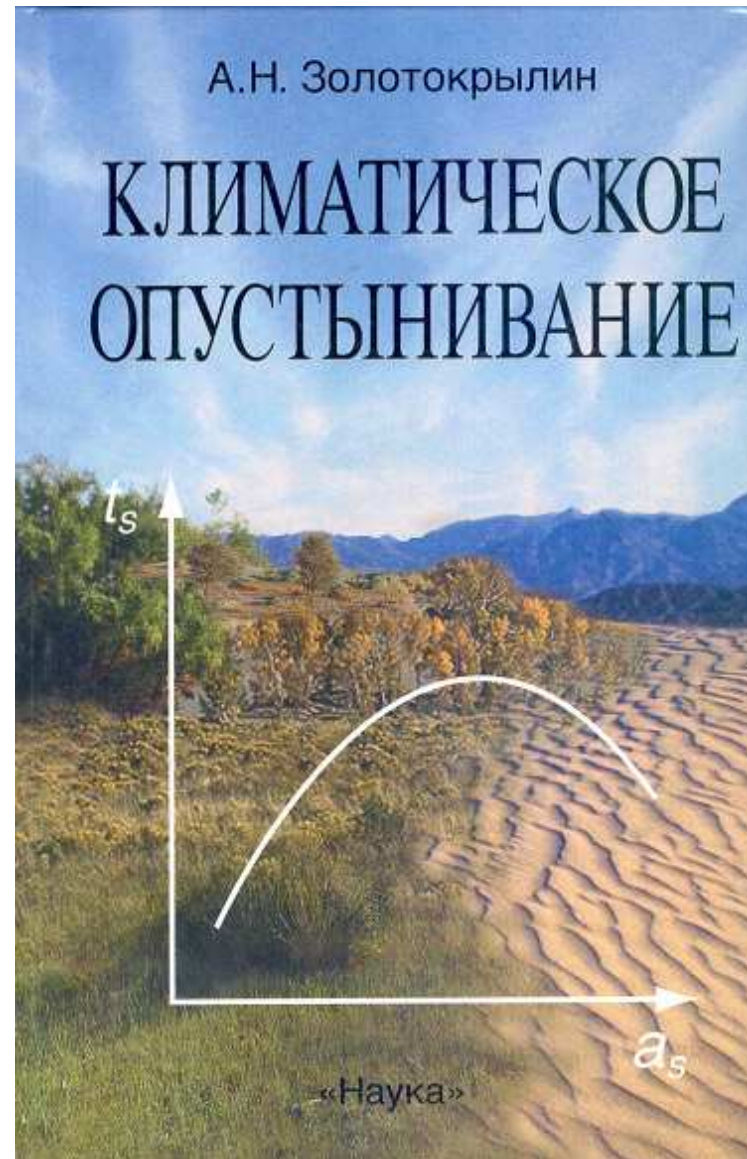
Fig. 11. Change of indicator of climatic desertification in dry lands of the Northern Africa for period July -September 1992-2001 in comparison with period 1982-1991. Isoline in month.

Comparison of the past decade (1992-2001) to the previous decade (1982-1991) revealed a tendency of reduction of the climate-related desertification in Sahel.

Выводы

- Простые наземный и спутниковый индикаторы доминирования радиационного механизма регулирования температуры поверхности засушливых земель разработаны.
- Предложен новый взгляд на климатическое опустынивание, как результат взаимодействия аридизации и антропогенной деградации земель с обратными связями альbedo-осадки.
- Спутниковый индикатор доминирования радиационного механизма регулирования температуры поверхности (NDVI AVHRR) применен для оценки междекадного изменения климатического опустынивания в разных засушливых регионах за период 1982-2001 гг.

Спасибо за внимание!



CONCLUSIONS

- **A simple indicator of climate-related desertification (aridization), using remote sensing data (NDVI) is proposed. It is based on domination of the radiative mechanism of surface energy exchange in dry lands.**
- **The hypothesis of regional *positive* and *negative feedbacks* related to albedo and precipitation changes is analyzed.**
- **The specifics of aridization changes in different dry lands of Northern Eurasia and Northern Africa in 1982-2001 are revealed.**

