



УДК 502.5: 504.055: 504.3

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.114>

Изменения средообразующих параметров степных геосистем в условиях нефтедобычи (на примере Волго-Уральского региона)

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

Институт степи УрО РАН, г.Оренбург, Россия

Аннотация. Исследование направлено на получение количественных характеристик и выявление динамики некоторых средообразующих параметров степных геосистем, находящихся под влиянием нефтедобычи. Территория исследования – Волго-Уральский степной регион, где выбраны пять пар ключевых участков по принципу «находящийся в условиях техногенного воздействия – эталонный». В ходе полевых исследований 2023 г. выполнены инструментальные замеры температуры воздуха и почвы, относительной влажности воздуха и почвы, уровня шума. С помощью снимков спутников Ландсат с 2013 по 2022 г. определены температура поверхности ландшафта, индекс содержания влаги в растительности, альbedo поверхности. По результатам полевых и дистанционных исследований отмечено, что на участках с техногенным воздействием наблюдаются изменения главных составляющих функционирования исходных геосистем – влагооборота, температурного баланса, радиационного баланса. Выявлено, что температура поверхности на участках с техногенным воздействием в среднем выше, чем на парных им эталонных; увлажненность поверхности на участках с техногенным воздействием в среднем ниже, чем на парных им эталонных; альbedo поверхности на участках с техногенным воздействием в среднем ниже, чем на парных им эталонных; уровень шума на участках с техногенным воздействием значительно выше по сравнению с эталонными. Также отмечено, что указанные последствия проявляются в природно-техногенных геосистемах скважин – единицах низшего иерархического уровня в геосистеме нефтегазового месторождения. Делается вывод, что с учетом масштабности эксплуатации российских месторождений углеводородного сырья необходима разработка оптимизационных подходов для решения экологического конфликта, связанного с трансформацией средообразующих функций.

Ключевые слова: природно-техногенная геосистема нефтяного месторождения, средообразующие функции, изменения, Волго-Уральский степной регион.

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (грант № 23-27-00193, № ГР 123012000040-7).

Для цитирования: Изменения средообразующих параметров степных геосистем в условиях нефтедобычи (на примере Волго-Уральского региона) / К. В. Мячина, С. А. Дубровская, Р. В. Ряхов, А. Н. Щавелев // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2023. Т. 46. С. 114–127. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.114>

Changes of the Environmental Parameters in Steppe Geosystems in Oil Production Conditions (on the Example of the Volga-Ural Region)

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

Steppe Institute UB RAS, Orenburg, Russian Federation

Abstract. The aim of the study is to obtain quantitative characteristics and identify the dynamics of some environmental parameters of steppe geosystems under the impact of oil production. The study area is the Volga-Ural steppe region, where five pairs of key plots were selected according to the principle "in conditions of technogenic impact – reference". In the course of fieldwork in 2023, instrumental measurements of air and soil temperature, relative humidity of air and soil, noise level were carried out. The landscape surface temperature, vegetation moisture content index (NDMI), and surface albedo were determined based on Landsat satellite images for the period from 2013 to 2022. The results of fieldwork and remote studies have shown that changes in the main components of the initial geosystems functioning – moisture turnover, temperature balance, radiation balance – are observed in areas with technogenic impact. It was revealed that the surface temperature in the plots with technogenic impact is higher than in the paired reference ones; the surface moisture in the plots with technogenic impact is lower than in the paired reference ones; the albedo of the surface in the plots with technogenic impact is lower than in the paired reference ones; the noise level in the plots with technogenic impact is significantly higher compared to the reference ones. These consequences are manifested in natural-technogenic geosystems of wells – units of the lowest hierarchical level in the geosystem of an oil-and-gas field. Given the scale of Russian oil-and-gas deposits exploitation, it is necessary to develop optimization approaches to solve the environmental conflict associated with the transformation of environmental functions, which the proposed study is designed to help.

Keywords: natural-technogenic geosystem of an oil-and-gas field, environmental functions, changes, Volga-Ural steppe region.

For citation: Myachina K.V., Dubrovskaya S.A., Ryakhov R.V., Shchhavelev A.N. Changes of the Environmental Parameters in Steppe Geosystems in Oil Production Conditions (on the Example of the Volga-Ural Region). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2023, vol. 46, pp. 114–127. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2023.46.114> (in Russian)

Актуальность

В российских степных регионах разрабатывается более 500 нефтегазовых месторождений, что определяет масштабность техногенных преобразований исходных геосистем с формированием природно-техногенных геосистем нефтегазовых месторождений. Трансформация исходных вещественно-энергетических потоков при формировании природно-техногенных геосистем приводит к изменениям характеристик, в том числе тех, которые призваны обеспечивать одну из ключевых геосистемных функций – средообразующую. Средообразующая функция отвечает за формирование и поддержание условий среды, благоприятных для жизни человека и развития экономики [Экосистемные услуги России ... , 2016]. Количественная оценка ценности геосистемных функций и услуг затруднительна [Тишков, 2010], однако для принятия эффективных решений можно проанализировать изменения некоторых элементарных параметров, обеспечивающих такие функции, в природно-техногенных геосистемах по сравнению с исходными [Evaluation of the spatial ... , 2021]. Российские геосистемы играют ключевую роль в сохранении глобального биоразнообразия и поддержании биосферной регуля-

ции, в связи с чем крайне актуален мониторинг преобразования средообразующих параметров в части биогеофизических механизмов регуляции климата.

Согласно классификации услуг наземных экосистем России [Экосистемные услуги России ... , 2016, с. 43], к элементарным средообразующим параметрам, в числе прочих, можно отнести температуру и влажность воздуха и почвы, отображающие потоки тепла и влаги между поверхностью и атмосферой; альbedo поверхности ландшафта, являющееся важнейшей геофизической характеристикой, непосредственно влияющей на величину радиационного баланса в геосистеме [Ocean surface albedo ... , 2007] и уровень шума – серьезный фактор потери условий обитания биоты. Задачи данного исследования – получить количественные характеристики и выявить динамику указанных средообразующих параметров в природно-техногенной и исходной (эталонной) геосистемах.

Объекты и методы

Территория исследования – Волго-Уральский степной регион, обладающий ключевым набором геосистемных услуг, характеризующийся значительным потенциалом экономического развития как в части добычи полезных ископаемых, так и в части сельскохозяйственного производства. Особенно здесь выделяется Оренбургская область, играющая ведущую роль в добыче углеводородного сырья в степной части Волго-Уральской нефтегазодобывающей провинции и демонстрирующая кумулятивные эффекты полимасштабности воздействия нефтегазодобычи. Разработка нефтегазовых месторождений в области ведется с начала 40-х гг. XX в., что предоставляет хорошую возможность выбора репрезентативных в научном отношении ключевых участков для изучения потоков вещества и энергии в природно-техногенных геосистемах [Мячина, 2020]. 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. Исходный ландшафт не всегда представляет собой естественную степь: в некоторых случаях это возрастная залежь или пастбище, отображающие наиболее характерное ландшафтное окружение природно-техногенной геосистемы. Описание ключевых участков приведено в табл. 1. С помощью инструментальных замеров на ключевых участках в течение полевого сезона 2023 г. 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, уровень шума с учетом направления ветра. Путем экспертной оценки определялись проективное покрытие и тип растительного покрова на площадке.

Таблица 1

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 КУ1 ПТ; 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 КУ2 ПТскв, 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	КУ3ПТ	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	КУ3Э	Находится в 200 м от КУ3 ПТскв, 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 КУ4 ПТскв, 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

Обследования природно-техногенных и парных им эталонных геосистем проводились в одно и то же время суток в безоблачные дни при единой скорости движения воздушных потоков. Для выполнения измерений в пределах исследуемой геосистемы выбирались произвольные площадки размером 2×2 м, каждый инструментальный замер выполнялся в пяти точках («метод конверта»), после чего высчитывалось среднее значение анализируемого параметра.

Далее, на основании серии снимков спутников Ландсат за период с 2013 по 2022 г. определялись следующие параметры:

– температура поверхности ландшафта, средняя ежемесячная за вегетационный период;

– индекс содержания влаги в растительности (NDMI), средний ежемесячный за вегетационный период [Hosseini, Farrokhan, Amerykhah, 2019];

– альbedo поверхности, среднее ежемесячное за вегетационный период.

Затем высчитывалась разность значений параметров для каждой пары участков по формуле:

$$\Delta X_{КУn} = X_{КУnПТ} - X_{КУnЭ}, \quad (1)$$

где X – исследуемый параметр (температура/NDMI/альbedo); n – номер пары ключевых участков (от 1 до 5); $X_{КУnПТ}$ – среднемесячное значение параметра на участке с природно-техногенной геосистемой; $X_{КУnЭ}$ – среднемесячное значение параметра на эталонном участке; $\Delta X_{КУn}$ – разность значений показателя X для пары участков n .

Предполагалось, что полученные данные позволят выявить или доказать некоторые изменения, происходящие в исходных степных геосистемах при внедрении техногенного блока нефтегазодобывающего производства.

Результаты и обсуждение

Результаты полевых измерений представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты инструментальных замеров некоторых средообразующих параметров на ключевых участках

Шифр участка	Температура воздуха, °С	Относит. влажн. воздуха, %	Темпер. почвы, °С	Относит. влажность почвы, %	Уровень шума, дБ	Тип растительного покрова	Проективное покрытие, %
КУ1ПТ	26,6	29,7	14,6	84,2	36,0	Рудеральные виды в окружении распаханного поля без всходов	0–10
КУ1Э	29,1	29,1	16,9	88,8	28,0	Разнотравно-типчачковая ассоциация	40–50
КУ2ПТ	31,2	19,2	12,04	89,6	44,0	Разрежен, рудеральные виды	10–20
КУ2Э	31,7	23,7	11,9	90,8	36,0	Польноно-злаковая ассоциация	65–70
КУ3ПТ	28,9	23,9	14,7	97,4	67,0	Разрежен, рудеральные виды	20–30

Окончание табл. 2

Шифр участка	Температура воздуха, °С	Относит. влажн. воздуха, %	Темпер. почвы, °С	Относит. влажность почвы, %	Уровень шума, дБ	Тип растительного покрова	Проективное покрытие, %
КУ3Э	28,8	23,9	13,3	97,4	27,5	Полынно-злаковая ассоциация	70–80
КУ4ПТ	29,2	22	17,3	96,8	69,1	Разрежен, рудеральные виды	10–20
КУ4Э	26,6	26,6	13,5	100	37,0	Полынно-злаковая ассоциация	70–80
КУ5ПТ	32,3	26,1	21,7	94	53,0	Разрежен, рудеральные виды	35–40
КУ5Э	28,5	38,1	19,6	100	42,9	Полынно-злаковая ассоциация	65–70

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 относительной влажности воздуха на каждой паре участков находится в диапазоне от 4,5 до 12 %, за исключением пары КУ1ПТ – КУ1Э, где влажность на эталонном участке ниже, чем на участке с техногенным воздействием. В паре КУ3ПТ – КУ3Э относительная влажность воздуха одинакова на двух участках;

- на ключевых участках техногенных геосистем наблюдается повышенная относительно эталонов температура почвы. Разница температур на каждой паре участков колеблется в диапазоне от 0,14 до 3,8°, за исключением пары КУ1ПТ – КУ1Э, где температура почвы на эталонном участке выше, чем на участке с техногенным воздействием;

- на ключевых участках техногенных геосистем наблюдается пониженная относительно эталонов влажность почвы. Разница в показателях влажности на каждой паре участков колеблется в диапазоне от 1,2 до 6 %, за исключением пары КУ3ПТ – КУ3Э, где относительная влажность почвы одинакова на двух участках;

- в каждой из пяти пар отмечается существенное превышение уровня шума на участках природно-техногенных геосистем по сравнению с эталонами. Разница составляет 8–39,5 дБ.

Не прослеживается явных закономерностей в изменении температуры воздуха на участках с техногенным воздействием относительно эталонов. Возможно, это связано с небольшим количеством инструментальных замеров, база данных которых будет пополняться в ходе дальнейших исследований.

На участках КУ1ПТ – КУ1Э влажность воздуха и температура почвы не подчиняются закономерностям, замеченным на остальных парах участков. Несоответствие, вероятно, связано с расположением ключевого участка КУ1 в границах распаханного поля (рис. 1). Такая локализация природно-техногенной геосистемы, образованной нефтедобывающей электрической скважиной, несомненно, оказывает влияние на показатели температуры и влажности воздуха и почвы.



Рис. 1. Расположение ключевого участка техногенной геосистемы КУ1ПТ в границах распаханного поля

На остальных ключевых участках характеристики растительного покрова примерно схожи для каждой связки «участок с техногенным воздействием – эталон»: на КУ2ПТ, КУ3ПТ, КУ4ПТ, КУ5ПТ отмечен разреженный растительный покров (проективное покрытие не превышает 40 %) с преобладанием рудеральных видов, а на КУ2Э, КУ3Э, КУ4Э, КУ5Э фиксируются естественные степные или залежные ассоциации с проективным покрытием от 65 до 80 %. 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.) [Sandholt, Page, 2002; Özkan, Gökbulak, 2017].

Результаты анализа спутниковых данных

Результаты анализа спутниковых данных представлены на графиках рис. 2. Графики демонстрируют динамику разности значений средообразующих параметров на парных ключевых участках за 10-летний период – с 2013 по 2022 г.

Рисунок 2 позволяет выявить следующие тенденции:

– разность температур поверхности ландшафта для большей части исследуемого периода положительна или близка к нулю для всех пар участков, кроме первой и четвертой. Среднее значение разности составляет $0,6^{\circ}$. Это значит, что температура поверхности на участках природно-техногенных геосистем в среднем выше, чем на парных им эталонных участках (рис. 3). Изменение температуры поверхности на паре участков КУ1ПТ – КУ1Э не подчиняется общим закономерностям, как и в случае с инструментальными замерами на местности.

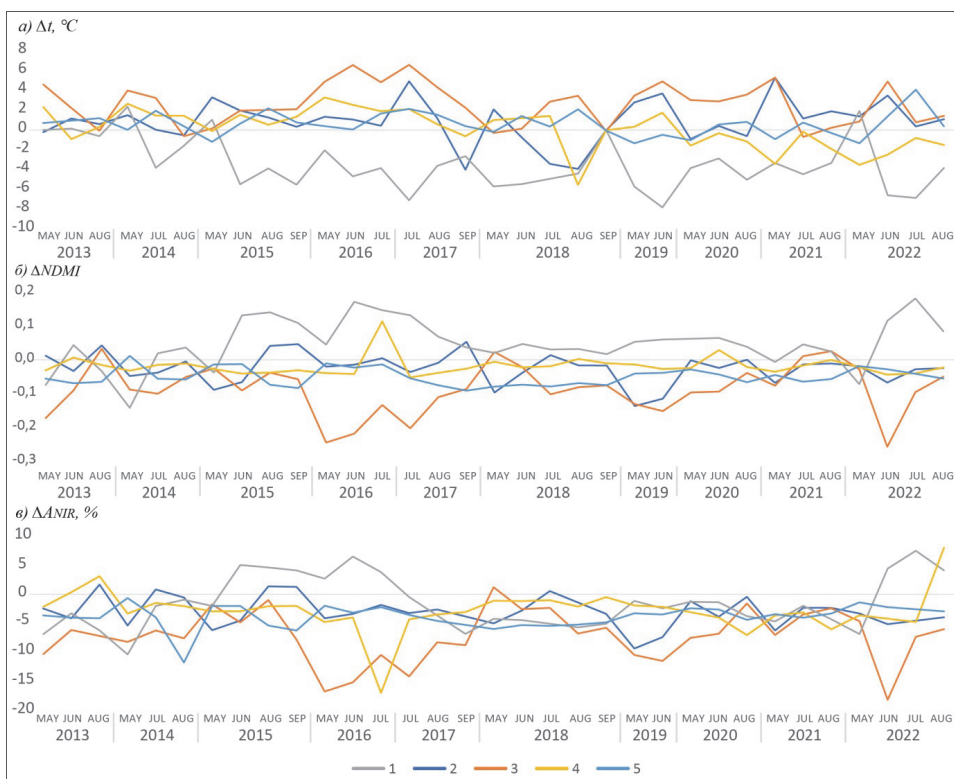


Рис. 2. Динамика разности значений средобразующих параметров на парных ключевых участках за период с 2013 по 2022 г.: а – разность температур подстилающей поверхности, б – разность значений нормализованного относительного индекса содержания влаги в растительности (NDMI), в – разность значений альbedo поверхности;
 1 – $\Delta X_{ку1}$, 2 – $\Delta X_{ку2}$, 3 – $\Delta X_{ку3}$, 4 – $\Delta X_{ку4}$, 5 – $\Delta X_{ку5}$

Кроме того, в паре КУ4ПТ – КУ4Э в период с 2020 по 2022 г. и в 2018 г. значение температуры поверхности на участках с техногенным воздействием также ниже, чем на эталонном участке. Причины таких колебаний будут изучаться дополнительно.

Разность значений содержания влаги в растительности для большей части исследуемого периода отрицательна для всех пар участков, кроме первой. Среднее значение разности составляет $-0,02$. Можно утверждать, что увлажненность поверхности на участках с природно-техногенными геосистемами в среднем ниже, чем на парных им эталонных участках (рис. 4).

Разность значений альbedo поверхности для большей части исследуемого периода отрицательна для всех пар участков. Среднее значение разности составляет $3,3\%$. Это значит, что альbedo поверхности на участках с природно-техногенными геосистемами в среднем ниже, чем на парных им эталонных участках (рис. 5).

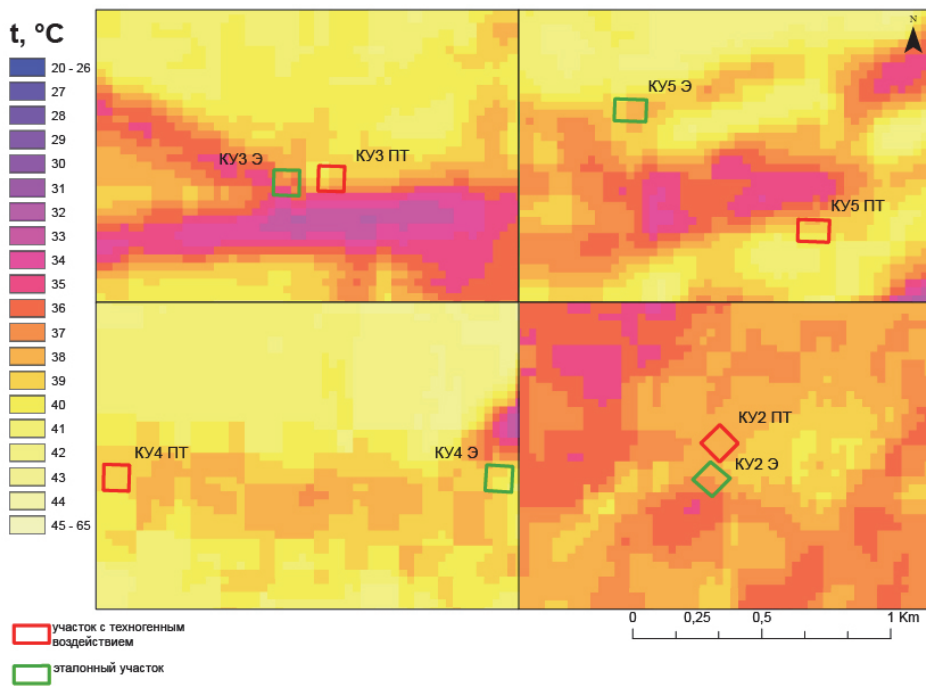


Рис. 3. Среднее значение температуры поверхности ландшафта за вегетационные периоды 2013–2022 гг. на ключевых участках КУ2-КУ5

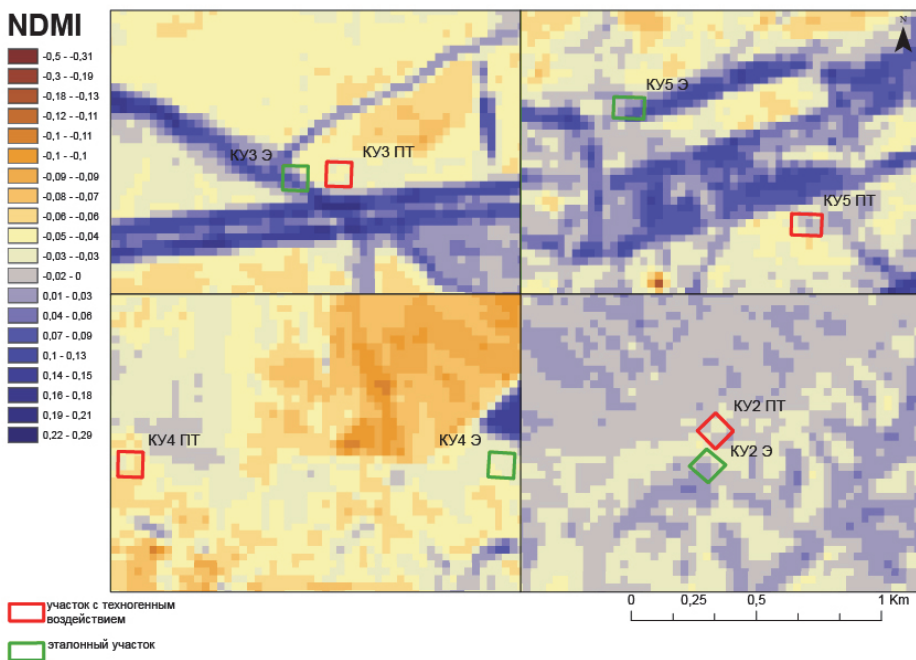


Рис. 4. Среднее значение индекса содержания влаги в растительности за вегетационные периоды 2013–2022 гг. на ключевых участках КУ2-КУ5

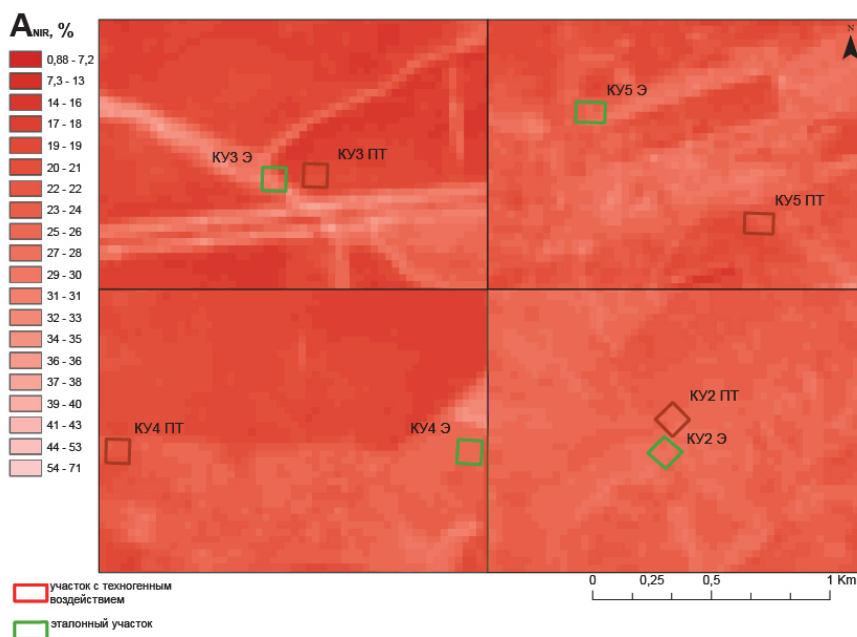


Рис. 5. Средне значение альbedo поверхности за вегетационные периоды 2013–2022 гг. на ключевых участках КУ2–КУ5

Такое изменение альbedo ожидаемо и отражает изменение почвенно-растительного покрова техногенной геосистемы в сравнении с исходной.

Результаты полевых и дистанционных исследований показали, что на участках с техногенным воздействием наблюдаются изменения главных составляющих функционирования исходных геосистем – влагооборота, температурного баланса, радиационного баланса, наряду с трансформацией растительного покрова. Выявленные последствия – новые характеристики средообразующих параметров, встроившись в цепочку прямых и обратных связей в природно-техногенной геосистеме, могут вызывать следующую цепочку изменений. Например, снижение альbedo увеличивает температуры ландшафта и приземного слоя атмосферы [Байкова, 2006; Ocean surface albedo..., 2006]; снижение объема наземной фитомассы, помимо влияния на температурно-влажностный баланс, приводит к снижению способности растительного покрова поглощать атмосферные загрязнители [Hill, 1971; De Carvalho, Szlafsztejn, 2019]. Кроме того, на участках природно-техногенных геосистем происходит внедрение новых энергетических потоков – антропогенного шума, поглощение которого также во многом зависит от состояния растительного покрова [Tashakor, 2021]. Именно на открытых степных пространствах негативное влияние шумового воздействия усиливается безлесностью: заслон древесно-кустарниковой растительности способен значительно снизить шумовое воздействие посредством поглощения звуковых волн [Margaritis, Kang, 2016]. При этом доказано, что постоянное акустическое воздействие приводит к многочисленным нарушениям в функционировании эндокринной

и вегетативной нервных систем млекопитающих [Goines, Hagler, 2007]. Шум работающих агрегатов нефтегазодобычи действует как значительный стрессовый фактор, способствуя потере условий обитания и локального снижения биоразнообразия [Swaddle, Page, 2007; Ortega, 2012].

В нашем исследовании в четырех случаях из пяти рассматривались природно-техногенные геосистемы месторождений низшего иерархического уровня – геосистемы скважин. Распространение таких элементарных единиц глобальной природно-техногенной геосистемы месторождения (или сети месторождений) носит диффузный характер, образуя сеть очагов трансформации на обширных территориях. Формируется специфическое пространство техногенного влияния, характеризующееся наложением, пересечением, совмещением зон воздействия объектов нефтегазодобывающего производства. А как известно, локальные изменения климатообразующих параметров и биоразнообразия способны выстраиваться в цепочку, вызывая более масштабные последствия на более высоких геосистемных уровнях [Тишков, 2011; Karl, Trenberth, 2003].

Безусловно, предполагаемые исследования – лишь часть оценки (в части регулирования климата и атмосферы) текущего состояния средообразующих функций трансформированных степных геосистем. Однако даже выполненная в такой форме, она предоставляет полезную начальную информацию для принятия решений по планированию хозяйственной деятельности на нефтегазонасыщенных территориях. Основополагающий вывод заключается в том, что имеет место экологический конфликт, связанный с регулируемыми средообразующими функциями окружающей среды – вид экологических конфликтов, набирающих остроту в последнее время, наряду с ресурсными экологическими конфликтами [Социально-экономические аспекты ... , 2010].

Учитывая масштабность и длительность разработки российских месторождений углеводородного сырья, предлагаемые исследования призваны помочь органам и лицам, принимающим решения, в решении этого конфликта.

Заключение

Совокупность результатов полевых и дистанционных исследований показывает изменения характеристик средообразующих параметров степных геосистем Волго-Уральского региона при формировании природно-техногенных геосистем нефтяных месторождений: изменения температуры и альбедо земной поверхности, изменения относительной влажности почвы и атмосферы. 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. Для минимизации рисков формирования новых региональных и глобальных эколого-экономических конфликтов, связанных со средообразующими функциями геосистем, необходимы регулярный и импактный мониторинг ситуации в природно-техногенных геосистемах и разработка научно обоснованных оптимизационных решений.

Список литературы

Байкова И. М. Динамика современных изменений альbedo подстилающей поверхности территории России: Анализ эмпирических данных и связь их с изменением климата : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук : 25.00.30. СПб., 2006. 66 с.

Калинин Н. А., Шкляев В. А., Исаков С. В. Применение данных спутников Landsat для определения динамики изменения структуры землепользования и дифференциального альbedo территории // *Оптика атмосферы и океана*. 2018. Т. 31, № 7. С. 530–536. <https://doi.org/10.15372/AOO20180705>.

Мячина К.В. Геоэкологические аспекты оптимизации степных ландшафтов в условиях разработки нефтегазовых месторождений. М. : Медиа-Пресс, 2020. 216 с.

Социально-экономические аспекты экологических конфликтов / С. Н. Бобылев, С. В. Соловьева, К. С. Ситкина, П. А. Кирюшин // *Вестник Московского университета. Серия 6, Экономика*. 2010. № 2. С. 46–53.

Тишков А. А. Биогеографические последствия природных и антропогенных изменений климата // *Успехи современной биологии*. 2011. Т. 131, № 4. С. 356–366.

Тишков А. А. Биосферные функции и экосистемные услуги ландшафтов степной зоны России // *Аридные экосистемы*. 2010. Т. 16, № 1(41). С. 5–15.

Экосистемные услуги России: Прототип национального доклада. Услуги наземных экосистем / ред.-сост.: Е. Н. Букварева, Д. Г. Замолдчиков. М. : Изд-во Центра охраны дикой природы, 2016. Т. 1. 148 с.

De Carvalho R. M., Szlafsztein C. F. Urban vegetation loss and ecosystem services: The influence on climate regulation and noise and air pollution // *Environmental Pollution*. 2019. Vol. 245. P. 844–852. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.114>

Evaluation of the spatial variability of ecosystem services and natural capital: the urban land cover change impacts on carbon stocks / E. C. Borges [et al.] // *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 2021. Vol. 28, N 4. P. 339–349. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1817810>.

Goines L., Hagler L. Noise pollution: a modern plague // *Southern medical journal – Birmingham Alabama*. 2007. Vol. 100, N 3. P. 287–294. <https://doi.org/10.1097/smj.0b013e3180318be5>

Hill A. C. Vegetation: a sink for atmospheric pollutants // *Journal of the Air Pollution Control Association*. 1971. Vol. 21, N 6. P. 341–346. <https://doi.org/10.1080/00022470.1971.10469535>

Hosseini Chamani F., Farrokhan Firouzi A., Amerykhan H. Pedotransfer Function (PTF) for Estimation Soil moisture using NDVI, land surface temperature (LST) and normalized moisture (NDMI) indices // *Journal of Water and Soil Conservation*. 2019. Vol. 26, N 4. P. 239–254. <https://doi.org/10.22069/JWSC.2019.15306.3053>.

Karl T. R., Trenberth K. E. Modern global climate change // *Science*. 2003. Vol. 302, N 5651. P. 1719–1723. <https://doi.org/10.1126/science.1090228>.

Margaritis E., Kang J. Relationship between green space-related morphology and noise pollution // *Ecological Indicators*. 2016. Vol. 72. P. 921–933. <https://doi.org/10.1016/j.ecoind.2016.09.032>

Ocean surface albedo and its impact on radiation balance in climate models / J. Li [et al.] // *Journal of climate*. 2006. Vol. 19(24). P. 6314–6333. <https://doi.org/10.1175/JCLI3973.1>

Ortega C. P. Effects of noise pollution on birds: a brief review of our knowledge // *Ornithological Monographs*. 2012. Vol. 2012(74). P. 6–22. <https://doi.org/10.1525/om.2012.74.L6>.

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. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.09.017>

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. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00274-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00274-7)

Swaddle J. P., Page L. C. High levels of environmental noise erode pair preferences in zebra finches: implications for noise pollution // *Animal Behaviour*. 2007. Vol. 74, N 3. P. 363–368. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.01.004>

Tashakor S., Chamani A. Temporal variability of noise pollution attenuation by vegetation in urban parks // *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28. P. 23143–23151. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12355-5>

References

Bajkova I. M. *Dinamika sovremennyh izmenenij albedo podstilajushhej poverhnosti territorii Rossii: Analiz jempiricheskikh dannyh i svjaz ih s izmeneniem klimata* [Dynamics of modern changes in the albedo of the underlying surface of the territory of Russia: Analysis of empirical data and their connection with climate change]. Dr. dis. sci. abstr. Saint Peterburg, 2006, 66 p. (in Russian)

Kalinin N.A., Shkljaev V.A., Isakov S.V. Primenenie dannyh sputnikov Landsat dlja opredelenija dinamiki izmenenija struktury zemlepolzovaniya i differencialnogo al'bedo territorii [Application of data from Landsat satellites to determine the dynamics of changes in the structure of land use and the differential albedo of the territory]. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics], 2018, vol. 31, no 7, pp. 530–536. <https://doi.org/10.15372/AOO20180705> (in Russian)

Mjachina K.V. *Geojekologicheskie aspekty optimizacii stepnyh landshaftov v uslovijah razrabotki neftegazovyh mestorozhdenij* [Geoecological aspects of optimization of steppe landscapes in the conditions of development of oil and gas fields]. Moscow, Media-Press Publ., 2020, 216 p. (in Russian)

Bobylev S.N., Solov'eva S.V., Sitkina K.S., Kirjushin P.A. Socialno-jekonomicheskie aspekty jekologicheskikh konfliktov Bobylev [Socio-economic aspects of environmental conflicts]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6, Jekonomika* [Bulletin of Moscow University. Series 6, Economy], 2010, no. 2, pp. 46–53. (in Russian)

Tishkov A.A. Biogeograficheskie posledstvija prirodnyh i antropogennyh izmenenij klimata [Biogeographic consequences of natural and anthropogenic climate change]. *Uspehi sovremennoj biologii* [Advances in modern biology], 2011, vol. 131, no. 4, pp. 356–366. (in Russian)

Tishkov A.A. Biosfernye funkcii i jekosistemnye uslugi landshaftov stepnoj zony Rossii [Biosphere functions and ecosystem services of the landscapes of the steppe zone of Russia]. *Aridnye jekosistemy* [Arid ecosystems], 2010, vol. 16, no. 1 (41), pp. 5–15. (in Russian)

Jekosistemnye uslugi Rossii: Prototip nacionalnogo doklada. Uslugi nazemnyh jekosistem. [Ecosystem services in Russia: A Prototype of a National Report. Terrestrial ecosystem services]. Ed. by E.N. Bukvarjova, D.G. Zamolodchikov. Moscow, Centra ohrany dikoj prirody Publ., 2016, vol. 1, 148 p. (in Russian)

De Carvalho R. M., Szlafsztein C. F. Urban vegetation loss and ecosystem services: The influence on climate regulation and noise and air pollution. *Environmental Pollution*, 2019, vol. 245, pp. 844–852. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.10.114>

Borges E.C. et al. Evaluation of the spatial variability of ecosystem services and natural capital: the urban land cover change impacts on carbon stocks. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 2021, vol. 28, no. 4, pp. 339–349. <https://doi.org/10.1080/13504509.2020.1817810>

Goines L., Hagler L. Noise pollution: a modern plague. *Southern medical journal – Birmingham Alabama*, 2007, vol. 100, no. 3, pp. 287–294. <https://doi.org/10.1097/smj.0b013e3180318be5>.

Hill A.C. Vegetation: a sink for atmospheric pollutants. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 1971, vol. 21, no. 6, pp. 341–346. <https://doi.org/10.1080/00022470.1971.10469535>

Hosseini Chamani F., Farrokhan Firouzi A., Amerykhah H. Pedotransfer Function (PTF) for Estimation Soil moisture using NDVI, land surface temperature (LST) and normalized moisture (NDMI) indices. *Journal of Water and Soil Conservation*, 2019, vol. 26, no. 4, pp. 239–254. <https://doi.org/10.22069/JWSC.2019.15306.3053>

Karl T.R., Trenberth K.E. Modern global climate change. *Science*, 2003, vol. 302, no. 5651, pp. 1719–1723. <https://doi.org/10.1126/science.1090228>

Margaritis E., Kang J. Relationship between green space-related morphology and noise pollution. *Ecological Indicators*, 2016, vol. 72, pp. 921–933. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.09.032>

Li J. et al. Ocean surface albedo and its impact on radiation balance in climate models. *Journal of climate*, 2006, vol. 19 (24), pp. 6314–6333. <https://doi.org/10.1175/JCLI3973.1>

Ortega C.P. Effects of noise pollution on birds: a brief review of our knowledge. *Ornithological Monographs*, 2012, vol. 2012 (74), pp. 6–22. <https://doi.org/10.1525/om.2012.74.L6>

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, pp. 158–166. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.09.017>

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, pp. 213–224. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00274-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00274-7)

Swaddle J.P., Page L.C. High levels of environmental noise erode pair preferences in zebra finches: implications for noise pollution. *Animal Behaviour*, 2007, vol. 74, no. 3, pp. 363–368. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.01.004>

Tashakor S., Chamani A. Temporal variability of noise pollution attenuation by vegetation in urban parks. *Environmental Science and Pollution Research*, 2021, vol. 28, pp. 23143–23151. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12355-5>

Сведения об авторах

Мячина Ксения Викторовна

доктор географических наук,
ведущий научный сотрудник, заведующий,
отдел природно-техногенных геосистем
Институт степи УрО РАН
Россия, 460000, г.Оренбург, ул. Пионерская, 11
e-mail: mavicsen@list.ru

Дубровская Светлана Александровна

кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
Институт степи УрО РАН
Россия, 460000, г.Оренбург, ул. Пионерская, 11
e-mail: skaverina@bk.ru

Ряхов Роман Васильевич

научный сотрудник
Институт степи УрО РАН
Россия, 460000, г.Оренбург, ул. Пионерская, 11
e-mail: remus.rv@gmail.com

Щавелев Антон Николаевич

младший научный сотрудник
Институт степи УрО РАН
Россия, 460000, г.Оренбург, ул. Пионерская, 11
e-mail: ditmark12rus@gmail.com

Information about the authors

Myachina Ksenia Viktorovna

Doctor of Sciences (Geography),
Leading Researcher Scientist, Head,
Natural-Technogenic Geosystems Department
Institute of Steppe UB RAS
11, Pionerskaya st., Orenburg, 460000,
Russian Federation
e-mail: mavicsen@list.ru

Dubrovskaya Svetlana Aleksandrovna

Kandidate of Sciences (Geography),
Senior Researcher Scientist
Institute of Steppe UB RAS
11, Pionerskaya st., Orenburg, 460000,
Russian Federation
e-mail: skaverina@bk.ru

Ryakhov Roman Vasilyevich

Researcher Scientist
Institute of Steppe UB RAS
11, Pionerskaya st., Orenburg, 460000,
Russian Federation
e-mail: remus.rv@gmail.com

Shchavalev Anton Nikolaevich

Junior Researcher Scientist
Institute of Steppe UB RAS
11, Pionerskaya st., Orenburg, 460000,
Russian Federation
e-mail: ditmark12rus@gmail.com

Код научной специальности: 1.6.21

Статья поступила в редакцию 11.09.2023; одобрена после рецензирования 09.10.2023; принята к публикации 05.12.2023

The article was submitted September, 11, 2023; approved after reviewing October, 09, 2023; accepted for publication December, 05, 2023