

УДК 502.5: 504.055: 504.3

## АНАЛИЗ СРЕДООБРАЗУЮЩИХ ПАРАМЕТРОВ И ЭЛЕМЕНТОВ УГЛЕРОДНОГО БАЛАНСА В СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТАХ

**К. В. Мячина, С. А. Дубровская, Р. В. Ряхов, А. Н. Щавелев**

*Институт степи УрО РАН ОФИЦ УрО РАН  
ул. Пионерская, 11, 460000, г. Оренбург, Россия, [mavicsen@list.ru](mailto:mavicsen@list.ru)*

Цель исследования — выявить динамику некоторых средообразующих параметров геосистем Волго-Уральского степного региона. Замерялись температура воздуха и почвы, относительная влажность воздуха и почвы. На основе регрессионного моделирования выявлялись закономерности формирования способности к улавливанию чистого углерода растительным покровом эталонного степного участка. Показано, что в зонах с техногенным воздействием (нефтедобыча) наблюдаются изменения оцениваемых средообразующих параметров.

**Ключевые слова:** природно-техногенная геосистема нефтяного месторождения; средообразующие параметры; поглощение углерода; Волго-Уральский степной регион.

## ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL PARAMETERS AND COMPONENTS OF CARBON BALANCE IN STEPPE LANDSCAPE

**K.V. Myachina, S.A. Dubrovskaya, R.V. Ryakhov, A.N. Shchavelev**

*Steppe Institute of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences  
Pionerskaya str., 11, 46000, Orenburg, Russia, [mavicsen@list.ru](mailto:mavicsen@list.ru)*

The aim of the study is to identify the dynamics of some environmental parameters of geosystems of the Volga-Ural steppe region. Instrumental measurements of air and soil temperature, relative humidity of air and soil. On the basis of regression modeling, patterns of formation of the ability to capture pure carbon by the vegetation cover of the reference steppe area were revealed. It is shown that changes of the estimated environmental parameters are observed in areas with anthropogenic impact.

**Keywords:** natural and man-made geosystem of an oil field; environmental parameters; carbon uptake; Volga-Ural steppe region.

В российских степных регионах разрабатывается более 500 нефтегазовых месторождений, что определяет масштабность техногенных преобразований исходных геосистем с формированием природно-техногенных геосистем нефтегазовых месторождений. Трансформация вещественно-энергетических приводит к изменениям характеристик, в том числе тех,

которые призваны обеспечивать одну из ключевых геосистемных функций — средообразующую [1, 2]. Согласно классификации услуг наземных экосистем России, к элементарным средообразующим параметрам, в числе прочих, относят температуру и влажность воздуха и почвы и сбалансированные потоки парниковых газов [3]. Задачи данного исследования — получить количественные характеристики и выявить динамику указанных средообразующих параметров в природно-техногенной и исходной геосистемах.

Исследовались пять пар ключевых участков «природно-техногенная геосистема — эталон», где так называемый эталон — участок без техногенного воздействия за пределами инфраструктуры нефтепромысла, характеризующийся однородной формой рельефа и демонстрирующий условия исходного ландшафта. Описание ключевых участков приведено в таблице.

#### Описание ключевых участков исследования

| Тип геосистемы                           | Шифр ключевого участка (КУ) | Описание геосистемы   |
|--|-----------------------------|---|
| Природно-техногенная геосистема скважины | КУ1ПТ                       | Формируется нефтедобывающей электрической скважиной нефтегазоконденсатного месторождения и сопутствующей инфраструктурой – трансформаторной подстанцией. Расположена на пологом склоне (уклон 2°) водораздела в границах пашни; почвы – чернозем южный террасовый.              |
| Эталонная степная геосистема             | КУ1Э                        | Находится на пологом склоне (уклон 2,5-3°) водораздела в границах залежной степи с умеренным выпасом, в 500 м от КУ1ПТ; почвы – чернозем южный террасовый.  |
| Природно-техногенная геосистема скважины | КУ2ПТ                       | Формируется нефтедобывающей электрической скважиной нефтегазового месторождения и сопутствующей инфраструктурой – трансформаторной подстанцией. Расположена на крутом склоне (уклон 10-15°); почвы – чернозем обыкновенный карбонатный неполноразвитый тяжелосуглинистый.       |
| Эталонная степная геосистема             | КУ2Э                        | Находится в 110 м в южном направлении от КУ2ПТ, на крутом склоне (уклон 10-15°) в пределах ландшафтно-экологического памятника природы Кувайская степь (сохранившийся участок естественной степи); почвы – чернозем обыкновенный карбонатный неполноразвитый тяжелосуглинистый. |

|  |       |   |
|--|-------|---|
| Природно-техногенная геосистема скважины                       | КУЗПТ | Формируется нефтедобывающей электрической скважиной нефтегазового месторождения и сопутствующей инфраструктурой – трансформаторной подстанцией. Расположена на пологом склоне (уклон 1-2°) водораздела; почвы – черноземы обыкновенные карбонатные тяжелосуглинистые. |
| Эталонная степная геосистема                                   | КУЗЭ  | Находится в 200 м от КУЗПТ, на пологом склоне (уклон 1-2°) водораздела в границах залежной степи; почвы – черноземы обыкновенные карбонатные тяжелосуглинистые.   |
| Природно-техногенная геосистема скважины                       | КУ4ПТ | Формируется нефтедобывающей электрической скважиной нефтегазового месторождения и сопутствующей инфраструктурой – трансформаторной подстанцией. Расположена на равнинной части водораздела; почвы – чернозем южный маломощный среднесуглинистый.                      |
| Эталонная степная геосистема                                   | КУ4Э  | Находится в 1 км от КУ4ПТ, на равнинной части водораздела в границах пастбища с умеренным выпасом; почвы – чернозем южный маломощный среднесуглинистый.   |
| Природно-техногенная геосистема дожимной компрессорной станции | КУ5ПТ | Формируется комплексом объектов дожимной компрессорной станции нефтегазоконденсатного месторождения. Расположена на равнинной части водораздела; почвы – черноземы южные тяжелосуглинистые.   |
| Эталонная степная геосистема                                   | КУ5Э  | Находится в 790 м на северо-западе от дожимной компрессорной станции нефтегазоконденсатного месторождения. Расположен на равнинной части водораздела в границах маловозрастной степной залежи; почвы – черноземы южные тяжелосуглинистые.                             |

С помощью инструментальных замеров фиксировались следующие параметры: температура воздуха на высоте 2 м, температура почвы на глубине 10 см, относительная влажность воздуха на высоте 2 м, относительная влажность почвы на глубине 10 см. Обследования природно-техногенных и парных им эталонных геосистем проводились в одно и то же время суток. Выбирались произвольные площадки размером 2х2 м., каждый инструментальный замер выполнялся в пяти точках («метод конверта»), после чего высчитывалось среднее значение анализируемого параметра. Дополнительно, на основе продуктов MOD17A3 [4], для эталонного участка в пределах сохранившейся естественной степи в южной части Оренбургской области рассчитан показатель поглощения чистого углерода

растительностью за период с 2000 по 2020 гг. С помощью регрессионного моделирования выявлены математические закономерности формирования способности к поглощению чистого углерода растительным покровом в зависимости от локальных природно-климатических условий участка. Для получения входных переменных математической функции собирались климато-метеорологические характеристики с ближайшей метеостанции.

*Результаты полевых измерений.* Несмотря на ограниченное количество замеров, по их результатам прослеживаются определенные закономерности: на ключевых участках природно-техногенных геосистем в трех случаях из пяти наблюдается пониженная относительно эталонов влажность воздуха: разница в показателях находится в диапазоне от 4,5 до 12 %; — на ключевых участках техногенных геосистем наблюдается повышенная относительно эталонов температура почвы: разница температур колеблется в диапазоне от 0,14 до 3,8 градусов; — на ключевых участках техногенных геосистем наблюдается пониженная относительно эталонов влажность почвы: разница в показателях колеблется в диапазоне от 1,2 до 6 %. Не прослеживаются явных закономерностей в изменении температуры воздуха на участках с техногенным воздействием относительно эталонов. На участках КУ1ПТ — КУ1Э влажность воздуха и температура почвы не подчиняются закономерностям, замеченным на остальных парах участков. Несоответствие, видимо, связано с расположением ключевого участка КУ1 в границах распаханного поля: состояние растительного покрова является одним из факторов, провоцирующих изменения температуры и влажности воздуха и почвы, наряду с непосредственным воздействием техногенных объектов (горение факельной установки по сжиганию газовых смесей, работа трансформаторных подстанций, систематическое движение техники и пр.) [5, 6].

*Результаты анализа спутниковых данных.* Для эталонного степного участка расчетные показатели поглощения чистого углерода составили от 0,5 до 1,5 кгС/м<sup>2</sup>/год. Функциональная зависимость показателя поглощения чистого углерода от климато-метеорологических характеристик выглядит следующим образом:

$$NPP^c_t = \frac{0,086}{(0,03)} T_{sr_t} - \frac{0,063}{(0,03)} T_{sr_{t-1}}$$

где  $NPP^c_t$  - показатель чистой первичной продуктивности в году  $t$  (кг/м<sup>2</sup>);  $T_{sr_t}$  - среднегодовая температура воздуха (°C) в году  $t$  и году  $t-1$ .

Регрессионная модель зависимости показателя поглощения чистого углерода от климато-метеорологических характеристик включает лишь два метеопараметра, демонстрируя стабильность депонирующих свойств степного растительного покрова. В случае нарушенного в ходе

техногенного воздействия растительного покрова ожидается видоизменение и усложнение модели, сопровождающееся снижением показателя поглощения чистого углерода.

Совокупность результатов полевых и дистанционных исследований указывает на изменения характеристик средообразующих параметров степных геосистем Волго-Уральского региона при формировании природно-техногенных геосистем нефтяных месторождений. Новые характеристики средообразующих параметров, встроившись в схему прямых и обратных связей в природно-техногенной геосистеме, могут вызывать следующую цепочку последствий, изменяя роль исходных геосистем в сохранении глобального биоразнообразия и поддержании биосферной регуляции.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФ (грант №23-27-00193, №ГР 123012000040-7)

### Библиографические ссылки

1. Тишков А. А. Биосферные функции и экосистемные услуги ландшафтов степной зоны России // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 1(41). С. 5–15.
2. Тишков А. А. Биогеографические последствия природных и антропогенных изменений климата // Успехи современной биологии. 2011. Т. 131. № 4. С. 356–366.
3. Экосистемные услуги России : Прототип национального доклада. Услуги наземных экосистем. Т. 1. / Ред.-сост. : Е. Н. Букварёва, Д. Г. Замолотчиков. М. : Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. 148 с.
4. Running S., Mu Q. University of Montana, Maosheng Zhao – University of Maryland and MODAPS SIPS – NASA. MOD17A3 MODIS/Terra Gross Primary Productivity Yearly L4 Global 1km SIN Grid. NASA LP DAAC. 2015.
5. Özkan U., Gökbulak F. Effect of vegetation change from forest to herbaceous vegetation cover on soil moisture and temperature regimes and soil water chemistry // Catena. 2017. Vol. 149. P. 158–166.
6. Sandholt I., Rasmussen K., Andersen J. A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status // Remote Sensing of environment. 2002. Vol. 79. No 2-3. P. 213–224.