

## ПУТИ ЭКОЛОГИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ В ТРАНСГРАНИЧНЫХ СУХОСТЕПНЫХ ЛАНДШАФТАХ КУЛУНДЫ

© 2024 Б. А. Краснаярова<sup>1</sup> \*, И. В. Орлова<sup>1</sup>, Т. Г. Плуталова<sup>1</sup>, С. Н. Шарабарина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия

\*e-mail: bella@iwep.ru

Поступила в редакцию 18.08.2023 г.

После доработки 22.12.2023 г.

Принята к публикации 26.12.2023 г.

Засушливые территории подвержены процессам деградации, обусловленным природными и антропогенными факторами, среди последних по масштабу и продолжительности воздействия выделяется сельскохозяйственная деятельность. Включение эколого-ландшафтных принципов в систему стратегического управления землепользованием направлено на достижение целей устойчивого развития трансграничной территории как единой социально-экологической системы при соблюдении экологических норм и учете устойчивости ландшафтов к сельскохозяйственным нагрузкам. Проведено исследование засушливых ландшафтов Российско-Казахстанского трансграничья (Кулундинская равнина) с использованием эколого-ландшафтного и системного подходов, инструментов дистанционного зондирования и ландшафтного планирования. Установлена асимметричность развития Кулунды: с российской стороны продолжает превалировать растениеводство с доминированием зерновых культур, с казахстанской – возобновилось преобладание животноводства, традиционного для степных пространств Евразии, при сокращении площади пашни. Выявлено, что 75% площади изучаемой территории занимают малоустойчивые ландшафты; неустойчивые к сельскохозяйственному воздействию – 17%; относительно устойчивые – лишь 8% территории. Для неустойчивых ландшафтов, которые нецелесообразно вовлекать в сельскохозяйственный оборот в силу их средорегулирующих, водоохраных и почвозащитных функций, предложена стратегия сохранения. Стратегия адаптации разрабатывается для малоустойчивых ландшафтов, которые рекомендуется использовать под пашню с доминированием многолетних трав и естественные кормовые угодья с проведением агротехнических и мелиоративных мероприятий. Для относительно устойчивых ландшафтов рекомендуется стратегия развития с применением зернопаровой почвозащитной системы земледелия. Внедрение данных стратегий позволит обеспечить единство инструментов управления на трансграничной территории, достичь компромисса между интенсивным использованием засушливых сельскохозяйственных земель и их сохранением.

**Ключевые слова:** засушливые ландшафты, сельскохозяйственное воздействие, устойчивое землепользование, стратегия землепользования, Российско-Казахстанское трансграничье, деградация земель

**DOI:** 10.31857/S2587556624010019, **EDN:** GLSZKQ

### ВВЕДЕНИЕ

Одна из крупнейших засушливых зон мира протянулась вдоль Российско-Казахстанской границы, занимая около 4% территории России и почти 30% – Казахстана<sup>1</sup> (Золотокрылин, Черенкова, 2009). С 1950-х годов эти территории интенсивно распаивались без учета устойчивости ландшафтов к земледельческому освоению. В результате площади деградированных

земель занимают значительную долю сельскохозяйственных угодий по обе стороны границы. Усугубляет ситуацию возрастающая аридизация климата (Доклад ..., 2022). К экологическим проблемам засушливой зоны Российско-Казахстанского трансграничья добавляются социально-экономические, обусловленные его периферийным положением, аграрной специализацией, разрывом хозяйственных связей после распада

<sup>1</sup> <https://www.gov.kz/article/19305?lang=ru> (дата обращения 17.07.2023).

СССР и слабой реализацией возможностей приграничья.

В научном сообществе звучат предложения рассматривать засушливые земли в качестве глобального экологического достояния, остро нуждающихся в обеспечении их устойчивости (Пространственное ..., 2019). Приводятся доказательства низкой эффективности современных механизмов управления засушливыми землями для предотвращения их деградации (Левыкин и др., 2020; van Ginkel et al., 2013). Это предопределило необходимость разработки адаптивных принципов управления засушливыми землями (Stringer et al., 2017), концепции нейтрального баланса деградации земель (Kust et al., 2017), докладов Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием и Межправительственной комиссии по изменению климата (IPCC) (Climate ..., 2019).

Достигнут определенный прогресс в использовании эколого-ландшафтных методов планирования сельскохозяйственного землепользования (Pearson and McAlpine, 2010), однако в основном изучались аспекты оптимизации территориального устройства с точки зрения функционального зонирования (Li et al., 2021). Другие исследования были сосредоточены на вопросах воздействия землепользования на ландшафты и окружающую среду (van Vliet et al., 2015), оценки устойчивости компонентов ландшафтов к сельскохозяйственным воздействиям (Mohamed et al., 2014), оценки качества и пригодности земель для использования в сельском хозяйстве, в том числе в засушливых регионах (Abd El-Aziz, 2018; Karimi et al., 2015).

Можно отметить успешный опыт внедрения в практику пространственного планирования принципов и целей устойчивого развития (Solly et al., 2020), методов экологической оценки (Campagna et al., 2018), однако трудности с внедрением экологических знаний в различные территориальные планы до конца не преодолены (Gu and Deal, 2018). Например, сохраняется некоторый разрыв между проводимыми обширными исследованиями под эгидой ландшафтной экологии и применением полученных знаний в практике пространственного планирования (Almenar et al., 2018). Недостаточно внимания уделялось и возможностям стратегического планирования аграрных территорий, расположенных в условиях трансграничности и прогрессирующего опустынивания (Rodriguez Lopez et al., 2019).

Настоящее исследование направлено на развитие идей устойчивого сельскохозяйственного землепользования и возможностей эколого-ландшафтного подхода в стратегическом планировании трансграничных засушливых территорий. Для этого мы рассматриваем Рос-

сийско-Казахстанскую трансграничную территорию как единую социально-экологическую систему, изучая ее природные особенности (ландшафтную структуру и динамику землепользования), население и его сельскохозяйственную деятельность, и предлагаем дифференциацию стратегий землепользования с учетом экологических норм и устойчивости ландшафтов.

## ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### *Объект исследования*

Рассмотрены муниципальные районы двух приграничных регионов: Алтайского края (АК) России и Павлодарской области (ПО) Республики Казахстан (рис. 1).

Российско-казахстанские приграничные регионы долгое время развивались в составе одного государства и имеют сходные проблемы природопользования и сопоставимый уровень сельскохозяйственного воздействия. После распада Советского Союза единая природная территория стала развиваться в различных институциональных условиях, что связано с разными векторами аграрной политики государств, значительным оттоком русского населения из Северного Казахстана и забрасыванием пахотных земель. Научный интерес представляет изучение функционирования систем землепользования по разные стороны государственной границы, их сравнительный анализ, выбор и реализация стратегии развития.

Приграничные районы Алтайского края и Павлодарской области расположены на территории Кулундинской равнины Обь-Иртышского междуречья в зоне сухой степи и характеризуются ультраконтинентальным географическим положением. Согласно Конвенции ООН по борьбе с опустыниванием (1994 г.), исследуемая территория относится к сухим субгумидным районам (коэффициент увлажнения К. Торнтвейта равен 0.5–0.65).

### *Алгоритм исследования*

Алгоритм исследования предусматривает пять основных этапов стратегического пространственного планирования (рис. 2). Их реализация способствует не только сохранению ландшафтов, но и достижению единства политических экологических инструментов управления, направленных на предотвращение деградации засушливых земель в трансграничных условиях. Реализуя этот алгоритм, можно проследить взаимосвязи между природной основой сельскохозяйственного землепользования (этап 1), социально-экономической и институциональной структурой, формирующей систему землепользования (этап 2) и результатом

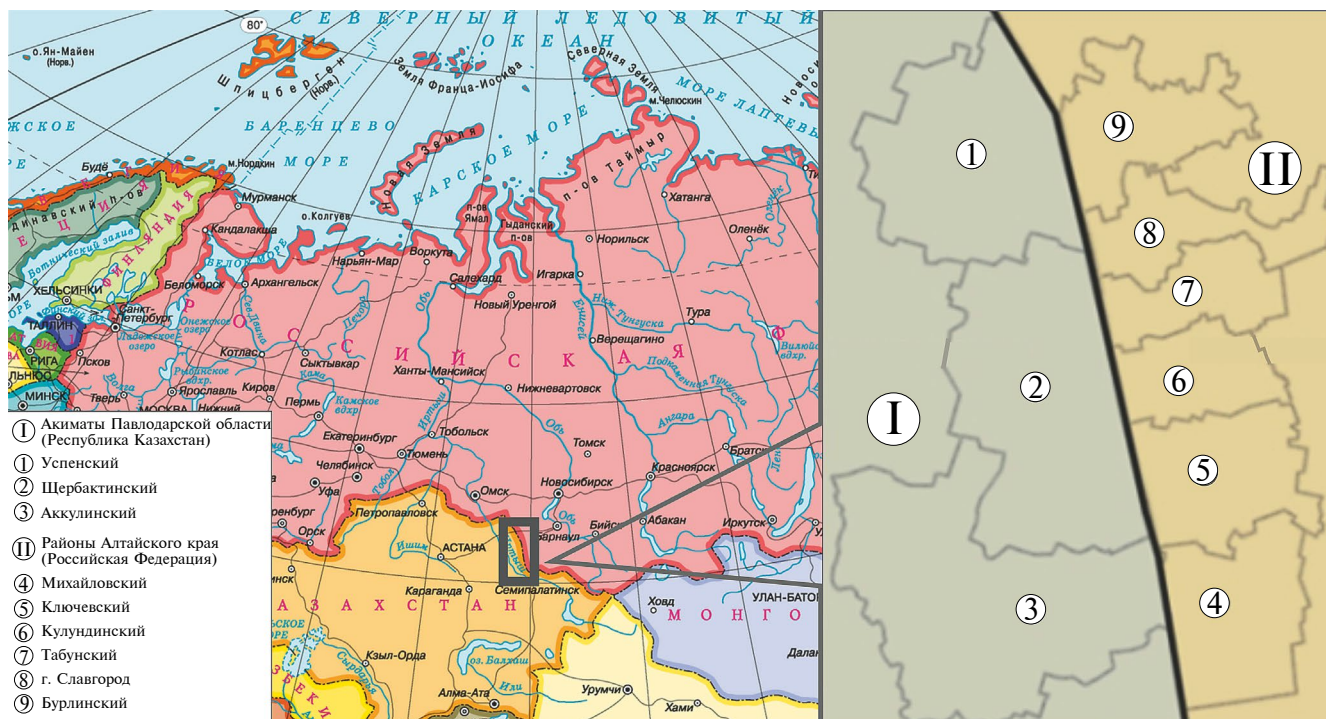


Рис. 1. Географическое положение объекта исследования.



Рис. 2. Концептуальная схема исследования.

их взаимодействия в виде экологических изменений (этап 3), перейти к проектированию экологоприемлемой структуры землепользования на основе оценки устойчивости засушливых ландшафтов (этап 4) и разработке стратегий сельскохозяйственного землепользования с учетом целей аграрного развития и сохранения экологического баланса по обе стороны границы (этап 5). Данный подход реализован для трансграничной территории Кулунды.

В основе исследования лежит ландшафтный подход — теоретическая концепция об объективных закономерностях дифференциации природной среды как совокупности иерархически организованных ландшафтов. Изучаемая территория — Кулундинская равнина, коренные ландшафты которой значительно преобразованы аграрной деятельностью.

Для уточнения современной структуры и динамики использования ландшафтов изучаемого региона использованы свободно распространяемые данные спутников серии Landsat (USGS Global Visualization Viewer<sup>2</sup>). Классификация объектов проведена по алгоритму “контролируемой классификации” (с обучением) по правилу максимального правдоподобия для комбинации каналов. Обучающие выборки для классификации создавались с помощью выделения областей интереса, границы которых были отмечены в полевых условиях с помощью GPS. Для каждого класса определялось до 30 ключевых участков, число эталонов — 140 (Плуталова, 2018).

При обработке социально-экономической информации по муниципалитетам, данных о структуре землепользования и показателей плодородия почв использованы аналитический и математико-статистические методы. Для визуализации результатов исследования и составления оценочных карт применялись средства ArcGIS Desktop 10.2 и QGIS Desktop 3.12. Исходными материалами послужили опубликованные данные российских и казахстанских профильных ведомств, литературные источники, спутниковые снимки, находящиеся в свободном доступе (см. рис. 2).

#### *Оценка устойчивости ландшафтов к сельскохозяйственному воздействию и экологическое нормирование*

При оценке устойчивости ландшафтов к сельскохозяйственному воздействию (способность противостоять внешним воздействиям и восстанавливать свои свойства) использованы методические подходы, основанные на методах нормирования отдельных показателей с последующим суммированием по балльной системе (табл. 1) (Орлова, 2014), что позволило сгруппи-

ровать ландшафты в однородные группы по степени общей устойчивости:

$$C = \frac{100 \sum_{g=1}^n C_g}{Q},$$

где  $C$  — оценка потенциальной природной устойчивости ландшафта к сельскохозяйственному воздействию;  $C_g$  — балльная оценка по  $g$ -ому показателю;  $Q$  — максимально возможная сумма баллов;  $g$  — порядковый номер показателя;  $n$  — количество показателей/признаков.

Данная методика И.В. Орловой была апробирована многими авторами (Байкалова и др., 2016; Озгелдинова и др., 2020; Kuderin et al., 2019) и подтвердила эффективность ее применения в разных регионах (предгорных алтайских районах, южном Казахстане, бассейне р. Сарысу и др.).

Картографической основой оценки являлись материалы ландшафтной (1980 г.) и почвенной (1983 г.) карт СССР, уточненные по данным почвенных обследований сельхозпредприятий (выполненные АлтайНИИГипрозем) и натурных наблюдений авторов.

Экологическое нормирование и определение экологических ограничений использования агроландшафтов основано на оценке допустимых и критических нагрузок на окружающую среду (таких, как нагрузка скота на пастбищные угодья, загрязненность почв минеральными удобрениями, степень распаханности, лесистости, сельскохозяйственной преобразованности территории и т.д.). Под допустимой понимают такую нагрузку, при которой отклонение от нормального состояния системы не превышает естественных изменений и не ведет к ухудшению качества среды (Израэль, 1984). Для оптимизации структуры землепользования разрабатываются предложения экологоприемлемого соотношения площади средообразующих и антропогенно преобразованных экосистем, которое будет способствовать сохранению экологического баланса (Одум, 1986). Для изучаемой территории использованы оптимальные параметры структуры земельных угодий (Одум, 1986; Реймерс, 1994) с учетом региональной специфики степной зоны (Орлова, 2014; Парамонов, Симоненко, 2007) (табл. 2).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Ландшафтная структура территории и изменения структуры землепользования*

Исследуемая территория относится к степному типу равнинных ландшафтов суббореальной континентальной группы, большая часть (80%) — к сухостепному подтипу (Ландшафтная ..., 1980).

<sup>2</sup> USGS Global Visualization Viewer. <http://glovis.usgs.gov/> (дата обращения 10.02.2020).

**Таблица 1.** Шкала оценки потенциальной устойчивости ландшафтов к сельскохозяйственному воздействию

| Почвенно-ландшафтный показатель                                                      | 0 баллов                                      | 1 балл                                  | 2 балла                                           | 3 балла                         | 4 балла                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Геохимическое положение ландшафта                                                    | аккумулятивное                                | трансаккумулятивное                     | транзитное                                        | трансэлювиальное                | элювиальное                          |
| Степень естественной дренированности ландшафта                                       | бессточная                                    | —                                       | слабо дренированная                               | —                               | хорошо дренированная                 |
| Степень гидроморфности почв                                                          | гидроморфные                                  | —                                       | полугидроморфные                                  | —                               | автоморфные                          |
| Объемная масса почвы, г/см <sup>3</sup>                                              | >1.6                                          | 1.5–1.6                                 | 1.3–1.4                                           | 1.0–1.2                         | 0.8–1.0                              |
| Механический состав почвы                                                            | песок                                         | супесь                                  | легкий суглинок                                   | средний суглинок                | тяжелый суглинок, глина              |
| Тип водного режима                                                                   | десуктивно-выпотной                           | выпотной                                | непромывной                                       | периодически промывной          | промывной                            |
| Мощность гумусово-аккумулятивного горизонта (A + AB), см                             | <3                                            | 3–9                                     | 10–25                                             | 26–80                           | >80                                  |
| Содержание гумуса в слое 0–20 см, %                                                  | <2                                            | слабогумусированная (2–4)               | малогумусная (4.1–6)                              | среднегумусная (6.1–9)          | тучная (>9)                          |
| Кислотность почвенного раствора (рН <sub>вод</sub> )                                 | сильнокислая (<4.5) или сильнощелочная (>8.6) | кислая (4.5–5.0) или щелочная (7.6–8.5) | слабокислая (5.1–5.5) или слабощелочная (7.0–7.5) | близкая к нейтральной (5.6–6.0) | нейтральная (6.1–7.0)                |
| Емкость катионного поглощения (обмена), мг.-экв./100 г почвы                         | низкая (<10)                                  | 10–20                                   | средняя (21–30)                                   | 31–40                           | высокая (>40)                        |
| Степень насыщенности почвенных коллоидов основаниями, %                              | <20                                           | 20–40                                   | 41–60                                             | 61–80                           | >80                                  |
| Степень засоленности (содержание солей в верхнем горизонте, %)                       | очень сильная и сильная (>0.6)                | средняя (0.31–0.6)                      | слабая (0.21–0.3)                                 | очень слабая (0.15–0.2)         | не засолены (<0.15)                  |
| Водно-физические свойства почв                                                       | весьма неудовлетворительные                   | неудовлетворительные                    | удовлетворительные                                | хорошие                         | благоприятные и весьма благоприятные |
| Покрытая растительностью площадь, %                                                  | непокрытая                                    | слабопокрытая (<30)                     | среднепокрытая (31–60)                            | сильнопокрытая                  | сплошь покрытая (>90)                |
| Интенсивность биологического круговорота (отношение мортмассы к ежегодному приросту) | очень слабая (>15)                            | слабая (15–6.1)                         | средняя (6–2.6)                                   | сильная (2.5–1)                 | очень сильная (<1)                   |

**Таблица 2.** Экологические параметры сельскохозяйственных воздействий на природные системы в степной зоне

| Показатель                                                          | Верхний экологический предел сельскохозяйственной нагрузки             | Оптимальная норма сельскохозяйственной нагрузки                            |
|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Доля природных (естественных) ландшафтов в общей площади территории | ≥35–40%                                                                | ≥60%                                                                       |
| Доля пашни в площади сельхозугодий                                  | ≤60%                                                                   | ≤40–45%                                                                    |
| Доля многолетних трав в площади пашни                               | ≥25–30%                                                                | 30–50%                                                                     |
| Доля кормовых угодий в площади сельхозугодий                        | ≥30%                                                                   | 50–70%                                                                     |
| Доля лесных площадей в общей площади                                | ≥10–15%                                                                | 15–30%                                                                     |
| Доля полезащитных лесополос в площади пашни                         | ≥5–6%                                                                  | ≥7%                                                                        |
| Доля орошаемых земель в площади сельхозугодий                       | ≤20% в сухой и полусухой зонах; ≤15% в засушливой и полусушливой зонах | 15–20% в сухой и полусухой зонах; 10–15% в засушливой и полусушливой зонах |
| Внесение органических удобрений (навоз)                             | ≥9–10 т/га                                                             | 40–70 т/га                                                                 |
| Внесение минеральных удобрений                                      | ≥15–20 кг/га P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; ≥1 ц/га нитроаммофоса     | Устанавливается специалистом агрономом                                     |
| Внесение пестицидов                                                 | ≤1.3 кг д.в./га                                                        | Весьма нежелательно                                                        |
| Нагрузка крупного рогатого скота (КРС)                              | ≥1 га пастбищ на 1 усл. голову                                         | ≥2 га пастбищ на 1 условную голову                                         |
| Нагрузка мелкого рогатого скота                                     | ≥2 га пастбищ на 1 голову                                              | От 2 до 5 га пастбищ на 1 голову                                           |
| Нагрузка свиней                                                     | ≥2 га с/х угодий на 1 голову                                           | ≥10 га с/х угодий на 1 голову                                              |
| Нагрузка домашней птицы                                             | ≥0.3 га с/х угодий на 1 голову                                         | От 0.3 до 2 га с/х угодий на 1 голову                                      |
| Доля селитебных и техногенных территорий в общей площади территории | ≤10%                                                                   | 1–3%                                                                       |

Источник: (Орлова, 2014).

Результаты классификации и генерализации данных спутников серии Landsat (рис. 3) показали асимметричность развития Кулунды по разные стороны государственной границы: высокая распаханность российской части при высокой доле естественных пастбищ, сенокосов и залежей, занятых степной растительностью в Казахстане.

При дешифрировании дистанционных данных за 2000 и 2018 гг. выявлено сокращение распаханной площади и увеличение площадей с травянистой и древесно-кустарниковой растительностью по обе стороны границы. Наибольшее сокращение – на 10% – произошло в северной и южной частях Кулундинской равнины, занятых озерно-аллювиальными, эоловыми и лесовыми аккумулятивными и денудационными пластовыми типами ландшафтов. Это свидетельствует о некотором снижении сельскохозяйственной нагрузки и выводе из оборота наиболее деградированных земель; высокая распаханность сохраняется в центральной части.

*Социально-экономические изменения в землепользовании*

В процессе сравнительного анализа социально-экономических тенденций развития сельскохозяйственного землепользования по разные стороны Российско-Казахстанской границы установлены следующие тенденции (табл. 3).

**А. Сходства**

1. Формирование частной собственности на землю, основные землепользователи – сельскохозяйственные и крестьянско-фермерские хозяйства (КФХ) – занимают более 90% всех сельскохозяйственных угодий.
2. Ориентация практики управления на административные границы.
3. Общее сокращение сельскохозяйственных угодий, в том числе пашни (за 1991–2018 гг. в 1.5–2.5 раза).
4. Преобладание в структуре посевов зерновых культур: 55% в российской части Кулунды, 62% – в казахстанской. При этом в российском приграничье более чем в 2 раза по сравнению



с казахстанском выше доля технических культур (подсолнечника и сои), а в казахстанской — кормовых культур (на 5 п. п.).

5. Масштабное сокращение поголовья скота (КРС, свиньи, овцы) и в российской, и в казахстанской частях (в 2–3 раза по сравнению с 1990 г.).

## Б. Различия

1. Разная интенсивность сокращения сельскохозяйственной освоенности и распаханности: для казахстанской территории интенсивность сокращения площадей выше, а зерновая специализация сельского хозяйства сменилась

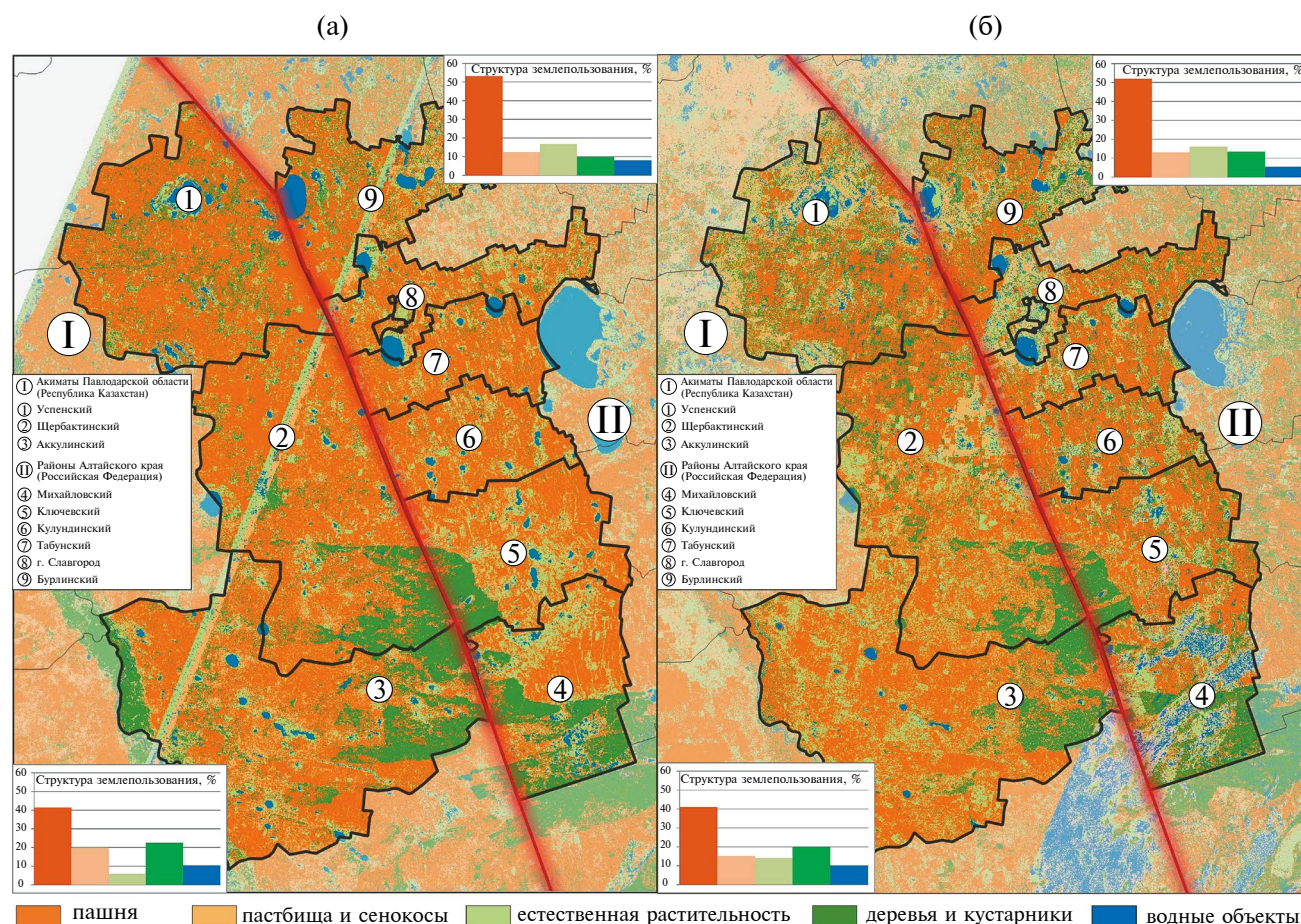


Рис. 3. Структура землепользования в 2000 (а) и 2018 (б) гг.

Таблица 3. Изменения в сельскохозяйственном землепользовании за 1991–2018 гг.

| Показатель                                                       | СССР, 1991 г.<br>(районы АК и ПО)                  | Россия, 2018 г.<br>(районы АК)                           | Казахстан, 2018 г.<br>(районы ПО)                                                 |
|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Доля трудоспособного населения, занятого в сельском хозяйстве, % | 20.4 (АК)<br>20 (ПО)                               | 10–20                                                    | 60–70                                                                             |
| Основные производители сельскохозяйственной продукции            | колхозы и совхозы                                  | сельскохозяйственные предприятия и хозяйства населения   | КФХ и хозяйства населения                                                         |
| Посевная площадь                                                 | 776.5 тыс. га (АК)<br>1048.3 тыс. га (ПО)          | 81.6% от уровня 1991 г.                                  | 39% от уровня 1991 г.                                                             |
| Урожайность (средняя за 5 лет) зерновых культур, ц/га            | 8.3<br>(1986–1990 гг.)                             | 8.6<br>(2014–2018 гг.)                                   | 8.4<br>(2014–2018 гг.)                                                            |
| Поголовье скота                                                  | АК 193 тыс. усл. голов<br>ПО 220.6 тыс. усл. голов | КРС, овцы — в 3, а свиньи — в 2 раза ниже уровня 1991 г. | КРС, свиньи — в 2 и овцы — в 3 раза ниже; лошади — в 1.3 раза выше уровня 1991 г. |

Рассчитано авторами на основе статистических данных.

животноводческой; для приграничной российской территории растениеводство осталось основным.

2. Рост доли продукции животноводства в структуре валовой продукции сельского хозяйства в казахстанской части Кулунды, растениеводства — в российской части.

3. Изменение форм хозяйствования: в Казахстане основными производителями растениеводческой продукции являются КФХ, в России — крупные сельхозпредприятия.

4. Позитивные изменения в развитии животноводства в 2000-е годы, при этом в российской части отмечено снижение доли сельхозорганизаций в производстве продукции животноводства и рост личных подсобных хозяйств; в казахстанской — увеличивается доля КФХ.

Сравнительный анализ систем землепользования показал разнонаправленность процессов трансформации по разные стороны границы. С российской стороны продолжает превалировать растениеводство с доминированием зерновых культур, с казахстанской — возобновилось преобладание животноводства, традиционного для степных пространств Евразии, при сокращении площади пашни. При этом сохраняется значимость личных подсобных хозяйств населения в производстве сельхозпродукции.

#### *Оценка потенциальной природной устойчивости ландшафтов*

На основе выбранных почвенно-ландшафтных показателей (см. табл. 1), характеризующих

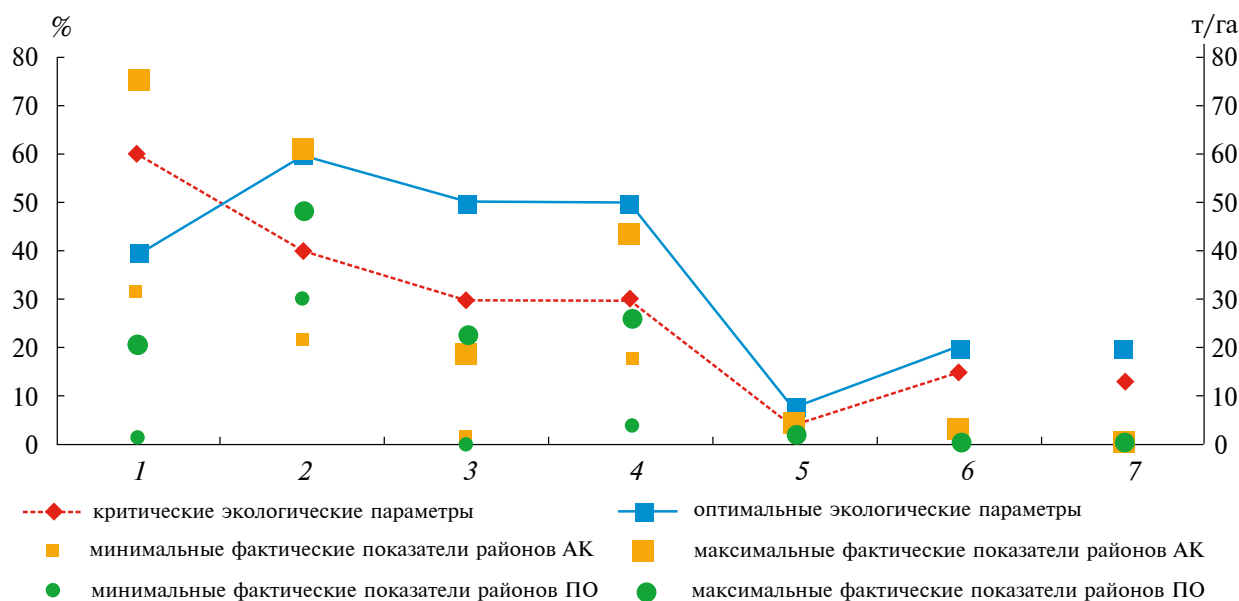
устойчивость засушливых ландшафтов к сельскохозяйственному воздействию, проведено их ранжирование по степени усиления или ослабления; выделены ландшафты неустойчивые, малоустойчивые, относительно устойчивые. Устойчивые ландшафты, способные выдержать большую сельскохозяйственную нагрузку, на данной территории отсутствуют.

Установлено, что основную часть исследуемой территории занимают ландшафты мало- и неустойчивые к сельскохозяйственному воздействию (75 и 17% площади соответственно) и требуется учет экологических ограничений (см. табл. 2) при осуществлении хозяйственной деятельности (Красноярова и др., 2019).

#### *Разработка стратегии землепользования на основе экологического нормирования и устойчивости природных систем*

Проведенный анализ показал несоответствие фактических показателей землепользования в российской и казахстанской частях Кулунды (рис. 4) экологическим параметрам предельно допустимых и оптимальных для степной зоны уровней сельскохозяйственной нагрузки (Одум, 1986; Парамонов, Симоненко, 2007; Реймерс, 1994) (см. табл. 2).

Превышение в одних случаях (площадь пашни в районах Алтайского края) или крайне низкие значения — в других (доля орошаемых земель или внесение удобрений) говорят о сельскохозяйственной нагрузке, ведущей к негативным экологическим последствиям (деградации



**Рис. 4.** Экологические параметры сельскохозяйственного воздействия в степной зоне.

*Примечание.* 1 — доля пашни от общей площади; 2 — доля природных ландшафтов в общей площади; 3 — доля многолетних трав от площади пашни; 4 — доля кормовых угодий от площади сельхозугодий; 5 — доля полезащитных лесополос от площади пашни; 6 — доля орошаемых земель от площади сельхозугодий; 7 — внесение органических удобрений, т/га в год.



пахотных и пастбищных угодий, засолению и загрязнению почв, опустыниванию земель и др.). Для изменения ситуации необходим пересмотр стратегии землепользования: уход от принципа “максимум прибыли – минимум издержек” в пользу эколого-ландшафтного земледелия и нормирования животноводческой нагрузки в соответствии с ландшафтной структурой территории и особенностями функционирования природных систем.

Для реализации данного подхода на основе проведенной оценки устойчивости ландшафтов и экологического нормирования (Красноярова и др., 2019) выделены зоны, требующие разных стратегий землепользования, отличающихся видами и интенсивностью сельскохозяйственного использования (рис. 5).

**Стратегия развития** рекомендуется для зоны с относительно устойчивыми к сельскохозяйственному воздействию ландшафтами (аллювиальные типы степных ландшафтов) с использованием под пашню с зернопаровой почвозащитной системой земледелия (в посевах преобладают зерновые продовольственные и фуражные культуры).

**Стратегия адаптации** разрабатывается для зоны с малоустойчивыми ландшафтами (большая часть рассматриваемой территории). Здесь вводятся ограничения на формы и интенсивность эксплуатации земель, направленные на снижение негативного воздействия. Рекомендуется использовать под пашню с высокой долей кормовых культур (многолетних трав) и естественные кормовые угодья (сенокосы и пастбища).

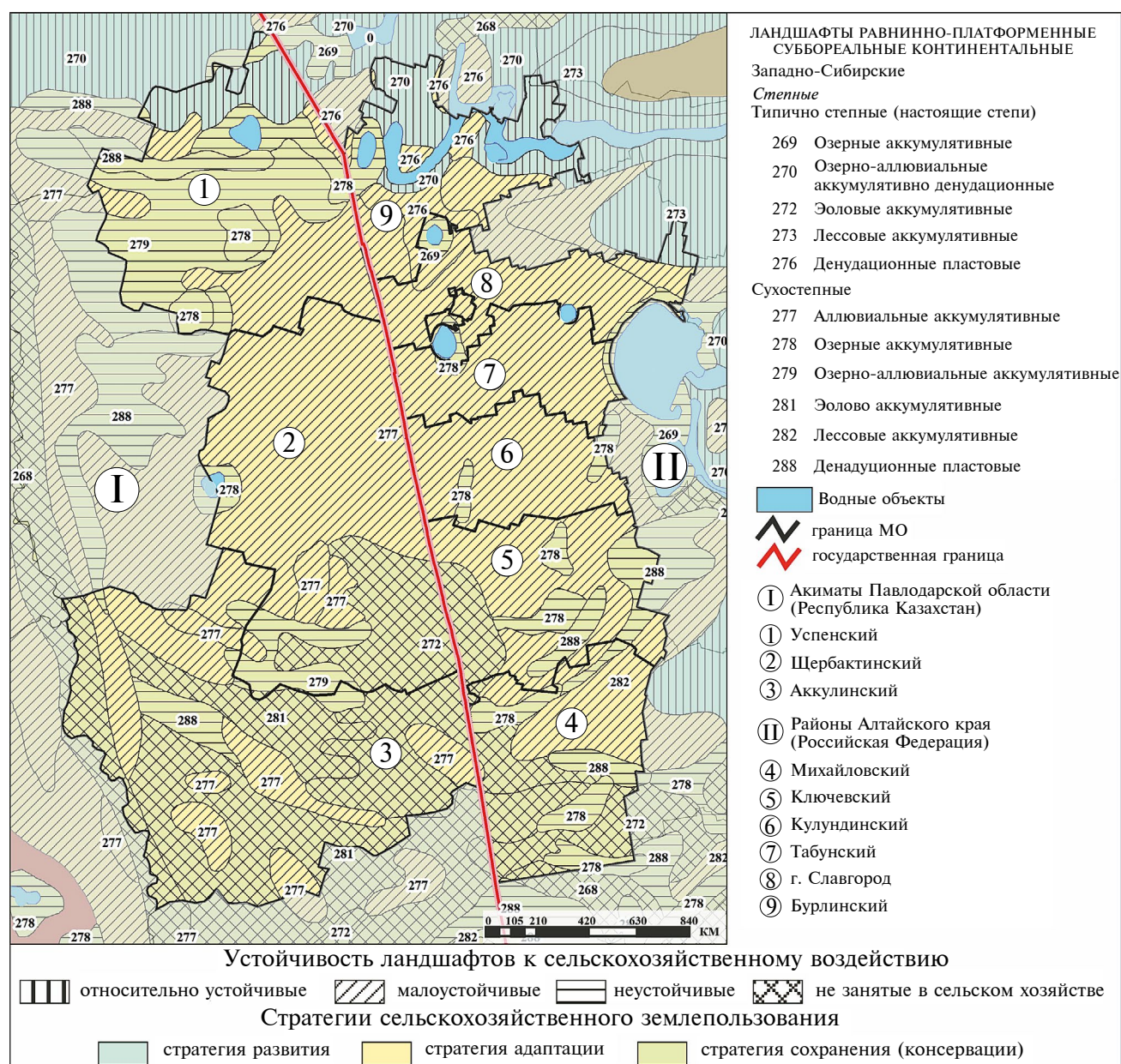


Рис. 5. Стратегии сельскохозяйственного землепользования Российско-Казахстанского трансграничья.

с проведением агротехнических и мелиоративных мероприятий.

**Стратегия сохранения (консервации)** рекомендуется для зоны неустойчивых ландшафтов с использованием земель в режиме сохранения; это приозерные территории с солонцами и солончаками, лесные массивы, заболоченные поймы рек. Данные ландшафты нецелесообразно вовлекать в сельскохозяйственный оборот в силу их средорегулирующих, водоохраных и почвозащитных функций. Допускается выборочное сенокосение.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследования показали, что инструменты стратегического планирования (ландшафтное планирование, функциональное зонирование, диагностический анализ и др.) имеют ряд особенностей/ограничений при их реализации для трансграничных территорий. В первую очередь это связано с различиями национальных систем управления и разными формами организации хозяйственной деятельности (Solly et al., 2020), что делает обеспечение устойчивого землепользования на трансграничных территориях более сложным. Другим важным аспектом является антропоцентрическая направленность и российских, и казахстанских стратегических документов, ориентированных на повышение уровня жизни местного населения и стимулирование социально-экономического развития территории в рамках современных реалий, без должного учета экологических ограничений.

Согласно основным стратегическим документам (План ..., 2022; Стратегия ..., 2019) в российских районах сохранится существующая специализация агрокомплекса: мясомолочное животноводство, производство зерна и масличных культур. Возможен значительный рост поголовья скота и производства молока, зерновых и технических культур. Сформулированные в этих документах положения, на наш взгляд, мало достижимы ввиду ограниченности кормовой базы данной территории. Следует сократить площадь под зерновыми и техническими культурами как почворазрушающими; увеличить посевы многолетних трав и площади под пастбищами, сократив животноводческую нагрузку, которая локализована и ведет к деградации пастбищ вокруг поселений, одновременно повысив объемы внесения удобрений до научно-обоснованных норм. Только в этом случае возможно достижение стратегических целей устойчивого развития этих территорий.

В приграничных районах Казахстана стратегические планы различаются: в Щербактинском районе акцент сделан на развитие мясного животноводства, в Успенском и Аккулинском райо-

нах — на молочное (План ..., 2021). Здесь отмечается рост орошаемых площадей и констатируется необходимость сохранения пастбищ как главного национального богатства (Устойчивое ..., 2010). При этом и в Казахстане вопросы сохранения и повышения продуктивности агроландшафтов в условиях сухой степи остаются актуальными.

И российская, и казахстанская системы землепользования не лишены недостатков, но с ландшафтно-экологической точки зрения тренды аграрного развития казахстанской части Кулунды после распада СССР можно рассматривать как более устойчивые в долгосрочной перспективе, чем на российской части. Однако существует риск того, что в силу обострения проблем продовольственной безопасности и прогнозируемого усиления засушливости климата сельскохозяйственная нагрузка на ландшафты будет усиливаться по обе стороны государственной границы. Так, уже сейчас наблюдается тенденция увеличения животноводческой нагрузки на ландшафты в казахстанских районах и возрастания доли зерновых и технических культур в структуре посевов — в российских. Это требует разработки мер по регулированию данных негативных процессов.

Включение эколого-ландшафтного планирования на основе экологического нормирования и оценок устойчивости ландшафта в документы территориального и стратегического планирования муниципального уровня может стать инструментом обеспечения устойчивого землепользования и предотвращения деградации земель, что согласуется с аналогичными выводами других авторов (Hamilton et al., 2015; Waas et al., 2014). Результаты такой оценки позволяют разрешить противоречие между ориентацией практики управления землепользованием на административные границы, игнорирующие специфику ландшафтной структуры территории, и способствуют выявлению уязвимых мест в социально-экологических системах засушливых земель (Bennett and Gosnell, 2015).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В поисках баланса между необходимостью развития аграрного производства и сохранения природных комплексов уязвимых засушливых земель в трансграничном регионе действенным механизмом может стать использование эколого-ландшафтных подходов в стратегическом планировании сельскохозяйственного землепользования. Рассмотрение трансграничной территории как единой геосистемы и дифференциация сельскохозяйственного воздействия на отдельные ландшафты с учетом их устойчивости позволит остановить или предотвратить процессы их деградации, поскольку развитие сельского

хозяйства в рамках экологоприемлемых ограничений позволит соблюдать определенный баланс между развитием и сохранением. Реализация предложенного подхода на примере сухостепных ландшафтов Российско-Казахстанского приграничья позволила получить следующие результаты.

1. Установлена асимметричность землепользования в трансграничной Кулунде: высокая распаханность территории приграничных районов Алтайского края, тогда как в Павлодарской области преобладают естественные пастбища, сенокосы и залежи, занятые степной растительностью. Отмечается сокращение распаханых площадей и увеличение земель с травянистой и древесно-кустарниковой растительностью в северной и южной частях Кулунды.

2. Выявлена разнонаправленность процессов трансформации систем землепользования по разные стороны границы. С российской стороны продолжает превалировать растениеводство с доминированием зерновых культур, с казахстанской — возобновилось преобладание животноводства, традиционного для степных пространств Евразии, при сокращении площади пашни.

3. Оценка устойчивости ландшафтов показала, что основную часть исследуемой территории занимают ландшафты, мало- и неустойчивые к сельскохозяйственному воздействию. Выявленное несоответствие фактических показателей сельскохозяйственной нагрузки исследуемых районов экологическим параметрам для степной зоны требует пересмотра стратегий землепользования с учетом экологических ограничений при осуществлении хозяйственной деятельности.

4. На основе проведенной оценки устойчивости ландшафтов и экологического нормирования выделены зоны, требующие разных стратегий сельскохозяйственного землепользования с разными целевыми параметрами использования и экологическими ограничениями для сохранения почвенного плодородия и экологической реабилитации нарушенных земель.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено в рамках государственного задания FUFZ-2021-0007.

## FUNDING

This study was carried out as a part of the state task (project FUFZ-2021-0007 of IWEPSB RAS).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Байкалова Т.В., Карпова Л.А., Морковкин Г.Г., Солонько Е.В. Исследование современного эколого-хозяйственного состояния сельских территорий предгорных районов Алтайского края для решения

- проблем устойчивого развития // Вестн. Алтайского гос. аграр. ун-та. 2016. № 11 (145). С. 82–91.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М., 2022. 104 с.
- Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А. Площадь засушливых земель равнин России // Аридные экосистемы. 2009. Т. 15. № 1 (37). С. 5–12.
- Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1984. 560 с.
- Красноярцева Б.А., Орлова И.В., Плуталова Т.Г., Шарбарина С.Н. Ландшафтно-экологическая оценка засушливых земель Российско-Казахстанского приграничья для устойчивого землепользования // Аридные экосистемы. 2019. Вып. 25. № 3 (80). С. 11–18.
- Ландшафтная карта СССР. Масштаб 1 : 2 500 000. Министерство геологии СССР. 1980.
- Левыкин С.В., Чибилёв А.А., Кочуров Б.И., Казачков Г.В. К стратегии сохранения и восстановления степей и управления природопользованием на постцелинном пространстве // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. № 4. С. 626–636.  
DOI: 10.31857/S2587556620040093
- Одум Ю. Экология: в 2-х т. М.: Мир, 1986. Т. 1. 328 с.; Т. 2. 376 с.
- Озгелдинова Ж.О., Мукаев Ж.Т., Оспан Г.Т. Оценка потенциала устойчивости геосистем в условиях антропогенных воздействий (на примере бассейна реки Сарысу) // Гидрометеорология и экология. 2020. № 3 (98). С. 19–33.
- Орлова И.В. Ландшафтно-агроэкологическое планирование территории муниципального района. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. 254 с.
- Парамонов Е.Г., Симоненко А.П. Основы агролесомелиорации. Барнаул: Изд-во АГАУ, 2007. 224 с.
- План мероприятий по реализации стратегии социально-экономического развития Алтайского края до 2035 года. Барнаул, 2022. 38 с.
- План развития Павлодарской области на 2021–2025 годы. Павлодар, 2021.
- Плуталова Т.Г. Мониторинг системы землепользования трансграничной территории “Кулунда” по данным дистанционного зондирования Земли // Изв. Алтайского отделения Русского географического общества. 2018. № 1 (48). С. 62–66.
- Пространственное развитие степных и постцелинных регионов Европейской России / под науч. ред. А.А. Чибилёва. Оренбург: ИС УрО РАН, 2019. Т. 2. 200 с.
- Реймерс Н.Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. М.: Россия молодая, 1994. 327 с.
- Стратегия социально-экономического развития Алтайского края до 2035 года. Барнаул, 2019. 194 с.
- Устойчивое управление пастбищными ресурсами для повышения благосостояния сельского населения и сохранения экологической целостности / Проект Правительства Республики Казахстан, Глобального экологического фонда и др. Алматы, 2010. 12 с.

- Abd El-Aziz S.H.* Evaluation of land suitability for main irrigated crops in the North-Western Region of Libya // *Eurasian J. of Soil Science*. 2018. Vol. 7 (1). P. 73–86.
- Almenar J.B., Rugani B., Geneletti D., Brewer T.* Integration of ecosystem services into a conceptual spatial planning framework based on a landscape ecology perspective // *Landsc. Ecol.* 2018. Vol. 33. P. 2047–2059.
- Bennett D.E., Gosnell H.* Integrating multiple perspectives on payments for ecosystem services through a social-ecological systems framework // *Ecol. Econ.* 2015. Vol. 116. P. 172–181.  
DOI: 10.1016/j.ecolecon.2015.04.019
- Campagna M., Cesare E., Matta A., Serra M.* Bridging the Gap Between Strategic Environmental Assessment and Planning: A Geodesign Perspective // *Int. J. of E-Planning Research*. 2018. Vol. 7 (1). P. 34–52.  
DOI: 10.4018/IJEPR.2018010103
- Climate Change and Land. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. WMO, UNEP, 2019.
- Gu Y., Deal B.* Coupling systems thinking and geodesign processes in land-use modelling, design, and planning // *J. Dig. Landsc. Arch.* 2018. Vol. 3. P. 51–59.
- Hamilton S., Doll J.E., Robertson G.P.* The ecology of agricultural landscapes: Long-term research on the road to sustainability. NY: Oxford Univ. Press, 2015. 432 p.
- Karimi S., Bagherzadeh A., Ebrahimi H.* Parametric approach to land evaluation for irrigation methods using GIS model at Jolgen-Rokh plain, Iran // *Indian J. of Fundamental and Applied Life Sciences*. 2015. Vol. 5 (1). P. 3699–3703.
- Kuderin A., Skorintseva I., Bassova T., Krylova V., Krasnoyarova B.* Landscape planning of the Kazaly irrigation array of southern Kazakhstan // *European J. of Geography*. 2019. Vol. 10 (1). P. 37–49.
- Kust G., Andreeva O., Cowie A.* Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment // *J. of Environmental Management*. 2017. Vol. 195 (1). P. 16–24.  
DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.10.043
- Li S., Zhao X., Pu J., Miao P., Wang Q., Tan K.* Optimize and control territorial spatial functional areas to improve the ecological stability and total environment in karst areas of Southwest China // *Land Use Policy*. 2021. Vol. 100. Art. 104940.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104940>
- Mohamed E.S., Saleh A.M., Belal A.A.* Sustainability indicators for agricultural land-use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt // *Egyptian J. of Remote Sensing and Space Sciences*. 2014. Vol. 17 (1). P. 1–15.  
DOI: 10.1016/j.ejrs.2014.05.001
- Pearson D.M., McAlpine C.A.* Landscape ecology: an integrated science for sustainability in a changing world // *Landscape Ecol.* 2010. Vol. 25. P. 1151–1154.
- Rodriguez Lopez J.M., Tielbörger K., Claus C., Fröhlich C., Gramberger M., Scheffran J.* A Transdisciplinary Approach to Identifying Transboundary Tipping Points in a Contentious Area: Experiences from across the Jordan River Region // *Sustainability*. 2019. Vol. 11. Art. 1184.  
<https://doi.org/10.3390/su11041184>
- Solly A., Berisha E., Cotella G., Janin Rivolin U.* How Sustainable Are Land Use Tools? A Europe-Wide Typological Investigation // *Sustainability*. 2020. Vol. 12 (3). Art. 1257.  
<https://doi.org/10.3390/su12031257>
- Stringer L.C., Reed M.S., Fleskens L., Thomas R.J., Le Q.B., Lala-Pritchard T.* A new dryland development paradigm grounded in empirical analysis of dryland systems science // *Land Degrad. Dev.* 2017. Vol. 28. P. 1952–1961.  
DOI: 10.1002/ldr.2716
- United Nations Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. 1994.
- van Ginkel M., Sayer J., Sinclair F., et al.* An integrated agro-ecosystem and livelihood systems approach for the poor and vulnerable in dry areas // *Food Security*. 2013. Vol. 5. P. 751–767.  
<https://doi.org/10.1007/s12571-013-0305-5>
- van Vliet J., Magliocca N.R., Büchner B., et al.* Meta-studies in land use science: Current coverage and prospects // *Ambio: a J. Of The Human Environment*. 2015. Vol. 45. № 1. P. 15–28.
- Waas T., Hugé J., Block T., Wright T., Benitez-Capistros F., Verbruggen A.* Sustainability assessment and indicators: tools in a decision-making strategy for sustainable development // *Sustainability*. 2014. Vol. 6. P. 5512–5534.



## Ways for Greening Agricultural Land Use in Transboundary Dry Steppe Landscapes of Kulunda

B. A. Krasnoyarova<sup>a, \*</sup>, I. V. Orlova<sup>a</sup>, T. G. Plutalova<sup>a</sup>, and S. N. Sharabarina<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*Institute for Water and Environmental Problems of Siberian Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Barnaul, Russia*

*\*e-mail: bella@iwep.ru*

Drylands are subject to degradation processes caused by natural and anthropogenic factors. Among the latter, agricultural activities stand out in terms of the scale and duration of their impacts worldwide. These processes are exacerbated in transboundary areas with different socioeconomic and environmental management institutions. We propose the ecological-landscape paradigm of agricultural land management, which aims to achieve sustainable development of transboundary territories as a single socio-ecological system, while respecting environmental standards and landscape resilience to agricultural pressures. This approach was applied to the dry steppe landscapes of the Russian-Kazakh transboundary area. It was found that 75% of the study area is occupied by low-stable landscapes; unstable to agricultural impacts – 17%; relatively stable – only 8% of the territory. The conservation strategy is proposed for landscapes unstable to agricultural impact and unsuitable for involvement in agricultural turnover due to their environmental, water and soil protection functions. The adaptation strategy is developed for landscapes with low stability, which should be used as farmland with a high proportion of perennial grasses and natural fodder by carrying out the necessary agricultural and recreational works. The development strategy with a grain-fallow soil protection system is most suitable for relatively stable landscapes. These strategies make it possible to find a compromise between the intensive use of dryland farmland and its conservation, and to apply uniform management tools in cross-border areas.

**Keywords:** dry steppe landscapes, agricultural impact, sustainable land use, land use strategy, Russian-Kazakh transboundary area, land degradation

### REFERENCES

- Abd El-Aziz S.H. Evaluation of land suitability for main irrigated crops in the North-Western Region of Libya. *Eurasian J. Soil Sci.*, 2018, vol. 7, no. 1, pp. 73–86.
- Almenar J.B., Rugani B., Geneletti D., Brewer T. Integration of ecosystem services into a conceptual spatial planning framework based on a landscape ecology perspective. *Landsc. Ecol.*, 2018, vol. 33, pp. 2047–2059.
- Baikalova T.V., Karpova L.A., Morkovkin G.G., Solon'ko E.V. The study of the current ecological and economic condition of rural areas of the foothill areas of the Altai Krai to solve the problems of sustainable development. *Vestn. Altai. Gos. Agr. Univ.*, 2016, vol. 145, no. 11, pp. 82–91. (In Russ.).
- Bennett D.E., Gosnell H. Integrating multiple perspectives on payments for ecosystem services through a social-ecological systems framework. *Ecol. Econ.*, 2015, vol. 116, pp. 172–181.  
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.04.019>
- Campagna M., Cesare E., Matta A., Serra M. Bridging the Gap Between Strategic Environmental Assessment and Planning: A Geodesign Perspective. *Int. J. E-Plan. Res.*, 2018, vol. 7, no. 1, pp. 34–52.  
<https://doi.org/10.4018/IJEPR.2018010103>
- Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii za 2021 god* [Report on Climate Features in the Territory of the Russian Federation for 2021]. Moscow, 2022. 104 p.
- Gu Y., Deal B. Coupling systems thinking and geodesign processes in land-use modelling, design, and planning. *J. Dig. Landsc. Arch.*, 2018, no. 3, pp. 51–59.
- Hamilton S., Doll J.E., Robertson G.P. *The ecology of agricultural landscapes: Long-term research on the road to sustainability*. New York: Oxford Univ. Press, 2015.
- Izrael Yu.A. *Ekologiya i kontrol' sostoyaniya prirodnoi sredy* [Ecology and Control of Natural Environment]. Moscow: Gidrometeoizdat Publ., 1984. 560 p.
- IPCC. *Climate Change and Land*. IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse gas fluxes in Terrestrial Ecosystems. WMO, UNEP, 2019.
- Karimi S., Bagherzadeh A., Ebrahimi H. Parametric approach to land evaluation for irrigation methods using GIS model at Jolgen-Rokh plain, Iran. *Indian J. Fundam. Appl. Life Sci.*, 2015, vol. 5, no. 1, pp. 3699–3703.
- Krasnoyarova B.A., Orlova I.V., Plutalova T.G., Sharabarina S.N. Landscape-Ecological Assessment of Dry Lands of the Russian-Kazakhstan Border Zone for Sustainable Land Use. *Arid Ecosyst.*, 2019, vol. 9, no. 3, pp. 150–156.  
<https://doi.org/10.1134/S2079096119030065>
- Kuderin A., Skorintseva I., Bassova T., Krylova V., Krasnoyarova B. Landscape planning of the Kazaly irrigation array of southern Kazakhstan. *Eur. J. Geogr.*, 2019, vol. 10, no. 1, pp. 37–49.
- Kust G., Andreeva O., Cowie A. Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment. *J. Environ. Manage.*, 2017, vol. 195, no. 1, pp. 16–24.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.043>

- Landshaftnaya karta SSSR. Masshtab 1:2500000* [Landscape Map of the USSR. Scale 1:2500000]. Minest. Geol. SSSR, 1980.
- Levykin S.V., Chibilev A.A., Kochurov B.I., Kazachkov G.V. Toward a strategy for the conservation and restoration of steppes and environmental management in the post-virgin space. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2020, no. 4, pp. 626–636. (In Russ.).  
<https://doi.org/10.31857/S2587556620040093>
- Li S., Zhao X., Pu J., Miao P., Wang Q., Tan K. Optimize and control territorial spatial functional areas to improve the ecological stability and total environment in karst areas of Southwest China. *Land Use Policy*, 2021, vol. 100, art. 104940.  
<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104940>
- Mohamed E.S., Saleh A.M., Belal A.A. Sustainability indicators for agricultural land-use based on GIS spatial modeling in North of Sinai-Egypt. *Egypt. J. Remote. Sens. Space Sci.*, 2014, vol. 17, no. 1, pp. 1–15.  
<https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2014.05.001>
- Odum Yu. *Ekologiya: v 2 tomakh* [Ecology: In 2 Volumes]. Moscow: Mir Publ., 1986.
- Orlova I.V. *Landshaftno-agroekologicheskoe planirovanie territorii munitsipal'nogo raiona* [Landscape and Agro-Ecological Planning of the Municipal District Territory]. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2014. 254 p.
- Ozgeldinova Zh.O., Mukaev Zh.T., Ospan G.T. Assessment of the stability potential of geosystems in conditions of anthropogenic impacts (on the example of the Sarysu River basin). *Gidromet. Ekol.*, 2020, vol. 98, no. 3, pp. 19–33. (In Russ.).
- Paramonov E.G., Simonenko A.P. *Osnovy agrolesomlioratsii* [Basics of Agroforest Reclamation]. Barnaul: AGAU Publ., 2007. 224 p.
- Pearson D.M., McAlpine C.A. Landscape ecology: an integrated science for sustainability in a changing world. *Landsc. Ecol.*, 2010, vol. 25, pp. 1151–1154.
- Plan meropriyatii po realizatsii strategii sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Altaiskogo kraya do 2035 goda* [Action Plan for the Implementation of the Strategy of Socioeconomic Development of the Altai Krai until 2035]. Barnaul, 2022. 38 p.
- Plan razvitiya Pavlodarskoi oblasti na 2021–2025 gody* [The Development Plan of the Pavlodar Region for 2021–2025]. Pavlodar, 2021.
- Plutalova T.G. Monitoring of the land use system of the transboundary territory “Kulunda” according to remote sensing data. *Izv. Altai. Otd. RGO*, 2018, vol. 48, no. 1, pp. 62–66. (In Russ.).
- Prostranstvennoe razvitie stepnykh i posttselinnnykh regionov Evropeiskoi Rossii. Tom 2* [Spatial Development of the Steppe and Post-Virgin Regions of European Russia. Vol. 2]. Chibilev A.A., Ed. Orenburg: IS UrO RAN, 2019. 200 p.
- Reimers N.F. *Ekologiya. Teorii, zakony, pravila, printsipy i gipotezy* [Ecology. Theories, Laws, Rules, Principles and Hypotheses]. Moscow: Rossiya molodaya Publ., 1994. 327 p.
- Rodriguez Lopez J.M., Tielbörger K., Claus C., Fröhlich C., Gramberger M., Scheffran J. A Transdisciplinary Approach to Identifying Transboundary Tipping Points in a Contentious Area: Experiences from across the Jordan River Region. *Sustain.*, 2019, vol. 11, no. 4, art. 1184.  
<https://doi.org/10.3390/su11041184>
- Solly A., Berisha E., Cotella G., Janin Rivolin U. How Sustainable Are Land Use Tools? A Europe-Wide Typological Investigation. *Sustain.*, 2020, vol. 12, no. 3, art. 1257.  
<https://doi.org/10.3390/su12031257>
- Strategiya sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Altaiskogo kraya do 2035 goda* [Strategy of Socioeconomic Development of the Altai Krai until 2035]. Barnaul, 2019. 194 p.
- Stringer L.C., Reed M.S., Fleskens L., Thomas R.J., Le Q.B., Lala-Pritchard T. A new dryland development paradigm grounded in empirical analysis of dryland systems science. *Land Degrad. Dev.*, 2017, vol. 28, pp. 1952–1961.  
<https://doi.org/10.1002/ldr.2716>
- UN Convention to Combat Desertification in Those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. UN, 1994.
- Ustoichivoe upravlenie pastbishchnymi resursami dlya povysheniya blagosostoyaniya sel'skogo naseleniya i sokhraneniya ekologicheskoi tselostnosti* [Sustainable Rangeland Management for Improved Rural Livelihood and Environmental Integrity]. Almaty, 2010. 12 p.
- van Ginkel M., Sayer J., Sinclair F., et al. An integrated agro-ecosystem and livelihood systems approach for the poor and vulnerable in dry areas. *Food Secur.*, 2013, no. 5, pp. 751–767.  
<https://doi.org/10.1007/s12571-013-0305-5>
- van Vliet J., Magliocca N.R., Büchner B., et al. Meta-studies in land use science: Current coverage and prospects. *AMBIO*, 2015, vol. 45, no. 1, pp. 15–28.
- Waas T., Hugé J., Block T., Wright T., Benitez-Capistros F., Verbruggen A. Sustainability assessment and indicators: tools in a decision-making strategy for sustainable development. *Sustain.*, 2014, no. 6, pp. 5512–5534.
- Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A. Area of Russia's arid plain lands. *Arid Ecosyst.*, 2011, no. 1, pp. 8–13.  
<https://doi.org/10.1134/S2079096111010100>