



УДК 504.05+310.15

<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.49.72>

## Оценка уязвимости аграрно-ориентированных природно-хозяйственных систем

Б. А. Красноярова, А. Е. Назаренко, Т. Г. Плуталова, С. Н. Шарабарина,  
С. Г. Барышников\*

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул, Россия*

**Аннотация.** Приведены результаты оценки пространственной дифференциации аграрно-ориентированных природно-хозяйственных систем (ПХС) по степени уязвимости к природным и социально-экономическим факторам воздействия с учетом долгосрочных эколого-экономических приоритетов. Предложен и реализован авторский алгоритм их оценки. Высокая степень уязвимости к природным и социально-экономическим факторам воздействия характерна для степной ПХС за счет высокой сельскохозяйственной нагрузки и низкой благоприятности агроклиматических условий (засухи, пыльные бури, контрастный термический режим). Умеренная уязвимость характерна для лесостепной ПХС с высокой чувствительностью к сельскохозяйственному воздействию и умеренной – по показателям водообеспеченности. Предгорно-горные ПХС на фоне умеренной уязвимости к сельскохозяйственному воздействию и низких параметров уязвимости по степени водообеспеченности и загрязнению окружающей среды имеют низкую суммарную уязвимость. Полученные результаты имеют практико-ориентированный характер, позволяя разрабатывать адресные рекомендации хозяйствующим субъектам муниципальных образований и региональным органам власти. Последний фактор особенно важен в условиях принятия своевременных управленческих решений для снижения степени уязвимости ПХС и повышения устойчивости к современным вызовам и угрозам.

**Ключевые слова:** природно-хозяйственные системы, уязвимость, аграрное природопользование, изменение климата, загрязнение, водообеспечение.

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

**Для цитирования:** Оценка уязвимости аграрно-ориентированных природно-хозяйственных систем / Б. А. Красноярова, А. Е. Назаренко, Т. Г. Плуталова, С. Н. Шарабарина, С. Г. Барышников // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2024. Т. 49. С. 72–87. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.49.72>

Original article

## Assessing the Vulnerability of Agrarian-Oriented Natural Economic Systems

B. A. Krasnoyarova, A. E. Nazarenko, T. G. Plutalova, S. N. Sharabarina,  
S. G. Baryshnikov\*

*Institute for Water and Environmental Problems SB RAS, Barnaul, Russian Federation*

**Abstract.** The article presents the results of assessing the spatial differentiation of agrarian-oriented natural economic systems (NES) according to the degree of vulnerability to natural and socio-

economic impact factors, taking into account long-term environmental and economic priorities. The model territory is the NES of the Altai Krai. Four groups of NES vulnerability factors have been identified: climate change, environmental pollution, agricultural production and water supply to the population. They, in turn, are determined by the following impact factors: demographic, food security, technological, agroecological, infrastructural, water quality factors, waste disposal and air pollution. The author's algorithm for their evaluation is proposed and implemented. A high degree of vulnerability to natural and socio-economic impact factors is characteristic of the steppe NES due to the high agricultural load and low favorable agro-climatic conditions (droughts, dust storms, contrasting thermal conditions). Moderate vulnerability is typical for forest-steppe NES with high sensitivity to agricultural impacts and moderate sensitivity in terms of water availability. The piedmont-mountain NES, against the background of moderate vulnerability to agricultural impacts and low vulnerability parameters in terms of water availability and environmental pollution, have a low total vulnerability. The results obtained are of a practice-oriented nature, allowing the development of targeted recommendations for economic entities of municipalities and regional authorities. The last factor is especially important in the context of making timely management decisions to reduce the degree of vulnerability of NES and increase resistance to modern challenges and threats.

**Keywords:** natural economic system, vulnerability, agricultural environmental management, climate change, pollution, water supply.

---

**For citation:** Krasnoyarova B.A., Nazarenko A.E., Plutalova T.G., Sharabarina S.N., Baryshnikov S.G. Assessing the Vulnerability of Agrarian-Oriented Natural Economic Systems. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2024, vol. 49, pp. 72-87. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2024.49.72> (in Russian)

---

## Введение

Понимание устойчивости функционирования ПХС в основном заключается в оценке их способности к длительному сохранению своих основных свойств и противодействию внешним деструктивным факторам природного и антропогенного характера [Исаченко, 1996; Кесорецких, 2015; Данилов-Данильян, 2020]. Данное понятие тесно связано и является антиподом термина «уязвимость» – вероятность неблагоприятных изменений среды обитания, связанных с приложением внешних сил [Малашевич, 1987]. Категория уязвимости природно-хозяйственных систем представляет собой интенсивность изменения параметров системы под действием дестабилизирующих факторов [Мирзаханова, 1993; Дмитриев, Огурцов, 2012; Кесорецких, 2015]. В зарубежной литературе понятие «уязвимость» также наиболее часто применяется к природным объектам, связывается с антропогенным влиянием и возрастающими климатическими рисками [Assessing the vulnerability ... , 2006; Vulnerability and Climate ... , 2009; Nelitz, Boardley, Smith, 2013; A New Method ... , 2016; Nowak, Schneider, 2017; Agricultural land use ... , 2018; The vulnerabilities ... , 2019; Multidimensional assessment ... , 2023; Assessment and projection ... , 2023].

Учитывая, что любая ПХС находится в стадии сбалансированного неравновесия в результате воздействия эндогенных и экзогенных факторов природного и антропогенного характера, но стремится к сохранению устойчивости своего функционирования, очень важно определить характер и интенсивность развития этих дестабилизирующих факторов или уязвимость рассматриваемых ПХС. При всей разработанности теории устойчивости и уязвимости ПХС проблемам развития аграрных территорий и оценке их уязвимости уделяется незначительное внимание [Marshall, Stafford Smith, 2010; Rodriguez, de Voil, Power, 2016; Advancing Sustainability ... , 2019; Global Land ... , 2024].

Целью исследования является разработка методики и оценка пространственной дифференциации аграрно-ориентированных ПХС по степени уязвимости к природным и социально-экономическим факторам воздействия с учетом долгосрочных эколого-экономических приоритетов.

Объектом исследования являются природно-хозяйственные системы Алтайского края – одного из ведущих аграрных регионов России, который занимает лидирующую позицию среди сибирских субъектов РФ по производству целого ряда сельскохозяйственной продукции (зерна, сахарной свеклы, подсолнечника, рапса, сои, молока и пр.). Регион находится в зоне активного аграрного природопользования, где успешно сочетается растениеводство и животноводство. В данном контексте Алтайский край является репрезентативным объектом для изучения аграрно-ориентированных ПХС, учитывая разнообразие и благоприятность агроклиматических условий на его территории [Красноярова, 1999].

Природно-хозяйственное районирование Западной Сибири было разработано авторами ранее [Природно-хозяйственное ... , 2018], где границы ПХС проведены в соответствии с ландшафтной дифференциацией территории [Цимбалей, 2016], скорректированные с учетом уже сложившихся хозяйственных систем муниципальных образований. Так на территории Алтайского края были выделены лесостепная, степная и две предгорно-горные ПХС (предгорная степная – горная и предгорная лесостепная – горная).

### Материалы и методы исследования

Анализ опубликованных подходов оценки устойчивости и уязвимости природно-хозяйственных систем [Кесорецких, 2015; Оценка уязвимости ... , 2016; Бадина, 2017; Адаптивная модель ... , 2021; Ландшафтное планирование ... , 2022; Оценка эколого-экономической ... , 2022; и др.] позволил разработать алгоритм оценки факторов воздействия на аграрно-ориентированные ПХС и степени их уязвимости. Он представляет собой следующую последовательность действий:

- 1) идентификация основных природных и социально-экономических факторов воздействия на модельные/ключевые природно-хозяйственные системы;
- 2) выбор и обоснование параметров/маркеров уязвимости;
- 3) расчет весовых коэффициентов параметров оценки уязвимости;
- 4) оценка степени уязвимости ПХС.

Идентификация природных факторов воздействия проведена с учетом основных международных и российских прогнозов и оценок по изменению климата и изменению землепользования [Climate Change ... , 2019; IPCC, 2022; Третий оценочный ... , 2022], социально-экономических факторов воздействия с учетом стратегических документов пространственного развития и территориального планирования регионов Сибири<sup>1</sup>. В них указаны региональные приоритеты развития и отражены глобальные вызовы, стоящие пе-

---

<sup>1</sup> Стратегия социально-экономического развития Алтайского края до 2035 года : утв. Законом Алтайского края от 6 сент. 2021 г. № 86-ЗС; Стратегия социально-экономического развития Сибирского федерального округа до 2035 года : утв. Распоряжением Правительства РФ от 26 янв. 2023 г. № 129-р.

ред российскими регионами, среди них демографический (депопуляция и отток населения, нехватка трудовых ресурсов), продовольственной безопасности, новой технологической революции, трансформации мировой экономики, экологический и др. Аграрно-ориентированные природно-хозяйственные системы – это преимущественно сельские территории, для которых характерны большинство перечисленных вызовов социо-эколого-экономического характера. Поэтому с акцентом на региональную специфику выделены следующие факторы воздействия на ПХС: демографический, продовольственной безопасности, технологический, агроэкологический, инфраструктурный, качества воды, размещения отходов и загрязнения атмосферного воздуха (рис. 1).



Рис. 1. Уязвимость природно-хозяйственных систем к природным и социально-экономическим факторам

Для каждого фактора воздействия экспертным путем определен набор параметров/маркеров уязвимости ПХС (табл.).

Уязвимость природно-хозяйственных систем к природным и социально-экономическим факторам воздействия в целом оценивалась по формуле (1):

$$V_{\text{ПХС}} = \frac{1}{Cl_i} \sum_{n=1}^n \frac{(X_i - X_{\min}) \cdot W_n}{(X_{\max} - X_{\min})}, \quad (1)$$

где  $V_{\text{ПХС}}$  – уязвимость природно-хозяйственных систем;  $Cl_i$  – коэффициент агроклиматической благоприятности территории;  $X_i$  – значение маркера  $n$  в районе  $i$ ;  $W_n$  – весовой коэффициент значения маркера (приведены в табл.).

Таблица

## Маркеры уязвимости природно-хозяйственных систем к природным и социально-экономическим факторам воздействия

| Факторы воздействия на ПХС               | №    | Параметры/маркеры уязвимости  | Весовой коэффициент |
|--|------|---|---------------------|
| <b>Сельское хозяйство</b>                |      |   |                     |
| Демографический фактор                   | 1.1  | Плотность сельского населения   | 0,055               |
|  | 1.2  | Доля занятых в сельском хозяйстве   | 0,055               |
|  | 1.3  | Отношение заработной платы в сельском хозяйстве к средней по району   | 0,055               |
| Фактор продовольственной безопасности    | 1.4  | Посевная площадь на душу населения  | 0,055               |
|  | 1.5  | Производство с/х продукции на 1 га земельной площади  | 0,055               |
| Технологический фактор                   | 1.6  | Нагрузка посевной площади на 1 трактор  | 0,055               |
|  | 1.7  | Нагрузка посевной площади на 1 зерноуборочный комбайн   | 0,055               |
| Агроэкологический фактор                 | 1.8  | Доля эродированных с/х земель, %  | 0,055               |
|  | 1.9  | Внесение минеральных удобрений на 1 га посевной площади   | 0,055               |
|  | 1.10 | Доля кормовых угодий в структуре посевных площадей, %   | 0,055               |
| <b>Водообеспеченность населения</b>      |      |   |                     |
| Обеспечение питьевой водой               | 2.1  | Доля населения, не обеспеченного центральным водопроводом, %  | 0,05                |
|  | 2.2  | Доля уличной водопроводной сети, нуждающейся в замене, %  | 0,05                |
|  | 2.3  | Качество питьевой воды по санитарно-химическим показателям: доля проб, не отвечающих гигиеническим нормативам, % (из госдоклада Минприроды 2021 г.)   | 0,05                |
|  | 2.4  | Качество питьевой воды по микробиологическим показателям: доля проб, не отвечающих гигиеническим нормативам, % (из госдоклада Минприроды 2021 г.)     | 0,05                |
| <b>Загрязнение окружающей среды</b>      |      |   |                     |
| Загрязнение воздуха и размещение отходов | 3.1  | Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, кг/год на гектар площади (включая города): <b>твердые вещества</b>  | 0,05                |
|  | 3.2  | Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, кг/год на гектар площади: <b>SO<sub>2</sub></b>                     | 0,05                |
|  | 3.3  | Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, кг/год на гектар площади: <b>CO<sub>2</sub></b>                     | 0,05                |
|  | 3.4  | Выброшено в атмосферу загрязняющих веществ, отходящих от стационарных источников, кг/год на гектар площади: <b>оксиды азота (NO<sub>2</sub> экв.)</b> | 0,05                |
|  | 3.5  | Размещено за год твердых коммунальных отходов (тыс. т)  | 0,05                |

Значения весовых коэффициентов были приняты примерно равными, исходя из равнозначности всех параметров оценки. Но в сумме факторы сельского хозяйства имеют больший вес из-за специфики объекта исследования – аграрно-ориентированных ПХС.

В рамках оценки уязвимости данные по каждому из выбранных маркеров были нормированы в промежутке (0;1), где 0 – минимальное значение ряда, 1 – максимальное. Каждый из выбранных маркеров в виде прямой либо обратной связи отражает степень уязвимости ПХС, например, чем большая доля населения не обеспечена водопроводом и чем большая доля водопроводной сети нуждается в замене, тем более уязвимой является система обеспечения населения и хозяйства водой и т. п. Для показателей с обратной связью (например, площадь посевных земель на душу населения) для расчета уязвимости использовалась формула (2):

$$V_{\text{ПХС}} = \frac{1}{Cl_i} \sum_1^n \left( 1 - \frac{(X_i - X_{\min})}{(X_{\max} - X_{\min})} \right) \cdot W_n. \quad (2)$$

Оценка уязвимости сельскохозяйственного производства включает в себя оценку *демографического фактора* воздействия (поскольку нехватка трудовых ресурсов – один из важнейших вызовов, стоящих перед российской экономикой, в том числе и перед сельскохозяйственной отраслью) через показатели плотности сельского населения, доли занятых в сельском хозяйстве и отношения заработной платы в сельском хозяйстве к средней по району (показатели 1.1–1.3). *Фактор продовольственной безопасности* оценивался через площадь посевных земель на душу населения, производство сельскохозяйственной продукции на 1 га посевной площади (показатели 1.4–1.5). *Технологический фактор* определялся оценкой обеспеченности аграрных предприятий сельскохозяйственной техникой: нагрузка посевной площади на 1 трактор, на 1 комбайн (показатели 1.6–1.7). *Агроэкологический фактор* включает параметры: доля эродированных сельскохозяйственных земель, внесение удобрений на 1 га посевной площади, доля кормовых культур в структуре посевов (показатели 1.8–1.10).

Оценка уязвимости водообеспечения включает в себя оценку инфраструктурного фактора, а именно степени обеспеченности территории центральным водопроводом и его технического состояния, а также оценку собственно качества воды по санитарно-химическим и микробиологическим показателям, по данным ежегодных отборов, проводимых Роспотребнадзором (показатели 2.1–2.4).

Оценка уязвимости к загрязнению окружающей среды включает в себя оценку загрязнения воздуха (через выбросы в атмосферу загрязняющих веществ) и размещения отходов (на основе определения действующих полигонов, на которых осуществляется складирование ТКО, а также на отслеживании маршрутов их перемещения из всех районов края на данные полигоны).

Итоговые показатели оценки уязвимости с учетом весовых коэффициентов, присвоенных выбранным маркерам, были суммированы для каждого муниципального образования, а затем скорректированы с учетом коэффици-

ента агроклиматической благоприятности территории, исходя из предположения о том, что более высокая степень агроклиматической благоприятности соответствует более низкой степени уязвимости к климатическим изменениям. Коэффициент благоприятности агроклиматических условий определяется как отношение гидротермического коэффициента (ГТК по Селянинову) в каждом конкретном муниципальном образовании, который на территории Алтайского края изменяется от 0,6 до 1,6, к оптимальному для условий края показателю, равному 1,2 [Красноярова, 1999].

В целом оценка была выполнена на уровне муниципальных районов и городских округов Алтайского края по статистическим данным за 2020–2022 гг., а затем агрегирована для природно-хозяйственных систем с учетом включенности муниципальных образований в границы отдельных ПХС. Результирующая оценка уязвимости (сумма баллов по каждому фактору) для каждой ПХС была рассчитана с учетом доли площади муниципального образования в данной ПХС.

Классификация ПХС / муниципальных образований Алтайского края по степени уязвимости и картографическая интерпретация полученных результатов проведена методом геометрических интервалов, с помощью которого границы классов определены на основе интервалов, имеющих геометрическую последовательность. Геометрический коэффициент в этом классификаторе может меняться на обратный к нему в целях оптимизации диапазонов классов. Алгоритм создает геометрические интервалы путем минимизации суммы квадратов числа элементов в каждом классе. Это позволяет добиться того, чтобы в каждом диапазоне классов было примерно равное количество значений, а изменения между интервалами – согласующимися. Этот алгоритм разработан для обработки непрерывных данных и сочетает в себе достоинства методов равного интервала, естественных границ (Дженкса) и квантиля. Он дает возможность корректно разделить средние значения и выбивающиеся из ряда крайние значения и получить результат, адекватный с картографической точки зрения и визуально привлекательный. Нами выделены три диапазона – низкая, умеренная и высокая степень уязвимости.

### **Результаты и обсуждение**

Оценка уязвимости ПХС Алтайского края по факторам сельскохозяйственного производства (рис. 2) показала, что наиболее уязвимой является большая часть степной природно-хозяйственной системы, а также отдельные территории в лесостепной и предгорно-горных ПХС. Среди муниципальных районов наиболее высокими показателями уязвимости отличаются Угловский, Троицкий, Ельцовский, Каменский, Ключевский, Кулундинский районы, Славгородский муниципальный округ.

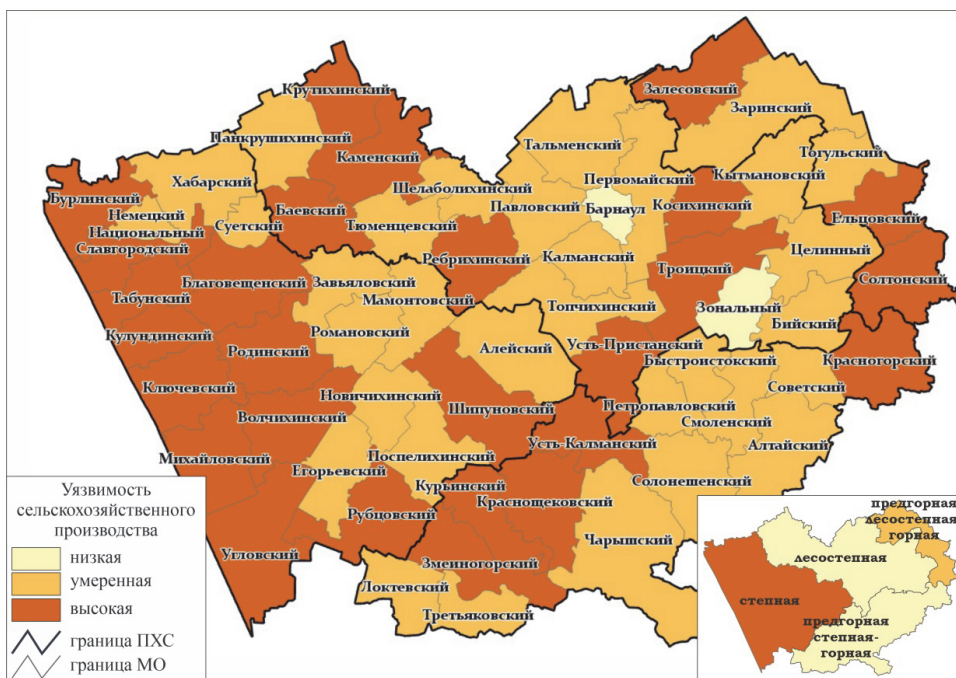


Рис. 2. Оценка уязвимости ПХС и муниципальных образований Алтайского края по факторам сельскохозяйственного производства

Наибольший вклад в уязвимость вносят агроэкологический фактор (особенно такой параметр, как малые дозы внесения удобрений) и фактор продовольственной безопасности (низкий объем производства сельхозпродукции на 1 га посевной площади). Демографический фактор оказывает влияние в предгорно-горных ПХС, где отмечается низкая доля занятых в сельском хозяйстве и невысокий уровень оплаты труда в отрасли (по сравнению со среднерайонным показателем).

Оценка уязвимости водообеспечения показала, что наиболее уязвима территория лесостепной ПХС (рис. 3), среди муниципальных районов – Петропавловский, Баевский и Солонешенский. Доля населения, не имеющего доступа к центральному водопроводу, составляет здесь 37, 42 и 52 % соответственно (2022 г.). В большей части населенных пунктов края, где имеется централизованное водоснабжение, водопроводные сети имеют значительную степень износа (более 70 % – в Баевском, Волчихинском, Змеиногорском, Косихинском, Зональном, Петропавловском, Ребрихинском, Родинском, Рубцовском, Топчихинском, Тюменцевском районах, Барнауле и Славгороде).

По санитарно-химическому состоянию воды наиболее уязвимы Крутихинский, Троицкий и Тюменцевский районы, в которых за последние три года более 50 % проб воды не соответствовали санитарно-гигиеническим нормативам. По микробиологическим показателям наиболее уязвимым является Павловский район.



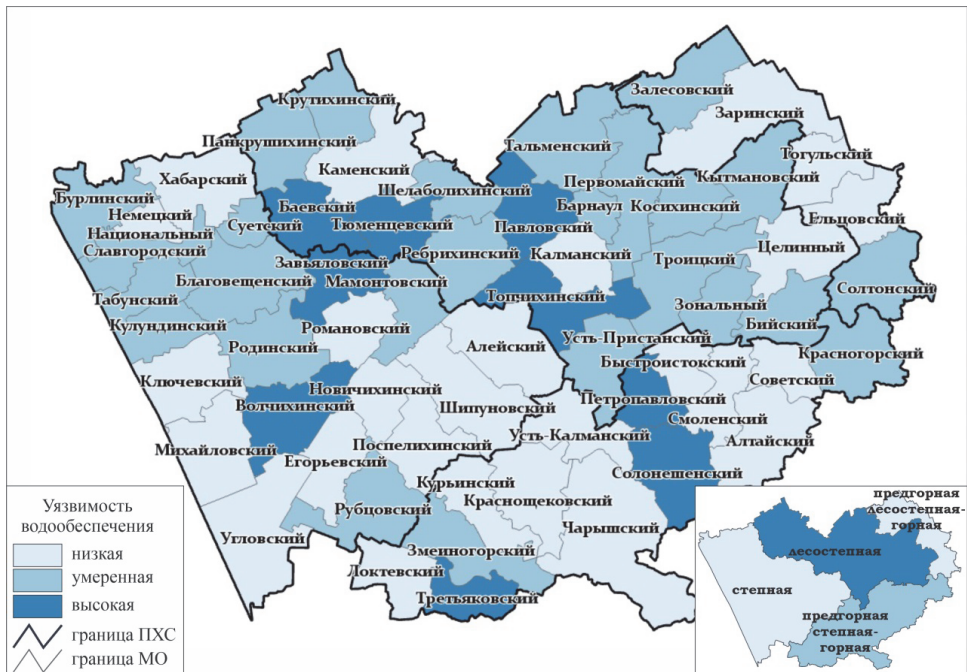


Рис. 3. Оценка уязвимости ПХС и муниципальных образований Алтайского края по факторам водообеспечения населения

Результирующую оценку уязвимости по факторам водообеспечения в значительной мере определяют износ водопроводной сети и качество воды по санитарно-химическим показателям.

Оценка уязвимости к загрязнению окружающей среды (рис. 4) показала, что в каждой ПХС отмечаются территории с высокими показателями. Наиболее значимые объемы загрязнения атмосферного воздуха закономерно отмечены в городах с развитой промышленностью – Барнауле, Бийске, Заринске, Рубцовске, Славгороде и пригородных районах. Размещение твердых коммунальных отходов (ТКО) региона в настоящее время осуществляется на полигонах в 16 районах края, наибольшие объемы ТКО приходятся на Барнаул, Бийск, Рубцовск, Славгород и пригородные районы Барнаула – Первомайский и Павловский.

Сводные оценки территории края по степени уязвимости к природным и социально-экономическим факторам воздействия (рис. 5) показали, что высокая уязвимость характерна для районов степной ПХС преимущественно за счет факторов сельскохозяйственного производства и низкой благоприятности климата. В целом климатический фактор существенно повышает степень уязвимости в данной ПХС за счет усиления таких негативных природных процессов, как рост числа засух, пыльных бурь в теплый период года, увеличения повторяемости оттепелей, малой высоты снежного покрова и сильного промерзания почвы в зимний период.

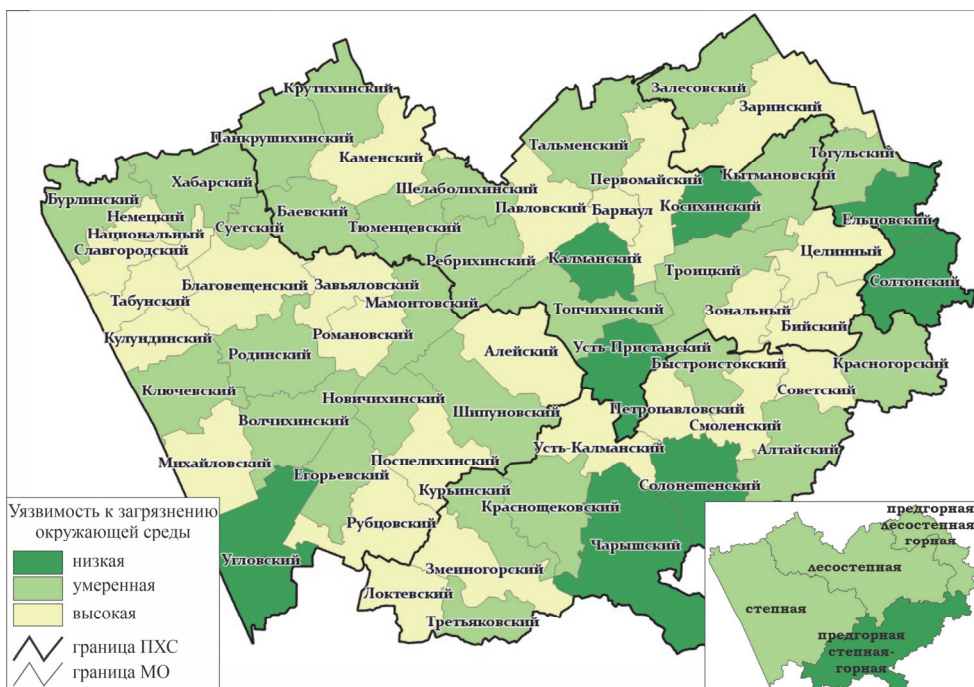


Рис. 4. Оценка уязвимости ПХС и муниципальных образований Алтайского края по факторам загрязнения окружающей среды

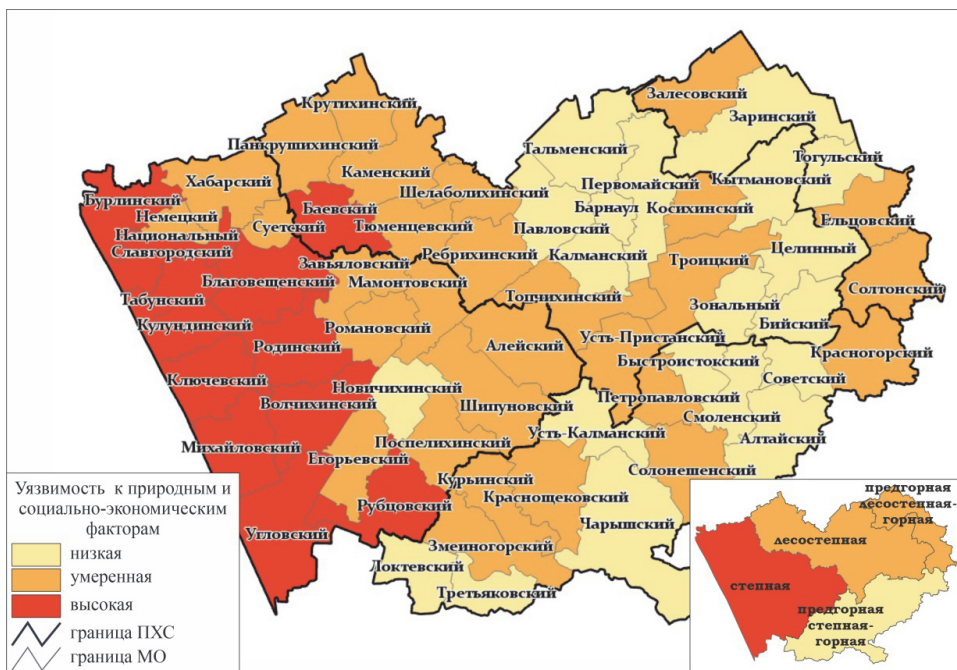


Рис. 5. Сводная оценка уязвимости ПХС и муниципальных образований Алтайского края к факторам природного и социально-экономического характера

Умеренная уязвимость характерна для лесостепной ПХС, которой свойственны умеренная уязвимость по факторам загрязнения окружающей среды и высокая уязвимость по показателям водообеспеченности, а также для предгорной лесостепной – горной ПХС с умеренной уязвимостью сельскохозяйственного производства и загрязнения, низкой – по показателям водообеспеченности.

К территориям с низкой уязвимостью относится предгорная степная – горная ПХС, где на фоне умеренной уязвимости к сельскохозяйственному воздействию отмечаются в основном низкие параметры уязвимости по факторам водообеспеченности и загрязнения окружающей среды.

Таким образом, предложенный алгоритм оценки степени уязвимости природно-хозяйственных систем позволяет выявить наиболее уязвимые территории с точки зрения комплекса факторов, характеризующих, с одной стороны, актуальные вызовы, стоящие перед российскими регионами, а с другой – долгосрочные эколого-экономические приоритеты их развития, среди которых обеспечение продовольственной безопасности, сохранение окружающей среды, устойчивый рост экономики, улучшение качества и условий жизни населения. Данный алгоритм достаточно универсален, во многом согласуется с разработками других ученых в ландшафтных и административных границах [Кесорецких, 2015; Оценка уязвимости ... , 2016; Бадина, 2017] и может быть реализован для оценки уязвимости иных ПХС регионального и локального уровня.

Новизна предложенного авторского подхода заключается в наборе параметров/маркеров уязвимости, обусловленном спецификой объектов исследования – аграрно-ориентированных природно-хозяйственных систем. Их функционирование во многом определяется природно-климатическими условиями, учитывая природно обусловленный характер их деятельности, а также зависит от социально-экономических, экологических, инфраструктурных и других факторов. Такой подход обеспечивает комплексность исследования, позволяя выявить особенности каждой ПХС с учетом составляющих ее компонентов – природы, населения и хозяйства. Среди недостатков предложенного алгоритма можно назвать зависимость выбора параметров/маркеров уязвимости от ограниченной базы данных муниципальной статистики, а также субъективный характер экспертной оценки весовых коэффициентов данных маркеров.

## **Заключение**

На основе анализа стратегических документов регионального развития и идентификации существующих вызовов социо-эколого-экономического характера выделены четыре группы факторов уязвимости аграрно-ориентированных ПХС: изменение климата, загрязнение окружающей среды, сельскохозяйственное производство, водообеспечение населения. Они, в свою очередь, конкретизируются следующими факторами воздействия: демографический, продовольственной безопасности, технологический, агро-экологический, инфраструктурный, качества воды, размещения отходов и загрязнения атмосферного воздуха.

Вследствие реализации авторского алгоритма оценки уязвимости для аграрно-ориентированных ПХС юга Западной Сибири выявлена пространственная дифференциация суммарной уязвимости к воздействию природных и социально-экономических факторов:

– низкая степень уязвимости характерна для предгорной степной – горной ПХС (умеренная уязвимость к сельскохозяйственному воздействию и низкая по степени водообеспеченности и загрязнению окружающей среды);

– умеренная степень уязвимости – в лесостепной и предгорной лесостепной – горной ПХС (с умеренной уязвимостью сельскохозяйственного производства и загрязнения);

– высокая степень уязвимости – в степной ПХС (высокая сельскохозяйственная нагрузка в сочетании с низкой благоприятностью агроклиматических условий).

Полученные результаты имеют практическую значимость, они позволяют разрабатывать адресные рекомендации хозяйствующим субъектам муниципальных образований и региональным органам власти.

### Список литературы

Адаптивная модель влияния изменения климата на природно-хозяйственные системы Казахстана / М. А. Аскарлова, А. А. Медеу, А. Медеу, А. Н. Мусагалиева // Хабаршы. География сериясы. 2021. № 1(60). С. 52–60. URL: <https://bulletin-geography.kaznu.kz> (дата обращения: 10.02.2024)

Бадина С. В. Количественная оценка уязвимости социально-экономического потенциала российской Арктики в зоне деградации вечной мерзлоты // Региональные исследования. 2017. № 3 (57). С. 107–116.

Данилов-Данильян В. И. Глобальные климатические изменения и водные проблемы России и мира // Век глобализации. 2020. № 4 (36). С. 65–78.

Дмитриев В. В., Огурцов А. Н. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. I. Интегральная оценка устойчивости наземных и водных геосистем // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7, Геология. География. 2012. № 3. С. 65–78.

Исаченко А. Г. Ландшафты России: экологический потенциал и устойчивость к антропогенным воздействиям // Информационный бюллетень РФФИ. 1996. № 14. 87 с.

Кесорецких И. И. Оценка пространственной и временной изменчивости показателя уязвимости ландшафтов Калининградской области как компонент экологически ориентированного территориального планирования // Балтийский регион. 2015. № 4(26). С. 162–180. <https://doi.org/10.5922/2074-9848-2015-4-10>.

Красноярова Б. А. Территориальная организация аграрного природопользования Алтайского края. Новосибирск : Наука, 1999. 161 с.

Ландшафтное планирование как база устойчивого социально-экономического развития и сохранения экосистем Алтая / Ю. М. Семенов, А. В. Шитов, О. В. Климова, Е. В. Мердешева // Тенденции пространственного развития современной России и приоритеты его регулирования : материалы Междунар. науч. конф. (XIII Ежегод. науч. ассамблея АРГО). Тюмень : ТюмГУ-Press, 2022. С. 475–482.

Малашевич Е. В. Краткий словарь-справочник по охране природы. Минск : Ураджай, 1987. 223 с.

Мирзеханова З. Г. Методика расчета потенциальной природной уязвимости территории. Хабаровск : Эльга, 1993. 49 с.

Оценка уязвимости социально-экономического развития арктической территории России / В. Л. Бабурин, С. В. Бадина, М. Д. Горячко [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 5, География. 2016. № 6. С. 71–77.

Оценка эколого-экономической устойчивости территориальных природно-хозяйственных систем / А. С. Михеева, С. Н. Аюшеева, Т. Б. Бардаханова [и др.] // Московский экономический журнал. 2022. № 9. URL: <https://qje.su/rekreacia-i-turizm/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-9-2022-44/> (дата обращения: 10.02.2024).

Природно-хозяйственное районирование Западной Сибири / Б. А. Красноярова, С. Г. Платонова, С. Н. Шарабарина, В. В. Скрипко, И. В. Архипова // Географический вестник. 2018. № 1 (44). С. 64–72.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб. : Научное издание, 2022. 124 с.

*Цимбалей Ю. М.* Ландшафтная карта Алтайского края. Масштаб 1:500000 / под ред.: Л. Ф. Лубенец, С. В. Циликина, Н. Ю. Курепина ; науч. ред. Ю. И. Винокуров. Барнаул : ИВЭП СО РАН, 2016.

Advancing Sustainability of U.S.-Mexico Transboundary Drylands: Proceedings of a Workshop. Washington, DC : The National Academies Press, 2019. 72 p. <https://doi.org/10.17226/25253>

Agricultural land use conflict management – Vulnerabilities, law restrictions and negotiation frames. A wake-up call / R. M. Petrescu-Mag, D. C. Petrescu, H. Azadi, I. V. Petrescu-Mag // Land Use Policy. 2018. Vol. 76. P. 600–610. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.040>

A New Method for Analysing Socio-Ecological Patterns of Vulnerability / M. Kok, M. Lüdeke, P. Lucas [et al.] // Regional Environmental Change. 2016. Vol. 16. P. 229–243. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0746-1>

Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation / P. M. Berry, M. D. A. Rounsevell, P. A. Harrison, E. Audsley // Environmental Science & Policy. 2006. Vol. 9, Iss. 2. P. 189–204. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2005.11.004>

Assessment and projection of the groundwater drought vulnerability under different climate scenarios and land use changes in the Sanjiang Plain, China / Z. Ling, L. Shu, D. Wang [et al.] // Journal of Hydrology: Regional Studies. 2023. Vol. 49. 101498. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101498>

Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. IPCC, 2019. 864 p.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 3056 p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

Global Land Indicators Initiative, GLII. URL: <https://gltn.net/global-land-indicators-initiative-glii/> (date of access: 10.02.2024)

*Marshall G. R., Stafford Smith D. M.* Natural resources governance for the drylands of the Murray-Darling Basin // Rangeland Journal. 2010. Vol. 32. P. 267–282. <https://doi.org/10.1071/RJ10020>

Multidimensional assessment of agricultural drought vulnerability based on socioeconomic and biophysical indicators / H. Serkendiz, H. Tatli, H. Özcan [et al.] // International Journal of Disaster Risk Reduction. 2023. Vol. 98. 104121. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.104121>

*Nelitz M., Boardley S., Smith R.* Tools for Climate Change Vulnerability Assessments for Watersheds. Report. Vancouver : ESSA Technologies Ltd, 2013. 135 p.

*Nowak A., Schneider C.* Environmental characteristics, agricultural land use, and vulnerability to degradation in Malopolska Province (Poland) // Science of The Total Environment. 2017. Vol. 590–591. P. 620–632. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.006>

*Rodriguez D., de Voil P., Power B.* Modelling Dryland Agricultural Systems // Innovations in Dryland Agriculture / eds. Farooq M., Siddique K. Cham. : Springer, 2016. P. 239–256. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-47928-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47928-6_9)

The vulnerabilities of agricultural land and food production to future water scarcity / N. Fitton, P. Alexander, N. Arnell [et al.] // Global Environmental Change. 2019. Vol. 58. 101944. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101944>

Vulnerability and Climate Change Impact Assessments for Adaptation / L. Bizikova, Z. Habtezion, J. Bellali [et al.] // Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme, 2009. Available at: <https://www.unep.org/resources/report/vulnerability-and-climate-change-impact-assessments-adaptation-module> (date of access: 14.02.2024)

## References

Askarova M.A., Medeu A.A., Medeu A., Musagalieva A.N. Adaptivnaya model vliyaniya izmeneniya klimata na prirodno-khozyaistvennyye sistemy Kazakhstana [Adaptive model of the climate change impact on the natural and economic systems of Kazakhstan]. *Khabarshy. Geografiya seriyasy* [Journal of Geography and Environmental Management], 2021, vol. 1, no. 60, pp. 52-60. (in Russian)

Badina S.V. Kolichestvennaya otsenka uyazvimosti sotsial'no-ekonomicheskogo potentsiala rossiiskoi Arktiki v zone degradatsii vechnoi merzloty [Quantitative assessment of the vulnerability of the socio-economic potential of the Russian Arctic in the permafrost degradation zone]. *Regionalnye issledovaniya* [Regional studies], 2017, vol. 3, no. 57, pp. 107-116. (in Russian)

Danilov-Danil'yan V.I. Globalnye klimaticheskie izmeneniya i vodnye problemy Rossii i mira [Global climate change and water problems in Russia and the world]. *Vek globalizatsii* [Age of globalization], 2020, vol. 4, no. 36, pp. 65-78. (in Russian)

Dmitriev V.V., Ogurtsov A.N. Podkhody k integralnoi otsenke i GIS-kartografirovaniyu ustoichivosti i ekologicheskogo blagopoluchiya geosistem. I. Inte-gral'naya otsenka ustoichivosti nazemnykh i vodnykh geosystem [Approaches to integral assessment and GIS mapping of sustainability and environmental well-being of geosystems. I. Integral assessment of the stability of terrestrial and aquatic geosystems]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Seriya 7, Geologiya. Geografiya* [Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences], 2012, vol. 3, pp. 65-78. (in Russian)

Isachenko A.G. Landshafty Rossii: ekologicheskii potentsial i ustoichivost' k antropogennym vozdeistviyam [Landscapes of Russia: ecological potential and resistance to anthropogenic impacts]. *Informatsionnyi byulleten RFFI* [RFFI Newsletter], 1996, vol. 14, 87 p. (in Russian)

Kesoret'skikh I.I. Otsenka prostranstvennoi i vremennoi izmenchivosti pokazatelya uyazvimosti landshaftov Kaliningradskoi oblasti kak komponent ekologicheskii orientirovannogo territorialnogo planirovaniya [Assessment of spatial and temporal variability of the landscape vulnerability indicator of the Kaliningrad region as a component of environmentally oriented territorial planning]. *Baltiiskii region* [Baltic region], 2015, vol. 4, no. 26, pp. 162-180. <https://doi.org/10.5922/2074-9848-2015-4-10>. (in Russian).

Krasnoyarova B.A. *Territorialnaya organizatsiya agrarnogo prirodopol'zovaniya Altaiskogo kraia* [Territorial organization of agrarian environmental management of the Altai Krai]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1999, 161 p. (in Russian).

Semenov Yu.M., Shitov A.V., Klimova O.V., Merdesheva E.V. Landshaftnoe planirovanie kak baza ustoichivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya i sokhraneniya ekosistem Altaya [Landscape planning as the basis for sustainable socio-economic development and conservation of Altai ecosystems]. *Tendentsii prostranstvennogo razvitiya sovremennoi Rossii i priority ego regulirovaniya* [Trends in spatial development of modern Russia and priorities for its regulation]. Materials of the International Scientific Conference (13ed Annual Scientific Assembly ARGO. Tyumen, TyumGU-Press, 2022, pp. 475-482. (in Russian)

Malashevich E.V. *Kratkii slovar-spravochnik po okhrane prirody* [Brief dictionary-reference book on nature conservation]. Minsk, 1987, 223 p. (in Russian)

Mirzekhanova Z.G. *Metodika rascheta potentsialnoi prirodnoi uyazvimosti territorii* [Methodology for calculating the potential natural vulnerability of a territory]. Khabarovsk, El'ta Publ., 1993, 49 p. (in Russian)

Baburin V.L., Badina S.V., Goryachko M.D. et al. Otsenka uyazvimosti sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya arkticheskoi territorii Rossii [Assessment of the vulnerability of socio-economic development of the Russian Arctic territory]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya* [Moscow University Bulletin. Series 5, Geography], 2016, vol. 6, pp. 71-77. (in Russian)

Mikheeva A.S., Ayusheeva S.N., Bardakhanova T.B. et al. Otsenka ekologo-ekonomicheskoi ustoichivosti territorialnykh prirodno-khozyaistvennykh sistem [Assessment of the ecological and economic sustainability of territorial natural and economic systems]. *Moskovskii ekonomicheskii zhurnal* [Moscow economic journal], 2022, vol. 9. Available at: <https://qje.su/rekreacia-i-turizm/moskovskij-ekonomicheskij-zhurnal-9-2022-44/> (in Russian)

Krasnoyarova B.A., Platonova S.G., Sharabarina S.N. et al. Prirodno-khozyaistvennoe raionirovanie Zapadnoi Sibiri [Natural and economic zoning of Western Siberia]. *Geograficheskii vestnik* [Geographical Bulletin], 2018, vol. 1, no. 44, pp. 64-72. (in Russian).

*Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii. Obshchee rezyume* [Third assessment report on climate change and its consequences on the Russian Federation territory. General summary]. St. Petersburg, Naukoemkie tekhnologii Publ., 2022, 124 p. (in Russian)

Tsimbalei Yu.M. *Landshaftnaya karta Altaiskogo kraya. Masshtab 1:500000* [Landscape map of the Altai Krai. Scale 1:500000]. Ed. by L.F. Lubenets, S.V. Tsilikina, N.Yu. Kurepina, Yu.I. Vinokurov. Barnaul, IVEP SB RAS, 2016. (in Russian)

*Advancing Sustainability of U.S.-Mexico Transboundary Drylands: Proceedings of a Workshop*. Washington, DC, The National Academies Press, 2019. 72 p. <https://doi.org/10.17226/25253>

Petrescu-Mag R.M., Petrescu D.C., Azadi H., Petrescu-Mag I.V. Agricultural land use conflict management – Vulnerabilities, law restrictions and negotiation frames. A wake-up call. *Land Use Policy*, 2018, vol. 76, pp. 600–610. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.02.040>

Kok M., Lüdeke M., Lucas P. et al. A New Method for Analysing Socio-Ecological Patterns of Vulnerability. *Regional Environmental Change*, 2016, vol. 16, pp. 229–243. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0746-1>

Berry P.M., Rounsevell M.D.A., Harrison P.A., Audsley E. Assessing the vulnerability of agricultural land use and species to climate change and the role of policy in facilitating adaptation. *Environmental Science & Policy*, 2006, vol. 9, no. 2, pp. 189–204. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2005.11.004>

Ling Z., Shu L., Wang D. et al. Assessment and projection of the groundwater drought vulnerability under different climate scenarios and land use changes in the Sanjiang Plain, China. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 2023, vol. 49, 101498. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101498>

*Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. IPCC, 2019, 864 p.

*IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, USA, 3056 p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>

Global Land Indicators Initiative, GLII. Available at: <https://gltn.net/global-land-indicators-initiative-glii/> (date of access: 10.02.2024)

Marshall G.R., Stafford Smith D.M. Natural resources governance for the drylands of the Murray-Darling Basin. *Rangeland Journal*, 2010, vol. 32, pp. 267–282. <https://doi.org/10.1071/RJ10020>

Serkendiz H., Tatli H., Özcan H., Çetin M., Sungur A. Multidimensional assessment of agricultural drought vulnerability based on socioeconomic and biophysical indicators. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2023, vol. 98, 104121. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.104121>

Nelitz M., Boardley S., Smith R. *Tools for Climate Change Vulnerability Assessments for Watersheds. Report*. Vancouver, ESSA Technologies Ltd, 2013, 135 p.

Nowak A., Schneider C. Environmental characteristics, agricultural land use, and vulnerability to degradation in Malopolska Province (Poland). *Science of The Total Environment*, 2017, vol. 590–591, pp. 620–632. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.03.006>

Rodriguez D., de Voil P., Power B. Modelling Dryland Agricultural Systems. *Farooq M., Siddique K. (eds.) Innovations in Dryland Agriculture*. Springer, Cham, 2016, pp. 239–256. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-47928-6\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-319-47928-6_9)

Fitton N., Alexander P., Arnell N. [et al.]. The vulnerabilities of agricultural land and food production to future water scarcity. *Global Environmental Change*, 2019, vol. 58, 101944. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.101944>

Bizikova L., Habtezion Z., Bellali J. et al. Vulnerability and Climate Change Impact Assessments for Adaptation. Nairobi, Kenya: United Nations Environment Programme, 2009. Available at: <https://www.unep.org/resources/report/vulnerability-and-climate-change-impact-assessments-adaptation-module> (date of access: 14.02.2024)

#### Сведения об авторах

**Красноярова Бэлла Александровна**  
доктор географических наук, профессор,  
главный научный сотрудник

#### Information about the authors

**Krasnoyarova Bella Aleksandrovna**  
Doctor of Sciences (Geography), Professor,  
Chief Research Scientist

*Институт водных и экологических проблем  
СО РАН  
Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1  
e-mail: bella@iwer.ru*

*Institute for Water and Environmental Problems  
SB RAS  
1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038,  
Russian Federation  
e-mail: bella@iwer.ru*

**Назаренко Антон Евгеньевич**  
*кандидат географических наук,  
младший научный сотрудник  
Институт водных и экологических проблем  
СО РАН  
Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1  
e-mail: harret1992@mail.ru*

**Nazarenko Anton Evgenievich**  
*Candidate of Sciences (Geography),  
Junior Research Scientist  
Institute for Water and Environmental Problems  
SB RAS  
1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038,  
Russian Federation  
e-mail: harret1992@mail.ru*

**Плуталова Татьяна Геннадьевна**  
*кандидат географических наук,  
научный сотрудник  
Институт водных и экологических проблем  
СО РАН  
Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1  
e-mail: plutalova.tg@gmail.com*

**Plutalova Tatyana Gennadievna**  
*Candidate of Sciences (Geography)  
Research Scientist  
Institute for Water and Environmental Problems  
SB RAS  
1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038,  
Russian Federation  
e-mail: plutalova.tg@gmail.com*

**Шарабарина Софья Николаевна**  
*кандидат географических наук,  
научный сотрудник  
Институт водных и экологических проблем  
СО РАН  
Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1  
e-mail: sharabarinasof@gmail.com*

**Sharabarina Sofya Nikolaevna**  
*Candidate of Geographical Sciences  
Research Scientist  
Institute for Water and Environmental Problems  
SB RAS  
1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038,  
Russian Federation  
e-mail: sharabarinasof@gmail.com*

**Барышников Сергей Геннадьевич**  
*аспирант  
Институт водных и экологических проблем  
СО РАН  
Россия, 656038, г. Барнаул, ул. Молодежная, 1  
e-mail: sbaryshnikov18@gmail.com*

**Baryshnikov Sergey Gennadievich**  
*Postgraduate  
Institute for Water and Environmental Problems  
SB RAS  
1, Molodezhnaya st., Barnaul, 656038,  
Russian Federation  
e-mail: sbaryshnikov18@gmail.com*