

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

На правах рукописи



Горбунова Татьяна Юрьевна

ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА
ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ –
СОЛНЕЧНОЙ И ВЕТРОВОЙ

Специальность 25.00.36 – Геоэкология (географические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
Позаченюк Екатерина Анатольевна
доктор географических наук,
профессор

Симферополь – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	4
РАЗДЕЛ 1. ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ	14
1.1. Представление о возобновляемых энергетических ресурсах	14
1.2. Подходы к оценке потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в мире	28
1.3. Подходы к оценке потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в Российской Федерации	39
1.4. Исследования потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в Крыму	48
РАЗДЕЛ 2. ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАНДШАФТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	75
2.1. Теоретико-методологические подходы к оценке ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики	75
2.2. Материалы и методика оценки ландшафтного потенциала для использования систем солнечной энергетики	83
2.3. Материалы и методика оценки ландшафтного потенциала для использования систем ветровой энергетики	92
РАЗДЕЛ 3. ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	96
3.1. Физико-географические предпосылки	96
3.2. Социально-экономические предпосылки	121

РАЗДЕЛ 4. ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЮГО-
ВОСТОЧНОГО КРЫМА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ

ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ	133
4.1. Системы солнечной энергетики	133
4.1.1. Природный потенциал	133
4.1.2. Технический потенциал	135
4.1.3. Геоэкологический потенциал	137
4.1.4. Ландшафтный потенциал	148
4.2. Системы ветровой энергетики	154
4.2.1. Природный потенциал	154
4.2.2. Технический потенциал	159
4.2.3. Геоэкологический потенциал	162
4.2.4. Ландшафтный потенциал	162
4.3. Геоэкологический эффект от внедрения систем солнечной и ветровой энергетики	166
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	170
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	175
ПРИЛОЖЕНИЕ А.	206
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.	211

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Энергетические проблемы выходят на первое место в мире среди важнейших проблем и задач, которые предстоит решить обществу в XXI веке и в третьем тысячелетии в целом. Сложившаяся ресурсная база энергетики, на которой строится вся хозяйственная деятельность человечества, исчерпаема, причем уже в обозримом будущем. В связи с этим, вопросы энергосбережения, развития и внедрения систем альтернативной энергетики становятся одними из самых актуальных при осуществлении планирования хозяйственной деятельности на принципах устойчивого развития.

Проблемы современного состояния и перспективы развития энергетики рассматриваются на разных уровнях, в разных аспектах. Государственные программы различных стран направлены на развитие и совершенствование систем возобновляемой энергетики. Особенно важным аспектом в использовании возобновляемой энергетики является оценка ландшафтного потенциала. В мировой практике проработаны отдельные аспекты оценки потенциала возобновляемой энергетики в зависимости от целей и уровня исследования. Среди крупных исследований стоит выделить комплексные научные работы международных агентств [68; 271; 296; 298; 300; 301], а также ряда выдающихся ученых в области возобновляемой энергетики [108; 127; 170; 258], важное место среди которых занимают исследования российских ученых [10; 11; 15; 27; 44; 69–72; 87; 173; 174; 176; 177; 179; 205; 228]. Полученные оценки во многих работах сильно отличаются друг от друга в силу различных подходов, методик, выбора данных для анализа потенциала.

В настоящее время нет единой общепринятой методологии, на теоретико-методологическом уровне не решёнными остаются вопросы разработки методики оценки ландшафтного потенциала локального уровня для использования систем возобновляемой энергетики. Отсутствие единой методики оценивания приводит к

искажениям полученных результатов, их несравнимости, а не учет всех природных, социально-экономических и экологических ограничений – к завышенным оценкам, и, соответственно, экономическим потерям. На региональном уровне до сих пор нет полного представления о потенциале Крымского полуострова или его отдельных регионов для внедрения систем возобновляемой энергетики, что приводит, зачастую, к заблуждениям, связанным со скептическим отношением к внедрению подобного рода систем. Для Юго-Восточного Крыма подобные детальные работы ранее не проводились. Для Крыма оценка потенциала солнечной и ветровой энергетики производилась на уровне всего полуострова, не затрагивая локальный уровень рассмотрения, на котором существуют свои закономерности пространственно-временной дифференциации потоков солнечной радиации и ветра.

Территория Юго-Восточного Крыма представляет собой один из ключевых туристско-рекреационных центров Республики Крым. Низкая освоенность территории, слабое развитие инфраструктуры, с одной стороны, и её уникальные пейзажные характеристики, и расположение историко-культурных объектов с другой – определяют её инвестиционную привлекательность и создают предпосылки для устойчивого развития рекреационной отрасли. Это ставит перед территорией ряд требований, одним из которых является экологическая и энергетическая безопасность.

Согласно федеральной целевой программе «Социально-экономического развития Республики Крым и г. Севастополя до 2020 г.» [189] одной из основных задач оптимального развития региона является создание собственных генераций и обеспечение надежного и бесперебойного электроснабжения потребителей Крымского полуострова. В рамках реализации Программы должно быть обеспечено внедрение энерго- и ресурсосберегающих и экологически безопасных технологий. Реализация данной задачи неразрывно связана с необходимостью проведения исследований потенциала регионов по возможности размещения объектов возобновляемой энергетики. Согласно «Стратегии социально-экономического развития Республики Крым до 2030 года» [234] среди

стратегических задач развития топливно-энергетического комплекса Республики Крым выделяется создание собственных электрогенерирующих мощностей; развитие возобновляемой энергетики; обеспечение рационального использования природных ресурсов. Одним из ожидаемых результатов данной стратегии является становление Республики Крым регионом-лидером по объему производимой электроэнергии на базе возобновляемых источников энергии.

Таким образом, актуальность исследования вытекает из необходимости и целесообразности внедрения систем возобновляемой энергетики в мире и, в том числе, в Крыму, недостаточной разработанности теоретико-методологических положений, социально-экономической потребности региона в энергоресурсах, возможности обеспечения региона собственными энергетическими ресурсами, которые оказывали бы минимальное воздействие на состояние окружающей среды. Данные исследования помогут внести вклад в совершенствование теоретико-методической базы оценивания ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики, обеспечат регион данными о возможности использования на территории собственных генераций энергии.

Объектом исследования являются ландшафты Юго-Восточного Крыма.

Предмет исследования – ландшафтный потенциал Юго-Восточного Крыма для использования систем возобновляемой энергетики.

Цель работы – оценка ландшафтного потенциала Юго-Восточного Крыма для использования систем возобновляемой энергетики – солнечной и ветровой.

Для достижения поставленной цели решены следующие **задачи**:

1. Изучить существующие представления о возобновляемых энергетических ресурсах, подходы к их оценке в мире, в том числе, в Крыму;
2. Раскрыть теорию и методику оценки ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики;
3. Изучить природные и социально-экономические предпосылки формирования ландшафтного потенциала для использования систем солнечной и ветровой энергетики на территории Юго-Восточного Крыма;

4. Произвести оценку ландшафтного потенциала Юго-Восточного Крыма для использования систем солнечной и ветровой энергетики.

Научная новизна исследования состоит из нескольких позиций.

1. Впервые сформулировано понятие о ландшафтном потенциале для использования систем возобновляемой энергетики как об интегральной функции природного, технического и геоэкологического потенциалов ландшафта. Под ландшафтным потенциалом для использования систем возобновляемой энергетики мы понимаем способность ландшафта выполнять функцию энергообеспечения с учетом природных ресурсов, современного уровня технологического развития, а также существующих технических и геоэкологических ограничений использования территории.

2. Впервые разработана методика оценки ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики на региональном уровне, которая включает анализ предпосылок формирования ландшафтного потенциала; систему методик оценок природного солнечноэнергетического потенциала и удельного природного ветроэнергетического потенциала; оценку технического и геоэкологического потенциалов; оценку ландшафтного солнечноэнергетического и ландшафтного ветроэнергетического потенциалов; выявление наиболее перспективных территорий для строительства энергетических установок.

3. Произведена оценка природного солнечноэнергетического потенциала, ландшафтного солнечноэнергетического потенциала Юго-Восточного Крыма на уровне ландшафтных местностей. Наибольшим ландшафтным потенциалом для использования систем солнечной энергетики обладают эрозионное овражно-балочное мелкогорье с выходами коренных пород в виде скал с шибляковыми зарослями и фриганоидами (южная окраина полуострова Меганом), останцово-денудационные овражно-балочные равнины с шибляковыми зарослями и фриганоидами (Арматлукская долина с окрестностями), денудационные и аккумулятивные равнины с зарослями типа «дубки» в комплексе с зарослями типа «шибляк» и разнотравными степями и денудационные мелкогорно-останцовые

равнины с зарослями типа «дубки» и лесостепью (равнины в окрестности хребта Хоба-Тепе).

4. Произведена оценка удельного природного ветроэнергетического потенциала, ландшафтного ветроэнергетического потенциала Юго-Восточного Крыма. Максимальным ландшафтным ветроэнергетическим потенциалом обладают абразионно-денудационные слабодренированные равнины с полынно-типчачковыми, гейнальдиево-эгилопсовыми степями в комплексе с галофитными лугами (северо-восточная часть Феодосийского городского округа). К наиболее благоприятным для строительства ветровых электростанций территориям относится северо-восточная равнинная часть изучаемого региона (Феодосийский городской округ), а также равная часть полуострова Меганом.

5. Впервые произведен расчет геоэкологической эффективности от внедрения систем солнечной и ветровой энергетики. Введение в эксплуатацию систем возобновляемой энергетики на выделенных приоритетных территориях позволит обеспечить электроэнергией население Республики Крым на 106,1% от солнечных установок и на 28,8% от ветровых установок. Внедрение указанных систем позволит сократить выбросы CO₂ в атмосферу на 1290,4 тыс. тонн в год при пересчете на каменный уголь при эксплуатации систем солнечной энергетики и на 350,6 тыс. тонн в год при пересчете на каменный уголь при эксплуатации систем ветровой энергетики.

Теоретическая и практическая значимость работы. Данное диссертационное исследование позволяет усовершенствовать подходы к оценке ландшафтного потенциала, внести вклад в теоретико-методическую базу возобновляемой энергетики в целом. Предлагаемая в работе методика оценки ландшафтного потенциала на региональном уровне является универсальной и может быть применена для оценки потенциалов солнечной и ветровой энергетики других территорий. Результаты исследований могут быть использованы Министерством топлива и энергетики Республики Крым, Министерством экономического развития Республики Крым, Министерством имущественных и земельных отношений Республики Крым, Министерством промышленной

политики Республики Крым, Министерством экологии и природных ресурсов Республики Крым при принятии решений в области энергобезопасности и территориального менеджмента.

Результаты работы позволят привлечь инвесторов для строительства солнечных и ветровых электростанций на территории Юго-Восточного Крыма, что приведёт к появлению новых рабочих мест, снижению уровня безработицы и повысит благосостояние местного населения. Генерация электроэнергии непосредственно на территории Юго-Восточного Крыма снизит энергозависимость региона и создаст более благоприятные условия для развития курортно-рекреационного комплекса. Кроме того, результаты исследования могут быть интересны местному населению при установке солнечных батарей и малых ветрогенераторов для частных целей.

Методология и методы исследования. Диссертационное исследование основано на фундаментальных работах в области ландшафтной экологии и геоэкологии. Для достижения поставленной цели использованы следующие методы: картографический, геоинформационный, математико-картографический, моделирования, статистический, источниковедческий, экспедиционных исследований. Методологической основой исследований является представление о ландшафтном потенциале территории, разрабатываемое в трудах Х. Бобека и Й. Шмидтхюзена [268], Е. Неефа [171], В.С. Преображенского с соавт. [206; 207], И.П. Герасимова [63–67], К.Н. Дьяконова с соавторами [101; 102], В.А. Николаева [172], А.В. Хорошева [252], Б.И. Кочурова [134–136], Е.С. Иванова, Б.И. Кочурова, В.В. Черной [112], В.И. Кирюшина [121], М.Д. Гродзинского [88–91], Е.А. Позаченюк, Т.В. Панкеевой [202; 203] и др., как о возможности реализации ландшафтом заданных функций исходя из его внутренних свойств.

В основу исследований легли результаты собственных исследований автора за период с 2012 по 2018 годы. Методика исследований разработана на основе подходов лаборатории возобновляемой энергетики географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, Объединенного института высоких температур РАН [15; 117; 122–124; 175; 216; 278; 282] с их интерпретацией и дополнением

для оценок на региональном уровне. Была составлена универсальная методика оценивания ландшафтного потенциала для внедрения систем возобновляемой энергетики на региональном уровне.

Оценка ландшафтного потенциала, его картографирование производилось на основе космических снимков SRTM, Landsat, Google Earth, топографической карты масштаба 1:50000, ландшафтно-типологической карты, тематических карт различных масштабов. Для оценки природных потенциалов использовались данные многолетних наземных измерений на метеостанциях, результаты пространственного метеорологического моделирования базы данных NASA «Surface meteorology and Solar Energy», результаты моделирования поступления солнечной радиации в программе Arc GIS 10.2. Экспедиционные исследования пейзажно-эстетической ценности ландшафтов проводились в летний период 2015 года по методике Д.А. Дирина [97].

Положения, выносимые на защиту.

1. Ландшафтный потенциал для использования систем возобновляемой энергетики включает природную, техническую и геоэкологическую составляющие и является их суммой.

2. Разработанная методика оценки ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики на региональном уровне, включающая в себя систему оценок природного, технического и геоэкологического потенциалов, а также анализ предпосылок формирования потенциала и выбор перспективных территорий для строительства систем возобновляемой энергетики.

3. Оценка ландшафтного потенциала Юго-Восточного Крыма для использования систем солнечной и ветровой энергетики на уровне ландшафтных местностей как комплекса перспективных территорий для строительства энергетических установок и значений возможной выработки электроэнергии.

4. Геоэкологический эффект от внедрения систем солнечной и ветровой энергетики связан с обеспечением электроэнергией жителей Республики Крым на 106,1% (солнечная энергия) и 28,8% (ветровая энергия) и сокращением выбросов

CO₂ в атмосферу на 1290,4 тыс. тонн в год (солнечная энергия) и 350,6 тыс. тонн в год (ветровая энергия) при пересчете на каменный уголь.

Степень достоверности и апробация результатов.

Исследования по теме диссертационной работы явились составной частью Международного проекта «BSUN Joint Master Degree Study Program On The Management Of Renewable Energy Sources – ARGOS» (Контракт № 1.3.1.66334.127MIS-ETC227 no.44553/8.06.2011) (2011–2013); научно-исследовательской работы Научно-исследовательского института сельского хозяйства Крыма «Разработать рекомендации по применению экологобезопасных водо- и энергосберегающих технологий водопользования в водохозяйственно-мелиоративном комплексе АР Крым» (№ госрегистрации: 0111U006538) (2014–2015); научно-исследовательской работы Научно-образовательного центра ноосферологии и устойчивого ноосферного развития (структурного подразделения) Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского «Разработка информационно-методического обеспечения постоянно обновляемой диагностической модели устойчивого ноосферного развития Крымского региона» (№ госрегистрации 115052150083) (2015–2017); грантов РФФИ: № 15-38-51016 мол_нр «Исследование ресурсных возможностей развития ветроэнергетики с учетом физико-географических ограничений и особенностей природопользования (на примере Юго-Восточного Крыма)» (2015), № 16-05-01015 а «Разработка научных подходов и апробация методов оценки и картографирования потенциала возобновляемых источников энергии на региональном уровне (на примере территории Крымского полуострова)» (2015); гранта молодым ученым Республики Крым «Оценка солнечного энергетического потенциала территории Республики Крым» (2015 г.), научно-исследовательской работы кафедры физической географии, океанологии и ландшафтоведения КФУ имени В.И. Вернадского «Теоретико-методические основы формирования национального ландшафта Крыма» (№ госрегистрации АААА-А16-116051910054-3) (2016–2019); научно-исследовательской работы Карадагской научной станции им. Т.И.Вяземского – природного заповедника РАН «Факторы и общие

закономерности пространственной дифференциации и структуры современных ландшафтов Крымского полуострова» (№ госрегистрации АААА-А17-117041810008-7) (2017–2018).

Результаты работы докладывались на II Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Географические и геоэкологические исследования в Украине и сопредельных территориях» (Симферополь, 02–07 апреля 2013г.); Международной конференции «В.И. Вернадский и глобальные проблемы современной цивилизации» (Симферополь, 23–25 апреля 2013 г.); Международной научной конференции «Міждисциплінарні виміри дослідження ландшафтів» (Киев, 18–20 сентября 2013 г.); Международной научной конференции «Ландшафтознавство: стан, проблеми, перспективи» (Львов – Ворохта, 24–27 сентября 2014 г.); Международной научно-практической конференции «Экологический мониторинг ветровых и солнечных электростанций» (Мелитополь, 02–04 октября 2014 г.); International Geographical Union Regional Conference «Geography, Culture and Society for Our Future Earth» (Москва, 17–21 августа 2015 г.); Международном конгрессе «Возобновляемая энергетика XXI век: Энергетическая и экономическая эффективность» REENCON-2015 (Москва, 27–28 октября 2015 г.); Всероссийской научной конференции с международным участием и IX научной молодёжной школе «Возобновляемые источники энергии» (Москва, 11–14 декабря 2014 г.); Второй молодежной научно-практической летней школе Русского географического общества «География в современном мире: проблемы и перспективы» (Калужская область, с. Петрово, культурный центр «Этномир», 20–28 июля 2014 г.); Научно-практическом семинаре для стипендиатов Фонда имени В.И. Вернадского «Управление природопользованием и экологическая безопасность регионов» (г. Москва, 20 марта 2015 г.); заседании комиссии метеорологии и климатологии Московского городского отделения Русского географического общества (Москва, 19 октября 2015 г.); Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвящённой 25-летию юбилею биосферного резервата ЮНЕСКО «Национальный парк «Водлозерский»

(Петрозаводск, 29 августа – 4 сентября 2016 г.); Всероссийской научной конференции с международным участием и X научной молодежной школы «Возобновляемые источники энергии» (Москва, 10–13 октября 2016 г.); Всероссийской научной конференции «Международный год карт в России: объединяя пространство и время» (Москва, 25–28 октября 2016 г.); XII Международной ландшафтной конференции «Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития» (Тюмень-Тобольск, 22–25 августа 2017 г.); 22th edition of Innovative Manufacturing Engineering & Energy International Conference (Кишинев, Республика Молдова, 31 мая – 2 июня, 2018); II Всероссийской с международным участием научной конференции «Багровские чтения» на тему: «Географические исследования в решении проблем регионального развития» (Симферополь, 25–28 октября 2018 г.).

По теме диссертации опубликовано 20 печатных работ, в том числе 1 – в журнале, индексируемом в SCOPUS, 8 – в журналах, рекомендованных ВАК.

РАЗДЕЛ 1. ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ПОТЕНЦИАЛА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ

1.1 Представление о возобновляемых энергетических ресурсах

Энергетические ресурсы в современном мире представляются основой функционирования природных, экономических и социальных систем. Обеспечение необходимым и достаточным количеством энергетических ресурсов представляется обязательной и необходимой составляющей любого вида человеческой деятельности. Еще в середине 70-х гг. XX века Г. Одум и Ю. Одум [183] отмечали, что энергия представляется основным энергетическим базисом человека и природы.

На сегодняшний день представление об энергетических ресурсах с методической и методологической точки зрения является вполне сформированным. Особое определенное место среди энергетических ресурсов занимают возобновляемые источники энергии.

Важную роль в формировании представлений о возобновляемых энергетических ресурсах имеют работы классиков экологии и устойчивого развития. Среди авторов отметим Н.Н. Моисеева [162–165], Т. Миллера [157], В.М. Котлякова [133], К.С. Лосева [149], Б. Комонера [130; 272; 273], В.И. Данилова-Данильяна [93; 94], В.Г. Горшкова [87], В.А. Бокова [38; 44; 114]. Основная заслуга данных авторов состоит в формировании представлений о целостности энергетических ресурсов и биосферы, что в свою очередь определяет необходимость рассмотрения энергетических ресурсов, как важного компонента биосферы, необходимого для устойчивого развития, как на глобальном, так и региональном уровне. Практически каждый автор подчеркивает природную составляющую энергетических ресурсов и необходимость знания и использования природных процессов при их использовании и определении.

Так же не меньшее значение имеют работы географического направления, детализирующие природные основы потенциала возобновляемых источников энергии [13–16; 44; 50; 98; 99; 106; 124; 186; 216; 227; 228; 246].

Упомянутые ранее, Г. Одум, Э. Одум в базовой работе, посвященной энергетическому базису природы и человека, отмечают, что за счет новых источников энергии человек получает новые степени свободы [183]. Данное положение в условиях глобализации социально-экономических процессов имеет крайне важное значение.

Энергия, в соответствии с современными теоретическими представлениями выступает, как фундаментальная основа существования природы и общества. Только в случае наличия необходимой и достаточной величины энергии может осуществляться существование и функционирование любых природных, общественных и технических систем. Данное положение подтверждается в работах классиков «энвайроментальной энергетики» современности Д. Зайфрида [108], Г. Шеера [258], Б. Небела [170], В.В. Клименко [127], В.П. Карпова [118], А.К. Андриевского [8].

На сегодня одним из перспективных теоретических направлений в понимании сущности категории «энергетика» представляется положение о «широком» понимании данной категории, во взаимосвязи энергии времени и пространства. Данное представление удачно вписывается в теорию систем [45; 146; 161; 181; 265] и достаточно органично связано с системными представлениями о биосфере и, даже, ноосфере [51; 52; 159; 160].

Представление об энергетике окружающей среды или энергетике биосферы, составляющей которой и выступают возобновляемые источники энергии, на сегодня достаточно полно сформировано.

В.А. Боков в цикле работ, посвященных рассмотрению энергетики биосферы [44; 228], достаточно большое внимание уделяет возобновляемым энергетическим ресурсам. Автор выделяет следующие составляющие энергетики биосферы:

1. Энергетика ландшафтов, как совокупность природных энергетических потоков в ландшафте, обеспечивающих функционирование природных систем. Здесь, для рассмотрения возобновляемых источников энергии, наибольшее значение имеет анализ поступающих потоков солнечной энергии в ландшафт, которые и являются системообразующими для возобновляемой энергетики.

2. Совокупность мощностей генерации энергии. Здесь речь идет непосредственно о системах, при помощи которых энергетических потоки в ландшафте преобразуются в энергию «технического типа», которая и используется человеком для получения благ. Автор отмечает [228], что в данной составляющей энергетики биосферы речь идет об изъятии природной энергии в различных ее видах и ее преобразовании техническими системами.

3. Совокупность сигналов, информации, знаний. Данная составляющая энергетики биосферы достаточно сложно сочетается с традиционными представлениями о возобновляемой энергетике и выделяется в отдельную категорию в следствии ее особой роли. Здесь речь идет о сигнально-информационной энергетике и взаимосвязи слабых энергетических потоков, которые при своем воздействии приводят к высвобождению больших объемов энергии.

4. Природная энергия. В данной составляющей энергетики биосферы речь идет о пространственно-временной динамике природных энергетических потоков и их неравномерности в биосфере. Данная составляющая на практике имеет крайне важное значение при внедрении возобновляемых энергетических ресурсов, так как неравномерность энергетических потоков в биосфере прямо определяет неравномерность применения первых.

Таким образом, возможно прийти к выводу о том, что представление о возобновляемых источниках энергии достаточно хорошо интегрируется в представления об энергетике биосферы, как обобщенного понимания энергетики природных, технических и социальных систем. В данном случае достаточно просто найти общие точки рассмотрения возобновляемых энергетических ресурсов и закономерностей динамики, организации и самоорганизации систем в

биосфере, от которых, в принципе, зависит характер и эффективность оценки потенциала возобновляемых источников энергии.

Не смотря на достаточно большое количество теоретических работ в данном направлении, как отечественных, так и иностранных авторов, на практике решение проблем энергетики и решение вопросов развития возобновляемой энергетики ведется в отрыве от широкой совокупности природных, технических и социально-экономических систем. Эта проблема достаточно детально рассмотрена в работах отечественных авторов, посвященных вопросам солнечной энергетики в Республике Крым [18; 19; 228; 245].

В связи с этим, в понимании сущности возобновляемых энергетических ресурсов возможно выделить достаточно сильно различающиеся представления технического и экономического характера, которые, с одной стороны, не противоречат друг другу, но и не имеют существенных логических связей, с другой стороны. Рассмотрим основные из них в сравнении с экологически и географически ориентированными представлениями о возобновляемых энергетических ресурсах.

Наиболее часто используемым является технологическое понимание возобновляемых источников энергии и энергетических ресурсов, которое приближается на современном уровне развития возобновляемой энергетики, к «бытовому и обиходному» пониманию сущности рассматриваемой категории и представляется наиболее общераспространенным.

Определения возобновляемых источников энергии присутствуют во многих общенаучных и специализированных словарях. Так, в соответствии с Большим энциклопедическим словарем Д.Н. Ушакова и В.И. Даля [46]: «возобновляемые источники энергии – это источники непрерывно возобновляемых в биосфере Земли видов энергии – солнечной, ветровой, океанической, гидроэнергии рек и др.» Отметим, что даже в данном общенаучном определении, авторы апеллируют к биосферной составляющей возобновляемых источников энергии и во второй части определения подчеркивают, что возобновляемые источники энергии являются экологически чистыми и не обеспечивают дополнительный нагрев

планеты. В оксфордской иллюстрированной энциклопедии авторы приводят схожее общенаучное определение возобновляемых энергетических ресурсов: «... возобновляемые источники энергии – источники энергии, которые обладают неограниченным потенциалом и в отличие от ресурсоограниченных источников являются более экологичными. Наиболее известные источники возобновляемой энергии – солнце, ветер, волны, приливы» [46].

Отметим, что существует нормативно закрепленные на законодательном уровне определения категории «возобновляемые источники энергии». В правовом поле Российской Федерации данная категория закреплена Федеральным законом «Об электроэнергетике». В соответствии с данным нормативно-правовым актом: «возобновляемые источники энергии – это энергия солнца, ветра, тепла земли, естественного движения водных потоков, а также энергия существующих в природе градиентов температур» [249]. Подобные «нормативные» определения присутствуют и в законодательных актах других государств [109–111; 233; 235]. Подобных определений возобновляемых источников энергии и энергетических ресурсов может быть достаточно много, общность их состоит в положении о том, что возобновляемые энергетические ресурсы в масштабах рассмотрения истории и будущих периодов развития человечества представляются неисчерпаемыми, а основной принцип использования возобновляемых энергетических ресурсов состоит в извлечении потоков энергии, постоянно происходящих в биосфере и являющихся доступными для технического и технологического «извлечения».

Анализ используемых терминов в сфере возобновляемой энергетики показывает, что наряду с категорией «возобновляемых источников энергии», часто используются такие сочетания, как «альтернативные источники энергии», «нетрадиционные источники энергии», «зеленые» источники энергии. В независимости от определения сущность категорий практически неизменна.

Термин «альтернативные источники энергии» обычно используют для того, чтобы подчеркнуть их отличие от наиболее традиционно применяемых в последние сотни лет источников энергии на основе углеводородов. Категория «нетрадиционные источники энергии» в большинстве случаев применяется с

целью популяризации представлений о возобновляемых источниках энергии и используется в научно-популярной литературе. Определенные отличия в трактовке термина «возобновляемые энергетические ресурсы» присутствуют в работах экономического и социально-экономического профиля. Отличие здесь состоит в том, что приводимые определения акцентируют внимание на бизнес-процессах в использовании возобновляемой энергии на уровне экономики региона или макроэкономики.

Среди широкого спектра работ экономического профиля в области изучения экономики возобновляемых источников энергии отметим работы таких авторов как, В.М. Геец [59], Н.Д. Рогалев, А.Д. Зубкова, И.А. Мастерова [261], Д.В. Худаев [253], Д.С. Стребков [236], З.У. Рамазанова [214], В.А. Подсолонко [196], В.В. Алексеев, Н.А. Рустамов, К.В. Чекарев [192], А.И. Маркиной [155], Б.Л. Кучин [147].

Отметим так же широкий спектр непосредственно технических работ, посвященный теории и практике создания установок для использования возобновляемых энергетических ресурсов. Здесь присутствуют работы, посвященные созданию и разработке ветровых, солнечных, геотермальных установок. Интерес представляют работы по моделированию полей возобновляемых источников энергии, расчет эффективности и коэффициента полезного действия использования потенциала возобновляемых источников энергии для различных регионов мира [5; 7; 57; 236]. Учитывая специализацию данного диссертационного исследования в области географии, экологии и природопользования обзор технологических работ не представляется интересным.

Анализ литературных источников показывает наличие разнообразных Стратегий и Программ для регионального, национального, и планетарного уровня, посвященных внедрению возобновляемой энергетики. Так и ли иначе в данных документах трактовка возобновляемых источников энергии близка к общенаучному пониманию [4; 55; 117; 131; 137; 232].

В целом анализ литературных источников показывает, что в области исследования потенциала использования возобновляемой энергетики

присутствует крайне много работ, в которых приводится трактовка определения возобновляемых энергетических ресурсов. Здесь большое значение имеет отрасль науки, в которой проводится то или иное исследование.

В данном исследовании на наш взгляд наиболее перспективным, учитывая специализацию работы, является использование широкого биосферного подхода к пониманию сущности возобновляемых источников энергии. Именно данный подход в полной мере позволит раскрыть вопрос теории и методики исследования ландшафтного потенциала возобновляемых энергетических ресурсов, природных, социально-экономических, инженерных предпосылок использования систем возобновляемой энергетики.

Представление о возобновляемых энергетических ресурсах должно базироваться на положении о том, что все виды энергии, которые поступают в биосферу или географическую оболочку многократно и многообразно преобразуются за счет функционирования ландшафтов. С геоэкологической точки зрения в состав возобновляемых энергетических ресурсов входят следующие:

1. Солнечная энергия (поток прямой, рассеянной радиации). По ряду оценок [228] поток данной энергии в 13–15 тысяч раз превышает современный уровень использования традиционной энергии ископаемых углеводородов в мировом хозяйстве. Данная энергия, являясь не дополнительной энергией, отличается пространственной неоднородностью потока и крайне высокой неустойчивостью во времени, что и определяет проблемы ее использования в хозяйственном комплексе. Данное положение свойственно, в целом, для большинства возобновляемых источников энергии.

2. Энергия солнечного и космического ветра. Данную энергию так же возможно отнести к возобновляемым источникам энергии, однако фактические ее величины крайне незначительны, и на современном технологическом уровне развития человечества ее использование не является возможной в условиях географической оболочки. Данная энергия, не смотря на ее незначительную мощность в пределах поверхности земли, имеет крайне высокую информационную и регулирующую роль.

3. Энергия приливов и отливов морей и океанов. На сегодня существуют проекты достаточно успешного использования данного вида возобновляемой энергии, однако в большинстве районов мира имеются существенные ограничения по ее использованию, что связано с необходимостью преобразования экосистем прибрежных территорий.

4. Потенциальная и кинетическая энергия воды. Это наиболее полно используемый вид возобновляемой энергии в промышленных масштабах мирового хозяйства. Примечательно, что использование данного вида энергии не влечет за собой изменение энергетического баланса географической оболочки, однако требует существенного нарушения водоемов, на которых создаются технические сооружения по ее использованию. Так же в данную группу возобновляемых источников энергии возможно отнести потенциальную и кинетическую энергию льда, однако примеры ее использования существуют только в виде пилотных индивидуальных проектов.

5. Потенциальная и кинетическая энергия ветра. По той же оценке В.А. Бокова [228] данного вида возобновляемой энергии может быть достаточно для обеспечения потребности хозяйства всего мира, однако явными являются ограничения, связанные со значительными колебаниями во времени данного ресурса. Отметим, что потенциальная и кинетическая энергия ветра и воды с биосферной точки зрения являются «производными» от солнечной энергии и представляются одним из звеньев преобразования энергии в ландшафте. Данные виды энергии не являются добавочными и не приводят к выделению дополнительной энергии в географическую оболочку.

6. Геотермальные источники энергии. В своем происхождении связаны с геологической историей планеты и являются в связи с этим узко локализованными в пространстве. В определенных районах данный вид возобновляемой энергии достаточно емко и эффективно используется, однако, являясь по своей сущности энергией дополнительной, приводит к выделению дополнительного тепла.

7. Энергия земного магнетизма. В большинстве случаев используется только для производства электромагнитной энергии и имеет крайне важное значение для защиты географической оболочки от космического излучения. В промышленных масштабах данный вид возобновляемой энергии для получения тепла не может быть эффективно использован.

8. Энергия ядерного синтеза и атомного распада. По своей сути наличие данного вида энергии так же связано с полезными ископаемыми, однако величина запасов данной энергии крайне велика и запасы относятся к практически неисчерпаемым.

В таблице 1.1 приведено сравнение потенциала рассмотренных возобновляемых источников энергии и особенности их по характеру использования в хозяйственном комплексе и роли в биосфере. Оценка мощности потока энергии приводится в соответствии с оценкой В.Г. Горшкова [87].

Рассмотрение особенностей понимания категории «возобновляемых энергетических ресурсов» с биосферной точки зрения позволяет детализировать определение рассматриваемой категории. Нами предлагается следующее, на наш взгляд, наиболее приемлемое для целей данной работы определение: возобновляемые энергетические ресурсы – это совокупность природных энергетических потоков, аккумуляторов энергии, преобразований энергии, как добавочного, так и не добавочного характера по отношению к энергетическому балансу биосферы, являющиеся неисчерпаемыми в рамках хозяйственной деятельности человека.

Возобновляемые энергетические ресурсы при их изучении представляются как крайне разнообразные объекты в своем генезисе, мощности, виде, физическому характеру происхождения, фазовому состоянию, форме энергии, величине, степени пространственной и временной неоднородности и доступности использования на данном уровне технологического развития человечества. Это обуславливает различные подходы к их использованию и фазовому преобразованию.

Таблица 1.1 – Общее сравнение видов возобновляемых источников энергии и их потенциала (по данным [87])

№ п/п	Вид энергии	Оценочная мощность ТВт	Характер и роль в биосфере	Степень использования в хозяйственном комплексе (ТВт)	Проблемы в использовании	Степень воздействия на окружающую среду при использовании
1	Солнечная энергия (поток прямой, рассеянной радиации)	100000	не добавочная	0,3	Не равномерность в пространстве и времени	Воздействие на окружающую среду варьируется от минимальных до допустимых
2	Энергия солнечного и космического ветра	0,001	не добавочная	отсутствует	Малая величина у поверхности земли	отсутствует
3	Энергия приливов и отливов морей и океанов	1	не добавочная	0,01	Узкая пространственная локализация	Приводит к существенному преобразованию ландшафта прибрежных территорий
4	Потенциальная и кинетическая энергия воды	3	не добавочная	1,0	Высокие капитальные затраты на технологическом этапе	Приводит к существенному преобразованию ландшафта обширных территорий
5	Потенциальная и кинетическая энергия ветра	2000	не добавочная	0,5	Не равномерность в пространстве и времени	Воздействие на окружающую среду варьируется от минимальных до допустимых
6	Геотермальные источники энергии	30	добавочная	0,01	Узкая пространственная локализация	Воздействие на окружающую среду варьируется от минимальных до допустимых
7	Энергия земного магнетизма	10	добавочная	отсутствует	Технологическая сложность преобразования в тепловую энергию	отсутствует
8	Энергия ядерного синтеза и атомного распада	300	добавочная	10	Крайне высокая опасность в случае аварий	Является потенциально высоко опасной в случае катастрофических ситуаций

Преимущественную долю, до 98% всей возобновляемой энергии составляет поток солнечного электромагнитного излучения, обеспечивающего существенно меньшую пространственную плотность энергии, в сравнении с традиционными источниками энергии используемых в технических системах, что и обуславливает необходимость изучения ландшафтных основ использования возобновляемых источников энергии.

Анализ публикаций по проблематике не только определения сущности возобновляемых источников энергии, но и их роли для развития общества позволяет выделить ряд работ, сочетающих экологические, экономические и социальные составляющие [108; 157; 228; 258; 288]. В приведенных работах отмечается, что использование возобновляемых источников энергии сталкивается с широким спектром проблем экономического, экологического, юридического и даже политического профиля.

В большинстве случаев рассматриваются вопросы достаточно узкого профиля, которые заключаются в оценке стоимости и эффективности создания устройств по генерации солнечной энергии, например, солнечных коллекторов, солнечных батарей. Однако, как отмечает В.А. Боков и соавторы [228]: «... наиболее важные следствия использования солнечной энергии состоят в возможном улучшении экологической ситуации, увеличении личной и коллективной свободы граждан, а, так же, вероятное снижение числа и степени проявления техногенных катастроф, и межгосударственных конфликтов».

Таким образом, крайне важной характеристикой возобновляемых энергетических ресурсов при их использовании выступает их экологичность, что отмечается далеко не во всех публикациях. Сравнение же экономического и экологического эффекта представляется достаточно сложным вопросом и зависит от точки зрения на проблему. Так, в ряде случаев использование потенциала возобновляемых источников энергии может быть достаточно дорогостоящим в сравнении с традиционными ресурсами, но может иметь важный экологический эффект. Данное положение достаточно подробно рассмотрено во многих работах.

Кроме явных экологических преимуществ использования возобновляемых энергетических ресурсов, существует и ряд экономических преимуществ данных ресурсов, на которые достаточно часто не обращают внимания. Так, использование возобновляемых источников энергии обеспечивает уменьшение транспортировки энергии от места «добычи» до потребителя. Кроме того, средства генерации возобновляемой энергии могут быть созданы в местах, удаленных от основных магистралей по транспортировке энергии. Следствием данного явления есть возможность децентрализации энергетики и экономики в целом.

Особую роль возобновляемых источников энергии при децентрализации энергетики в своей базовой работе подчеркивает Г. Шеер [258]. Как отмечает автор: «...Современные энергетические системы обеспечивают высокие стандарты для промышленности и потребителей, которые непосредственно связаны с устойчивостью и относительно высокой мощностью энергетических потоков. Переход на энергию с меньшей мощностью и устойчивостью во времени затруднен чисто психологически, хотя современный уровень сервиса сформировался не более 100 лет назад и, следовательно, стал доступным относительно недавно». Так же автор [258] отмечает, что вместе с решением экологических проблем энергетики, внедрение возобновляемых энергетических ресурсов означает определенный прогресс в социальной и политической сферах. Внедрение возобновляемых источников энергии приведет к снижению зависимости экономики каждого конкретного государства или региона от не возобновляемых источников энергии, управление которыми носит глобализированный характер. Таким образом, применение возобновляемых источников энергии позволяет повысить степень устойчивости экономической и социальной системы каждого конкретного региона.

Как мы видим, основная проблема массового внедрения систем, использующих возобновляемые источники энергии во много связаны с современным укладом общества, социальными стандартами и требованиями отраслей хозяйства, которые являются динамичными.

Одним из положительных аспектов внедрения возобновляемых источников энергии выступает, тот факт, что при использовании данных видов энергии происходит существенно меньшее преобразование энергии в сравнении с традиционными формами энергии, а, следовательно, и уменьшаются потери энергии. Этот факт является так же, как и минимизация потерь при транспортировке, важным плюсом использования возобновляемых энергетических ресурсов. Таким образом, явным является важность социально-экономических аспектов использования и внедрения в хозяйство возобновляемых источников энергии. Исследования в данном направлении представляются достаточно интересными и перспективными в разрезе каждого конкретного региона. Так, например, для условий Республики Крым проведен ряд работ в области обоснования эффективности применения возобновляемых источников энергии в каждом конкретном регионе [21; 26; 144; 225; 237; 239; 240].

Необходимо отличать следствия использования возобновляемых источников энергии в различные промежутки времени. Окупаемость данных источников является явно отложенным во времени, что снижает их экономическую привлекательность, однако экологический эффект заметен сразу и не является отложенным во времени.

Кроме рассмотрения вопросов положительных и отрицательных сторон возобновляемых энергетических ресурсов, в ряде работ возможно проследить эволюцию представлений о возобновляемых энергетических ресурсах вплоть до термина «энергетика возобновляемых источников энергии». Так И.Г. Черванев и В.А. Боков предлагают следующую трактовку данной категории: «...энергетику следует рассматривать как совокупность природных и антропогенных (техногенных, искусственных) энергетических полей, потоков, устройств и сооружений, определенным образом организованных в пространстве и времени, обеспечивающих устойчивый энергетический и экологический баланс, хозяйственную, экономическую и экологическую стабильность» [44].

Отметим, что вопрос теории и методики исследования именно ландшафтного потенциала возобновляемых энергетических ресурсов

рассматриваются достаточно редко. Хотя с точки зрения энергетики биосферы данное положение является ключевым при методологическом обосновании подходов к оценке потенциала возобновляемых энергетических ресурсов. Данный факт отрывает определенные перспективы для исследователей.

Виды возобновляемых источников энергии, не являющиеся дополнительными, а именно солнечная энергия, потенциальная и кинетическая энергия ветра и воды представляются в виде важных системообразующих потоков в ландшафте, которые достаточно плотно изучаются учеными в области физической географии и геоэкологии. Изучению данных вопросов посвящены работы В.А. Бокова, В.О. Смирнова, Р.В. Горбунова [37; 39–41; 43; 148; 222–224; 241; 242]. Важным является положение о том, что данные потоки преобразуются в каждом конкретном ландшафте, а, следовательно, и определяют потенциал каждого конкретного возобновляемого источника энергии в каждом ландшафте в зависимости от его территориальной структуры.

Рассматривая перспективы исследований в области представлений о возобновляемых энергетических ресурсах, отметим широкую нишу вопросов в области влияния территориальных аспектов организации ландшафтов, в том числе и в условиях конкретных регионов, на потенциал возобновляемых источников энергии. Работы, выполненные в данном направлении, либо дают общее представление о влиянии ландшафта на возможность использования возобновляемых источников энергии, либо затрагивают далеко не весь спектр факторов организации ландшафтов. Таким образом, работы по оценке ландшафтного потенциала возобновляемых энергетических ресурсов для каждого региона представляют определенную научную ценность. Важным является при этом понимание комплексности энергетики ландшафта, а также потенциала возобновляемых энергетических ресурсов ландшафта, как важного компонента, имеющего хозяйственное значение для каждого конкретного региона или ландшафта.

1.2 Подходы к оценке потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в мире

Рассматривая подходы к оценке потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в мире, отметим многокритериальность данной задачи. Важное значение здесь имеет разграничение субъект-объектных отношений в процедуре оценки. Так же определенные различия присутствуют не только в процедуре оценки, выборе критериев оценки потенциала возобновляемых энергетических ресурсов, но даже и в цели и задачах оценки.

Вопрос оценки потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в мире впервые был поднят на должном научном уровне в середине 70-гг XX века. После этого, за последние 30–40 лет накоплен широкий опыт оценки потенциала возобновляемых энергетических ресурсов как для планеты в целом, так и для отдельных государств и их регионов.

Отправной точкой в международном изучении возобновляемых источников энергии можно считать 1978 год. Именно в данном году Генеральная Ассамблея ООН официально закрепила терминологический аппарат в сфере возобновляемых источников энергии на международном уровне. Было дано следующее определение в соответствии с резолюцией 33/148: «понятие новые и возобновляемые источники энергии включают следующие виды: солнечная энергия, ветровая энергия, геотермальная энергия, энергия биомассы древесины, гидроэнергия» [60].

Рассмотрение подходов к оценке потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в мире начнем с выделения субъектов оценки. Объектом же оценки является потенциал возобновляемых энергетических ресурсов.

Среди субъектов оценки потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в мире выделим Международное энергетическое агентство (МЭА) (International Energy Agency, IEA), являющееся лидирующей организацией и одной из наиболее авторитетных на мировом уровне в области анализа и прогнозирования возможностей использования возобновляемых источников энергии в мире. Данная организация была создана в следствие энергетического

кризиса 1973–1974 гг. и по сути является консалтинговой организацией для 29 стран-участников Организации экономического сотрудничества и развития. В соответствии с данными официального сайт агентства, одной из его задач выступает продвижение альтернативных источников энергии, в особенности возобновляемых.

Среди наиболее известных прогнозов данной организации выделим ежегодный прогноз развития энергетики (World Energy Outlook) [300; 301], а также, отраслевые отчеты, в том числе и отчет в сфере возобновляемой энергетики. Отметим, что данное агентство так же сотрудничает и со странами, не входящими в состав Организации экономического сотрудничества и развития, в том числе с Китаем, Россией, Индией.

Основная методология оценки при прогнозе агентства сводится к анализу экономических индексов развития государств и прогнозу получения энергоресурсов. Определенные ключевые блоки методики оценки не разглашаются и многие показатели базируются на экспертных оценках, что имеет определенную долю субъективности. Учитывая, что прогнозы данного агентства, особенно при работе с традиционными источниками энергии, в особенности нефти, учитываются при принятии международных решений, данные методики предположительно можно считать объективными. Отметим, однако, что существует достаточно интенсивная и обоснованная критика результатов прогнозов данного агентства. Отмечаются определенное завышение показателей прогнозов и сильная политизированность организации.

Следующим «крупным» международным субъектом оценки потенциала возобновляемых энергетических ресурсов выступает Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA). В структуре данного агентства постоянно участвуют представители как минимум 40 государств. Кроме, достаточно распространенных текстовых отчетов и баз данных, IRENA для популяризации расчетов и оценок потенциала возобновляемых источников энергии активно использует интерактивные методы.

Так, кроме официального сайта, данной организацией разработан и представлен интерактивный атлас – Глобальный атлас возобновляемых источников энергии [68]. Атлас представляется оригинальным средством для получения широким кругом населения и специалистами информации об энергетическом потенциале. По заявлениям разработчиков, за каждой из представленных карт в атласе, «стоит» сложный программный алгоритм расчета, например, солнечной активности или ветрового потенциала.

Атлас содержит широкий набор карт, необходимых для получения информации, собранной экспертами агентства. При помощи инструментария атласа достаточно просто выявить области, обладающие разными значениями потенциала возобновляемых энергетических ресурсов. Кроме стандартных наборов карт поступающей солнечной радиации и солнечной энергии, ветрового потенциала, данный источник содержит «слои», отображающие состояние и наличие инфраструктуры, данные о транспортной сети, охраняемых природных территориях. Пространственный охват данного ресурса достаточно велик. Атлас содержит тематические карты для территории Африки, Азии, Латинской Америки, Европы. Территория России, к сожалению, на данном ресурсе не отображена.

Следующей организацией, работающей в области оценки потенциала возобновляемых источников энергии на мировом уровне выступает мировой энергетический совет. Данная организация выпускает Путеводитель по энергетическим ресурсам (Survey of Energy Resources) [296]. Обновление данного ресурса происходит раз в три года и по заявлениям разработчиков, в данном ресурсе содержится более детальная информация, нежели чем в отчетах Международного энергетического агентства. Потенциал в данных отчетах оценен как для возобновляемых, так и для традиционных источников энергии. Отметим, что территориальный охват данных баз так же не полный. Так для территории России представлены только общеизвестные карты запасов газа, угля, нефти. Из возобновляемых источников энергии представлены только энергоресурсы,

причем потенциал их отображен через введенные в эксплуатацию мощности средств производства энергии, что на наш взгляд несколько некорректно.

Оригинальный подход для оценки возобновляемых источников энергии на мировом уровне используется не правительственной и не коммерческой организацией Гринпис, имеющей общемировую известность. В отличие от предыдущих организаций Гринпис «не скрывает» методологии оценки потенциала возобновляемых источников энергии. Как отмечается на официальном сайте организации, методология базируется на интеграции инструментария, разработанного Немецким советом по мировым изменениям. Данный инструментарий используется для оценки потенциала возобновляемых источников энергии. В части оценки традиционных источников энергии методология схожа с подходами, используемыми Международным энергетическим агентством и Мировым энергетическим советом.

Оценка потенциала традиционных источников энергии в отчетах Гринпис вполне стандартная. Оценивается величина разведанных, оцененных и прогнозируемых запасов. В случае с оценкой возобновляемых источников энергии ситуация более детально проработана. Так в методологии Немецкого совета по мировым изменениям, выделяется пять категорий потенциала возобновляемых источников энергии, которые возможно удобно расположить по возможности использования человеком. Это теоретический потенциал, потенциал преобразования, технический потенциал, экономически доступный потенциал и потенциал социально-экологический. Последний вид потенциала в оценках мирового уровня встречается только у Гринписа [298].

Анализ, представленных подходов к оценке энергетического потенциала мира, в том числе и потенциала возобновляемых источников энергии, позволяет выявить много схожих черт, которые раскрывают методологию оценки потенциала и позволяют детализировать сущность категории потенциала возобновляемых источников энергии. Так в состав понятия энергетического потенциала, в соответствии с мировым опытом его оценки, входит как минимум четыре составляющих блока – природные ресурсы, мощности по добыче или

использованию, мощности по переработке и наличие специализированной инфраструктуры. В структуре энергетического потенциала выделяется два крупных направления, мало связанных друг с другом тематически – это оценки топливно-энергетических ресурсов территории, тождественных традиционным источникам энергии и ресурсы природной среды – энергия ветра, солнечное излучение, геотермальная энергия, которые, за некоторым исключением, соответствуют определению возобновляемых источников энергии.

Второй составляющей потенциала возобновляемых источников энергии относят совокупность мощностей по извлечению энергетических ресурсов природной среды, а, так же, технические мощности по преобразованию данной энергии в тепловую и электрическую энергию. Учитывая, что возобновляемая энергетика отличается коротким звеном между энергией в природе и энергией «на выходе», то оба этих понятия на практике объединятся в одну систему устройств, например, ветряную или солнечную электростанцию, что облегчает процесс оценки данного блока.

Третьей составляющей оценки потенциала возобновляемых источников энергии, выявленной при рассмотрении мирового опыта оценок возобновляемых источников энергии, выступают мощности по преобразованию первичных топливно-энергетических ресурсов территории. В случае традиционных источников энергии это могут быть электростанции, нефтеперерабатывающие заводы, котельные. В случае возобновляемых источников энергии данное звено часто отсутствует, объединяясь с технической точки зрения с предыдущей составляющей.

Четвертой составляющей оценок потенциала возобновляемых источников энергии выступает транспортная инфраструктура территории, предназначенная для передачи, извлеченной природной возобновляемой энергии. Здесь направления оценок потенциала традиционных и возобновляемых источников близки, стой лишь разницей, что мощности по преобразованию возобновляемой энергии в большинстве своем близки по пространственному расположению к потребителю.

Обобщенная схема субъект-объектных отношений и логики подходов к изучению потенциала возобновляемых источников энергии в мировой практике, представлены в таблице 1.2.

При рассмотрении мирового опыта по оценке потенциала возобновляемых источников энергии, кроме глобальных оценок, проводимых крупными корпорациями и агентствами, был выявлен широкий спектр региональных и национальных оценок. Их специфика состоит в том, что при разработке методики оценки учитывается «местная» составляющая, связанная с особенностями конкретного региона, что приводит к формированию специфической методики, часто не приемлемой для абсолютно всех регионов мира. Приведем примеры. Безусловным лидером по наличию и детальности исследований в области потенциала возобновляемой энергетики выступают США. Для территории данного государства разработан Национальный атлас ресурсов возобновляемой энергии, детальные базы данных по солнечной, ветровой, гидроэнергетике.

Ведущей организацией по оценке потенциала возобновляемой энергетики в США является Национальная исследовательская лаборатория возобновляемой энергетики NREL (США). Для стимулирования развития потенциала возобновляемой энергетики в США действует программа American Recovery and Reinvestment Act, которая предусматривает целевое финансирование строительства новых объектов возобновляемой энергетики.

Интерес представляют исследования американской компании Bloomberg New Energy Finance (BNEF), в отчетах которой отмечается, что по итогам 2012 года Китай почти в два раза опередил США по величине инвестиций в возобновляемую энергетику [267]. Не уступают в оценке потенциала возобновляемых источников энергии и страны ЕС и Япония. Среди стран ЕС отметим Швецию, Финляндию, Нидерланды.

Среди наиболее «свежих» публикаций, посвященных оценке ресурсов возобновляемой энергетики можно выделить REN21. Renewables 2016: Global Status Report [289].

Таблица 1.2 – Подходы к оценке потенциала возобновляемой энергетики в мире (составлено автором)

Субъект оценки	Форма предоставления информации	Объект оценки	Составляющие оценки потенциала	Используемый подход	Пространственно-территориальный охват
Международное энергетическое агентство (МЭА) (International Energy Agency, IEA)	Ежегодный прогноз развития энергетики (World Energy Outlook)	Весь комплекс энергетических ресурсов мира с блоком возобновляемой энергии	Традиционные источники энергии и ресурсы природной среды + транспортная инфраструктура территории	Анализ экономических индексов развития государств и прогнозу получения энергоресурсов, экспертные оценки	Европа, Северная Америка, Китай, Индия, Бразилия, Австралия (всего 29 стран + Россия).
Международное агентство по возобновляемым источникам энергии (IRENA)	Глобальный атлас возобновляемых источников энергии	Солнечная энергия, ветровой потенциал, данный состояние и наличие инфраструктуры, данные о транспортной сети, охраняемых природных территориях	Традиционные источники энергии и ресурсы природной среды + совокупность мощностей по извлечению энергетических ресурсов природной среды	Сложный программный алгоритм расчета параметров	Страны Африки, Азии, Латинской Америки, Европы (всего 40 стран), территория России не отображена.
Мировой энергетический совет	Путеводитель по энергетическим ресурсам (Survey of Energy Resources)	Весь комплекс энергетических ресурсов мира	Традиционные источники энергии и ресурсы природной среды + мощности по преобразованию первичных топливно-энергетических ресурсов	Экспертные оценки	охват данных баз данных не полный. Так для территории России представлены карты запасов газа, угля, нефти

Продолжение таблицы 1.2

Субъект оценки	Форма предоставления информации	Объект оценки	Составляющие оценки потенциала	Используемый подход	Пространственно-территориальный охват
Гринпис	Ежегодные прогнозы, отчеты организации, представление на интернет-ресурсах Гринпис в регионах	Потенциал возобновляемых источников энергии с акцентом на энергию ветра, солнечное излучение, геотермальная энергия,	Теоретический потенциал, потенциал преобразования, технический потенциал, экономически доступный потенциал и потенциал социально-экологический.	Методология базируется на интеграции инструментария, разработанного Немецким советом по мировым изменениям, экспертные оценки.	124 государства мира, в том числе РФ
Национальная исследовательская лаборатория возобновляемой энергетики NREL (США)	Национальный атлас ресурсов возобновляемой энергии	Весь комплекс возобновляемых источников энергии	Традиционные источники энергии и ресурсы природной среды + транспортная инфраструктура территории + совокупность мощностей по извлечению энергетических ресурсов природной среды + мощности по преобразованию первичных топливно-энергетических ресурсов	Сложный программный алгоритм расчета параметров	США + отдельные карты для Китая, Бразилии, Индии, Турции, Пакистана, Афганистана, Бангладеш и Шри-Ланки

В данном издании приводится наиболее детальная на сегодняшний день, и наиболее современная оценка потенциала возобновляемых источников энергии для европейских государств. Среди обширного числа публикаций по данной тематике отметим ExternE: Externalities of Energy [271] – один из первых отчетов Европейской комиссии, положившей начало целому циклу экспертных оценок в области экологического эффекта от использования возобновляемых источников энергии в Европе. Именно в данной публикации, впервые на государственном уровне был закреплен тезис о том, что снижение затрат на восстановление экологической обстановки произойдет за счет того, что вырабатываемый объектами возобновляемой энергетики объем энергии заменит равный объем энергии, получаемый от теплоэлектростанций, что приведет к снижению выбросов, а, следовательно, и расходов на восстановление окружающей среды за счет них.

Обратим внимание на отчет ADAS Consulting [291], посвященный роли возобновляемых источников энергии в Великобритании и их воздействию на окружающую среду. В данной публикации подчеркивается опыт оценки потенциала возобновляемой энергетики с позиций устойчивого развития на региональном уровне. Интерес представляют и показатели, применяемые для оценки в данной работе.

Среди работ по оценке потенциала возобновляемых источников энергии в Германии отметим отчеты Федерального министерства экологии Германии [277; 280]. Данные работы посвящены экспертной оценке экономической и экологической составляющей энергетики Германии и роли внедрения возобновляемых источников в данной стране.

В Европейском союзе ведется так называемая Renewable energy statistics [276]. В данном документе отображается сводная статистика и прогноз использования потенциала возобновляемых источников энергии в разрезе стран и регионов Евросоюза. Необходимо отметить, что в Европе действует достаточно большое число ассоциаций по профилю возобновляемых источников энергии, которые так же проводят разного рода оценки в данной отрасли. В качестве

примера приведем работы European Photovoltaic Industry Association [275]. Данная ассоциация работает в области фотовольтаики и разрабатывает прогнозы эффективности использования солнечных батарей на континенте.

Анализ показывает, что выбор конкретных видов энергии в каждой стране (в каждом регионе) определяется целой совокупностью факторов самого разного толка:

1. Современной рыночной стоимостью, а также ожидаемой стоимостью;
2. Стратегическими целями стран, например, от атомной энергетики не откажется ни одна из стран, в которой она имеется, поскольку ее развитие прямо или косвенно способствует военной мощи страны;
3. Оценкой степени опасности каждого вида, включая экологический аспект, возможность террористических атак;
4. Надежностью энергетических источников, их устойчивостью во времени, мощностью.

Работа по оценке потенциала возобновляемых источников энергии ведется и в других государствах. Важное значение при этом имеет межгосударственное сотрудничество. Так в 2013 году под эгидой Германии был создан «Клуб стран альтернативной энергетики», в состав которого кроме Франции, Германии, Великобритании вошли Китай, Индия, Марокко, ОАЭ.

Определенная работа ведется и в странах Латинской Америки. Особое внимание на данном континенте уделяется гидроэнергетики и использованию энергии солнца. В оценке потенциала данного региона участвуют и ученые из Российской Федерации. В качестве примера приведем данные сайта Eurostat [276].

Среди стран постсоветского пространства отметим Белоруссию, Молдавию, Украину, Казахстан. В данных государствах ведется планомерная работа по оценке потенциала возобновляемых источников энергии. Среди работ отметим исследования на основе экспертных оценок, проведенные центром социальных исследований «София» в работе «Энергетический потенциал Украины» [262]. Определенная работа по развитию возобновляемых источников энергии ведется и рядом научных организаций Национальной академии наук Украины. Институт

возобновляемых источников энергии Национальной академии наук Украины в 2005–2010 годах вёл планомерную работу по оценке потенциала ветровой энергии территории государства.

Рассмотрение подходов оценки потенциала возобновляемых источников энергии в мире позволяет выявить еще одну немаловажную тенденцию. В последние годы важное значение при оценке потенциала возобновляемых источников энергии имеют ГИС-технологии. В мировой практике накоплен широкий опыт использования данных технологий для создания и визуализации баз данных ресурсов возобновляемой энергии. Отметим самые эффективные ГИС на мировом уровне. Это, прежде всего, Renewable resources map and data, NREL, 3TIER Renewable Energy, NASA SSE, WRDC, SOLARGIS, METEONORM [263; 290; 293; 295; 298; 302].

В состав данных ГИС входит достаточно много тематических слоев, которые с методической точки зрения возможно объединить в четыре группы:

- результаты оценки ресурсов возобновляемой энергии для определенного региона;
- технические параметры используемых и перспективных установок для использования возобновляемых источников энергии;
- экономические факторы, обеспечивающие использование возобновляемых источников энергии в регионе;
- социальные условия для развития возобновляемых источников энергии.

Важно отметить, что во всех четырех группах имеются параметры, которые можно отнести к ограничивающим факторам развития возобновляемой энергетики.

В систему оценки ресурсов возобновляемой энергии в данных ГИС используются разнообразные методики моделирования, достаточно часто используются данные спутниковых наблюдений и наблюдений, осуществляемых на метеостанциях и метеопостах, специализированных измерительных установках по всему миру.

Рассмотрение регионального мирового опыта оценки потенциала возобновляемых источников энергии показывает, что с методологической точки зрения данные исследования достаточно разнообразны. Весомое место среди них занимают расчеты и прогнозы экономического характера. Обращает на себя внимание и факт крайне широкого и частого использования экспертных оценок с последующей их приоритизацией в соответствии с достаточно сложными методиками на основе системного анализа. В целом число публикаций, посвященных региональному опыту оценки потенциала возобновляемой энергетики достаточно обширно и в последние 5–10 лет наблюдается явный рост их числа, что свидетельствует о значимости, рассматриваемой проблематики и актуальности, проводимых исследований.

Обобщение мирового опыта по оценке потенциала возобновляемых источников энергии показывает, что данный вопрос является достаточно плотно рассмотренными в научных кругах и имеющий много примеров удачной реализации. Большинство государств имеют наработки в области оценки потенциала возобновляемой энергетики с разным уровнем детализации. Кроме того, исследования в данном направлении интенсивно развиваются в направлении охвата территорий развивающихся стран, а, так же, в направлении совершенствования аналитического аппарата, а не только классической оценки потенциала возобновляемых источников энергии. Важное значение имеет и открытость, и доступность информации для широкого круга пользователей при помощи представления результатов в сети интернет или при помощи ГИС-продуктов открытого доступа.

1.3. Подходы к оценке потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в Российской Федерации

Вопрос описания и анализа подходов к оценке потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в Российской Федерации, является одним из актуальных для стратегического развития энергетики государства. Процесс оценки потенциала возобновляемых энергетических ресурсов активно происходит во

многих регионах государства и, в целом, является перспективно развивающимся направлением исследований, активно поддерживаемых государственной властью.

С точки зрения субъект-объектных отношений все проводимые в России оценки потенциала возобновляемых источников энергии можно разделить на три направления. Это оценки, проводимые международными организациями и агентствами без участия или с поддержкой российской стороны, это национальные оценки, проводимые на государственном уровне для разработки стратегий развития отрасли энергетики, в большинстве случаев, осуществляемые крупными научно-исследовательскими организациями. И третья группа оценок – это оценки, проводимые отдельными учеными или группами ученых для конкретных регионов России.

Разнообразие субъектов оценки вызывает широкую дифференциацию методов исследования и используемых подходов, которые разнятся от экспертных оценок, до сложных алгоритмов моделирования полей потенциала возобновляемых энергетических ресурсов для конкретных детальных территорий.

Рассмотрим наиболее значимые и интересные с методологической точки зрения подходы к оценке потенциала возобновляемой энергетики в Российской Федерации. Первой группой отметим результаты оценок потенциала возобновляемых энергетических ресурсов, проводимые для территории Российской Федерации Международным энергетическим агентством (МЭА). Данные документы представляют собой отдельные доклады, базирующиеся на стандартной методологии оценок, используемых в МЭА и часто достаточно просто интегрируемые в структуры мировых докладов [56].

Исследования потенциала возобновляемых источников энергии в России в структуре МЭА были отданы в отдел возобновляемых источников энергии управления эффективности, технологии и исследований в энергетике. Сразу отметим, что достаточно большая часть результатов исследований для территории России, в МАЭ осуществлена, традиционно, на основе экспертных оценок и является часто оспариваемой учеными из России. Структура исследования МАЭ базируется на оценке возможности рынка возобновляемых источников энергии

России и отличается существенным экономическим уклоном, проводимых исследований. В работе рассмотрен российский энергетический рынок, потенциальные рынки технологий возобновляемых источников энергии, ресурсы и потенциал данных источников энергии.

Весомое внимание в структуре докладов МАЭ уделяется оценке уровня экономического развития России, социальным и экологическим преимуществам возобновляемых источников энергии, а также, содействие «развитых стран» развитию рынков оборудования возобновляемых источников энергии в нашей стране.

С точки зрения компонентного анализа составляющих потенциала возобновляемых источников энергии, исследования, проведенные МАЭ для территории России, не отличаются от исследований для других регионов мира. В структуре оценке потенциала присутствуют ветровые ресурсы, солнечные ресурсы, ресурсы биомассы, гидроэнергетические ресурсы. В отчетах приводятся количественные данные относительно потенциала возобновляемых источников энергии, данные о приходе суммарной солнечной радиации, распределении водных ресурсов, детально описываются ресурсы лесной промышленности России, региональное распределение экономического гидропотенциала. Интерес представляют данные о скрытых преимуществах малой энергетики, данные о занятости населения на стадиях строительства и эксплуатации предприятий, использующих возобновляемые источники энергии, данные о выбросах систем на возобновляемых источниках энергии в сравнении с системами на традиционных источниках энергии, данные об общей занятости населения в энергетических технологиях.

Основная форма представления информации в докладе МАЭ – это табличные данные и обобщенные картосхемы. Статистическим базисом исследования, скорее всего, выступают данные официальной государственной статистики Российской Федерации, специальным образом обобщенные и аналитически разделенные при помощи общих методик МАЭ.

Обращает на себя внимание аналитическая информация, включенная в отчеты МАЭ относительно возможности реализации инвестиционных проектов в области возобновляемых источников энергии в России, оценка эффективности и целесообразности данных проектов, типовые схемы их реализации. В общем, структура данных отчетов достаточно обширна, однако отличается достаточно неясной и разнообразной методологией.

Отметим результаты анализа потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в России, осуществленного Программой IFC (International Finance Corporation) по развитию возобновляемых источников энергии в России. Данный отчет имеет сугубо экономическую специфику и базируется на анализе инвестиционного климата в сфере возобновляемой энергетики России. Для эколого-географических исследований он интересен системой показателей оценки инфраструктуры для возобновляемой энергетики России, как элемента комплексного понятия потенциала возобновляемых источников энергии [6].

В Российской Федерации основным отраслевым документом по развитию энергетики в целом является серия Энергетических стратегий для государства. К ним относятся Энергетическая стратегия России до 2020 года [178], Энергетическая стратегия России до 2030 года [215]. В структуре данных документов государственного уровня, наряду с превалирующей оценкой традиционных ресурсов энергетики страны, уделяется внимание и возобновляемым источникам энергии. Так в [215] приводятся данные относительно генерирующих мощностей возобновляемых источников энергии для страны. В данных документах так же приводятся данные относительно оценки и прогноза использования возобновляемых источников энергии на перспективу, прогнозы поэтапного изменения энергетического баланса государства, сводный план мероприятий энергетической политики страны.

Несмотря на общность многих оценок, приводимых в данных Стратегиях, именно эти данные являются государственно закрепленными нормативными величинами, отображающими состояние отрасли возобновляемой энергетики в России и, именно на их основе осуществляется государственное регулирование и

финансирование отрасли. С методологической точки зрения данные прогнозы базируются на аналитике отраслевой государственной статистики, в том числе и «закрытого» доступа и явно с большей точностью отображают картину оценки потенциала возобновляемых источников России, в сравнении с оценками иностранных организаций. Отметим, что данные приводимые в этих Стратегиях часто дублируются в результатах оценки ресурсов возобновляемой энергетики России, проводимых иностранными фондами и агентства, в том числе и Международным энергетическим агентством [56].

Далее отметим результаты отраслевого исследования, проведенного ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России, относительно оценки потенциала возобновляемых источников энергии [248]. Целью работы представлялась разработка методических подходов по оценке экономического потенциала использования возобновляемых источников энергии для Российской Федерации. Акцент делался на сравнение конкурентоспособности различных видов энергоносителей на рынке России. В представленных отчетах ведомства отображены данные относительно оценки экономического потенциала возобновляемых источников энергии при производстве тепловой и электрической энергии, данные относительно эффективности использования возобновляемых источников энергии различными группами потребителей – от крупных промышленных предприятий до индивидуальных потребителей и малых производств.

Так же в отчетах ведомства приводятся результаты моделирования и оценки для различных типов ветро- и электростанций для потребителей различной мощности, выявлены различия в экономической эффективности на оптовом и розничном рынке электроэнергии, рассмотрены вопросы экспорта энергии, полученной за счет реализации потенциала возобновляемых источников энергии.

Весомое внимание в данных докладах уделено не только оценке потенциала, но и вопросу создания финансовых моделей расчетов окупаемости проектов в сфере возобновляемой энергетики в России.

Информационной базой данного отраслевого исследования так же выступают статистические данные Росстата и ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго России. Результаты исследования могут рассматриваться для обоснования направлений развития возобновляемых источников энергии в России.

Рассмотрим результаты оценки потенциала возобновляемых источников энергии, проводимых на региональной и близком к национальному уровню, более «мелкими» государственными учреждениями, экспертными группами, информационно-аналитическими службами. Сразу отметим, что число данных оценок для регионов России достаточно велико, однако методология данных исследований часто является не однозначно определяемой, в большинстве случаев здесь так же речь идет об оценке официальной статистики, только в разрезе конкретного региона или группы регионов. В качестве примера приведем аналитический отчет о развитии альтернативной энергетики в России, выполненный ОАО Корпорация «Развитие» для Белгородской области [212].

В данном издании рассматривается ситуация в отрасли альтернативной энергетики в мире, ситуация в рассматриваемой отрасли в России, приводятся практические примеры реализации проектов в области возобновляемой энергетики практически для каждого из регионов России, рассматривается опыт работы в области солнечной энергетики, ветроэнергетики, биогаза.

Так же выделим работу, посвященную оценке и обзору возможностей внедрения возобновляемых источников энергии в России, выполненных сотрудниками Южно-Уральского государственного университета [179].

Аналогично структуре международных докладов в области оценки потенциала возобновляемых источников энергии, авторы проводят покомпонентную оценку перспектив развития возобновляемой энергетики в России, с особым акцентом на оценку технического и экономического потенциала. Так же проводится рассмотрение разнообразных сценариев и программ развития возобновляемой энергетики для различных регионов России,

выявляются факторы, тормозящие и стимулирующие развитие рынка в данной отрасли.

Несмотря на большой объем информации приводимой в данном докладе, многие из приведенных результатов являются научно-популярными и скорее отображают общие тенденции развития рынка возобновляемых источников энергии и не имеют весомой научной значимости. Подобных работ, выполненных в соответствии с многочисленными иностранными грантами, встречается достаточно много. Рассмотрение их в рамках данной работы не имеет интереса, так как методология оценки составляющих потенциала возобновляемых источников энергии в них практически отсутствует.

Среди работ по оценке потенциала возобновляемых источников энергии в России отметим работы, посвященные картографированию параметров окружающей среды важных для оценки потенциала возобновляемых источников энергии.

Это, прежде всего Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива, представленный П.П. Безруких в 2007 г. [27]. В данном справочнике систематизируется информация относительно оценки возобновляемых энергетических ресурсов в разрезе регионов России, впервые представляется не просто результат расчетов полей солнечной радиации или ветрового потока, а представлен результат детальных расчетов валового, технического, экономического потенциала для каждого из видов возобновляемой энергии, присутствующих в субъектах Российской Федерации.

Не менее удачным результатом представления исследований в области оценки компонентного потенциала возобновляемых источников энергии выступает Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России, разработанный О.С. Попелем, С.Е. Фридом в Российской академии наук, в Объединенном институте высоких температур [15]. В данном издании рассматриваются актинометрические данные для оценки ресурсов солнечной энергетики в России, рассмотрены принципы построения базы данных NASA SSE. Приводится ясный и четкий алгоритм картографической обработки

актинометрической информации базы данных NASA SSE для условий территории России. Интерес представляет и информация относительно преобразования солнечного излучения и энергии ветра, а также сведения о моделировании работы энергоустановок и оценка показателей эффективности работы солнечных водонагревающих установок.

Отметим, что О.П. Попель в соавторстве с В.Л. Тумановым осуществили большой пласт работ по оценке потенциала, состояния и перспектив возобновляемой энергетики не только для территории России, но для многих регионов мира. Авторами был произведен анализ мирового потребления первичных энергетических ресурсов, прогноз масштабов использования возобновляемых источников энергии в Европе, была разработана система целевых индикаторов по использованию возобновляемых источников энергии. В структуру последних авторы включают и показатели оценки потенциала возобновляемых источников энергии [205].

Среди последних работ по картографированию потенциалов возобновляемой энергии необходимо выделить Атлас ресурсов возобновляемой энергии на территории России, созданный коллективом авторов из ведущих научных учреждений России в данной области – МГУ имени М.В. Ломоносова, Институт энергетики Высшей школы экономики, Объединенный институт высоких температур РАН [15]. На основе базы данных NASA Surface Meteorology and Solar Energy (NASA SSE) [287] авторами рассчитаны значения и построены карты ресурсов, валового и технического потенциалов отдельных видов возобновляемых источников энергии: солнечной, ветровой, энергии органических отходов, энергии малых водных потоков и торфа.

Перейдем к рассмотрению опыта непосредственно научной оценки потенциала возобновляемых источников энергии. Отметим, что с эколого-географической точки зрения, результатов исследований в данном направлении немного. Выделим основные из них.

Г.А. Гоголевым [69–72], в рамках диссертационного исследования, проведено рассмотрение эколого-географических основ использования

возобновляемых источников энергии в Российской Федерации. Работа выполнялась в рамках исследований Института географии РАН и представляется одной из работ в сфере изучения непосредственно географической и экологической составляющей оценки потенциала возобновляемых источников энергии в России.

Среди всех результатов, представленных автором наибольший интерес на наш взгляд представляют оценка современного уровня использования возобновляемых источников энергии в России и проведенное специальное районирование территории Российской Федерации по региональному потенциалу ресурсов возобновляемой энергетики. Автор на основе детальной методики выделяет наиболее перспективные субъекты Российской Федерации, с точки зрения реализации потенциала возобновляемых источников энергии. Районирование территории Российской Федерации автором проводилось на основе комплексной модели эколого-экономической эффективности возобновляемых источников энергии. Так же определенный практический интерес представляет оценка потенциала возобновляемых источников энергии для обеспечения энергетических нужд особо охраняемых природных территорий.

Не менее интересными специализированными исследованиями являются работы, проводимые О.И. Шуткиным, по эколого-экономической оценке, конкурентоспособности проектов солнечной энергетики в Российской Федерации [259]. Автором с целью проведения эколого-экономической оценки эффективности проектов солнечных электростанций проведена работа по выявлению критериев оценки потенциала солнечной энергетики в регионах России. Была разработана и обоснована методика расчета общественных затрат по внедрению проектов солнечной энергетики. На основе моделирования потоков солнечной радиации предлагается выделение 5 диапазонов солнечной инсоляции, на основании которых, производится пространственная дифференциация территории Российской Федерации. Важное значение в работах данного автора имеют обоснованные расчеты достижения эколого-экономического эффекта от внедрения проектов солнечных электростанций.

Необходимо выделить работу Ю.Ю. Рафиковой [216], посвященную геоинформационному картографированию ресурсов возобновляемых источников энергии на примере юга России. В результате данного диссертационного исследования была разработана методика картографического обеспечения комплексной оценки ресурсов солнечной и ветровой энергии на региональном уровне.

Проведенный анализ позволяет заключить, что спектр подходов, базирующихся на эколого-географических принципах при оценке потенциала возобновляемых источников энергии в России не велик. В основном это узкопрофильные научные исследования отдельных авторов, выполненных в рамках диссертационных исследований и или научно-исследовательских тем научных учреждений.

В рамках официальных государственных программ, оценок, докладов, стратегий эколого-географические факторы, как элемент оценки потенциала возобновляемых источников энергии в России, встречаются крайне редко и в большинстве случаев сводятся к построению карт распределения солнечного излучения, ветровых полей или мест размещения геотермальных источников энергии. Комплексного эколого-географического подхода к решению поставленных задач по оценке потенциала возобновляемых источников энергии выявить не удалось.

1.4. Исследования потенциала возобновляемых энергетических ресурсов в Крыму

Оценка энергетического потенциала является важной ступенью в изучении и разработке энергетического комплекса региона. С этого должны начинаться работы, связанные с перестройкой энергетической системы в целом и внедрением систем возобновляемой энергетики в частности.

Энергетические проблемы Крыма во многом определяются тем, что Крым плохо обеспечен собственными традиционными источниками энергии: извне поступает 93 % электроэнергии, 52 – 55 % природного газа, 96 % жидкого

топлива [228]. В Крыму почти вся электроэнергия вырабатывается тепловыми станциями. Построенная в 1986 году Щелкинская атомная станция не была введена в строй из-за протестов общественности и исследований геологов, показавших, что в этом районе возможны сильные землетрясения. В регионе разведаны большие запасы газа на шельфе Черного и Азовского морей. Как отмечают специалисты [228], технические и экономические возможности позволяют увеличить его добычу в три раза, то есть на полуострове есть энергетические ресурсы, значительно превышающие его потребности. Вместе с тем разведанные запасы углеводородов при сохранении существующих способов добычи и потребления могут быть исчерпаны через 40–50 лет.

Разрабатываемые и принимаемые в последние годы программы и проекты по Крымскому региону нацелены на обеспечение его устойчивого развития. [189]. Эта стратегия не может игнорировать и не учитывать мировые тенденции, поэтому топливно-энергетический комплекс полуострова должен трансформироваться в сторону уменьшения зависимости от поставок энергии извне, в том числе за счёт поэтапного, постепенного и неукоснительного увеличения доли возобновляемой энергетики.

Исследования потенциала солнечной энергетики в Крыму. Крымский полуостров обладает значительными ресурсами солнечной энергии. В среднем приход суммарной солнечной радиации в Крыму составляет более 5300 МДж/м² при более чем 2400 ч солнечного сияния в год [21]. Такие ресурсы солнечной энергии определяют возможность и целесообразность её применения в Крыму с учётом особенностей географического положения полуострова, определяющего незначительные традиционные энергетические ресурсы. В настоящее время вопрос энергообеспечения полуострова стоит особенно остро.

В целом ряде исследований обосновывалась экономическая целесообразность использования солнечной энергии в южных районах страны, в том числе в Крыму [21–25; 254–256]. Вместе с тем существующие работы по оценке солнечного энергетического потенциала значительно различаются как методиками и исходными данными, так и результатами. Кроме того, ряд работ,

хотя и посвящён оценке потенциала солнечной энергии на территории Крыма, конкретных значений потенциала не содержит [1; 28–33; 92; 132; 143; 220; 222; 227]. Часть из этих работ носит обзорный характер [28–30; 220; 227], некоторые посвящены конкретным прикладным расчетам [31; 79; 132; 222], другие имеют проблемный характер и оговаривают только перспективные направления исследований [1; 32; 33; 143]. Это обстоятельство делает актуальным анализ и сопоставление применяемых ранее методик и полученных результатов для территории Крымского полуострова.

Изучение солнечного энергетического потенциала Крымского полуострова исторически было связано с независимыми друг от друга исследованиями в области метеорологии, климатологии и энергетики. В более ранний период исследования поступающей суммарной солнечной радиации проводились метеорологами и климатологами вне привязки к нуждам и запросам возобновляемой энергетики. С середины XX века исследования проводятся и с позиций солнечной тепловой и электроэнергетики.

Изложение материала производилось с разделением на два блока: 1) исследования солнечного энергетического потенциала в метеорологии и климатологии, 2) исследования в энергетике. В итоговой таблице все значения солнечного энергетического потенциала были приведены к единой единице измерения, что позволило выявить различия в результатах оценок разных авторов.

Среди основополагающих исследований метеорологов стоит выделить многолетние актинометрические измерения, которые проводятся на трех метеостанциях Крымского полуострова: Евпатория, «Никитский сад», Карадаг. Результаты этих исследований изложены в Справочнике по климату СССР [230], который содержит информацию о пространственно-временном распределении отдельных элементов климата на территории бывшей Украинской ССР. Материал представлен в виде таблиц с пояснениями к ним. Годовые суммы радиации на метеостанции Евпатория составляют $120,3 \text{ ккал/см}^2$, Карадаг – $123,4 \text{ ккал/см}^2$, «Никитский сад» – $116,1 \text{ ккал/см}^2$. При условии ясного неба эти значения увеличиваются: Карадаг – $166,9 \text{ ккал/см}^2$, «Никитский сад» – $168,1 \text{ ккал/см}^2$ (здесь

и далее приводятся оценки с размерностью, предложенной в оригинальных работах).

В других работах этого направления приводятся несколько иные данные о поступающей солнечной радиации. В частности, Нгуен Тхань Луонг, давая климатическую характеристику Крымского полуострова [169], указывает, что годовое количество суммарной радиации варьируется от 117 ккал/см² до 127 ккал/см². Причем продолжительность солнечного сияния превышает 2100 ч в год (до 2525 ч на 5 % территории). П.Д. Подгородецкий [195] отмечал, что, несмотря на небольшую территорию полуострова, значения суммарной радиации изменяются довольно значительно – от 4897 МДж/м² в год в районе Белогорска до 5317 МДж/м² в год в Черноморском.

Ряд исследований посвящён пространственным, сезонным и многолетним вариациям поступающей солнечной радиации. Так, в [125] собраны материалы, характеризующие климатические условия Крыма, а также представлены основные закономерности пространственно-временного распределения метеорологических явлений в Крыму. Значения годовой суммарной солнечной радиации указываются по территории полуострова: от 4994 МДж/м² на севере до 5317 МДж/м² на западе. В монографии [128] изложены особенности формирования климата и климатообразующих факторов. Значения суммарной радиации изменяются с востока на запад: от 4700 МДж/м² до 5200 МДж/м² в год. Наибольшие значения суммарной радиации достигаются в июне – июле и составляют 542–766 МДж/м² в месяц. Авторы [128] также отмечают значительные колебания значений радиации в разные годы. Так, среднеквадратичное отклонение годовой суммарной радиации колеблется в пределах 180–430 МДж/м². Согласно данным [210], суммарная солнечная радиация изменяется в широких пределах: от 4861,1 МДж/м² в год в Никитском Ботаническом Саду до 5150 МДж/м² в год на Карадаге и на западном побережье (Евпатория).

Изменению суммарной радиации в Крыму посвящена работа [95]. Однако для анализа взяты не эмпирические данные поступления солнечной радиации, а модельные, рассчитанные на основе положений солнечной геометрии и данных о

продолжительности солнечного сияния в течение месяца на метеостанции Херсонесский маяк. Исходя из полученных полуэмпирических вероятностных значений суммарной солнечной радиации, авторами [95] сделан вывод о том, что за 40-летний период (с 1961 г. по 1998 г.) в Крыму произошло уменьшение годового поступления солнечной радиации.

В монографии [241] при описании природных факторов трансформации водного баланса Крымского полуострова авторы указывают значения суммарной радиации от 6764 МДж/м² в год на севере (в районе Перекопского перешейка) до 6955 МДж/м² в год на крайнем юге при безоблачном небе. Также авторы подчеркивают, что имеют место значительные колебания значений солнечной радиации от года к году в связи с ходом облачности и циркуляционными процессами в атмосфере. В работе приведены карты годовых величин суммарной радиации, опубликованные в [12; 126], согласно которым суммарная радиация изменяется от менее 5000 МДж/м² в центральных районах до чуть более 5300 МДж/м² на западном побережье. Этот же коллектив авторов, ссылаясь на [125] в работе [242], дает немного другие значения – от менее 5000 МДж/м² в центральном Присивашье (Клепинино) до 5300 МДж/м² в год на западном побережье (Черноморское).

Ряд работ содержит карты поступления суммарной солнечной радиации [12; 126; 210]. В [189] такая карта представлена для территории бывшей Украинской ССР, согласно которой в Крыму суммарная радиация составляет от 3860 МДж/м² до 4990 МДж/м² в год, однако пространственная дифференциация значений поступления радиации по полуострову не показана. В работе указывается, что при таких значениях солнечной радиации её использование на Крымском полуострове может быть рентабельным. При этом следует избегать использования сельскохозяйственных плодородных земель и учитывать возможные микроклиматические изменения от строительства солнечных электростанций. Авторы [210] считают, что наиболее перспективными территориями в этом случае выступают крыши и стены зданий, а также крутые склоны возвышенностей и гор.

Таким образом, в данной работе авторы подошли к вопросу учёта факторов и оценки технического потенциала, но не рассматривали его.

Первые исследования, посвящённые комплексной оценке солнечного энергетического потенциала Крымского полуострова с позиций возобновляемой энергетики, относятся ко второй половине XX века. З.И. Пивоваровой и В.В. Стадник [193] проведено районирование территории СССР по потенциалу солнечной радиации. В качестве основного показателя обеспеченности гелиоресурсами взято среднее по площади пятиградусной трапеции значение суммарной радиации. Кроме того, в [193] были рассчитаны и приведены следующие показатели: вклад прямой радиации в суммарную; режим повторяемости ежедневных сумм суммарной радиации; годовое число часов с мощностью суммарной радиации 600 Вт/м^2 и более; коэффициент вариации годовых сумм суммарной радиации. Согласно разработанной карте, территория Крымского полуострова относится к районам с наибольшим потенциалом солнечной энергии.

Районирование территории было проведено и в работе [251], в которой исследовались характеристики режима солнечной радиации на территории Украинской ССР для оценки возможности выработки тепловой и электрической энергии. Значения суммарной солнечной радиации варьируются по территории Крымского полуострова в диапазоне $1300\text{--}1400 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$ в год с максимумом в Евпатории ($1450 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$ в год).

Наиболее крупной работой по оценке потенциала солнечной энергии в Крыму за 2000-е годы стало исследование группы экспертов TESIS, результаты которого опубликованы в коллективной монографии «Устойчивый Крым. Энергетическая стратегия XXI века» [246]. После анализа территории Крымского полуострова эксперты сделали вывод о том, что при суммарной солнечной радиации, равной $1400 \text{ кВт}\cdot\text{ч/м}^2$ в год, природный (общий, валовой) потенциал солнечной энергии составляет 3,2 млрд МВт ч в год, технический потенциал – 6 млн МВт·ч в год. Вместе с тем входивший в группу экспертов С.А. Кудря

несколько позже снизил оценку технического потенциала солнечной энергии до 0,38 млн. т у.т. в год, что соответствует 3,1 млн. МВт ч в год [250].

Описание возобновляемых источников энергии на территории бывшей Украины приводится в [50]. В работе по данным наблюдений построены сезонные карты среднесуточной суммарной радиации. Так, в январе суточные значения суммарной радиации колеблются от 3 МДж/м² до 4 МДж/м², в апреле – от 15 МДж/м² до 16,5 МДж/м², в июле – от 22 МДж/м² до 23 МДж/м², в октябре – от 9,5 МДж/м² до 10,5 МДж/м². В пространственном отношении значения суммарной радиации уменьшаются с запада на восток зимой и весной, и с юга на север летом и осенью.

В 2008 году вышла в свет фундаментальная работа «Атлас энергетического потенциала возобновляемых источников энергии Украины» [13], в которой была проведена оценка энергетического потенциала всех возобновляемых и нетрадиционных источников энергии. В результате обработки статистических данных были определены удельные энергетические показатели по поступлению солнечной радиации и построена карта потенциала солнечной энергии. Согласно картам атласа, среднегодовое количество суммарной солнечной радиации на территории Крымского полуострова составляет 1400 кВт·ч/м² и выше. Валовой солнечный потенциал для всей территории полуострова достигает 36,5 млрд МВт·ч в год, технический потенциал – 175 млн МВт·ч в год, экономический потенциал – 0,27 млн МВт·ч в год.

Комплексные исследования сотрудников ведущих научных центров и высших учебных заведений Крыма отражены в [228]. Важно отметить, что при описании валового солнечного энергетического потенциала Крыма авторы ссылаются на работу [246], однако в результате дают совершенно другие значения: 32,2 млрд МВт·ч в год. Удельные значения поступающей солнечной радиации составляют 1386 – 1477 кВт·ч/м² в год.

В 2010 году была принята «Программа энергосбережения в Автономной Республике Крым на 2010–2014 годы» [211], согласно которой годовой

технически достижимый потенциал солнечной энергии Крыма составляет 1,82 млн. МВт·ч. Эта же величина потенциала приводится в работах [29; 47; 217].

В работе А.Р. Абдуллаева [2], посвященной анализу существующих объектов возобновляемой энергетики и мероприятиям по увеличению производительности энергоустановок, а также в [153; 167; 184], приводятся достаточно близкие значения суммарной солнечной радиации: до 1500 кВт·ч/м² в год [41], от 1250 кВт·ч/м² до 1400 кВт·ч/м² в год [153], 1400,28 кВт·ч/м² в год [167], до 1460 кВт·ч/км² [184] в год (*вероятно кВт·ч/м²*) соответственно.

В Атласе [14] для всей территории РФ, в том числе для Крымского полуострова, приведены как удельные величины, так и карты их распределения; содержится описание методик и результаты расчетов природных и технических потенциалов территорий. Авторы рассчитали поступление суммарной солнечной радиации на различные поверхности: горизонтальную, вертикальную, оптимально ориентированную, с углом наклона равным широте, с углом наклона равным (широта – 15°), с углом наклона равным (широта + 15°). Среднегодовая суммарная солнечная радиация, приходящая на наклонную поверхность (угол наклона равен широте), на территории Крымского полуострова составляет 45,5 кВт·ч/м² в день и увеличивается с востока на запад полуострова.

Результаты проведенного сравнительного анализа оценок солнечного потенциала Крымского полуострова отражены в таблице 1.3. Для целей сравнительного анализа результаты приведены к единой размерности.

Видно, что основной предмет исследований – это удельный валовой потенциал, то есть поступление суммарной солнечной радиации на единицу поверхности. В целом значения этого показателя сопоставимы друг с другом. Исключением являются значения солнечного потенциала из [241], но они соответствуют данным из [230] при ясном небе. Гораздо реже оценивался валовой солнечный энергетический потенциал. Здесь оценки на порядок отличаются друг от друга: 3,2 млрд. МВт·ч в год [246], 32,2 млрд. МВт·ч в год [12] и 36,5 млрд. МВт·ч в год [13]. По-видимому, в [246] была допущена опечатка.

Таблица 1.3 – Сравнительная таблица значений среднегодового солнечного потенциала Крымского полуострова (составлено автором)

Автор / Источник	ВП, млрд. МВт·ч в год	УВП, кВт·ч/м ² в год	ТП, млн. МВт·ч в год	ЭП, млн. МВт·ч в год
Справочник по климату... [230]		1350–1435; 1941–1955		
Т.Л. Нгуен [169]		1361–1477		
Климат и опасные... [125]; Трансформация ландшафтно-экологических... [242]		1386–1477		
Природа Украинской ССР... [210]		1072–1386		
П.Д. Подгородецкий [195]		1360–1477		
Л.П. Федосенко и др. [251]		1300–1450		
Н.М. Мхитарян [167]		1400,28		
Климатический атлас... [126]; Атлас АРК [12]		менее 1389 – более 1472		
Устойчивый Крым... [246]	3,2	1400	6	
Клімат України [128]		1306–1444		
Е.Л. Макаровский [153]		1250–1400		
Атлас энергетического... [13]	36,5	1400 и выше	175	0,27
Солнечная энергетика... [228]	32,2	1386–1477		
Современные ландшафты... [226]		1350–1431		
Программа энергосбережения..., 2010 [211]; Э.А. Бекиров, С.Э. Бекирова [29]; Э.А. Ваниева [47]; Н.Ш. Ресульева [217]			1,82	
А.Р. Абдуллаев [1]		до 1500		
Трансформация водного... [241]		1879–1932		
С.А. Кудря [145]			3,1	
Л.А. Ожегова [184]		1460		
Атлас ресурсов... [14]		1460–2007,5		

Примечание: ВП – валовый потенциал; УВП – удельный валовый потенциал; ТП – технический потенциал; ЭП – экономический потенциал.

Данные по техническому потенциалу также разнятся между собой: от 1,82 млн. МВт·ч в год до 175 млн. МВт·ч в год. Лишь в одном источнике имелись значения экономического потенциала солнечной энергии – 0,27 млн. МВт·ч в год [13]. Анализ работ показал, что в настоящее время достаточно хорошо изучен валовой потенциал солнечной энергетики Крыма на региональном уровне. Удельные значения потенциала в разных исследованиях в целом достаточно близкие и составляют в среднем 1300–1500 кВт·ч/м² в год. Сравнение полученных авторами этих исследований значений валового потенциала для территории Крыма в целом также сопоставимы: от 32,2 млрд. МВт·ч в год до 36,5 млрд. МВт·ч в год. Оценки технического потенциала единичны и значительно расходятся в пределах 3,1 – 175 млн. МВт·ч в год. Очевидно, что технический, а тем более экономический потенциалы следует оценивать на более крупных масштабах.

Многими авторами не рассматривались особенности территории, которые могут выступать ограничительными факторами для развития солнечной энергетики и снижать технический и экономический потенциалы. Среди таких факторов можно назвать экологические факторы, наличие особо охраняемых территорий, археологическую, рекреационную, эстетическую ценность и др.

Важным условием дальнейшего успешного внедрения систем солнечной энергетики является детализация физико-географических и экономических условий территории, а также изменение масштаба исследования – переход на локальный уровень.

Исследования потенциала ветровой энергетики в Крыму. Активное изучение ветрового энергетического потенциала (ВЭП) Крымского полуострова началось проводиться с 20-х годов XX столетия. В 1923 г. сотрудниками Центрального аэрогидродинамического института Н.В. Красовским, Г.Х. Сабининым было подсчитано общее количество ветряных двигателей на территориях губерний европейской России, их плотность, вероятная средняя установленная мощность [139]. И хотя количественных данных отдельно по Таврической губернии в работе [139] приведено не было, в картографическом

виде представлена средняя плотность двигателей по губерниям европейской части России, в том числе и Таврической (до 25 ветродвигателей на 1000 кв. верст). На карту были нанесены также изолинии скоростей ветра для зимнего периода.

Оценка общей мощности ветродвигателей, расположенных на рассматриваемой территории, проводилась авторами на основе известных скоростей ветра и из предположения, что диаметр ветроколеса отдельной установки составлял 16 м, а коэффициент использования энергии ветра – 0,2.

Оценка технического потенциала территорий была проведена с учетом влияния рельефа, растительности и застройки на скорость и величину энергии ветра. Предполагалось, что скорость ветра восстанавливается через 10–15 величин высоты преграды. «Разместив» ветряные двигатели в шахматном порядке на расстоянии, равном их десятикратной высоте, авторы рассчитали количество двигателей, которое можно разместить на 1 км² и среднюю годовую мощность, которую можно получить с 1 км² территории.

На основе сравнения стоимости энергии, полученной от ветра, и энергии от традиционных источников, был сделан вывод о дешевизне энергии ветра. Побережье Черного моря выделяется авторами как территория с дешевой энергией ветра, которая может конкурировать с любой традиционной энергией.

Таким образом, Н.В. Красовским, Г.Х. Сабининым были даны опосредованные оценки ветроэнергетического потенциала через максимальную установленную мощность ветродвигателей на территории Таврической губернии, проведены расчеты технического потенциала и себестоимости энергии. Авторы прогнозировали быстрое развитие ветровой энергетики при совершенствовании конструкции ветряных двигателей и создании поселений с автономным энергообеспечением.

Методика, развитая в [139], была в дальнейшем использована Н.В. Красовским в ряде работ [137; 138; 140; 141], в которых проводился расчет скоростей и мощности ветра. Так, в [137] автором была построена карта среднегодовых скоростей ветра Европейской части СССР на основании данных 1387 метеостанций за период с 1891 по 1909 гг. Данные усреднены по ячейкам и

штриховкой показаны преобладающие скорости ветра, которые в Крыму имеют значения свыше 5 м/с. Построены гистограммы сравнительного количества энергии ветра, которое можно получить с 1 км² территории и сравнительной стоимости единицы установленной мощности.

В работе [138] более подробно рассматривается рельеф как фактор, влияющий на перераспределение скорости ветра. Согласно представлениям авторов, близ вершины горной гряды скорость ветра увеличивается не менее чем в 1,2 раза по сравнению с нижними частями склонов. На основе развитых подходов предложен метод и проведены расчеты установленной мощности и среднегодовой выработки, отнесенные к 1 км² земной поверхности при различных средних скоростях ветра. Установленная мощность и годовая выработка ветровых двигателей определялись в зависимости от повторяемости скоростей ветра в конкретных районах, а также от технических характеристик ветровых двигателей и электрогенераторов, в том числе, потерь энергии в трансмиссиях ветровых двигателей, и др. Проведены расчеты средней годовой произведенной энергии ветровыми двигателями, установленными с заданной плотностью на территории областей РСФСР. Показано, что для Крымской АССР расчетная мощность ветровых двигателей составляет $20,4 \cdot 10^6$ кВт, а среднегодовое количество энергии ветра достигает $37,8 \cdot 10^9$ кВт·ч.

М.В. Келлером в конце 20-х годов [119] был произведен расчет мощности воздушной струи единичной площади сечения по данным метеостанций Севастополь и Караби-Яйла. На основе диаграмм повторяемости скорости ветра было проведено сравнение количества энергии, которое обеспечивается средними скоростями (и средней повторяемостью) ветра и большими скоростями, при низкой их повторяемости. Проведено определение оптимальной для заданных установок скорости ветра, а также экономических характеристик действующих ветрогенераторов (количество вырабатываемой за год энергии, годовые финансовые расходы, сопряженные с работой установки, распределение отдаваемой энергии в течение года). Рассмотрены следующие варианты работы ветроэнергетической установки (ВЭУ): самостоятельная работа без

аккумуляции, с аккумуляцией, с тепловым резервом, работа на общую сеть с аккумуляцией, работа на общую сеть с аккумуляцией только излишков энергии, работа ветровых установок на потребителя большой мощности (промышленные предприятия). Таким образом, работа М.В. Келлера дала научно-обоснованные подходы к развитию ветроэнергетики в 30-е годы в Крыму.

Федосенко Л.П., Денисенко О.Г., Маргалик С.В. [229] на основе данных 147 метеостанций УССР о скорости ветра, приведенной к высоте 16 м с использованием логарифмического закона, провели оценку удельной мощности ветрового потока. Авторы определили среднее значение мощности ветра, введя усредненные месячные коэффициенты неравномерности $K_m = P_m / P_r$ (P_m – среднемесячная ветровая мощность; P_r – среднегодовая ветровая мощность) в каждый месяц на указанной территории. Анализ полученных результатов показал, что мощность ветра более 138 Вт/м^2 наблюдаются на территории Керченского полуострова и Горного Крыма в течение всего года. На Тарханкутском полуострове мощность ветра составляет 138 Вт/м^2 и более зимой, весной и осенью. На остальной территории полуострова значения мощности ветрового потока изменяются от 17 Вт/м^2 летом до 138 Вт/м^2 зимой. Рассчитанные значения мощности ветра в различные сезоны года были нанесены на картосхемы.

В работе [13] коллективом авторов была проведена оценка энергетического потенциала возобновляемых и нетрадиционных источников энергии. Анализируя карты распределения ВЭП можем сказать, что среднегодовая скорость ветра $5,5 \text{ м/с}$ на высоте 10 м наблюдается на Керченском и Тарханкутском полуостровах, в Горном Крыму, скорость 5 м/с – в Равнинном Крыму; на остальной территории Крыма среднегодовые скорости ветра не превышают 4 м/с . Значения технического ВЭП изменяются в такой же зависимости: $3,2 \text{ МВт}\cdot\text{ч/м}^2$ год на Керченском и Тарханкутском полуостровах, в Горном Крыму; $2,81 \text{ МВт}\cdot\text{ч/м}^2$ год в равнинном Крыму и $1,12 \text{ МВт}\cdot\text{ч/м}^2$ год на остальной территории полуострова. Значения технически достижимого ВЭП составляют, соответственно, $0,62$, $0,52$ и $0,2 \text{ МВт}\cdot\text{ч/м}^2$ год.

В работе [246] коллективом авторов из группы экспертов TESIS была проведена оценка ВЭП территории Крымского полуострова и выявление наиболее перспективных участков на основе модели NOABL. Результатом расчетов по модели стала трехмерная картина распределения скоростей ветра. Статистический анализ полученных результатов был проведен с помощью программы WAsP. Результаты расчетов по модели были верифицированы по 5 метеостанциям Крыма. Полученные результаты верификации дали погрешность в диапазоне 8–10%. При выборе наиболее перспективных участков для строительства ветроэлектростанций в работе учитывались следующие факторы: средняя скорость ветра на высоте 25 м (не менее 5,5 м/с); высота территории над уровнем моря (не выше 1000 м); уклон поверхности (не более 5°); размеры участка (не менее 1 км²). В результате были выделены участки общей площадью 200 км², расположенные по побережью Сивашского залива, на Керченском полуострове, полуострове Меганом, Тарханкут, м. Фиолент. Были составлены т.н. «ветроатласы первого уровня» для высоты 25 м в масштабе 1:200000 и 1:500000. ВЭП выделенных участков оценивался для турбин различной мощности при коэффициенте использования установленной мощности, равном 0,33, номинальной скорости ветра 15 м/с. В результате проведенных расчетов были получены значения производительности ветротурбин. При введении коэффициентов готовности ветротурбин на уровне 98% (среднеевропейское значение) и 85% (фактическое местное среднее значение) были получены годовые значения выработки энергии от ветроэлектростанций для Крыма (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Прогнозные значения выработки энергии для Крыма (по [246])

Удельная мощность, МВт/км ²	Годовая выработка энергии, ГВт·ч/год			
	Коэффициент использования (средняя мощность турбины)		Коэффициент использования (большая мощность турбины)	
	(98%)	(85%)	(98%)	(85%)
13	2405	2085	3295	2855
8	1480	1286	2035	1765
5	915	795	1260	1095

Таким образом, в [246] были проведены оценки ВЭП территории Крыма, а также рассмотрены экологические аспекты воздействия ветроэлектростанций на окружающую среду и человека (визуальное воздействие, шумовой эффект, электромагнитные помехи, угроза гибели птиц и др.). Однако исследований, опровергающих или подтверждающих негативное влияние этих факторов, в рамках работы проведено не было; не учитывался ряд ограничивающих экологических факторов при выборе пригодных участков для строительства ветроэлектростанций. В частности, в качестве приоритетных для строительства были выделены водно-болотные угодья Присивашья, охраняемые международной Рамсарской конвенцией.

Г.А. Бабенко в работе [17] приводит описание существующих на тот момент в Крыму систем нетрадиционной энергетики и дает прогноз по их дальнейшему развитию. Также в работе приведены данные по энергетическому потенциалу нетрадиционных источников Крыма. В частности, теоретический ВЭП составляет 96 млрд. МВт·ч/год. Однако автором не указаны методики, по которым был произведен расчет данных величин.

Работа З.У. Рамазановой [213] посвящена методам прогнозирования ветрового энергетического потенциала региона. Проведенный в работе анализ существующих на тот момент исследований выявил недостаточность существующего инструментария для оценки ветрового энергетического потенциала региона. Результатом диссертационного исследования стал комплекс моделей и методов для долгосрочного прогнозирования ВЭП Крымского полуострова. Средняя ошибка моделирования ВЭП на основе полученных карт, составляет 5,6 %. В работе выделены территория с высоким ВЭП. К ним относят Тарханкутский полуостров, а также западное побережье Черного моря до г. Евпатория, север Керченского полуострова. Автор утверждает, что на 10 % территории с высоким потенциалом можно рационально разместить генерирующие мощности, сопоставимые с потреблением электроэнергии Крымом. Однако в работе не указаны критерии, по которым возможно произвести данное рациональное размещение генерирующих мощностей.

Анализ распределения скоростей и энергии ветра по территории Крымского полуострова на основе данных Климатического атласа Крыма [126] был проведен в [228]. Принималось, что в перспективных для использования ветра регионах среднегодовая скорость ветра должна быть более 4–6 м/с. В результате в качестве наиболее богатых ветроэнергетическим потенциалом были определены горные и приморские территории Крымского полуострова. Справедливо указывалось, что для территории Крыма особое внимание при анализе ВЭП должно уделяться характеру рельефа (открытость или закрытость, форма склонов и т.д.), типу растительности, местной циркуляции (горно-долинные ветра, бризы, фены, бора). В работе проведено сравнение значений скорости ветра из нескольких источников данных (Справочник по климату СССР, данные метеорологической станции г. Симферополь, сайты gismeteo.ua, meteo.infospace.ru) за различные временные промежутки. Отмечено, что ход временной зависимости в основном совпадает, однако амплитудные значения разнятся. На основе подходов классической аэродинамики, средних значений скорости ветра и данных о количестве дней в году, когда ветровые условия принципиально обеспечивают работу ветровых установок ($V_{\min}=4$ м/с $< V < V_{\max}=25$ м/с) были определены значения удельной мощности ветрового потока на территории Крыма.

Наибольшей мощностью ветрового потока обладает юг Керченского полуострова (от 210 Вт/м² и более 313 Вт/м²). Также значительные показатели мощности наблюдаются на крайнем северо-северо-западе полуострова Крым и участке Горного Крыма близ г. Судак и г. Ялта (132–210 Вт/м²). Таким образом, в работе представлены результаты оценки теоретической мощности ветрового потока без учета ландшафтных и экологических факторов.

Работа С.А. Величко [50] посвящена описанию возобновляемых источников энергии на территории бывшей Украины, произведен анализ скоростей ветра по сезонам года. На территории Крымского полуострова в течение всего года наибольшие скорости ветра наблюдаются на Тарханкутском и Керченском полуостровах и составляют зимой 5–7 м/с, весной – 5–6 м/с, летом – 4–5 м/с и осенью – 4–7 м/с.

В.М. Головки и Г.П. Душина в [73] использовали аналогичные подходы к оценке ветроэнергетического потенциала, определив производительность реальной ВЭУ при известной повторяемости ветра как

$$E = \sum_{i=1}^n N_i t_i, \quad (1)$$

где N_i – мощность ветровой установки при i -ой градации скорости ветра;
 t_i – продолжительность скорости ветра в i -ой градации;
 n – число градаций скорости ветра.

При этом предполагалось также, что:

1. Оценку энергии ветра следует проводить в диапазоне скоростей ветра от 4 м/с (начало работы ветровой установки) до 15 м/с (остановка работы ВЭУ).
2. ВЭУ теоретически не могут реализовывать более 0,58–0,62 объема энергетического потенциала.
3. Номинальная скорость ветра составляет 1,25 от средней скорости ветра за целесообразный период использования ВЭУ (под целесообразным периодом авторы понимают промежуток времени, когда скорость ветра больше 4 м/с, но меньше 15 м/с).

На основе этих подходов в работе представлено распределение по территории Крыма целесообразного периода использования энергии ветра, продолжительность которого составила от 31 дня до года. Наиболее перспективными по этому критерию являются северные районы (Черноморское-Ишунь-Джанкой), горные массивы и Керченский полуостров. Малопригодными районами – центральная часть полуострова (Почтовое-Симферополь-Белогорск) и Южный берег (Ялта-Алушта). Удельный технический потенциал энергии ветра был определен в диапазоне 350–1170 кВтч на м² площади, ометаемой ветроколесом. Территориальная зависимость интенсивности потенциала совпадает с распределением периодов целесообразного использования энергии ветра: наибольшим удельным техническим потенциалом обладает территория Керченского полуострова, а также г. Феодосия с окрестностями.

Л.В. Дмитренко и С.Л. Барандич [98] провели анализ распределения ветроэнергетических характеристик по сезонам года. Зимой наблюдаются наибольшие средние скорости ветра, значения которых увеличиваются к югу (до 7–8 м/с). Соответственно, удельная мощность ветрового потока также увеличивается к югу и на побережье Черного моря достигает 471–597 Вт/м². Аналогичное распределение имеет и количество потенциальной выработанной ветром энергии. Этот показатель достигает 0,97–1,11 МВт·ч/м² ометаемой площади в зимний сезон. В работах [98; 99] рассчитана удельная мощность ветрового потока и проведено районирование территории Украины по потенциалу ветровой энергии (таблица 1.5). При этом в [99] предложен алгоритм выбора местоположения объектов ветроэнергетики с точки зрения метеорологических показателей, в [98] проведен анализ распределения ветроэнергетических характеристик по сезонам года. Так, зимой наблюдаются наибольшие средние скорости ветра, значения которых увеличиваются к югу (до 7–8 м/с). Соответственно, удельная мощность ветрового потока также увеличивается к югу и на побережье Черного моря достигает 471–597 Вт/м².

Таблица 1.5 – Фрагмент районирование бывшей территории Украины по ВЭП (составлено по данным [98])

Регион			Побережье Черного и Азовского морей, Южный берег Крыма, вершины Карпат и Крымских гор	
Показатели районирования	Среднегодовая скорость ветра		5,5-6,5	
	Удельная мощность ветровой энергии, Вт/м ² ометаемой площади		потенциальная	250-300
			доступная для использования	200-250
	Суммарная мощность ветровой энергии, Вт/м ²		потенциальная	8000-9500
			доступная для использования	7000-8000
	Продолжительность (часов) различных градаций скорости ветра, м/с	общая	<3	1250-6500
			>3	5500-6500
			>5	3000-5500
	непрерывная >3	20-35		
Оценка потенциала ветровой энергии			Очень высокий потенциал, наиболее благоприятные условия для использования ветра	

Согласно проведенному районированию побережье Черного и Азовского морей, Южный берег Крыма, вершины Крымских гор обладают наибольшим ВЭП, практически постоянными ветровыми условиями в течение всего года. Однако данные исследования проведены на макроуровне для сравнительно большой территории и требуют дополнительных расчетов для выбора конкретных участков для строительства объектов ветроэнергетики.

В работах В.В. Ефимова с соавторами [106; 107] проведена оценка ВЭП на основе численных расчетов полей ветра с помощью региональной модели атмосферной циркуляции с высоким пространственным разрешением (модель HadRM3H [284]). В качестве исходных данных для численного моделирования был использован реанализ ERA40. HadRM3H позволяет провести моделирование динамических процессов в атмосфере и приповерхностном слое в заданном регионе и определить значения скорости ветра на уровне 50 м, температуру поверхности земли, потоки тепла и влаги с дискретностью 1 час. Разрешение модели составляет 25×25 км. Для сравнения расчетных данных реанализа с наземными измерениями скорости ветра авторами были использованы метеостанции Крымского региона: Геничesk, Керчь, Новая Каховка, Симферополь, Херсон и Черноморское. Были получены высокие значения корреляции расчетных и экспериментальных массивов данных как для температуры ($0,9 \div 0,98$), так и скорости ветра ($0,69 \div 0,8$). Среднеквадратичное отклонение измеренных и рассчитанных значений скоростей ветра по всем 6 станциям составило 0,33 м/с.

Полученное в [106; 107] распределение среднемноголетнего значения ВЭП (удельной мощности ветра) на высоте 50 м, усредненного за климатический период с 1957 по 1997 гг. показало, что максимальное среднегодовое значение ВЭП получено для Керченского и Тарханкутского полуострова и составляет 700–800 Вт/м². Результаты сравнения рассчитанных и измеренных «эффективных» величин ВЭП (рассчитанный для скоростей ветра более 5 м/с) на территории Крыма приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Значение «эффективных» величин ВЭП, осредненных за период 1958 – 1997 гг. [107]

Станция	Количество дней за 40 лет с $u > 5$, м/с	Средний ВЭП за весь период, Вт/м ²	
		станция	модель
Керчь	3046	109,98	189,14
Симферополь	2054	96,08	62,97
Черноморское	3048	136,27	169,70

На основе полученных расчетных массивов была сформирована база данных по полям ветра, которая позволяет при необходимости вычислить все статистические характеристики скорости ветра и энергopotенциала, такие как средние величины и моменты распределения для любых выбранных месяцев и сезонов года, каждого года за весь 40-летний период, величины доступного ВЭП с учетом порогов трогания и заданной высоты расположения ветровых устьев. Локальные особенности поля ветра, связанные в первую очередь с мелкомасштабными особенностями рельефа и шероховатости поверхности, не учтены и требуют дополнительного уточнения. Однако по детальности и уровню проведенных исследований полученные оценки являются на наш взгляд наиболее адекватными поставленной задаче.

В работе А.Р. Абдуллаева [1] рассмотрены инновационные пути развития Крыма, а именно развитие возобновляемых источников энергии. Автор в своей статье указывает, что ветроэнергетика занимает лидирующее положение в структуре возобновляемых источников энергии на полуострове. По его мнению, технически достижимый энергетический потенциал ветроэнергетики Крыма составляет 5 тыс. МВт. В работе [2] А.Р. Абдуллаев, кроме того, выделяет территории, перспективные для использования в ветроэнергетики – 2300 км² – это участки, на которых коэффициент использования номинальной мощности ветровой электростанции превышает 0,3 (северная часть Керченского полуострова и Тарханкутский полуостров). Кроме этого, перспективным участком Абдуллаев считает южное побережье залива Сиваш. Повышенным ВЭП также обладают территории в районе городов Симферополь и Севастополь. Согласно

работе [3] коэффициент использования нормативной мощности на выделенных территориях достигает значений свыше 25%.

А.И. Башта в работе [22], посвященной инновационному развитию рекреационных территорий на основе энергосбережения, ссылаясь на данные «Крымэнерго», дает примерную оценку суммарному ВЭП Крымского полуострова – 10–15 млн. МВт·ч/год. Годовой технический потенциал ветровой энергии Крыма рассчитала также Н.Ш. Ресульева в работе [217]. Он составляет 6,95 млн МВт·ч/год. К сожалению, в работах [1–3; 22; 217] не указаны исходные данные и методы, по которым были рассчитаны значения ВЭП.

Работа Т.И. Егорченко [103] посвящена оценке природно-ресурсного потенциала Крыма. Рассмотрены запасы ископаемого традиционного топлива, а также возможность использования альтернативных возобновляемых источников энергии. Автор утверждает, что для оценки ВЭП территории необходимы данные по средним скоростям ветра (для работы ветроустановок средняя скорость ветра должна быть более 2 м/с) и стабильности ветрообразующих факторов. На основе этих данных, а также результатов исследований ВЭП Крыма, выполненных Межотраслевым научно-техническим центром ветроэнергетики НАНУ в 2004 году, Т.И. Егорченко сделала вывод о целесообразности использования ветровых установок на территории площадью 2300 м².

О.И. Ильина с соавторами [113] произвела расчет возможной мощности ветроэлектростанций, которые можно разместить на перспективных участках Большой Феодосии. Перспективные участки выбирались по следующим критериям: среднегодовая скорость ветра на высоте 100 м, крутизна поверхности не более 5°, степные неиспользуемые участки, площадь участка не менее 1 км², расстояние до населенного пункта не менее 300 м. В результате была получена карта приоритетных участков для строительства ветровых электростанций и рассчитан технический потенциал ветроустановок на выделенных участках площадью 30,99 км², что в сумме за год составило 303,8 тыс. МВт·ч.

Работа [14] посвящена картографированию ресурсов возобновляемой энергии на территории России. На основе базы данных NASA Surface Meteorology

and Solar Energy (NASA SSE) [287] авторами рассчитаны значения и построены карты среднегодовой скорости ветра, плотности энергии ветрового потока, годовых удельного валового и технического потенциала энергии ветра, общей продолжительности ветрового затишья в течение года, годовых валового и технического потенциалов энергии ветра территории субъектов РФ. На основе данных метеостанций проведена верификация метеорологических величин (скорости ветра) NASA SSE. Характеристики ВЭП рассчитаны для ячеек размером $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ для всей территории России. Результаты определения характеристик ВЭП из [287] агрегированы в таблице 1.7. При расчете технического ВЭП авторы учли только земли сельскохозяйственного назначения и земли запаса, при более детальных расчетах на региональном и локальном уровне требуется анализ структуры земельного фонда исследуемых территорий.

Таблица 1.7 – Среднегодовые значения характеристик ВЭП для территории Крымского полуострова, высота 50 м (по данным [287])

Характеристика ВЭП	Значение
Скорость ветра, м/с	5,2 – 6,2
Плотность энергии ветрового потока, Вт/м ²	244 – 374
Годовой удельный валовый потенциал энергии ветра, МВт·ч/год	2490 – 3820
Годовой удельный технический потенциал энергии ветра, МВт·ч/год	1750 – 2360
Общая продолжительность энергетического затишья в течение года, %	9 – 26
Годовой валовый потенциал энергии ветра субъекта, млн. МВт·ч/год	200 – 400
Годовой технический потенциал энергии ветра субъекта, млн. МВт·ч/год	30 – 60

На основе анализа публикаций, посвященных исследованию ветроэнергетического потенциала Крымского полуострова с 1920-х годов до настоящего времени, авторами составлена таблица, обобщающая результаты оценок, представленных в этих работах (таблица 1.8).

В большинстве рассмотренных исследований оценки основаны только на данных метеостанции о скоростях и повторяемости ветра [73; 98; 126; 137; 138]. И лишь в [14; 106; 107; 246] использованы различные модели для расчета и пространственного анализа ветроэнергетического потенциала. Метеоданные в этих работах являются основой для верификаций применяемых моделей.

Таблица 1.8 – Сравнительный анализ расчетов ветроэнергетического потенциала Крыма различными авторами
(составлено автором)

Источник	Источник данных	Показатель и значение ветропотенциала					Наличие и наименование карт	Наиболее перспективные районы
		УМВП	МВПТ	ВПТ	УТП	ТПТ		
Красовский, Сабинин, 1923 [139]	Метеостанции, анкеты	-	-	-	-	-	Ветряные двигатели и скорость ветра	Северо-западная часть Крымского полуострова
Красовский, 1936 [138]	Метеостанции	-	20,4·тыс. МВт/год	37,8·млн. МВт·ч/год	-	-	Скорость ветра, сравнительная оценка количества энергии ветра, которое можно получить с 1 км ² территории и стоимости единицы установленной мощности	Южный берег Крыма
Федосенко и др., 1989 [250]	Метеостанции	17,28–138 Вт/м ²	-	-	-	-	Мощность ветра по сезонам года	Керченский и Тарханкутский п-ва, Горный Крым
Атлас..., 2001 [13]	-	1,12 – 3,2 МВт·ч/м ²	-	-	0,2 – 0,6 МВт·ч/м ²	-	Скорость ветра	Керченский и Тарханкутский полуострова, Горный Крым
Устойчивый Крым..., 2002, [246]	Метеостанции, модель NOABL, программа WAsP	-	-	0,915–2,855 млн. МВт·ч/год	-	-	Скорость ветра	Побережье залива Сиваш, м. Фиолент п-ва Керченский, Тарханкутский, Меганом

Продолжение таблицы 1.8

Источник	Источник данных	Показатель и значение ветропотенциала					Наличие и наименование карт	Наиболее перспективные районы
		УМВП			УТП	ТПТ		
Бабенко, 2002 [17]	-	-	-	96 млрд МВт·ч/год	-	-	-	-
Солнечная энергетика..., 2009 [228]	Метеостанции	16,54–313,6 Вт/м ²	-	-	-	-	Скорость ветра, теоретическая мощность ветра	Юг Керченского полуострова, северо-северо-запад Крымского полуострова, Горный Крым
Головко и др., 2005 [73]	Метеостанции	-	-	-	0,35–1,17 МВт·ч/м ²	-	Удельный технический потенциал энергии ветра	Северная часть Крымского полуострова, Керченский полуостров, Горный Крым
Дмитренко, Барандич, 2007 [98]	Метеостанции	250–300 Вт/м ²	-	-	0,97 – 1,11 МВт·ч/м ²	-	Скорость ветра, удельная мощность ветрового потока	Побережье Черного и Азовского морей, Южный берег Крыма, вершины Крымских гор
Ефимов и др., 2009, 2010 [106; 107]	Метеостанции, модель HadRM3H, данные реанализа ERA40	700–800 Вт/м ² (для высоты 50 м)	-	-	-	-	Удельная мощность ветра	Керченский полуостров, Тарханкутский полуостров

Продолжение таблицы 1.8

Источник	Источник данных	Показатель и значение ветропотенциала					Наличие и наименование карт	Наиболее перспективные районы
		УМВП			УТП	ТПТ		
Башта, 2011 [22]	«Крымэнерго»	-	-	10–15 млн. МВт·ч/год	-	-	-	-
Ресульева, 2011 [217]	-	-	-	6,95 млн. МВт·ч/год	-	-	-	-
Атлас..., 2015 [14]	Метеостанции, БД NASA SSE	200–270 Вт/м ² (для высоты 50 м)	-	200–400 млн. МВт·ч/год (для высоты 50 м)	-	30–60 млн. МВт·ч/год	Скорость ветра на высоте 50 м; плотность энергии ветрового потока; удельные валовый и технический ВЭП; общая продолжительность энергетического затишья в течение года	Западная часть Крымского полуострова

Примечание: УМВП – удельная мощность ветрового потока; МВПТ – мощность ветрового потока на территории; ВПТ – валовый потенциал; УТП – удельный технический потенциал; ТПТ – технический потенциал.

В качестве характеристик ВЭП в большинстве случаев рассматривались удельная мощность ветрового потока [16; 98; 106; 107; 250] или мощность всех ветровых установок, которые возможно разместить на территории [137]. В [14; 17; 137; 217; 246] приводятся значения валового ветрового энергепотенциала всей территории, причем эти значения существенно различаются между собой.

Технический потенциал был рассчитан в [73] как удельный технического потенциал (в расчете на единичную ометаемую площадь), а также в [14], где приведено значение годового технического потенциала всего Крымского полуострова, равного общей годовой производительности ветровых установок известного типа, занимающих всю территорию. В некоторых из рассмотренных работ полученные результаты были отображены в виде карт.

Анализ проведенных количественных оценок и карт показывает достаточно широкий разброс определяемых величин и полученных результатов. Наибольшее количество оценок относится к удельной мощности ветрового потока и валовому потенциалу энергии ветра для территории Крыма. Сопоставление результатов затруднено тем, что в рассмотренных работах зачастую не приведены методики определения ветропотенциала, и сами оценки относятся к различным высотам (10–12 м [13; 17; 22; 73; 98; 137; 139; 217; 228; 246; 250], 50 м и выше [14; 106; 107]). Результаты определения удельной мощности ветрового потока на высоте метеонаблюдений [98; 228; 250] и удельного технического потенциала [13; 73; 98] согласуются между собой по верхнему пределу оценок (по крайней мере, по порядку величины). Эти результаты можно сопоставить с величинами валового потенциала и удельной мощности ветровых потоков из [14; 106; 107], только приняв некоторые допущения относительно роста скорости ветра с высотой. Если предположить, что скорость ветра увеличивается в 2 раза при переходе от высоты 10 м к 50 м, то вполне согласуются данные [137] и [14], что говорит об адекватности полученных в обеих работах результатов. Также сравнимы значения валового потенциала, полученного в работах [22; 217; 246], а значения в работе [17] намного их превышают и представляются сомнительными. В тоже время оценки [106; 107] и [14], полученные на основе данных реанализа на регулярной

сетке и моделирования для одинаковой высоты (50 м), отличаются, по крайней мере, в 3 раза. Для оценки достоверности полученных результатов необходимо, по-видимому, использовать данные ветромониторинга на соответствующих высотах.

Таким образом, в исследованных работах предложены методики оценок ветропотенциала, которые апробированы для территории Крыма. Многими авторами не были рассмотрены особенности территории, которые могут выступать ограничительными факторами для развития ветроэнергетики и снижать технический потенциал. Среди таких факторов можно назвать крутизну склонов, экологические факторы (наличие особо охраняемых территорий), наличие и близость населенных пунктов, археологическая, рекреационная, эстетическая ценность и др. Эти факторы рассматриваются при проектировании и на локальном уровне исследований.

Теоретические основы оценки потенциала возобновляемых энергетических ресурсов полностью не разработаны и неоднозначны. Хотя имеется однозначность в определении терминов, некоторые авторы используют различные понятия в качестве синонимов. В данной работе мы рассматриваем возобновляемые энергетические ресурсы как совокупность природных энергетических потоков, аккумуляторов энергии, преобразований энергии, являющиеся неисчерпаемыми в рамках хозяйственной деятельности человека. Показано, что, несмотря на то, что исследованиями потенциала для использования возобновляемой энергии занимается огромное количество ученых и научных организаций на протяжении почти ста лет, до сих пор нет единой методологической базы для проведения оценок территории.

РАЗДЕЛ 2. ТЕОРИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ЛАНДШАФТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

2.1 Теоретико-методологические подходы к оценке ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики

Как показано в разделе I на данный момент не разработаны теоретические и методологические основы оценки потенциала для использования системами возобновляемой энергетики, нет единой строгой общепринятой методики оценки потенциала. В мировой практике проработаны отдельные аспекты оценки потенциала для использования системами возобновляемой энергетики, они представлены фрагментарно в зависимости от целей и уровня исследования. Стоит выделить комплексные исследования крупных международных агентств [68; 271; 296; 298; 300; 301], а также ряд выдающихся ученых в области возобновляемой энергетики [108; 127; 170; 258], в том числе российских [15; 27; 44; 69–72; 87; 179; 205; 228].

Хотелось бы отметить, что принципиально важным, по нашему мнению, является доступность методики оценки потенциала для использования системами возобновляемой энергетики, ее детальная проработка и соответствие современному уровню исследований в области. С другой стороны, методика, используемая для оценки потенциала для использования системами возобновляемой энергетики не должна быть громоздка и расширена за счет многообразных коэффициентов.

Рассматривая аспекты анализа теоретико-методологических основ оценки ландшафтного потенциала для использования системами возобновляемой энергетики, отметим, что данный вопрос представляется на сегодня одной из передовых тенденций в спектре экологических и географических работ в области

возобновляемых источников энергии.

В современном представлении в понятие ландшафт неотъемлемо входит антропогенная составляющая как равноценная сила, влияющая на развитие всего комплекса. Выбор наиболее перспективных территорий для строительства систем возобновляемой энергетики должен осуществляться с учетом потребностей социума и рационального развития территории. Необходимо найти компромисс между потреблением и максимальным сохранением территории в естественном виде. В работе предлагается ввести ряд ограничений, которые бы максимально минимизировали негативное влияние при строительстве и последующей эксплуатации систем возобновляемой энергетики.

Нами в данной работе в основу оценки ландшафтного потенциала для использования системами возобновляемой энергетики положен системный и ландшафтно-экологический подходы, в общем виде заключающиеся в анализе компонентов ландшафта и их влияния на перераспределение энергетических потоков в ландшафте, которые в свою очередь и формируют потенциал возобновляемых энергетических ресурсов каждого конкретного ландшафтного контура. Кроме того, в основу работы положено понятие ландшафта, принятое на Европейской конвенции о ландшафтах. Согласно [297] под ландшафтом понимается часть территории, в том смысле как она воспринимается населением, отличительные черты которой являются результатом действия природного и/или человеческого факторов или их взаимодействия. Системный подход заключается в рассмотрении целостного свойства ландшафта в интеграции компонентов и связей между ними. Ландшафтный потенциал для использования системами возобновляемой энергетики конкретного ландшафта является результатом интеграции свойств отдельных его компонентов, а также ландшафтной структуры.

В ландшафтном потенциале для использования систем возобновляемой энергетики выделяем 3 составляющие – природную, техническую и геоэкологическую. *Природная* составляющая состоит в оценке максимально возможного природного потенциала, определяемого компонентами, условиями и

свойствами самого ландшафта. *Техническая* составляющая ландшафтного потенциала – это та часть природного потенциала, которую возможно использовать на данном этапе технологического и социально-экономического развития. *Геоэкологическая* составляющая заключается в необходимости сохранения ландшафтного разнообразия и обеспечении устойчивого развития территории. с помощью введения системы геоэкологических ограничений (нормативно-экологических, природоохранных, социально-культурных).

Классически под ландшафтным потенциалом понимают способность ландшафта выполнять заданные функции. Именно в таком понимании потенциал ландшафтов рассматривается Дьяконовым К.Н. с соавторами [101; 102], М.Д. Гродзинским [88–91], А.Г. Исаченко [115; 116], Е.А. Позаченюк [200; 201], Е.А. Позаченюк, Т.В. Панкеевой [202; 203], В.И. Кирюшиным [121], В.Б. Михно [158], В.С. Паштецким [191], А.Д. Волковым, А.Н. Громцевым [35], Л.М. Соцковой [229], авторами коллективной монографии «Туристско-рекреационный потенциал Республики Крым и г. Севастополь» [244], В.Н. Шарафутдиновым с соавт. [257], В.В. Козиним с соавт. [129] и др. Ландшафт выполняет множество функции и, соответственно, выделяется большое количество видов ландшафтного потенциала по тем видам задач, которые он выполняет, например, ландшафтный потенциал самоочищения, сырьевой потенциал ландшафта, экологический потенциал ландшафта, ландшафтный строительный потенциал, социально-экономический потенциал ландшафта и т.д. В данном случае речь идет о ландшафтном потенциале для использования систем возобновляемой энергетики.

Углубляя изучение ландшафтного потенциала, предлагаем под ландшафтным потенциалом для использования систем возобновляемой энергетики понимать способность ландшафта выполнять функцию энергообеспечения с учетом природных ресурсов, современного уровня технологического развития, а также существующих технических (инженерных) и геоэкологических ограничений использования территории.

Учитывая существующие представления о ландшафтном потенциале, теоретические подходы к оценке ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики, базируясь на уже сложившейся системе оценивания, связанной с расчётом природного (валового), технического, социально-экономического и экологического потенциалов [13–16; 145; 269; 270; 285; 286] территории, а также на личных исследованиях автора [74–86; 198; 204; 281] предложена методика оценки ландшафтного потенциала Юго-Восточного Крыма для использования систем возобновляемой энергетики (рисунок 2.1).

В первом блоке (рисунок 2.1) описываются предпосылки формирования ландшафтного потенциала Юго-Восточного Крыма для использования систем возобновляемой энергетики, а именно физико-географические и социально-экономические. Второй блок (рисунок 2.1) посвящен оценке природного потенциала, который заключается в расчете величин и повторяемости ресурса и распределения его в пространстве, определения ограничивающих природных факторов и построении карт природного потенциала.

Третий блок (рисунок 2.1) заключается в оценке технического потенциала для использования систем возобновляемой энергетики. На этом этапе проходит оценка инженерно-геологических и геоморфологических условий территории, строятся и анализируются карты наземного покрова территории. Также в третий блок входит выбор доступных технологий, с помощью которых будет проходить дальнейшая оценка ландшафтного потенциала.

Четвертый блок (рисунок 2.1) представляет собой оценку геоэкологического потенциала для использования систем возобновляемой энергетики. На данном этапе вводится система геоэкологических ограничений – нормативно-экологические, природоохранные и социально-культурные. К нормативно-экологическим ограничениям в работе относятся водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы, выделение которых регламентируется законодательством Российской Федерации. К природоохранным ограничениям относится необходимость учета особо охраняемых природных территорий и их

статуса, а также путей миграции животных при проектировании систем возобновляемой энергетики.

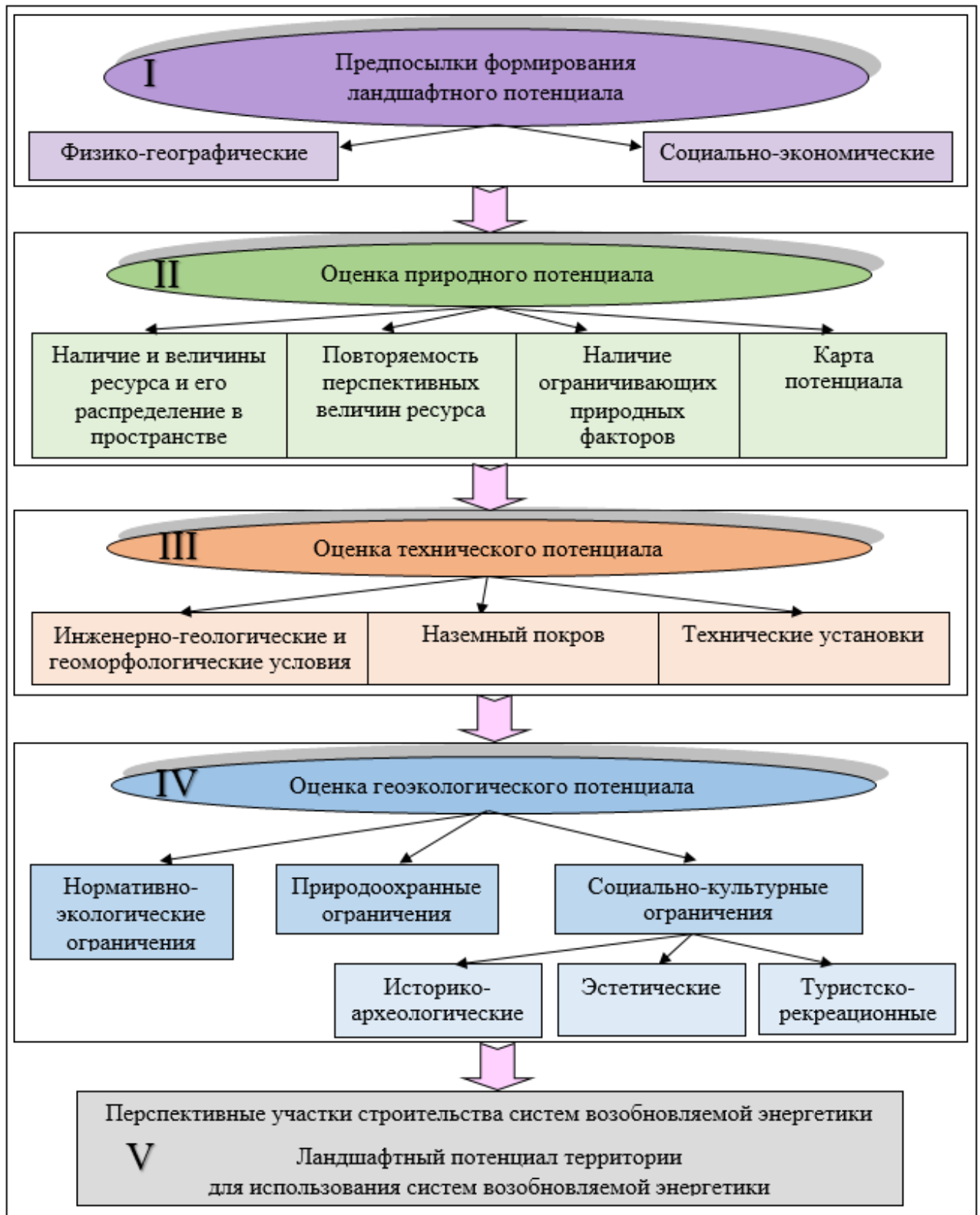


Рисунок 2.1 – Методика оценки ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики

К социально-культурным ограничениям в работе относятся историко-культурные, археологические, исторические объекты, туристско-рекреационные комплексы, и пейзажно-эстетическая ценность ландшафтов.

Результирующим пятым блоком (рисунок 2.1) методики является выделение наиболее подходящих участков для строительства систем возобновляемой энергетики с учетом всех вышеперечисленных ограничений и условий, а также расчет значений ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики.

В данной работе проводятся оценки ландшафтного потенциала для использования систем солнечной и ветровой энергетики.

Под *природным солнечноэнергетическим потенциалом* в работе принимается количество суммарной солнечной радиации, поступающей за год на исследуемую территорию с учетом текущих погодных условий (облачность, туманы) и орографических особенностей территории (затенение, закрытость склонов).

Под *техническим солнечноэнергетическим потенциалом* в работе принимается часть природного солнечноэнергетического потенциала, которую возможно получить за год с помощью определенных фотоэлектрических станций, при условии их максимально плотного равномерного размещения на доступной для строительства исследуемой территории.

Под *геоэкологическим солнечноэнергетическим потенциалом* в работе принимается часть технического солнечноэнергетического потенциала, которую возможно получить за год с помощью определенных фотоэлектрических станций, при условии их максимально плотного равномерного размещения на доступной для строительства исследуемой территории с учетом соблюдения нормативно-экологических, природоохранных и социально-культурных ограничений.

Под *ландшафтным солнечноэнергетическим потенциалом* в работе понимается способность ландшафта выполнять функцию получения электроэнергии от солнечных электростанций и установок исходя из наличия

природного ресурса, доступных технических решений и нормативно-экологических, природоохранных, и социально-культурных ограничений [198].

При расчете природного ветроэнергетического потенциала необходимо определить два показателя:

- *плотность энергии ветрового потока* как среднееголетнюю мощность воздушной струи, протекающей в единицу времени через поперечное сечение площадью в 1 м^2 ;

- *удельный природный ветроэнергетический потенциал* как часть среднееголетней энергии ветрового потока, которая может быть получена в течение года от идеальной ВЭУ в конкретной точке местности;

Технический ветроэнергетический потенциал – часть среднееголетней энергии ветрового потока, которую возможно получить в течение года определенными ВЭУ при условии их максимально плотного равномерного размещения на доступной для строительства исследуемой территории.

Геоэкологический ветроэнергетический потенциал – часть технического ветроэнергетического потенциала, которую возможно получить в течение года идеальными ВЭУ при условии их максимально плотного равномерного размещения на доступной для строительства исследуемой территории с учетом соблюдения нормативно-экологических, природоохранных и социально-культурных ограничений.

Таким образом, под *ландшафтным ветроэнергетическим потенциалом* в работе понимается способность ландшафта выполнять функцию получения электроэнергии от ветровых электростанций и установок исходя из наличия природного ресурса, доступных технических решений и нормативно-экологических, природоохранных, и социально-культурных ограничений [198].

Важное значение, с методологической точки зрения, при оценке ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики имеет выбор операционно-территориальной единицы. В большинстве случаев оценка проводится на уровне конкретного ландшафта и уровень пространственного охвата близок к региональному и микрорегиональному.

Методика оценки ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики для конкретного ландшафта, с одной стороны, связана с непосредственными полевыми исследованиями территории и картографированием компонентов ландшафта, а с другой тесно переплетается с моделированием геофизических параметров в ландшафте, созданием моделей потоков вещества и энергии.

Полевые наблюдения геофизических параметров ландшафта осуществляются стационарно на сети гидрометеорологических станций, гидропостов, геофизических стационаров и маршрутных индивидуальных наблюдений.

Наиболее часто используемыми метеорологическими параметрами при оценке потенциала возобновляемых источников энергии выступает величина поступающей солнечной радиации, скорость, направление и повторяемость ветров, влажность воздуха, температура воздуха, облачность, величина речного стока и т.д. Достаточно часто данные величины просто интерполируются для конкретных территорий. Типичным примером является построение полей метеорологических параметров по определенной сети метеостанций.

С технической точки зрения современные методики оценки ландшафтного потенциала реализуются при помощи современных компьютерных программ, как специализированного, так и общепользовательского характера, которые позволяют осуществлять построение баз данных ресурсов ландшафта для реализации потенциала возобновляемых энергетических ресурсов и осуществлять реализацию предложенных алгоритмов расчетов. Важное значение имеет визуализация информации в виде карт, картосхем, комплектов карт для атласов.

Современные компьютерные программы позволяют не только осуществлять построение баз данных ресурсов возобновляемой энергетики, но и проводить их анализ, строить логические и поисковые запросы в пространственной среде картографируемой территории. В большинстве случаев используемое программное обеспечение позволяет в той или иной мере, в зависимости от сложности компьютерного продукта, визуализировать информацию в виде

пространственных схем, хотя в ряде случаев хранение информации осуществляется в табличной форме или в виде банков данных, с единичной визуализацией по отдельным запросам. Отметим, что абсолютно универсальных компьютерных продуктов, позволяющих полностью оценить потенциал возобновляемых источников энергии, особенно с ландшафтной точки зрения не существует, даже при работе в узкопрофильных организациях.

2.2 Материалы и методика оценки ландшафтного потенциала для использования систем солнечной энергетики

Одним из самых перспективных направлений использования солнечной энергетики является применение фотоэлектрических систем – систем прямого преобразования световой энергии солнечного излучения в электричество. Преимущество фотоэлектрических систем прямого преобразования состоит в том, что они не имеют движущихся механических частей, не нуждаются в воде или другом теплоносителе. В зависимости от конструктивного исполнения фотоэлектрические системы практически не нуждаются в обслуживании [152]. Для таких фотоэлектрических систем прямого преобразования проводился расчет ландшафтного потенциала Юго-Восточного Крыма. Оценка проводилась согласно методики, приведенной на рисунке 2.1.

В первом блоке описываются физико-географические и социально-экономические предпосылки формирования ландшафтного потенциала Юго-Восточного Крыма для использования систем солнечной энергетики. Особое внимание в данном блоке уделено климатическим предпосылкам.

Для оценки природного солнечноэнергетического потенциала Юго-Восточного Крыма (блок 2) рассчитывалось поступление солнечной радиации на территорию Юго-Восточного Крыма с учётом облачности, туманов, затенения и закрытости склонов по месяцам по контурам ландшафтов. В работе использовались базы данных о режиме облачности с 2004 по 2014 гг. по метеостанциям, расположенным на территории Юго-Восточного Крыма, которые представлены на сайте www.rp5.ru [194]. Построение карт поступления солнечной

радиации выполнялось в программе Arc GIS 10.2, позволяющей рассчитать поступление солнечной радиации на наклонные поверхности склонов с учётом затенения и закрытости, а также учесть вклад облачности в величины инсоляции.

Расчёт радиации был произведен с использованием космического снимка SRTM (пространственное разрешение 30 м). На основе космического снимка SRTM в программе ArcGIS при помощи функции Area Solar Radiation в инструментах Spatial Analyst были построены карты поступления солнечной радиации за каждый месяц и суммарное поступление за год. Функция Area Solar Radiation выводит поступающее солнечное излучение из поверхности растра. Выходные растры радиации всегда представлены числами с плавающей точкой и выражены в ваттах в час на квадратный метр ($\text{Втч}/\text{м}^2$). Растр продолжительности прямого излучения является целочисленным, а единицы измерения его значений – часы.

Для получения карты поступления солнечной радиации был выполнен представленный в программе ArcGIS 10.2 алгоритм [180], состоящий из следующих параметров:

1. Входной растр поверхности – космический снимок SRTM.
2. Широта изучаемой области. Для входных растров поверхности, имеющих пространственную привязку, автоматически вычисляется средняя широта.
3. Разрешение или размер неба для гридов видимости, карты неба и карты солнца. Единицами являются ячейки. По умолчанию создается растр размером 200 x 200 ячеек.
4. Конфигурация времени (период), используемая для вычисления солнечного излучения. Такими периодами могут быть: 1) определенные дни; 2) в течение дня; 3) несколько дней в году; 4) целый год с ежемесячными интервалами. Был выбран период «несколько дней в году» – отдельно были построены карты за каждый месяц.
5. Поскольку вычисления видимости могут быть достаточно интенсивными, для целого ряда заданных направлений вычислений отслеживаются только горизонтальные углы. Действительные значения должны быть множителями 8 (8,

16, 24, 32 и так далее). Как правило, для областей с мягким рельефом подходит значение 8 или 16, в то время как значение 32 должно быть использовано для территорий с сильно расчлененным рельефом. Значение, предлагаемое по умолчанию, равно 32.

Число необходимых направлений вычислений связано с разрешением входной цифровой модели рельефа. Модель земной поверхности с разрешением 30 м обычно представляет довольно сглаженную поверхность, следовательно, для большинства ситуаций достаточно использовать меньшее количество направлений (16 или 32). Для цифровой модели рельефа с более высоким разрешением, и в особенности, для тех случаев, когда в цифровой модели рельефа отражены искусственные структуры, количество направлений необходимо увеличить. Увеличение количества направлений повысит точность, но при этом возрастет и время, необходимое на выполнение вычислений.

6. Доля рассеивания – это часть общего нормального потока излучения, которая рассеивается. Значения находятся в диапазоне от 0 до 1. Это значение должно быть задано в соответствии с атмосферными условиями. Карты радиации были рассчитаны с коэффициентом 0,2, что соответствует ясному небу.

7. Объем солнечного излучения, полученного поверхностью, – это только часть излучения, полученного за пределами атмосферы. Удельный коэффициент пропускания является свойством атмосферы и представляет собой соотношение энергии, полученной на верхней границе атмосферы к энергии, достигающей поверхности Земли по кратчайшему пути (в направлении зенита), усредненную по всем длинам волн. Типичные значения находятся в диапазоне от 0 (нет пропускания радиации) до 1 (полное пропускание). Для расчета карт был взят коэффициент 0,7 для ясного неба.

8. Опция `Optional outputs` позволяет дополнительно построить карты прямой, рассеянной солнечной радиации и карту продолжительности поступления прямой солнечной радиации (количество часов солнечного сияния).

Необходимо отметить, что в программе заложен учет затенения территории, как соседними склонами, так и макроформами рельефа.

Для отображения природного солнечноэнергетического потенциала Юго-Восточного Крыма полученные данные по поступлению солнечной радиации были усреднены по ландшафтным контурам, согласно ландшафтно-типологической карты Г.Е. Гришанкова.

Для расчета технического потенциала Юго-Восточного Крыма для использования систем солнечной энергетики (блок 3) был взят гетероструктурный солнечный модуль компании Hevel Solar номинальной пиковой мощностью 280 Вт, с КПД 20%, размерами 1656 x 991 мм [283].

Инженерно-геологические и инженерно-геоморфологические условия территории должны приниматься во внимание, так как наличие на исследуемой территории неприемлемых для строительства геологических особенностей может привести к удорожанию строительства или разрушению построек. Согласно [247], в инженерно-строительном районировании выделяют территории сложные для градостроительного освоения, повышенной сложности и особо сложные, не рекомендуемые для масштабного градостроительного освоения. К сложным для градостроительного освоения относятся территории, где в геологическом разрезе преобладают глинистые и лессовые породы, уровень залегания грунтовых вод составляет 0–10 м, развито подтопление, возможно проявление карста, просадок, плоскостной и линейной эрозии; сейсмичность составляет 6–8 баллов. К территориям повышенной сложности относятся участки, в геологическом разрезе которых присутствуют четвертичные отложения коры выветривания флишевой толщи юры и мела, уровень грунтовых вод на глубине 2–5 м, широко развиты оползни, обвалы, возможно подтопление, проявляется плоскостная и линейная эрозия, сейсмичность территории составляет 8–9 баллов. Особо сложными являются территории, где в геологическом разрезе преобладают трещиноватые известняки, аргеллиты, алевролиты мела и юры, широко распространен карст, процессы денудации; сейсмичность составляет 8–9 баллов. Перечисленные типы территорий можно использовать под строительство систем солнечной энергетики, но стоимость строительства объектов может быть значительно превышена за счет подготовительных укрепительных мероприятий.

Следующий пункт анализа – поиск территорий, пригодных для строительства систем возобновляемой энергетики. Карты наземного покрова территорий наглядно демонстрируют современное использование земель для тех или иных целей (сельское хозяйство, естественная растительность). Для построения карты наземного покрова в работе были использованы следующие материалы:

1. Космические снимки Landsat 8 с разрешающей способностью снимка от 15 до 30 м на пиксель. Проекция UTM, система координат WGS 84. Точность позиционирования сенсоров: OLI – 12 м, TIRS – 41 м.

2. Космические снимки сервиса Google Earth, с разрешающей способностью 0,6 м на пиксель.

3. Карта землепользования Крыма [241].

5. Данные полевых наблюдений в период с 27.07.2015 по 27.08.2015 г. на территории Юго-Восточного Крыма по 106 точкам.

Все расчеты были произведены в программе ArcGIS 10.2.

Под наземным покровом (англ. land cover) в данной работе понимается модель земной поверхности, состоящая из определяемых прямым наблюдением реально существующих объектов, структурированных согласно потребностям наблюдателя [75]. Необходимо отметить, что понятия «наземный покров», «землепользование» и «землеиспользование» различны и не являются синонимами [279].

Так как космические снимки, используя данные спутника Landsat 8, можно получать каждые 14 дней практически для любой территории земного шара, наша работа базируется на новых репрезентативных для данной ситуации базовых данных. Стоит отметить, что структура наземного покрова не изменяется в столь короткие сроки (2–3 года), а лишь приобретает маркерные тенденционные изменения. По этой причине в качестве корректирующих данных можно использовать ранее созданные карты типов наземного покрова [36; 241].

Мировая практика насчитывает огромное количество методик картографирования типов наземного покрова средствами геоматики. Геоматика –

(англ. *geomatics*) совокупность применений информационных технологий, мультимедиа и средств телекоммуникации для обработки данных, анализа геосистем, автоматизированного картографирования [61]. Исходя из имеющихся данных, нами был выбран ряд методик, которые использовались как основа методики для нашей территории [142; 264; 266; 294].

Первоначально проект был сформирован в системе координат UTM WGS 84 Zone 36N, линейная единица измерения – метр. Все исходные данные были переведены в эту систему координат. Были подгружены 2 космических снимка Landsat 8. Каждый снимок, состоящий из 8–9 каналов, был объединен с помощью функции *Composite bands* и в результате получен комплексный снимок, который отражает типы растительности за все сезоны года. Таким образом, упрощается его дальнейшее дешифрирование.

Для определения максимального количества желательных классов наземного покрова была применена функция *Maximum Likelihood Classification*. Затем была проведена управляемая классификация с помощью функции *Training Sample Manager* в результате которой были заданы и выделены 7 типов наземного покрова: вода, лес, редколесья, степные сообщества, сельскохозяйственные угодья, заболоченные территории, населенные пункты. Полигоны "для учения" выбирались таким образом, чтобы эталонный участок находился в середине выбранного типа наземного покрова и от других типов его отделяло минимум 3–4 пиксела снимка. Для каждого типа наземного покрова было выделено минимум по 10 типичных эталонных полигонов. После этого была проведена классификация. Однако в виду достаточно большой площади территории и схожести спектров некоторых типов такая первоначальная классификация нуждается в корректировке. Такая корректировка проводилась путем добавления вручную заданных эталонных полигонов, определенных по снимку Google высокого разрешения. Каждому типу наземного покрова соответствовало минимум по 30–40 добавленных корректирующих объектов. Помимо уточнения контуров типов покрова выделялись территории с большими площадями, которые

не подходили ни под один ранее заданный класс. Таким образом был создан дополнительный класс – горно-луговые яйлинские ландшафты.

В виду того, что территория имеет очень высокое ландшафтное разнообразие – разнообразие типов наземного покрова также высоко. А это значит, что схожее спектральное значение может иметь несколько таких типов, но будет выделяться автоматически в один. Для исправления такой ситуации были задействованы данные с натуральных наблюдений по 106 точкам. Имеет смысл разбить каждый тип наземного покрова на отдельный полигон и работать уже не с группами, а с отдельными единицами. Для этого растровый слой классифицированных типов был переведен в полигональную форму с помощью функции Raster to Polygon. В таблицу атрибутов отдельных полигонов были занесены значения принадлежности к конкретному типу наземного покрова опираясь на данные полевых исследований. После проведения процедуры корректировки отдельные полигоны с заданными классами необходимо было вновь сгруппировать. Помимо этого, было необходимо элиминировать и генерализировать объекты меньше рабочего масштаба с площадью менее 10 га при помощи функций инструмента Generalization: Majority Filter, Boundary Clean, Region Group, Nibble. Затем с помощью функции Dissolve объединили полигоны по принадлежности к определенному типу. В результате проведенной операции получили скорректированную карту по заданным новым классам.

Большинство типов наземного покрова представлены объектами площадного характера распространения и занимают площадь минимум в несколько десятков пикселей. Однако есть и такие типы, которые представлены относительно тонкими линейными объектами: реки и дороги, часто их размер менее размера пикселя (30 м). При автоматической классификации такие объекты часто дешифрируются в виде пунктирной линии. В связи с этим дороги были векторизованы вручную при помощи Google снимков, а реки – при помощи функций инструмента Hydrology: Fill, Flow Direction, Flow Accumulation, Stream to Order, Stream to Feature и также Google снимков. Векторизация дорог проводилась исключительно вручную, а водотоки изначально были выделены автоматически, и

уже после были скорректированы вручную. Весомым недостатком автоматического выделения водотоков стало несоответствие некоторых объектов, выделенных в такой способ реальным объектам. Т.к. используя группу инструментов Hydrology мы можем выделить абсолютно все математически, а не реально существующие объекты. Таким образом, лишние не существующие объекты нужно элиминировать по принципу отсекаания водных объектов, имеющих самые низкие классы иерархической классификации. Для этого была использована функция CON, при помощи которой убрали водотоки до 4 класса включительно (классификации Страллера), иллюминировали минимальные, несуществующие в реальности водные объекты (балки, рытвины).

Четвертый блок представляет собой оценку геоэкологического потенциала для использования систем возобновляемой энергетики. На данном этапе вводится система геоэкологических ограничений – нормативно-экологические, природоохранные и социально-культурные.

Для выделения ландшафтов, имеющих наивысшую эстетическую и туристическую ценность, в августе 2015 г. были проведены экспедиционные исследования. В качестве операционной территориальной единицы были использованы группы местностей (окоемы), представленные на ландшафтно-типологической карте Крыма Г.Е. Гришанкова [226]. В качестве основной оцениваемой единицы выступал пейзаж – визуальная картина, открывающаяся из определенной точки местности. Для выделения оцениваемых пейзажей в пределах каждого ландшафтного контура исследуемой территории закладывались «контрольные точки». Обозреваемое из этих точек пространство соответствует оцениваемым пейзажам [97]. Оценка, полученная для точки, распространяется на весь ландшафтный контур, в котором находится данная точка. Выбор точек основывался на оценке зоны видимости при помощи инструмента Viewshed в программе Arc GIS 10.2.

Оценка пейзажно-эстетической ценности производилась согласно анкете, предложенной в работе [97] по следующим критериям: плотность границ между визуально различимыми урочищами в пределах ландшафтного выдела;

разнообразие структурно- и вещественно-разнородных элементов; цветовая гамма; наличие и количество пейзажно-композиционных узлов; наличие и количество пейзажно-композиционных осей; наличие пейзажных кулис; глубина и разнообразие перспектив; залесенность территории; наличие водных объектов; антропогенная трансформация. Каждый критерий оценивался определённой суммой баллов. В связи с тем, что указанная методика разрабатывалась для оценки горных, преимущественно природных значительных по охвату территорий, были внесены некоторые корректировки методики. Для критерия «Антропогенная трансформация» Д.А. Дирин в значении критерия «Нарушенный (аккультурированный) ландшафт» присваивает ему балл «-3», что при оценке исследуемой авторами территории является некорректным, так как нарушения, вносимые антропогенной деятельностью, в большинстве своем, вписываются в ландшафт либо имеют точечный характер и не несут резко отрицательный эффект. Поэтому в значении критерия «Нарушенный (аккультурированный) ландшафт» авторами присваивался балл «0».

Всего сделано 106 описаний, по одному в каждом ландшафтном контуре.

Интегрирование оценок позволило Д.А. Дирину [97] составить шкалу оценки пейзажно-эстетической ценности ландшафтов (таблица 2.1).

Полученные интегральные значения корректировались оценками экспертов, которым необходимо было присвоить ранг ценности на основе панорамных фотографий, сделанных из контрольных точек. В состав экспертов входили специалисты географы, биологи, художники, фотографы. Всего было опрошено 50 человек.

Таблица 2.1 – Шкала ранжирования интегральных балльных оценок по рангам пейзажно-эстетической ценности ландшафтов [97]

Ранг ценности	Оценка пейзажно-эстетической ценности	Баллы
I	Наиболее ценные пейзажи	>22
II	Высокоценные пейзажи	18-22
III	Среднеценные пейзажи	13-17
IV	Малоценные пейзажи	8-12
V	Наименее ценные пейзажи	<8

Карта экологического каркаса Юго-Восточного Крыма была построена для учета природоохранных и нормативно-экологических ограничений при строительстве систем солнечной энергетики. Карта была построена в программе ArcGis 10.2 на основе материалов [209; 247].

Имеющиеся в открытом доступе данные о расположении историко-культурных, археологических и исторических объектов позволяют лишь точно нанести эти объекты на результирующие карты перспективных территорий.

Полученные карты наземного покрова, экологического каркаса и пейзажно-эстетической ценности ландшафтов использовались и для оценки ландшафтного потенциала для использования систем ветровой энергетики. Наложение всех построенных карт позволило получить карту участков, наиболее благоприятных для строительства солнечных электростанций и оценить ландшафтный потенциал территории для использования систем солнечной энергетики. Суммарная энергия, которую можно получить, разместив солнечные батареи на выделенных территориях, рассчитывалась как годовая сумма поступления суммарной солнечной радиации, умноженная на мощность выбранных солнечных батарей и количество батарей, которое можно разместить на указанных территориях. Подробно о правилах размещения солнечных батарей описано в [274]. При расчетах солнечные батареи размещались таким образом, чтобы каждый ряд не затенял последующий.

2.3 Материалы и методика оценки ландшафтного потенциала для использования системами ветровой энергетики

Ландшафтный потенциал Юго-Восточного Крыма для использования систем ветровой энергетики также производился на основе 5 блоков (рисунок 2.1). Как и в оценке солнечноэнергетического потенциала, при оценке предпосылок формирования ландшафтного потенциала для использования систем ветровой энергетики важную роль играет первичное изучение природных ресурсов, а именно климатические характеристики.

Первичная оценка природного ветроэнергетического потенциала проводилась с целью обнаружения перспективных характеристик (скорости ветра, повторяемости и направления перспективных градаций ветра) на изучаемой территории. В работе для оценки ландшафтных потенциалов территории для использования систем ветровой энергетики была выбрана методика, описанная в работе [14]. В качестве исходных данных для расчетов была использована база данных NASA SSE [287]. Эта база данных является открытой и содержит в широкий перечень метеорологических и актинометрических величин, полученных с помощью спутниковых методов зондирования атмосферы и последующих модельных расчетов. Обоснованность использования данных NASA SSE для первичной оценки энергетического потенциала детально обсуждается в [14; 15]. С целью оценки репрезентативности данных NASA SSE для территории исследования проводится сравнение многолетних средних значений скорости ветра по наземным измерениям и по данным NASA SSE: рассчитывается среднеквадратичное отклонение и относительная погрешность (отклонение) данных [124].

В работе в качестве фактологической основы для оценки территории с точки зрения размещения объектов ветровой энергетики было использовано распределение природного ветроэнергетического потенциала. Величина потенциала оценивалась на основе методики, представленной в [14; 15]. При этом последовательно для выбранной территории были рассчитаны плотность энергии ветрового потока, удельный природный ветроэнергетический потенциал.

Для расчета плотности энергии ветрового потока были использованы значения повторяемости скорости ветра на высоте 50 м для каждой ячейки градусной сетки в пределах рассматриваемой территории [15]. Так как все данные БД NASA SSE имеют пространственное разрешение $1^\circ \times 1^\circ$, то валовый ветроэнергетический потенциал территории $Val_{мер}$ определялся следующим образом:

$$Val_{мер} = N_{ВЭВ} \cdot \sum_{j=1}^n (Val_{y_{0j}} \cdot S_j / S_{мер}) \quad (2)$$

где $Val_{y\partial j}$ – удельный валовый потенциал энергии ветра в j -ой ячейке, кВт·ч/год;

$N_{ВЭУ}$ – количество ВЭУ, которое можно разместить на всей исследуемой территории, шт;

S_j – площадь исследуемой территории, попадающая в j -ую ячейку, км²;

$S_{мер}$ – общая площадь исследуемой территории, км².

Количество ВЭУ, которое можно разместить на территории определяется из расчета минимизации воздействия друг на друга расположенных рядом ВЭУ. Согласно многочисленным исследованиям [172; 231] восстановление ветрового потока происходит на расстоянии 8 – 20 диаметров ветроколеса ($D_{БК}$) вдоль наиболее повторяющихся направлений ветра и 3–7 $D_{БК}$ вдоль редких направлений ветра. В связи с тем, что на данном этапе использовалась предварительная оценка ветроэнергетического потенциала без учета конкретных условий рельефа, нами на основе анализа работ [231] была принята схема размещения ВЭУ в узлах квадратной сетки со стороной квадрата $10 D_{БК}$:

$$N_{ВЭУ} = (1000 / (10 \cdot D_{БК}))^2 \cdot S_{мер}. \quad (3)$$

При расчете природного и технического потенциалов (блок два и три рисунка 2.1) территории для использования системами ветровой энергетики использовались ВЭУ GAMESA G58-850 kW с высотой башни 53 м и диаметром ветроколеса 58 м [299].

Выбор места строительства ВЭС также зависит от крутизны территории. Согласно работе [246], территория, выбранная под строительство ВЭС, не должна иметь крутизну более 5°. Несмотря на то, что рельеф территории является одним из ключевых факторов размещения ВЭУ, учет его барьерных эффектов, в значительной степени влияющих на перераспределение скоростей ветра близ поверхности земли, возможен только после выделения конкретных участков, подходящих по всем остальным критериям. Такой учет требует детального картографирования территории, однако значительные площади территории могут быть изъяты из анализа в связи с несоответствием критериям, рассмотренным ниже.

Для строительства ВЭС, согласно мировому и отечественному опыту [231], используются земли сельскохозяйственного назначения, земли запаса и земли пастбищ. Однако при выборе участков для строительства необходимо учитывать специализацию сельскохозяйственных земель: строительство ВЭС на землях, используемых под виноградники, подразумевает уничтожение культур на больших площадях и значительную потерю урожая. Кроме того, перевод земель из одной категории в другую значительно затруднен в юридическом отношении. В нашем исследовании предполагается, что для строительства ВЭС могут быть использованы только земли под степными сообществами.

Блок четыре (оценка геоэкологического потенциала) рассчитывался по методике аналогично расчетам солнечноэнергетического потенциала. Были учтены нормативно-экологические, природоохранные и социально-культурные ограничения. Кроме того, при выборе перспективных участков для строительства ВЭС также необходимо учитывать шумовое воздействие. По санитарным нормам, допустимым уровнем шума, который не наносит вреда слуху даже при длительном воздействии на слуховой аппарат, принято считать: 55 дБ в дневное время и 40 дБ ночью [221]. Известно, что на расстоянии 300 м от ветротурбины уровень шума не превышает 40 дБ, т.е. установленной нормы [221].

В пятом блоке методики выделяются наиболее благоприятные участки для строительства систем ветровой энергетики с учетом всех вышеперечисленных ограничений и условий, а также значение ландшафтного потенциала для использования систем ветровой энергетики по ландшафтным контурам.

На дополнительном этапе на территориях, определенных в процессе анализа (блоки 1–5 на рисунке 2.1) как пригодные и без существенных ограничений, следует провести более детальную оценку ветропотенциала и учет особенностей рельефа территории. Этот анализ можно провести на основе данных ветромониторинга и специализированного программного обеспечения (WAsP, Wind Farm, WindNinja и др.).

РАЗДЕЛ 3. ПРЕДПОСЫЛКИ ФОРМИРОВАНИЯ ЛАНДШАФТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

3.1 Физико-географические предпосылки

Географическое положение. Обоснование границ района исследований.

Юго-Восточный Крым расположен на юго-востоке Крымского полуострова. С юга и востока Юго-Восточный Крым омывается Черным морем (рисунок 3.1).

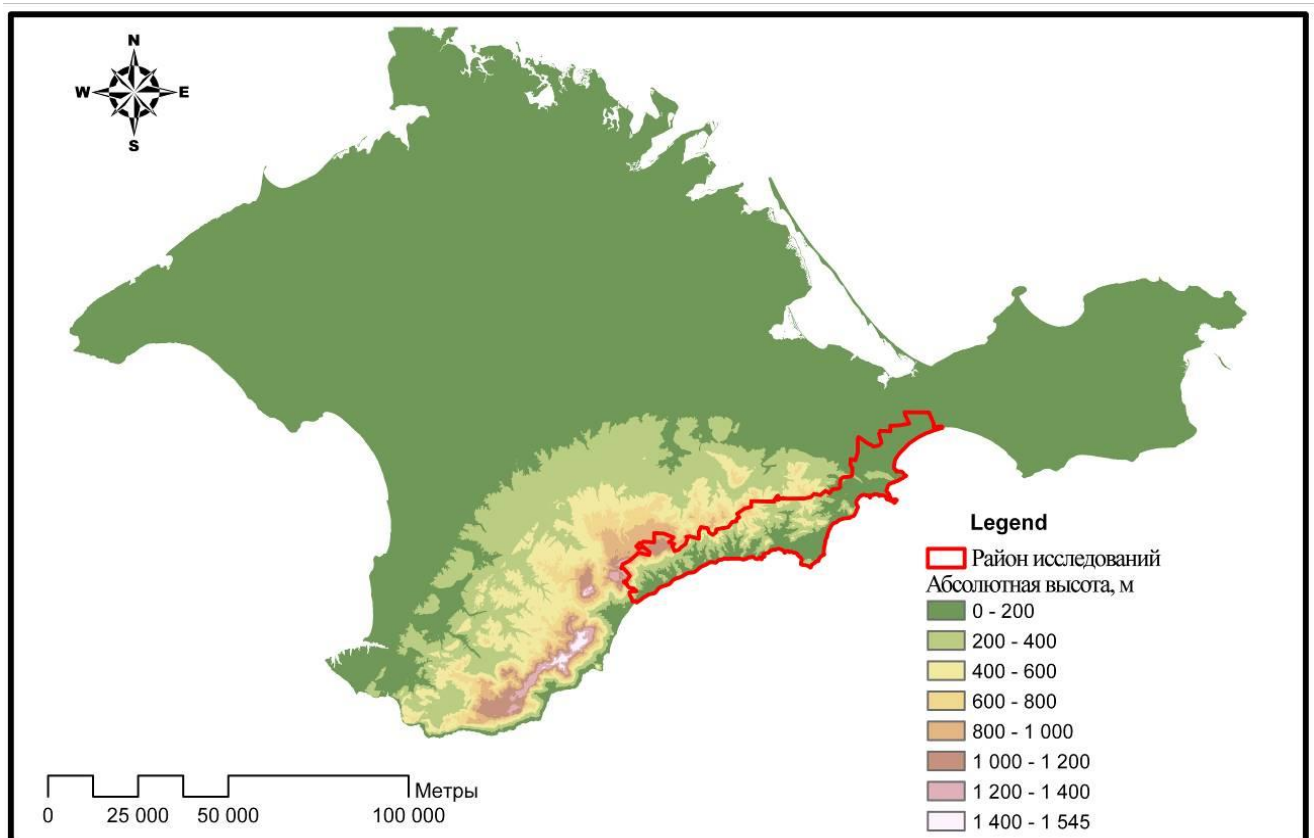


Рисунок 3.1 – Границы Юго-Восточного Крыма

С севера и запада район ограничен бровкой южного склона Главной гряды Крымских гор. На крайний запад исследуемой территории заходят юго-восточные отроги Караби-яйлы. Северо-западная граница района проведена с

корректировкой на административно-территориальное деление Республики Крым и заканчивается в пределах п.г.т. Приморский. Площадь составляет исследуемой территории составляет 1068 км².

Понятие «Юго-Восточный Крым» часто встречается в научных публикациях. Однако чёткие границы этого региона до сих пор не определены. Анализ публикаций показывает, что к Юго-Восточному Крыму авторы чаще всего относят территорию Феодосийского и Судакского горсоветов. Однако они не связывают его выделение с административными единицами, а скорее с ландшафтными особенностями.

Рассматривая существующие схемы физико-географического районирования и ландшафтной структуры территории Крымского полуострова можно составить следующую таблицу, отражающую видение различных авторов границ Юго-Восточного Крыма (таблица 3.1).

Учитывая задачи исследования, нами в качестве критериев обоснования границ были выбраны однородность (схожесть) ландшафтной структуры и административно-территориальное деление.

Согласно указанным критериям в работе будут использованы границы, предложенные Е.А. Позаченюк с соавт. [226], но с некоторыми корректировками: Грушевский сельский совет был исключён из рассмотрения, т.к. его территория полностью находится в другом ландшафтном поясе. Территория Приморского сельского совета была оставлена в границах исследования в связи с тем, что она непосредственно граничит с г. Феодосия и может стать (исходя из рельефа территории) наиболее благоприятной территорией для размещения систем ветроэнергетики.

Геологическое строение территории. Крымский полуостров в целом имеет очень сложное геологическое строение, которое обусловлено его тектоническим положением. Горная его часть вместе с Керченским полуостровом входит в состав Альпийской геосинклинальной складчатой области и представлен мегантиклинорием, протянувшимся с юго-запада на восток полуострова.

Равнинный Крым представляет собой своеобразную платформенную область со сравнительно молодым палеозойским складчатым фундаментом [62].

Таблица 3.1 – Географическое положение Юго-Восточного Крыма по различным авторам

Автор	Положение Юго-Восточного Крыма в системе районирования
В.Г. Ена [104]; В.Г. Ена, А.В. Ена, А.В. Ена [105]	Юго-Восточный Крым как отдельный регион не выделяется. Территория Юго-Восточного Крыма располагается в пределах ландшафтных областей Крымское лесо-шибляковое субсредиземноморье (5 ландшафтов) и Крымское лесостепное предгорье (4 ландшафта).
Л.А. Багрова [20]	Юго-восточная часть Горного Крыма включает территорию южного макросклона Главной Крымской гряды и прилегающую к нему полосу берега Чёрного моря от г. Алушты до п.г.т. Коктебель.
П.Д. Подгородецкий [195]	Юго-Восточный Крым как отдельный регион не выделяется. В пределах области Крымского южнобережного субсредиземноморья выделяет восточный физико-географический район; в пределах области Главной горно-лугово-лесной гряды – восточный физико-географический район.
Ландшафтно-геофизические... [148]	Под юго-восточной частью Горного Крыма понимается территория восточнее линии Морское – Громовка – хр. Хамбал – хр. Туар-Алан – Феодосия, то есть она включает южный макросклон Крымских гор восточнее с. Морское.
Т.В. Бобра, А.И. Лычак [36]	Юго-Восточный район Горного Крыма занимает южный макросклон Главной гряды от г. Алушта на западе до п.г.т. Коктебель на востоке.
Современные ландшафты... [226]	В пределах низкогорного ландшафтного уровня южного макросклона Крымских гор для характеристики хозяйственной составляющей выделяется Юго-Восточный берег Крыма в пределах территории Алуштинского горсовета к востоку от с. Семидворье, территории Судакского горсовета и Феодосийского горсовета.

Мегантиклинорий Горного Крыма делится на целый ряд более мелких структурных элементов, таких как обширные антиклинальные поднятия, сложенные породами таврической серии и средней юры, и синклинальные структуры, сложенные верхнеюрскими и отчасти нижнемеловыми отложениями [166]. Структуры эти также имеют сложное строение и нарушены более мелкими складками и разломами.

Исследуемая территория Юго-Восточного Крыма занимает три таких крупных чередующихся структурных элемента: Восточно-Крымский синклинорий, Туакский антиклинорий и Судакский синклинорий (рисунок 3.2).

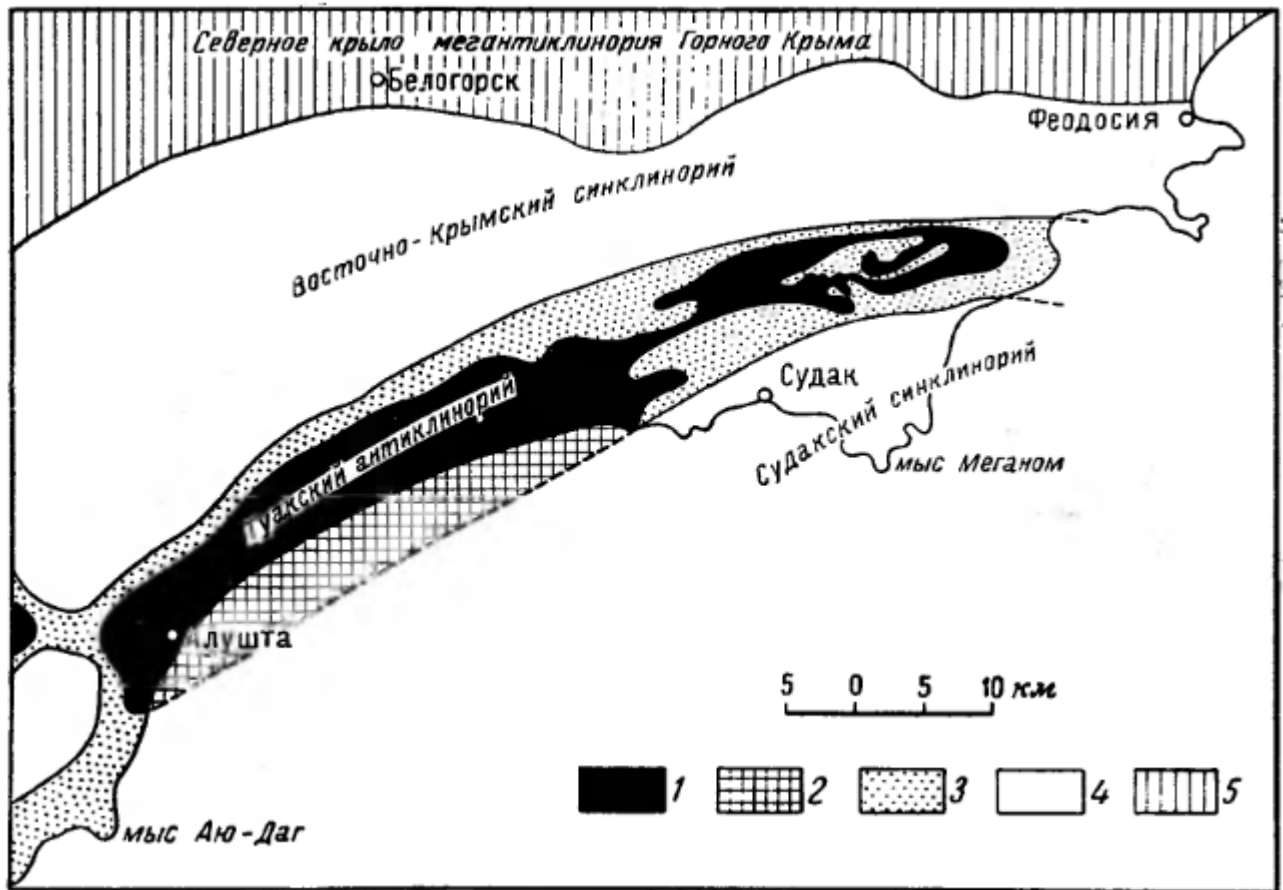


Рисунок 3.2 – Схема расположения Туакского поднятия [62]

Восточно-Крымский синклинирий сложен разнообразными по составу отложениями верхней юры и нижнего мела. Структура синклинория сравнительно проста. Внутренняя зона синклинория сложена титонскими известняками, образующими массив Караби-яйла, а восточнее – мощной флишевой толщей титона. На востоке, в районе Феодосии, структура синклинория погружается под уровень моря.

Южное крыло Восточно-Крымского синклинория занимает крайнюю северную и восточную части исследуемой территории, сложено главным образом конгломератами оксфорда и титона, как правило, очень узкое и крутое, местами слегка запрокинуто к северу. Система пересекающихся продольных и поперечных сбросов расленяет массивные толщи известняков и конгломератов на несколько крупных, смещенных друг относительно друга блоков. Немаловажная роль в структуре синклинория принадлежит разрывным нарушениям, движения по которым происходили в основном в позднеюрскую и раннемеловую эпохи.

Особые черты строения имеет восточная оконечность северного крыла мегантиклинория горного Крыма (рисунок 3.3). Как упоминалось выше, здесь наблюдается система из поперечных сбросов, по которым все слагающие крыло породы разбиты на ряд глыбовых участков и блоков.

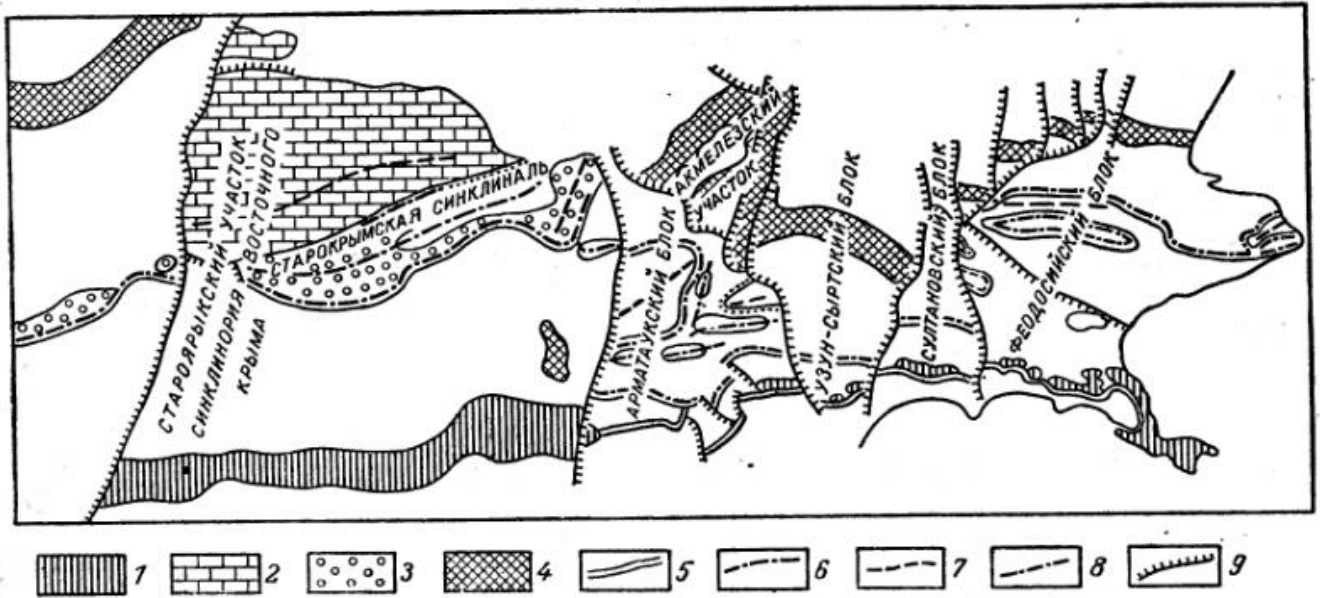


Рисунок 3.3 – Схема тектонической структуры восточной части северного крыла мегантиклинория горного Крыма в районе Феодосии [62]: 1 – основание кимеридж-титонского трансгрессивного комплекса – базальные конгломераты; 2 – известняковые фации кимериджа–титона горы Агармыш; 3 – мелководные песчано-конгломератовые фации нижнего мела Старокрымской синклинали; 4 – слоистые мергели датского яруса – палеоцена; 5 – контакт несогласованного залегания кимеридж–титона на средней юре и оксфорд–лузитане; 6 – линия контакта титона и нижнего мела; 7 – шарниры антиклиналей; 8 – шарниры синклиналей; 9 – поперечные и косые сбросы, секущие крыло мегантиклинория на блоки

Самый западный блок осложнен целым рядом отдельных складок (частью куполовидных), а также приподнятым по сбросам так называемым Агмелезским горстом. Два следующих, Узунсыртский и Султановский, построены проще – они сложены серией наклоненных в одном направлении слоев. Последний,

Феодосийский осложнен целой системой более мелких сбросов, которые разбивают слагающие его слои на ряд мелких блоков второго порядка. Наиболее подняты Феодосийский и западный блоки, наиболее опущен Султановский. Все эти сбросы секут меловые палеогеновые отложения и майкопскую серию, но не затрагивают отложений среднего миоцена, которые спокойно залегают, участвуя в строении пологого северного крыла. Сбросы имеют досреднемиоценовый возраст. Восточнее Феодосии средне- и верхнемиоценовые породы описываемого крыла тянутся почти непрерывно по Парпачскому хребту Керченского полуострова, оконтуривая тем самым восточное погружение структуры горного Крыма [166].

Туакское антиклинальное поднятие является самым протяженным и пересекает практически всю исследуемую территорию – от Алушты на западе до Коктебельского залива на востоке. Ядро его сложено смятыми в складки породами таврической серии и средней юры. Северное крыло сложено породами верхней юры Главной гряды восточного Крыма. Южное крыло сохранилось только на участке, протягивающемся от Судака до Карадага. Здесь оно очень крутое и отделяет антиклинорий от Судацкого синклинория. Западнее последний обрезан морем и южное крыло Туакского поднятия тоже скрывается под уровнем моря (рисунок 3.2).

Согласно М.В. Муратову [166], в пределах Туакского поднятия различия между строением верхнего и нижнего структурных этажей выражены особенно четко. Ядро антиклинория осложнено целой системой сжатых крутых, опрокинутых к югу складок. Ядра антиклиналей у них сложены таврической серией, а разделяющие их синклинали – средней юрой. Во многих антиклиналях одно из крыльев разорвано надвигом, по которому ядро антиклинали надвинуто на соседнюю синклинали, перекрывая ее частично. Самые крупные из таких антиклиналей расположены в районе с. Рыбачьего и севернее с. Приветное. Породы верхней юры северного крыла поднятия, которые относятся к верхнему структурному этажу, залегают резко несогласно, перекрывая описанные выше складки ядра поднятия. При этом они залегают с крутым падением к северу, но в

общем спокойно, образуя совершенно другую по масштабу и строению структуру.

Ядро Туакского поднятия постепенно погружается на востоке. Складки нижнего структурного этажа здесь несогласно перекрыты верхнеюрскими породами и образуют так называемую систему Судакско-Карадагских складок. Эта системы состоит из нескольких синклиналей, разделенных выступами складчатого нижнего структурного этажа, слагающего ядра антиклиналей. Вдоль северного крыла поднятия расположено три синклинали: на западе небольшая Теркезская, в середине – широкая Кизилташская и на востоке – узкая Легенерская, имеющая северо-восточное простирание (рисунок 3.4).

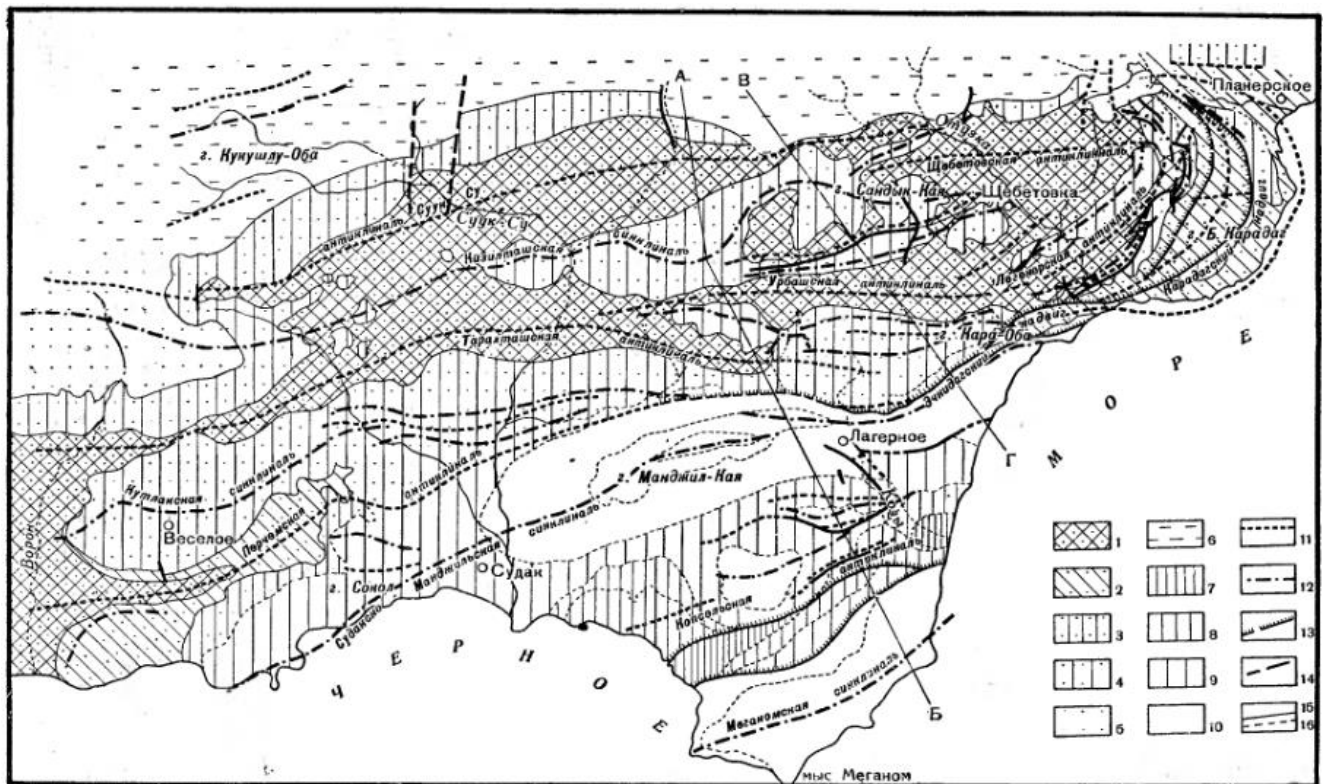


Рисунок 3.4 – Схема строения Судакско-Карадагской системы складок [62]

Кизилташская синклиналь очень широкая, имеет плоское дно, крутые крылья и осложнена мелкими куполовидными складками и сбросами. Ее отделяет от Терезской синклинали большая антиклиналь Суук-Су, а от Легенерской – куполообразная Щebetовская антиклиналь. Южнее их протягивается

Тарахташская антиклиналь, отдаляющая Кизилташскую синклиналь от синклиналей, вытянутых вдоль южного края Туакского поднятия – широких и длинных Куталкской и Эчкидагской синклиналей. Все перечисленные синклинали сложены породами оксфорд-лузитана, представленными конгломератами, песчаниками и известняками.

Кутлакская синклиналь ограничена с юга Перчемской антиклиналью, которая расположена вдоль самого края Туакского поднятия. Эта антиклиналь ассиметрична и наклонена к югу, имеет вид флексуры. Восточнее Судака она затухает, и на ее продолжении край Туакского поднятия ограничен крутым Эчкидагским надвигом с величиной вертикального смещения по нему около 1 км. Туакское поднятие по этому надвигу в целом надвинуто на юг, на Судакский антиклинорий. Ось Перчемской антиклинали, вероятно, расположена на продолжении этого поднятия, скрытого здесь под верхнеюрскими отложениями.

Судакский синклинорий, сохранившаяся часть которого представляет собой полуостров Меганом, также имеет сложную структуру, хотя по своему строению и развитию он сильно отличается от Туакского антиклинория.

В пределах Судакского синклинория выделяют две синклинали – Судакско-Манджильскую и Меганомскую, а также Капсельскую антиклиналь, которая их разделяет. Эти складки сложены очень мощной толщей преимущественно глинистых пород средней юры и всех ярусов верхней юры вплоть до титонского. Общая мощность пород здесь достигает 4000 м, более глубокие горизонты не вскрыты эрозией. Внутри этой толщи нет разрывов и несогласий между средней и верхней юрой и между оксфорд-лузитаном и титоном, которые отчетливо проявляются непосредственно севернее – в Судакско-Карадагской складчатой системе.

Длинная Судакско-Манджильская синклиналь протягивается вдоль края Туакского поднятия, борт последнего на нее надвинут по Эчкодагскому надвигу. Синклиналь эта ассиметричная и очень глубокая, в осевой части ее залегают титонские конгломераты и флиш. Северное крыло синклинали крутое, местами подвернуто и сорвано. Здесь проходит резвая граница глинистых фаций верхней

юры Судакского синклиория и песчано-известковых фаций Судакско-Карадагской системы Туакского поднятия [120].

Западнее Судака хорошо выражено центроклинальное замыкание складки в оксфорд-лузитанских слоях. В этих слоях среди глин появляются огромные рифовые массивы известняков, слагающие целые скалы и горы, вытянутые цепочкой по периферии складки. Намечаются два горизонта этих рифовых массивов: нижний – массивы гор Караульной, Хоба-кая и верхний – горы Сокол, Крепостная и др. Расположенные южнее Капселькая антиклиналь и Меганомская синклиналь, также опрокинуты к югу и осложнены надвигами. С востока и запада эти складки косо срезаны морским побережьем.

Северное крыло Туакского поднятия, сложенное породами верхней юры, является одновременно южным крылом синклиория восточной части горного Крыма (Восточный синклиорий). Кимеридж-титонские породы этого крыла несогласно налегают на породы ядра поднятия и на оксфорд-лузитанские породы, участвующие в строении Судакско-Карадагской системы складок, и круто падают к северу. Описываемое крыло на востоке сложено в основании титонскими конгломератами и флишем. Весь описываемый синклиорий резко ассиметричен. В южном крыле конгломераты и флиш кимериджа – титона залегают очень круто, иногда запрокинуты, но к северу быстро выполаживаются. На востоке, близ Феодосии, северное крыло синклиория и его осевая часть полностью перекрыты верхнемеловыми отложениями и палеогеном, залегающими с моноклиальным падением к северу. Синклиорий разбит многочисленными поперечными сбросами, особенно многочисленными на востоке недалеко от Феодосии.

Таким образом, в тектоническом отношении исследуемая территория достаточно сложна и разнообразна, что в дальнейшем обуславливает достаточно сложные геологические условия. Тем не менее территория исследования активно используется в строительстве объектов различной степени сложности, в том числе для систем возобновляемой энергетики. Учет геологических особенностей территории требует детальной проработки непосредственно перед проектированием ВЭС.

Рельеф. Северную часть территории занимает Главная гряда Крымских гор, а именно ее восточная оконечность. На крайнем северо-западе Юго-Восточного Крыма располагается восточная оконечность центральной части Гласной гряды – плосковершинный хребет Караби-яйла, который отделен от остальной части глубокими речными долинами и перевалами. Восточная часть главной гряды имеет вид структурно-денудационного средне- и низкогорья.

Особенностью Крымского полуострова в целом и Юго-Восточного Крыма в частности является наличие на относительно небольшой территории разнообразных форм рельефа. Такое разнообразие обусловлено сложным геологическим строением территории и разнообразием протекающих процессов.

Главная гряда, сложенная верхнеюрскими известняками, относится к классической области развития карста, который относится к средиземноморскому типу. Наиболее распространенной формой карстового рельефа являются кары, имеющие вид острых гребней, ячеек, лунок, желобков, размерами до первых сантиметров. Более крупными карстовыми формами являются карстовые коронки, получившие большее распространение на яйлах.

Южный склон Главной гряды Крымских гор, в пределах исследуемой территории, характеризуется низкогорным холмисто-грядовым рельефом с абсолютными высотами, не превышающими 600 м, относительные превышения составляет 30 – 150 м.

Вдоль берега Черного моря до устья реки Шелен простирается относительно однообразный грядово-холмистый рельеф с балками, заложенными в глинисто-песчаной толще пород Таврической свиты и средней юры. Для сформировавшегося в таких условиях эрозионно-денудационного рельефа характерны разделенные узкими хребтами глубокие долины рек и временных водотоков, склоны которых покрыты густой сетью промоин, оврагов и борозд. В таких условиях очень часто возникают селевые потоки, которые за короткий промежуток времени переносят огромное количество обломочного материала. Из-за значительного стока наносов здесь возникли одни из самых широких гравийно-галечниковых пляжей. Из-за однообразного состава горных пород на побережье

почти не выделяются мысы, за исключением нескольких, незначительно выдающихся в море (Сотера, Чобан-Куле) [226].

Для данной территории весьма характерны безлесые полого-наклонные купольные водоразделы меридионального и северо-западного простирания густой овражно-балочной сетью практически перпендикулярной направленности, что определяет сильную эрозионную расчлененность и создает оптимальные условия для дальнейшего развития эрозионных процессов. Склоны речных долин крутые, местами террасированы, изрезаны многочисленными оврагами V-образного профиля и промоинами. Склоны водоразделов практически полностью лишены растительного покрова, метами наблюдаются колючие кустарнички.

Вдоль побережья от г. Алушта до с. Морское повсеместно развиты оползни, осложняющие рельеф. Восточнее с. Морское рельеф более расчлененный, наблюдается быстрая смена разнообразных форм рельефа. На территории находится большое количество мысов, чередующихся между собой округлыми бухтами, образовавшимися в долинах и устьях рек.

На крайнем восточном отрезке Южного берега Крыма выделяются отдельные горные массивы, разделенные широкими понижениями. В районе Судака в рельефе выделяются древние рифовые массивы (Сокол, Караул-оба, Алчак). Далее на восток выделяется массивный мыс Меганом, с равнинной северной частью (урочище Капсель) и гористой южной, обрывающейся в море высокими уступами [226].

На участке между Судаком и Карадагом (Судакско-Карадагский участок) глубокие овраги рассекают скальные породы на отдельные горы и скалы, а врезаясь в податливые мягкие глинистые и глинисто-песчаные, образуют разветвленные долины мелко-холмистый рельеф с округлыми вершинами и пологими склонами, осложненными многочисленными оврагами и ложбинками.

Особо хорошие пляжи имеются вблизи устье некоторых реки заливов. Там ширина пляжей достигает 40 м. В местах, где к берегу выходят скальные породы и оползни, ширина пляжа сужается до 2 – 5 м. или практически исчезает.

Между Старым Крымом и Феодосией область куэстового или параллельно-грядового рельефа образует узкую полосу шириной 2-3 км. Здесь наблюдаются вытянутые в широтном направлении многочисленные гребни с очень крутыми южными и пологими северными склонами, большей частью совпадающими и поверхностью напластывания пород. Например, гора Клементьева протяженность до 3 км имеет плоскую поверхность и пологий северный склон, бронированных плотными палеоценовыми известняками. Южный же склон, сложенный породами верхнего мела, отличается исключительной прямолинейностью, крутизной и неприступностью.

Восточнее рельеф становится более сложным, что обусловлено развитием многочисленных поперечных сбросов, расчленяющих моноклинали и пологие складки, в которые смяты отложения верхней юры и мела, на ряд блоков, смещенных относительно друг друга. Наиболее возвышенный и протяженный водораздельный гребень – хребет Тепе-Оба, представляющий в рельефе как бы несколько смещенное продолжение горы Клементьева, сложен юрскими и нижнемеловыми отложениями [62].

Свои особенности рельефа имеет вулканический массив Карадаг. Он представляет собой группу хребтов и отдельных гор, самой высокой из которых является гора Святая (577 м н.у.м.) Хребты тянутся не с запада на восток, а севера на юг.

Несмотря на разнообразие рельефа, преобладание низкогорного рельефа с господством водораздельных поверхностей, среднекрутых и пологих склонов, территория в целом благоприятна для развития возобновляемой энергетики в регионе.

Климат. Климат Юго-восточного Крыма среди физико-географических предпосылок использования систем возобновляемой энергии, представляется наиболее значимым фактором.

Отметим, что с точки зрения изучения климата и климатических факторов, Юго-Восточный Крым является одним из наиболее полно и детально изученных регионов полуострова. Во всей сфере публикаций, посвященных данному вопросу

присутствуют многочисленные работы, базирующиеся на результатах полевых исследований, наблюдений, обобщения и теоретизации массивов данных.

Горный Крым расположен на границе умеренного и субтропического климатических поясов. Юго-восточная часть склона Крымских гор относится к территории с летним (континентальным) типом годового хода осадков [49]. Существенное влияние на климатические особенности оказывает Черное море, в связи с чем климат менее континентален, чем климат территорий, расположенных на таких же широтах, но в глубине материка.

Юго-Восточный Крым, как и весь Горный Крым, имеет довольно высокие значения поступления солнечной радиации. Среднегодовое количество солнечной радиации составляет в среднем 5100 МДж/м². Из этого количества 3800 МДж/м², т.е. 74% приходится на теплый период и 13000 МДж/м² – на холодный период. Суммарная солнечная радиация для декабря увеличивается от Феодосии (>2,5 ккал/см²) к Судаку (2,5–3 ккал/см²), Морскому (>3 ккал/см²), для июля приблизительно равна на всей территории и составляет около 18 ккал/см². Поглощенная радиация почти для всего участка составляет до 100 ккал/см² за год, эффективное излучение в районе Феодосии – до 40 ккал/см², в районе Судака – 40–42 ккал/см² [126].

Величина суммарной солнечной радиации в районе Феодосии равна 5059 МДж/м² в год, на Меганоме она выше на 80–100 МДж/м². С высотой суммарная радиация летом уменьшается, главным образом, из-за роста облачности, зимой различия по высоте мало заметны.

Годовые значения радиационного баланса составляют около 2500 МДж/м² на Меганоме, 2313 МДж/м² в Феодосии. С высотой они уменьшаются. Уменьшение небольшое, поскольку уменьшение суммарной радиации частично компенсируется ростом поглощенной радиации на лесных участках и уменьшением эффективного излучения в связи с ростом облачности. При подъеме на каждые 100 м уменьшение радиационного баланса составляет в среднем 25 МДж/м². С учетом этих оценок на Хамбале и других водораздельных массивах можно ожидать уменьшения радиационного баланса до 2200 МДж/м².

Как отмечалось раньше, большую роль в распределении солнечной радиации играет микро- и мезорельеф: экспозиция и крутизна склонов. Так, для Юго-Восточного Крыма сумма прямой радиации за период с температурой воздуха выше 100 для ровного места составляет 56,7 ккал/см² месяц, а для северных склонов крутизной 20° и 10° соответственно 45,3 ккал/см² месяц и 51,2 ккал/см² месяц. Для склона южной экспозиции крутизной 10° данная величина составляет 59,7 ккал/см² в месяц и для склона крутизной 20° – 62,8 ккал/см² месяц. Средние суточные суммы радиационного баланса (ккал/см²) на северных и южных склонах крутизной 10° и 20° представлены в таблице 3.2 [156].

Таблица 3.2 – Суточные суммы радиационного баланса (ккал/см²) на северных и южных склонах крутизной 10° и 20° для теплой половины года (по материалам: [156])

Крутизна склона, град.	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	Северный склон					
10	155	224	273	246	193	120
20	135	209	257	228	164	87
Крутизна склона, град.	IV	V	VI	VII	VIII	IX
	Южный склон					
10	185	249	291	269	234	168
20	196	253	289	275	254	199

Разность высот определяет заметный высотный градиент метеорологических элементов: температуры воздуха – примерно 50, атмосферных осадков – 500–600 мм/год. Средняя температура января в Судаче -1,8°C, на Меганомском маяке 1,6°C, Архадересе 1,6°C, Карадаге 1,8°C, Феодосийском лесничестве -1,4°C, Феодосии -0,6°C, Старом Крыму -1,3°C. На высоте хребта Туар-Алан температура января может быть оценена в -3,5°C, если рассчитывать по высотному градиенту 0,55°C/100 м и по данным Старого Крыма – ближайшего пункта.

Средняя температура июля составляет в Судаче 33,2°C, Меганомском маяке 23,8°C, Архадересе 24,3°C, Карадаге 23,8°C, Феодосийском лесничестве 22,2°C, Феодосии 23,8°C, Старом Крыму 21,2°C. На Туар-Алане температура может быть

оценена по высотному градиенту равной 19°C, а на Хамбале -18°C. Средняя годовая температура изменяется в пределах 9,3°C – 12,2°C. На Туар-Алане среднегодовая температура может быть оценена в 7,5°C, на Хамбале – в 6,3°C. В таблице 3.3 приведены некоторые климатические параметры, измеренные в пунктах рассматриваемой территории.

Таблица 3.3 – Климатические характеристики (по материалам: [148])

Пункты	Т январь (°C)	Т июль (°C)	Т год (°C)	Количество осадков (мм/год)	Испарение (мм/год)
Судак	-1,8	23,2	11,9	318	286
Старый Крым	-1,3	21,2	9,7	514	461
Феодосия	-0,6	23,8	11,7	376	372
Туар-Алан	-3,5	19	7,5	900	730-740
Хамбал		1,8		1300	730-740
Меганомский маяк	1,6	23,8	12	272	270
Карадаг	1,8	23,8	12,1	375	

Зимой на юге европейской части территории СНГ в широтном направлении часто формируется зона повышенного давления. Это приводит к преобладанию в холодное время года северо-восточных потоков воздуха, приносящих в Крым умеренно холодный континентальный воздух умеренных широт или холодный арктический воздух. Район Юго-Восточного Крыма сравнительно плохо защищен от вторжений наиболее холодных северо-восточных потоков из-за малой высоты гор, окаймляющих его с северо-востока. Зимой сравнительно часто в Крым приходят циклоны, возникающие на средиземноморской ветви полярного фронта и сменяющиеся к востоку. Они приносят теплый воздух и осадки.

В холодный период года наибольшую повторяемость имеют северные и северо-западные ветры (40-50%). Средняя скорость этих ветров составляет 4–5 м/сек. Часто в холодный период ветры, дующие с материка, сменяются сильными ветрами с моря. Такие смены имеют место во время выхода циклонов со Средиземного моря на Черноморский бассейн. Они значительно мягче северо-восточных и приносят в холодное время потепление, сопровождающееся осадками.

Весной происходит перестройка барического поля. Отроги Азорского максимума захватывают северную часть Черного моря. Режим ветра меняется: значительно возрастает повторяемость восточных и южных ветров.

Летом над Черным морем часто располагается отрог Азорского максимума, в связи с чем длительное время преобладает ясная сухая погода. Господствует континентальный воздух умеренных широт, который часто трансформируется в местный тропический. Иногда появляются юго-западные потоки воздуха, приносящие морской тропический воздух. Это сопровождается выпадением ливневых осадков. Из местных ветров, кроме бризов, в районе юго-восточной части Крымских гор проявляются бора, горно-долинные и склоновые ветры [148].

В летний период преобладает местная циркуляция. За счет дневного бриза резко увеличивается повторяемость ветров с моря (южных и юго-восточных направлений). Ночные бризы увеличивают повторяемость северных ветров. В зависимости от конфигурации береговой черты направление берегового бриза может изменяться от северо-западного до северо-восточного. Скорости бризовых ветров (как и горно-долинных) невелики: 2–5 м/сек для берегового бриза и 4–6 м/сек – для морского. Бризы в чистом виде выделить трудно, так как они комбинируются с горно-долинными ветрами. В летний период нередко наблюдаются и сильные штормовые ветры восточного направления, имеющие хорошо выраженный суточный ход.

С октября преобладают ветры северо-западные и северные. Сокращается повторяемость ветров южной четверти. Скорости господствующих в этот период ветров снова начинают расти.

Для всего объекта исследования характерны, в основном, скорости ветра 3–6 м/сек. В распределении скоростей ветра имеется твердо установившийся годовой и даже суточный ход. Наибольшие скорости отмечаются в период с октября по апрель. Максимальная средняя месячная скорость бывает в феврале – марте. Самые продолжительные штормы со скоростями восточного ветра выше 15 м/сек отмечаются в холодный период. Штормы юго-восточного направления наблюдаются очень редко, наибольшая скорость ветра этого направления редко

достигает 16–18 м/сек. Наибольшую повторяемость имеют кратковременные штормы с продолжительностью до 12 час. и с максимальными скоростями 12–18 м/сек.

Бора – достаточно редкое явление для данной территории. Наиболее часто бора повторяется с ноября по март, однако может возникать и в каждом из летних месяцев. К особенностям местной циркуляции относят фены. Они отмечаются при ветровых потоках от востока-северо-востока до западо-юго-запада. Средняя продолжительность фенов – 1–3 дня [218].

Можно выделить ряд показателей, которые формируют общую картину ветрового режима Юго-Восточного Крыма: средняя скорость ветра в январе колеблется от 7–8 м/сек в районе Феодосии до 3–4–5 м/сек в районе Судака и Морского; средняя июльская скорость ветра составляет 5–6 м/сек в Феодосии, 3–4 м/сек в районе Судака и Меганомы; среднегодовая скорость в Феодосии – 7–8 м/сек, на остальной территории с продвижением на запад происходит ее снижение до 5–6 м/сек в районе Карадага и до 4–5 м/сек в районе Судака. Число дней с сильным ветром (>15 м/сек) составляет 25–50, а повторяемость ветра со скоростью >25 м/сек – 35–40% [126]. Ветры северного, северо-западного, северо-восточного направлений имеют место в 60% случаев.

Ветровой режим различных местностей Юго-Восточного Крыма не одинаков, так как он определяется не только общими циркуляционными процессами, но и местными условиями, связанными с бризами, склоновыми и горно-долинными ветрами, характером рельефа и подстилающей поверхности.

Особое влияние на ветровой режим оказывает изрезанность и характер рельефа, абсолютные и относительные высоты, затененность и открытость участков, формы склонов (юго-восточная часть склона Крымских гор отличается большим разнообразием рельефа). Ветровой режим зависит от характера растительности, поскольку последняя оказывает экранирующее влияние (леса) и определяет степень шероховатости. Увеличение скорости ветра происходит в местах сближения линий тока, например, в узких долинах, ориентированных вдоль направления ветра, на вершинах возвышенностей, на наветренном склоне.

Ослабление ветра имеет место там, где линии тока расходятся, например, в долинах, ориентированных перпендикулярно направлению ветра, в котловинах, за подветренными склонами гор [187].

На вершинах гор, возвышающихся на 50 м над уровнем окружающей местности, ветер днем в 1,4–1,5, а ночью в 1,7–1,8 раз больше при скоростях, меньших 5 м/сек, чем на ровном месте. При скоростях до 10 м/сек коэффициент увеличения скорости соответственно равен днем 1,1, а ночью 1,3–1,4 [219].

Юго-восточное побережье Крыма имеет наименьшие осадки – на Меганомском маяке выпадает всего 272 мм. На Туар-Алане количество осадков за год можно оценить в 760–900 мм. Наибольшая величина осадков фиксируется на хребте Хамбал – примерно 1300 мм в год. На хребте Хамбал зафиксированы значительно более высокие величины атмосферных осадков по сравнению с Караби-яйлой. На картосхеме для восточной части Горного Крыма обычно приводятся величины осадков, равные 500–600 мм/год, что справедливо для высот до 600–700 м. Но на более значительных высотах осадков выпадает больше 700–800 мм/год и выше.

Доля снеговых осадков в Юго-Восточном Крыму не велика – 10–15% в приморской части и 15–20% в зоне 700–900 м, то есть соответственно 40–60 мм и 150–200 мм. Большое количество снежных масс сдувается со склонов.

Распределение осадков от года к году характеризуется крайней неравномерностью. В многолетнем выводе наблюдается 30% сухих лет, когда осадков выпадает меньше средних значений, 23% лет характеризуются средними данными и 36% влажных лет с количеством осадков на 20–30% выше средних.

Величины испарения составляют в районе Старого Крыма 461 мм/год, Феодосии – 372 мм/год, Карадага – 353 мм/год, Судака – 286 мм/год, Меганомского маяка – 270 мм/год. Для Караби-яйлы данная величина составляет 440 мм/год, для районов Туар-Алана и Хамбала – 730–740 мм/год.

Рассматривая величины коэффициента увлажнения Высоцкого-Иванова и радиационного индекса сухости Григорьева-Будыко необходимо отметить большие территориальные различия в увлажнении – от гумидных климатических

условий (Хамбал) до семиаридных и даже аридных. Все пункты, кроме Хамбала и Туар-Алана, имеют недостаточное фоновое климатическое увлажнение [148].

Территория Юго-Восточного Крыма в климатическом отношении в целом благоприятна для развития возобновляемой энергетики. Среднегодовое количество солнечной радиации составляет 5100 МДж/м². Для всей территории исследования характерны, в основном, скорости ветра 3–6 м/сек. Наибольшие скорости отмечаются в период с октября по апрель. Максимальная средняя месячная скорость бывает в феврале – марте.

Поверхностные и подземные воды. Сравнительно небольшое количество атмосферных осадков, продолжительное сухое лето, распространение карстующихся пород, особенности рельефа обусловили бедность Юго-Восточного Крыма поверхностными водами. Наиболее крупными реками являются: Шелен, Ворон, Отуз, Таракташ, Кутлак.

Средняя густота речной сети колеблется от 0,10–0,20 км/км² (район Меганом – Феодосия) до 0,20–0,30 км/км² (Морское – Судак). Наибольшими площадями бассейнов обладают реки: Таракташ (161 км²), Ворон, Отуз (70,4 км²); наибольшей длиной реки: Таракташ (27 км) и Ворон (15 км). Средние размеры бассейнов колеблются от 25–50 км² до 75–160 км².

Реки характеризуются очень небольшими площадями бассейнов, малой протяженностью, значительными уклонами (в среднем 0,2) в связи с близостью водораздельной линии к берегу Черного моря. В связи с этим, а также меньшей водообильностью источников, средние многолетние расходы рек небольшие (чаще менее 0,5 м³/сек). Однако, при таких малых площадях водосбора реки являются достаточно водоносными: до 0,5 м³/сек. Паводки проходят энергично, воды быстро сбрасываются в море [188]. Реки данной территории имеют зимне-весенний паводочный период и низкую летне-осеннюю межень. В зависимости от того маловодный год или многоводный, распределение стока по сезонам может быть следующее: зима – 38–41%, весна – 36–39%, лето – 10–15%, осень – 8–11% (р. Таракташ). Весенние паводки обусловлены таянием снега на склонах, их продолжительность составляет от 5 до 63 дней. Летние и зимние паводки

незначительны. В июле устанавливаются низкие меженные уровни, минимум наблюдается в сентябре-октябре.

Рассматривая уровенный режим нужно отметить, что максимальные годовые уровни наблюдаются с декабря по март – апрель; минимальные – в конце июля, причем в низовьях реки пересыхают на 2–5 месяцев. Реки всего Юго-Восточного Крыма отличаются небольшим подъемом уровня во время паводков: от 1 до 1,5–2 м (р. Таракташ). Значения годового стока рек колеблются в районе 1 л/сек км² (р. Таракташ – 1,09 л/сек км², р. Отуз – 5,3 л/сек км²).

Дно рек данного района неустойчивое. Во время паводков наблюдаются сильные размывы и намывы в связи с большим транзитом наносов.

Неравномерность поверхностного стока усугубляется геоморфологическим строением долин, которое образовалось в процессе их взаимодействия с изменяющимся уровнем Черного моря. Во время низкого стояния воды в море долины были глубоко врезаны, а при повышении уровня до современных значений долины были заполнены пролювиальными, аллювиальными и делювиальными отложениями мощностью от 3 до 25 м. В связи с этим стекающие в долины воды вначале заполняют пространство этих отложений и лишь после этого формируется поверхностный сток.

Подрусловый сток характерен для большинства рек данного района, он составляет около 30% от выпадающих осадков. Русла всех рек подвержены сильной деформации, на некоторых наблюдаются подпорные явления в следствии сужения русла образовавшимися конусами выносов после прохождения паводков.

На реках Юго-Восточного Крыма ежегодно наблюдаются паводки, которые в холодное время года связаны с таянием снега в горах и длительными дождями и в летнее время с ливнями. Паводки случаются 1–2 раза в год. Во время паводков расход воды в реках увеличивается в 10–100 раз по сравнению с минимальным стоком. Естественный режим рек значительно искажается интенсивным забором воды на орошение.

Кроме малых рек на данной территории находятся несколько ручьев, имеющих подобный рекам гидрологический режим (Кизилташский,

Кабанташский). Кроме того, здесь действует ряд родников и подземных источников: Перчем, Лягушка, Кизилташ, Камгалы-Чокрак, Эльмет-Чокрак. [218].

Геологическое строение Крыма определило своеобразие его гидрогеологических особенностей. Основные запасы подземных вод здесь сосредоточены в спорадических обводненных локальных точках, песчаниках и трещиноватых зонах флишевых отложений верхней юры с глубиной залегания от 0 до 100 м и более (Морское-Меганом-Курортное); в отложениях третичного и мезозойского возраста; в отложениях четвертичного и верхне-, среднеплиоценового возраста. Кроме того, в данном районе присутствуют площади практически водоупорных пород таврической серии [218].

Исследуемая территория характеризуется бедность поверхностных и подземных вод. Подземные воды, залегающие близко от поверхности могут стать ограничивающим фактором в выборе территорий для возможного строительства систем возобновляемой энергетики.

Почвенный покров. Почвенный покров Юго-Восточного Крыма довольно пестрый, что определяется пестротой орографических, геологических, климатических и растительных условий.

Наиболее типичными являются коричневые почвы, которые формируются в условиях субсредиземноморского климата при непромывном водном режиме и глубоком залегании грунтовых вод. Эти почвы располагаются на склонах всех экспозиций, но преимущественно на юго-восточных и юго-западных с крутизной до 15° (и только отдельные участки имеют крутизну от 16° до 20°) под пушистодубовыми лесами и зарослями кустарников.

Почвообразующими породами служат продукты выветривания различных отложений, в основном, песчаники, глинистые сланцы и конгломераты средней и верхней юры. Почвообразовательные процессы протекают в этих почвах наиболее активно в период выпадения осадков, а в жаркое время затухают. Отсутствие промерзания почвы или его кратковременность не задерживают существенно процессы разложения и минерализации растительных и других органических

остатков, что приводит к слабой гумусированности почв и ликвидации лесной подстилки.

Данные почвы распространены в нижней части склонов гор различной крутизны и экспозиции. В зависимости от почвообразующих пород эти почвы представлены карбонатными, бескарбонатными и солонцеватыми разновидностями. Мощность гумусированной толщи их достигает от 20–30 см до 60–70 см. Профиль хорошо дифференцирован на 3 горизонта. Верхний – аккумулятивно-перегнойный коричневого или коричнево-серого цвета, достигает мощности 5–20 см. Ниже до глубины 40–50 см залегает гумусовый иллювиальный горизонт коричнево-бурого цвета, сменяющийся глубже гумусовым переходным горизонтом. Реакция этих почв нейтральная (рН 6,8–7,0), а количество гумуса колеблется от 1,8 до 3,7%.

Бурые горно-лесные почвы, развивающиеся в более влажных и несколько более прохладных условиях под широколиственными лесами (из дуба скального, граба, ясеня), отличаются от коричневых почв большим содержанием гумуса, более грубым его составом и меньшими значениями рН. Почвообразующими породами являются продукты выветривания верхнеюрских и среднеюрских отложений (глины, песчаники). Средняя мощность почвенного горизонта колеблется от 20–35 см (малоразвитые почвы) до 50–70 см. Реакция почв нейтральная или близкая к нейтральной (рН 6,2–8,0). Количество гумуса может значительно изменяться (от 3 до 8%). Лесная подстилка выражена слабо (до 1 см). Гумусовый горизонт имеет преимущественно комковато-ореховатую структуру, содержание гумуса до 5% и мощность до 20 см. Далее, в большинстве случаев находится слой с повышенным содержанием SiO_2 . Следующим горизонтом почвенного профиля является В_m, очень часто имеющий в нижней части много охристых скоплений и конкреций окислов железа. Граница с почвообразующей породой обычно проходит на глубине 80–90 см.

Кроме описанных выше двух наиболее распространенных типов почв Юго-Восточного Крыма, здесь более редко встречаются горные дерновые бескарбонатные почвы. Они формируются на плоских вершинах холмов под

степной растительностью (пример, вершины хр. Берегового), в основном, на элювии вулканических пород. Карбонатов в почве и породе нет. Мощность дерновины до 6 см. Можно выделить горизонт ABC – щебень, пересыпанный темно-серым с шоколадным оттенком мелкоземом. Начиная с глубины 15–20 см залегает обычно массивно-кристаллическая порода [96; 100; 218].

При выборе участком под строительство систем возобновляемой энергетики важно учитывать наличие на исследуемой территории редких или эталонных почв, подлежащих сохранению.

Растительный и животный мир. В пределах Юго-Восточного Крыма леса занимают примерно 60% площади. Они подвергались сильному антропогенному воздействию, что привело к изменению площадей под основными лесообразующими породами, возрастного состава и их состояния. Условно коренные леса сейчас занимают менее 10% площади.

Растительность приморского пояса до высоты 300–350 м н.у.м. представлена шибляковым поясом из дуба пушистого, фисташки туполистной, грабинника; кустарниковый ярус образован полиурусом, скумпией, видами боярышников; в травянистом ярусе распространены степные многолетние злаки – типчак, пырей, зерна береговая. В районе Судака и Нового света (гора Перчем, Сокол, Караул-Оба и др.) сочетаются шибляки и фисташково-можжевеловые редколесья. В районе Нового Света представлены редколесья из сосны Станкевича. В приморской зоне достаточно широко распространена степная растительность, фрагментарно встречаются томилляры и саванноиды, занимающие очень небольшие территории, а также бедленды, характерные для береговой линии.

С высоты 350–400 м н. у. м. начинаются грабинниково-пушистодубовые леса, которые с высоты 650–700 м н. у. м. сменяются скальnodубовыми лесами. Наиболее высокие горные массивы (выше 750 м н. у. м.) покрыты буковыми лесами с участием граба обыкновенного и дуба скального. Яйлы при данном выделении Юго-Восточного Крыма представлены юго-восточного окончечностью Караби-яйлы и представлена зоной горных лугов и горной лесостепи [148; 195].

Ландшафтная структура. Сложное геолого-геоморфологическое строение, а также геоэктонное положение Юго-Восточного Крыма определяют его высокое ландшафтное разнообразие. В пределах территории выделяются 3 ландшафтных уровня: гидроморфный, низкогорный и среднегорный [226].

Согласно ландшафтно-типологической карте Крыма Г.Е. Гришанкова [226], гидроморфный ландшафтный уровень представлен 3 группами местностей, расположенными на востоке и в центральной южной части Юго-Восточного Крыма: абразионно-денудационные недренированные низменности с галофитными лугами; озерно-западинный на абразионно-денудационной равнине, с галофитными лугами в комплексе с полынно-типчаковыми степями; абразионно-денудационные слабодренированные равнины с полынно-типчаковыми, гейнальдиево-эгилопсовыми степями в комплексе с галофитными степями [226] (рисунок 3.5).

Низкогорный ландшафтный уровень представлен 2 зонами: зоной предгорных аккумулятивных, останцово-денудационных и структурных денудационных равнин и куэстовых возвышенностей с разнотравными степями, кустарниковыми зарослями, лесостепью и низкорослыми дубовыми лесами (4 группы местностей), занимающей северо-восток исследуемой территории; зоной южного макросклона гор, полусубтропических дубовых, фисташково-дубовых, можжевельново-сосновых лесов и шибляковых зарослей (14 групп местностей), протянувшей широкой полосой вдоль всего побережья Юго-Восточного Крыма.

Среднегорный ландшафтный уровень представлен 3 зонами: зоной северного макросклона гор, буковых дубовых и смешанных широколиственных лесов (4 группы местностей), занимающей крайне малую часть исследуемой территории на севере; зоной яйлинских плато, горных лугов и горной лесостепи (5 групп местностей), расположенной на северо-западе Юго-Восточного Крыма; зоной южного макросклона гор, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов (8 групп местностей), занимающей северную часть региона.

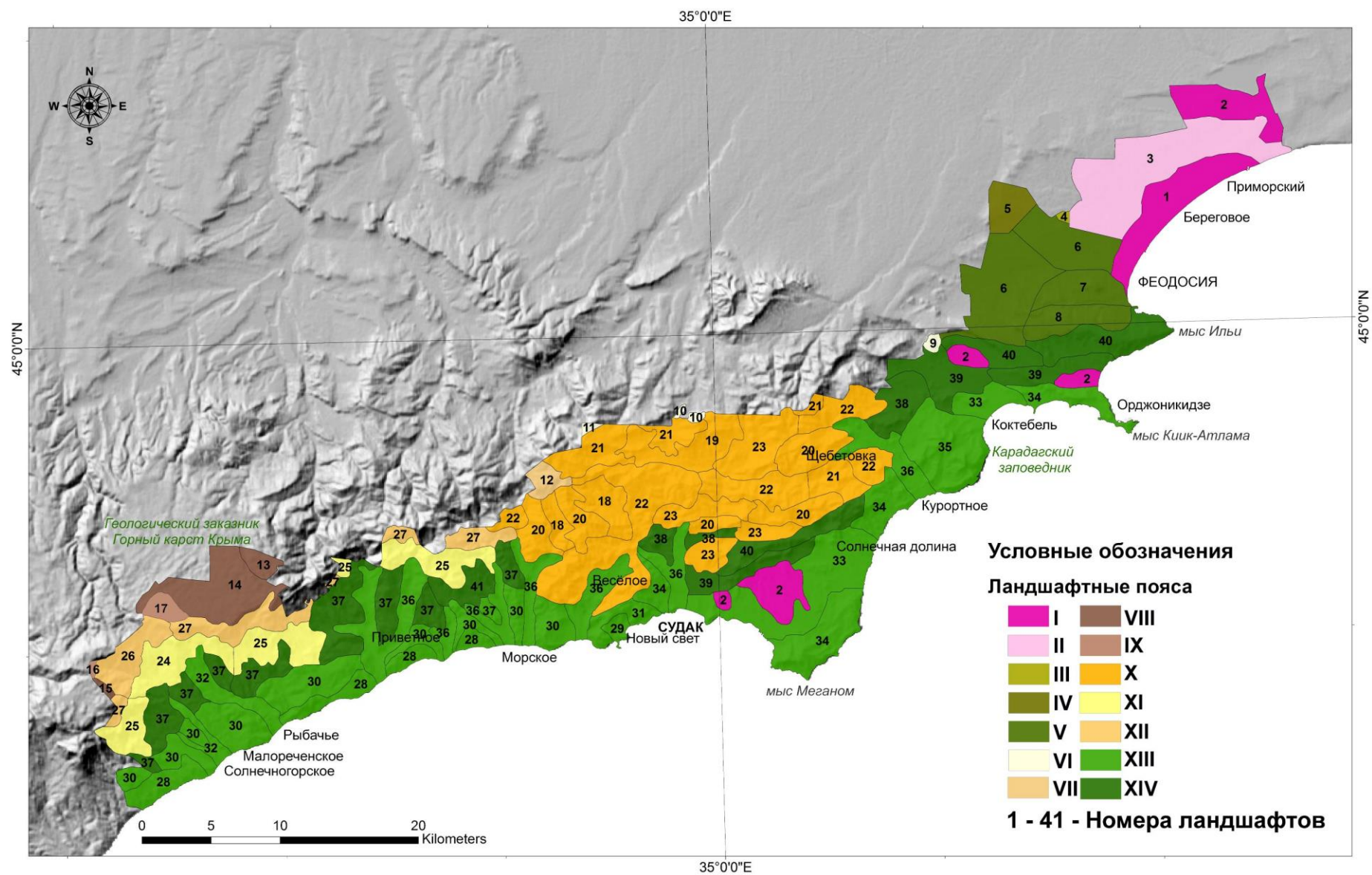


Рисунок 3.5 – Ландшафтно-типологическая карта Юго-Восточного Крыма (по Г.Е. Гришанкову [226]). Легенда к карте в Приложении А.

3.2 Социально-экономические предпосылки

Административно-территориальное деление. В административно-территориальном отношении Юго-Восточный Крым охватывает территорию трех муниципальных образований – городской округ Алушта, городской округ Судак и городской округ Феодосия. В таблице 3.4 приведены данные относительно количества единиц административно территориального деления рассматриваемой территории, а в таблице 3.5 приведены данные о площади данных административных образований.

Таблица 3.4 – Количество административно-территориальных единиц по городским округам [238]

	Города		Поселки городского типа	Сельские советы	Сельские населенные пункты
	всего	в том числе государственно и республиканского значения			
Алушта	1	1	1	5	24
Судак	1	1	1	6	14
Феодосия	1	1	5	2	11

Таблица 3.5 – Площадь и количество наявного населения по регионам [238]

	Площадь, тыс.км ²	Численность населения, тыс.	В том числе		Процент городского населения	Плотность населения на 1 км ²
			городское	сельское		
Алушта	0,600	52,4	35,0	17,4	66,8	87
Судак	0,539	30,3	16,4	13,9	54,1	56
Феодосия	0,350	105,4	94,2	11,2	89,4	301

Общая площадь административно-территориальных единиц в пределах Юго-Восточного Крыма составляет 1,65 тыс. км², что составляет 6,33 % от общей площади Республики Крым. Наибольшую площадь занимает территория городского округа Судак – 0,539 тыс. км² и территория городского округа Алушта – 0,6 тыс. км², территория городского округа Феодосия занимает 0,350 тыс. км².

Основу муниципальных образований составляют города Алушта, Судак, Феодосия. Общее число населенных пунктов в пределах территории составляет 56

единиц – это 3 города республиканского значения, 7 поселков городского типа и 46 сел.

Пространственная дифференциация и плотность населения.

Пространственная дифференциация и плотность населения в пределах района исследования имеет определенную специфику, связанную так же с рекреационной привлекательностью и курортным статусом района исследований, что приводит к определенной динамике численности населения в курортный сезон и межсезонье. В таблице 3.4 отображены величины площади административных единиц района исследования, численность населения, соотношение городского и сельского населения, а также удельные величины плотности населения.

Общая численность населения рассматриваемого региона составляет 188,1 тыс., что соответствует чуть менее 9% от общей численности населения Республики Крым. Плотность населения распределена в пределах территории неравномерно. Максимальные значения наблюдаются в городах, а в разрезе муниципальных образований максимальные значения присущи городскому округу Алушта – 87 чел/км², в городском округе Судак плотность еще меньше – 56 чел/ км².

В пределах территории преобладает городское населения и только в городском округе Судак соотношение городского и сельского населения приблизительно равно.

Общий уровень занятости населения на протяжении последних лет имеет тенденцию к снижению. Так, за период 2003-2017 гг. численность занятых в народном хозяйстве уменьшилась на 14,3 тыс. чел. или на 19,6%.

На фоне снижения численности занятых в народном хозяйстве увеличивается численность населения, занятого в домашнем и личном подсобном хозяйстве (27,38 тыс. чел.) и этот показатель выше уровня 2000 гг. на 48,1%.

Демографическая ситуация в регионе в целом стабильная, негативные геодемографические процессы не выявлены в резкой стадии, наблюдается положительная миграция населения в разрезе последних 3-х лет.

Общая характеристика хозяйства. Современная система землепользования. В соответствии с классификацией земельных ресурсов в Российской Федерации определяет следующие категории земель, выявленные в пределах изучаемой территории: земли сельскохозяйственных предприятий, земли лесного фонда, земли водного фонда, земли, находящиеся в ведении городских, поселковых и сельских администраций, земли промышленности, транспорта и иного назначения, земли природоохранного назначения, земли запаса.

Анализ распределения площадей различных типов земельных угодий для рассматриваемой территории показывает, что наибольшие площади территории (62 %) здесь заняты лесными угодьями. Данные участки сосредоточены в горной части единым массивом, а так единично представлены в приморской части. Земли сельскохозяйственных предприятий занимают около 17 % территории, преимущественно это виноградники. Достаточно важным является то, что в пределах рассматриваемой присутствуют значительные площади заповедных объектов. Земли существенно антропогенно освоенные в пределах территории представлены преимущественно селитебной застройкой. Земли под промышленными объектами и коммуникациями занимают мене 2%. Количество земель запаса минимально ограничено.

Нижний пояс является зоной интенсивной хозяйственной деятельности человека. Здесь размещаются хозяйства и поселки, санатории и дома отдыха, широко развито виноградарство. Вырубка леса, многолетний выпас, пожары привели к изменению естественных ландшафтов. Деятельность человека обусловила формирование древостоя преимущественно порослевого характера. Особенно сильное антропогенное воздействие испытывают дубовые леса. У нижней границы распространения дубовых лесов, то есть там, где преобладают леса из дуба пушистого, под воздействием рубок, многолетнего выпаса скота, пожаров, связанных с интенсивным посещением этих лесов, формируется кустарниковая растительность, изменяется видовой состав сообществ, усиливаются процессы эрозии почвы. Этот процесс сопровождается обеднением

видового состава сообществ и упрощением их структуры. Формируются разреженные древостои, исчезают типичные лесные виды, идет остепнение травостоя.

Поэтому очень важно сохранение ландшафтов, где остались коренные типы растительного покрова. В пределах изучаемой территории находится несколько природоохранных объектов: Карадагский государственный природный заповедник, заказник «Новый Свет», памятник природы «Горный массив Караул-Оба», заповедное урочище «Мыс Алчак у города Судак», памятники природы местного значения «Гора Лягушка», «Урочище Ай-Серез», прибрежно-аквальные комплексы у горного массива Караул-Оба и между Новым Светом и Судак. Кроме того, здесь имеются территории, перспективные для заповедания и зарезервированные для последующего включения в природно-заповедный фонд Крыма. Наличие большого количества природоохранных объектов свидетельствует о высокой степени антропогенного воздействия на изучаемую территорию и о необходимости ее сохранения [34; 58; 148].

Рекреационный ресурсный потенциал и его современное использование представлены следующим образом:

- общая протяженность береговой линии в границах пригодной для рекреации составляет 32 км. Протяженность полосы пляжей – 28,8 км, из которой 7 км занято закрытыми пляжами государственных дач. Протяженность полосы городских пляжей и пляжей курортно-рекреационных учреждений составляет 18,8 км, которая при минимально допустимой норме 0,2 м на одного человека может обеспечить единовременное пребывание на пляже 94 тыс. человек;

- существующие пляжи занимают 60 га, из них территория закрытых пляжем государственных дач – 4,7 га;

- морская акватория с глубинами от 0,5 до 1,5-2,0 м в пределах полосы городских пляжей и пляжей курортно-рекреационных учреждений составляет около 19 га, где при норме 5 м²/чел. может единовременно находиться 38 тыс. человек;

- зеленые насаждения общего пользования занимают около 1216 га, в том числе внутригородские (парки, скверы, бульвары, набережные) – 312 га, загородные леса – 904 га. Обеспеченность постоянного населения и отдыхающих внутригородскими зелеными насаждениями общего пользования составляет 83% от нормативной, а загородными лесами лишь 10%, что обусловлено размещением основной части лесных насаждений на территориях природоохранного значения.

Осуществление природопользования, экологического оценивания невозможно без знания структуры землепользования и пространственной дифференциации элементов экологического каркаса. Наиболее удачным подходом в этом аспекте может стать построение карты типов наземного покрова территории, которая может лечь в основу планирования территориального развития.

Вопрос оценки экологической ситуации, оценки антропогенного воздействия на ландшафты в Крыму рассматривался во многих работах [36; 42; 150; 151; 197; 199; 201; 226; 241; 242; 260]. Однако большинство этих работ ориентировано на использование устаревших методик, без использования современных возможностей ГИС-технологий и данных ДЗЗ, что снижает качество выполненных работ. Исходя из последних мировых тенденций и концепций, которые ставят основным приоритетом инновационное и информационное развитие, применение самых новых цифровых данных и методик является необходимым для обеспечения устойчивого развития региона.

В связи с тем, что в последние несколько лет на территории Крымского полуострова резко изменились собственники земель, типы землепользования, а значит, стали меняться и сами наземные покровы, все предыдущие работы во многом теряют свою актуальность. Крым, как и любой другой регион должен развиваться на основе актуальных репрезентативных данных о современном состоянии территории.

В историческое время важную роль в процессе ландшафтогенеза стал играть антропогенный фактор. Несколько веков до нашей эры и первые века нашей эры Юго-Восточный Крым был населен таврскими племенами. Они

заложили здесь основу скотоводства, интенсивное развитие которого приходится на VII–IX века. Интенсивная хозяйственная деятельность продолжалась в Юго-Восточном Крыму и в позднем средневековье. В это период здесь возникают генуэзские колонии, многие поселения превращаются в крупные торговые центры (Судгея, Кафа), через которые шла интенсивная торговля Киевской Руси с Византией и странами Востока. Эта колонизация усилила неконтролируемое использование природных ресурсов, которая продолжалась и после падения генуэзских колоний. На протяжении многих лет происходила усиленная рубка леса [154]. Продолжительное интенсивное влияние антропогенного фактора сказалось весьма сильно на изменении природы Юго-Восточного Крыма. При нерегулируемом выпасе скота вытаптывалась травянистая растительность, нарушался почвенный покров, снижалась саморегулирующая способность леса. В связи с тем, что в Юго-Восточном Крыму субтропические растения находятся в близких к экстремальным значениям условий своего существования антропогенные изменения экологических условий вызвали резкие и практически необратимые изменения в структуре фитоценозов. В настоящее время регион подвержен активному антропогенному воздействию: застройка территории, туристско-рекреационная нагрузка, сельскохозяйственная деятельность и др.

На рисунке 3.6 представлена построенная карта наземного покрова Юго-Восточного Крыма. Легенда карты насчитывает 11 типов наземного покрова. Стоит отметить, что точность данной карты составляет 80%, при использовании жесткой классификации и 90% при использовании скользящей классификации [75].

Данными для валидации модели послужили космические снимки Google, а также данные полевых наблюдений по 106 точкам. В процессе проверки точности модели использовалась не жесткая классификация, суть которой заключалась в следующем: при помощи инструмента рандомного распределения сгенерировали 200 точек. Каждой точке был присвоен свой атрибут типа наземного покрова. Под слой точек был подгружен космический снимок Google, на основании которого и проводилась валидация.

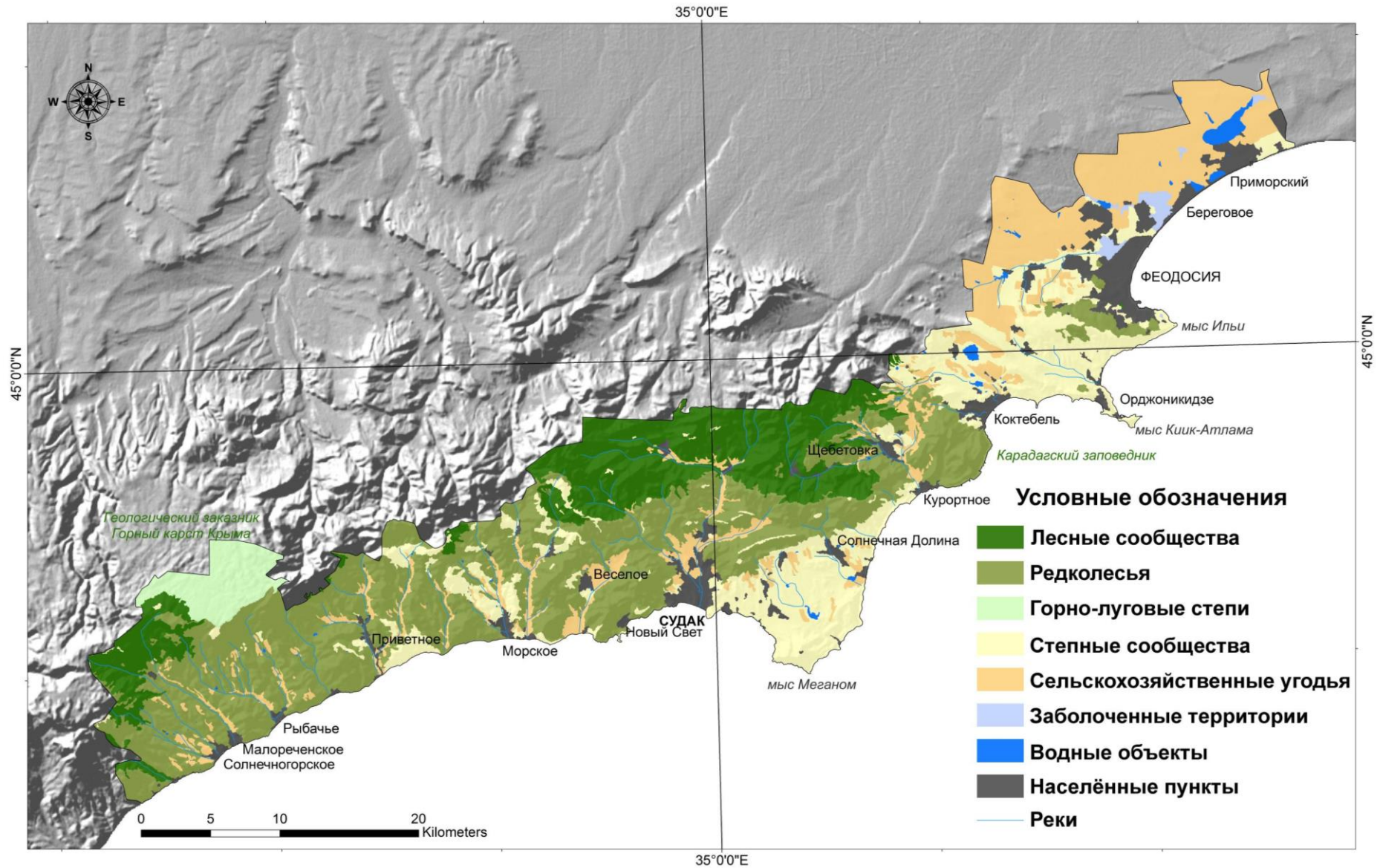


Рисунок 3.6 – Структура современного землепользования Юго-Восточного Крыма

Для проверки создана структура бальной оценки ошибок. Типы наземного покрова сгруппировали на схожие (степные сообщества, сельскохозяйственные угодья и т.д.) и весьма различные (водные объекты, лес и т.д.). При несоответствии типа в рамках схожей группы ставилась ошибка 0,5, при несоответствии типа наземного покрова в рамках не схожей группы ставилась ошибка 1. В конечном итоге все ошибки суммировались и делились на общее число точек (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Пример оценки точности модели

Тип наземного покрова исходя из классификации	Тип наземного покрова, определенный с космоснимка	Грубая ошибка 1	Не грубая ошибка 0,5	Нет ошибки 0
Лесные сообщества	Лесные сообщества			+
Редколесья	Редколесья			+
Водные объекты	Водные объекты			+
Сельскохозяйственные угодья	Степные сообщества		+	
Степные сообщества	Степные сообщества		+	
Горно-луговые яйлинские	Горно-луговые яйлинские		+	
Населенные пункты	Населенные пункты			+

В ходе проведения валидации не было выявлено грубых ошибок. Основной причиной такого точного расклада, скорее всего, послужило выделение небольшого числа типов наземного покрова и предварительное исправление ошибок по 106 точкам натурных экспедиций. Не грубые ошибки составили около 10% от общего количества точек, т.е. 22 точки. Т.к. большая часть таких неточностей приходилась на стыки близких по спектральному значению классов, модель можно считать репрезентативной для 90% территории исследования.

Стоит отметить, что выделенные нами типы наземного покрова обоснованы рядом функциональных потребностей: минимально необходимое количество типов для выбора площадок под размещение систем возобновляемой энергетики. Такое сочетание типов не является единственно возможным, и более того, максимальным, при использовании указанных методов. Методы удобны тем, что в зависимости от потребностей исследователя можно выделить необходимые

типы наземного покрова в количестве, желательно, не превышающем 10–15 типов. Чисто технически возможно выделить и более 15 типов, однако такая классификация будет содержать слабовалидированную нерепрезентативную информацию, т.к. снимки Landsat 8 не дают возможности по использованию настолько детализированной спектральной информации. Снимков Google недостаточно для проверки более 15 классов. В таком случае натурные наблюдения должны охватывать всю территорию классификации с большой плотностью отбора данных.

Полученная карта имеет большой спектр применения, как в теоретическом, так и в практическом плане. Данная карта является статической для определенного момента времени, если строить подобные карты каждый год можно сделать серию карт по изменению наземного покрова, по которым было бы видно развитие территории.

Энергетический баланс территории. Проблемы энергетической безопасности. Энергетический баланс территории отличается относительной стабильностью и величины баланса имеют явно выраженную сезонную динамику, учитывая преобладающую рекреационную специализацию региона.

В таблице 3.7 приведены данные официальной республиканской статистики относительно величины потребления топливно-энергетических ресурсов в разрезе единиц административно-территориального деления Юго-Восточного Крыма.

Таблица 3.7 – Потребление отдельных видов энергетических материалов и продуктов переработки нефти в пределах административных единиц Юго-Восточного Крыма [238]

	Газ природный, тыс.м ³	Уголь каменный, т	Бензин моторный, т	Газойль (топливо дизельное), т
Алушта	15289,5	629,6	1273,1	1959,2
Судак	19303,6	801,7	1667,8	2755,2
Феодосия	1306,0	268,7	758,3	1405,4

Рассмотрение таблицы показывает, что ведущим типом энергоносителя, используемого в регионе является природный газ, который используется для

обогрева зданий в централизованных и индивидуальных системах, а, так же, для хозяйственно-бытовых нужд и приготовления пищи. Величины использования каменного угля, бензинов и газойлев существенно ниже. Данные виды топлива используются, преимущественно для получения тепловой энергии для отопления в индивидуальных хозяйствах. Преимущественная часть организованных котельных переведена на природный газ.

В количественном выражении величина потребления природного газа в регионе составляет 35899,1 тыс.м³ за 2016 год, что составляет около 3,3% от общего потребления газа в Республике Крым. Величина потребления каменного угля составляет 1700 т для всего региона, что не достигает и 1,5% от потребления по Республике в целом. Величины потребления бензина находятся в пределах 3699 т за год, что составляет около 7,7 % от общего потребления на полуострове. Объемы потребления мазута находятся в пределах 6119,8 т за год – около 4,4 % потребления по всему Крыму.

Максимальные величины потребления рассматриваемых топливных ресурсов приходятся на городской округ Судак и составляют около 53% по природному газу, 47% по каменному углю и 45% для бензинов и мазутов соответственно от общего потребления энергоресурсов в регионе. Величины потребления энергоресурсов в городском округе Алушта несколько ниже и составляют около 42% по природному газу, 37% по каменному углю и 34 % и 32% для бензинов и мазутов соответственно от общего потребления энергоресурсов в регионе. Оставшаяся часть потребления приходится на Феодосию – около 3,6 % по природному газу, 15 % по каменному углю и 20 % и 22% для бензинов и мазутов соответственно от общего потребления энергоресурсов в регионе.

Потребление электрической энергии в регионе так же имеет свою специфику. Явно выделяется пик потребления в рекреационный сезон и зимний пик потребления, связанный с использованием электричества для обогрева индивидуальных жилых строений. Кроме того, присутствует явная неравномерность в суточном потреблении электрической энергии, присутствуют

неучтенные потери. В таблице 3.8 приведены данные о динамике потребления и, частично производства электроэнергии собственными для региона мощностями ветроэлектростанций. С точки зрения пространственного энергетического баланса регион является дотационным и не располагает существенными мощностями генерации электрической энергии. Существующие единичные объекты использования ветровой и солнечной энергии обеспечивают менее 1,5–3% от общего бюджета потребления электрической энергии в регионе. Собственные запасы природного газа, угля и жидких углеводородов полностью отсутствуют, топливо является завозным.

Таблица 3.8 – Мощность потребляемой электрической энергии в Юго-Восточном Крыму в динамике [238]

Год	От электростанций		В том числе			
	номин. мощность, тыс. кВт	потребление, млн.кВт·год	тепловые		ветровые	
			номин. мощность, тыс. кВт	потребление, млн.кВт·год	номин. мощность, тыс. кВт	потребление, млн.кВт·год
1995	320,0	456,0	320,0	456,0	–	–
2000	400,4	340,6	392,9	337,1	7,5	3,5
2007	315,7	279,8	296,2	269,5	19,5	10,4
2008	308,7	174,4	277,0	158,4	31,7	16,0
2009	332,1	432,9	287,0	408,5	45,1	24,4
2010	335,7	472,6	293,7	446,5	42,0	26,1
2011	236,6	705,4	194,6	676,7	42,0	28,7
2012	250,1	598,7	191,7	571,9	58,4	26,8
2013	243,2	714,6	183,8	679,3	59,4	35,4
2014	245,6	737,2	186,2	700,0	59,4	37,2
2015	246,0	584,3	183,6	549,7	62,4	34,6
2016	244,8	842,0	179,9	801,7	64,9	40,3

Рассматривая вопрос энергетической безопасности региона, отметим относительно слабую централизацию систем обеспечения тепловой энергией и низкий уровень газификации в регионе. Около 45% жилищного фонда не имеют централизованного отопления. Учитывая интенсивные темпы малого курортного строительства данная величина может быть увеличена до 55–60%. На сегодня

ведется интенсивная газификация районов и прибрежных населенных пунктов в соответствии с федеральными целевыми программами. Обеспечение электрической энергией осуществляется полностью централизованно.

Учитывая вышеизложенное, можно сделать вывод, что физико-географическое положение региона в целом благоприятствует развитию возобновляемой энергетики. Климатические условия региона крайне благоприятны для развития солнечной и ветровой энергетики в регионе. Несмотря на то, что значительные площади занимают территории со сложным геологическим строением и большой крутизной поверхности, при грамотном размещении объектов энергетики исследуемая территория может считаться перспективной для строительства систем солнечной и ветровой энергетики.

На территории Юго-Восточного Крыма имеются социально-экономические предпосылки развития возобновляемой энергетики. Компактное размещение населенных пунктов с относительно большой плотностью населения вместе с потребностью в энергетических ресурсах и относительной отдаленностью от основных энергетических магистралей позволяет говорить о необходимости внедрения систем возобновляемой энергетики в структуру хозяйства региона.

РАЗДЕЛ 4 ОЦЕНКА ЛАНДШАФТНОГО ПОТЕНЦИАЛА ЮГО-ВОСТОЧНОГО КРЫМА ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИСТЕМ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

4.1 Системы солнечной энергетики

4.1.1 Природный потенциал

Для оценки природного солнечноэнергетического потенциала Юго-Восточного Крыма в программе ArcGIS 10.2 было проведено моделирование на основе рассмотренной в разделе 2 методики оценки ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики. В результате расчетов были получены растры для каждого месяца, представляющие собой суммарное количество поступающей солнечной радиации для каждого местоположения входной поверхности с учетом среднемесячных значений облачности за 2004–2014 гг. Выходные данные измеряются в ваттах в час на квадратный метр (Втч/м²) (Приложение Б). Для отображения природного потенциала Юго-Восточного Крыма были взяты максимальные значения поступающей солнечной радиации в каждом ландшафтном контуре. На рисунке 4.1 представлен природный потенциал Юго-Восточного Крыма для использования систем солнечной энергетики за год. Согласно определению, данному в разделе 2.1, в таблице 4.1 представлены минимальные и максимальные значения природного потенциала для использования систем солнечной энергетики для всей территории Юго-Восточного Крыма за каждый месяц и в целом за год. Как видно из рисунка 4.1, максимальными значениями обладают ландшафты горных массивов Караби и Демерджи. Наименьшим солнечноэнергетическим потенциалом характеризуется абразионно-денудационные, денудационные и аккумулятивные низменности равнины со степной растительностью, расположенные в северо-восточной части Феодосийского городского округа.

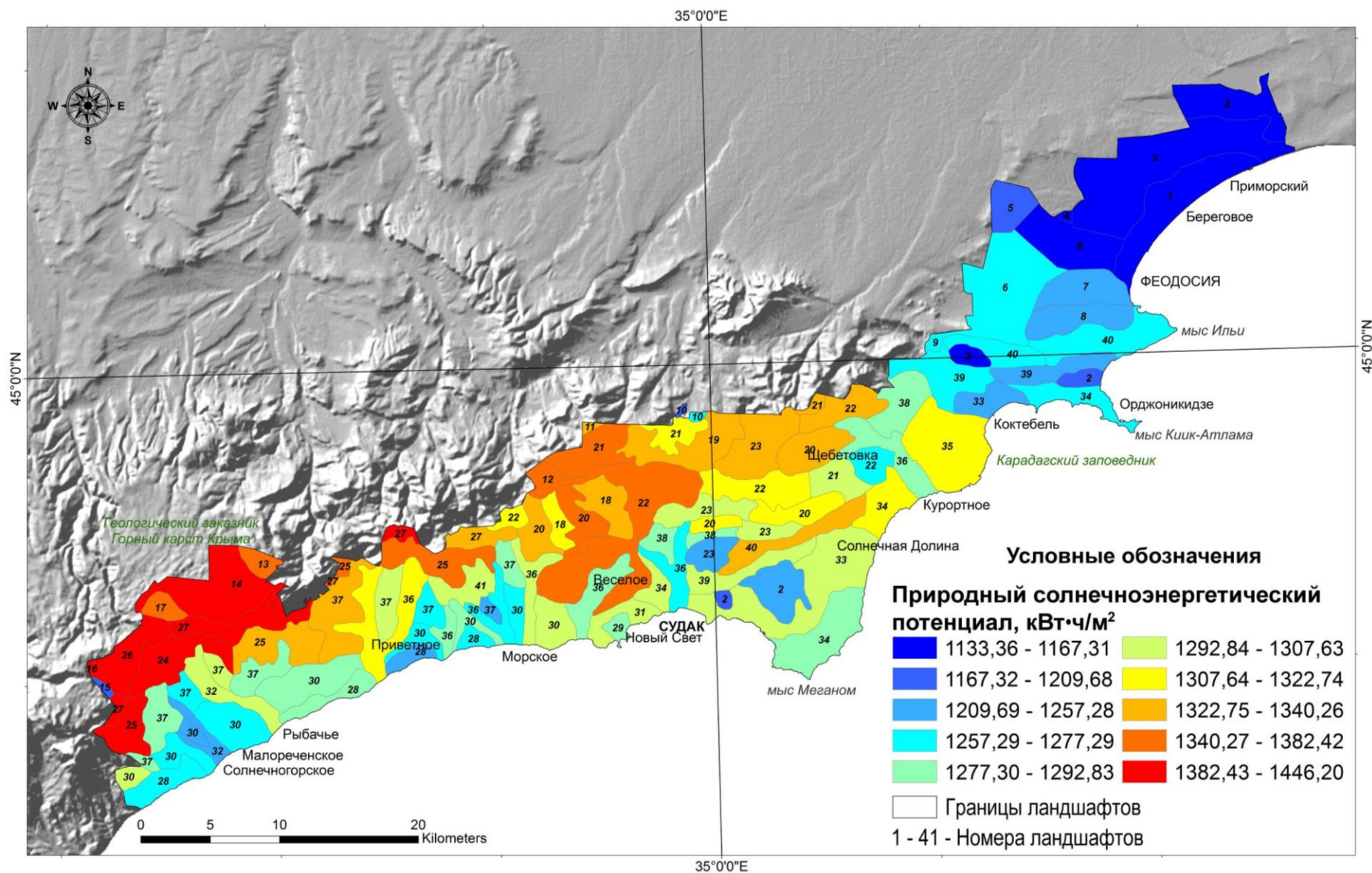


Рисунок 4.1 – Природный потенциал Юго-Восточного Крыма для использования систем солнечной энергетики

Таблица 4.1 – Природный солнечноэнергетический потенциал Юго-Восточного Крыма

Месяц	Значения природного потенциала	
	Минимальные, кВтч/м ²	Максимальные, кВтч/м ²
Январь	12,1815	100,967
Февраль	14,8156	125,124
Март	40,6806	189,222
Апрель	98,5901	218,772
Май	158,035	256,843
Июнь	170,637	261,892
Июль	171,502	266,299
Август	126,361	240,859
Сентябрь	58,3941	195,574
Октябрь	21,679	159,323
Ноябрь	12,6594	105,823
Декабрь	10,1243	77,5832
Год	629,016	1439,410

4.1.2 Технический потенциал

Как указывалось в разделе 2.1, под техническим солнечноэнергетическим потенциалом территории в работе принимается часть природного солнечного энергетического потенциала, которую можно получить с помощью определенных фотоэлектрических систем, при условии их максимально плотного равномерного размещения на доступной для строительства исследуемой территории. Таким образом, для оценки технического потенциала были проанализированы инженерно-геологические, инженерно-геоморфологические условия территории, экспозиции и крутизну склонов, эффект затенения рельефом.

Инженерно-геологические и инженерно-геоморфологические условия территории должны приниматься во внимание, так как наличие на исследуемой территории неприемлемых для строительства геологических особенностей может привести к удорожанию строительства или разрушению построек. Согласно инженерно-строительного районирования [247], а также на основе характеристик, описанных в разделе 2.2, к территориям, сложным для градостроительного освоения, относятся г. Феодосия, территории к северу и востоку от п. Насыпное, п. Солнечное. К категории повышенной сложности относятся холмистые

территории Феодосийского городского округа, включая населенные пункты Орджоникидзе, Коктебель, Курортное, Щebetовка, полуостров Меганом, включая п. Солнечная долина, а также изрезанное речными долинами холмогорье Судакского и Алуштинского городских округов. Перечисленные типы территорий можно использовать под строительство солнечных электростанций, но стоимость строительства объектов может быть превышена за счет подготовительных укрепительных мероприятий. На исследуемой территории есть особо сложные участки, не рекомендуемые для масштабного градостроительного освоения. К ним относятся Караби-Яйла, северная часть Судакского городского совета.

Такой фактор как крутизна рельефа при проектировании солнечных электростанций может не учитываться, так как современные солнечные модули позволяют устанавливать их на склоны любой крутизны, устанавливая их под углом, необходимым для максимального поглощения потока солнечной энергии.

Чтобы рассчитать максимальную мощность, которую можно получить с помощью солнечных электростанций на территории Юго-Восточного Крыма, необходимо было сначала рассчитать вклад каждого интервала солнечной радиации в формировании суммарного количества радиации, которое приходит на данную территорию. Однако, учитывая тот факт, что солнечные батареи можно устанавливать на склоны любой экспозиции, ориентируя их на экспозицию и угол с максимальным поступлением солнечной радиации, максимальное значение, которое мы можем получить, установив батарею на склоны с минимумом поступления солнечной радиации, приравнивается к максимальному по территории. При этом, солнечные батареи нельзя устанавливать у подножия склонов, где они будут находиться в тени. То есть, необходимо найти ту высоту, начиная с которой, теневая маска будет минимальна. Расчет теневой маски производился при помощи модуля Hillshade в инструменте Spatial Analyst программы Arc GIS 10.2 [185]. Для этого в программе Sun Calculator 2.0 вычислили истинную высоту Солнца и азимут на 15 число каждого месяца. Кроме того, при помощи карт продолжительности солнечного сияния определили

территории, куда не попадает прямая солнечная радиация. Таким образом, получили карту участков, находящихся в постоянной тени.

Для строительства систем солнечной энергетики, согласно мировому и отечественному опыту, используются земли сельскохозяйственного назначения, земли запаса и земли пастбищ. Однако при выборе участков для строительства необходимо учитывать специализацию сельскохозяйственных земель Юго-Восточного Крыма: строительство электростанций на землях, используемых под виноградники, подразумевает уничтожение культур на больших площадях и значительную потерю урожая. В нашем исследовании предполагается, что земли под степными сообществами (то есть, пахотные земли, территории пастбищ и земли запаса без лесной растительности) могут быть использованы для строительства солнечных электростанций.

Для расчета технического потенциала Юго-Восточного Крыма для использования системами солнечной энергетики был взят гетероструктурный солнечный модуль компании Nevel Solar номинальной пиковой мощностью 280 Вт, с КПД 20%, размерами 1656 x 991 мм [283].

На данном этапе исследования мы сократили возможную площадь исследования за счет исключения из анализа территорий, неблагоприятных для строительства в целом, а также территорий, находящихся в постоянной солнечной тени. Определили, что земли под степными сообществами могут быть использованы для строительства систем солнечной энергетики.

4.1.3 Геоэкологический потенциал

Согласно раздела 2.1, под геоэкологическим солнечноэнергетическим потенциалом территории в работе принимается часть технического солнечноэнергетического потенциала, которую можно получить с помощью определенных фотоэлектрических систем, при условии их максимально плотного равномерного размещения на доступной для строительства исследуемой территории с учетом соблюдения нормативно-экологических, природоохранных и социально-культурных ограничений.

Нормативно-экологические ограничения. К нормативно-экологическим ограничениям в работе относятся водоохранные зоны и прибрежные защитные полосы, выделение которых регламентируется законодательством Российской Федерации. Согласно статье 65 Водного кодекса Российской Федерации [54], водоохранные зоны – это территории, которые примыкают к береговой линии морей, рек, ручьев, каналов, водохранилищ, озер, на которых устанавливаются ограничения в проведении хозяйственной и иной деятельности в целях предотвращения загрязнения, засорения, заиления указанных водных объектов и истощения их вод, а также сохранения среды обитания водных биологических ресурсов и других объектов животного и растительного мира. В границах водоохранных зон устанавливаются прибрежные защитные полосы, на территориях которых вводятся дополнительные ограничения хозяйственной и иной деятельности. Ширина водоохранной зоны рек и ручьев протяженностью от устья к истоку до 10 км составляет 50 м, от 10 до 50 км – 100 м. Ширина водоохранной зоны озера и водохранилища площадью менее 0,5 км² составляет 50 м, для моря – 500 м [54].

За пределами территорий городов и других населенных пунктов ширина водоохранной зоны рек, ручьев, каналов, озер, водохранилищ и ширина их прибрежной защитной полосы устанавливаются от местоположения соответствующей береговой линии (границы водного объекта), а ширина водоохранной зоны морей и ширина их прибрежной защитной полосы – от линии максимального прилива. Ширина прибрежной защитной полосы устанавливается в зависимости от уклона берега водного объекта и составляет тридцать метров для обратного или нулевого уклона, сорок метров для уклона до трех градусов и пятьдесят метров для уклона три и более градуса.

В пределах водоохранных зон разрешается проектирование, реконструкция, строительство и ввод в эксплуатацию объектов хозяйственной и иной деятельности при условии оборудования этих объектов сооружениями, которые обеспечивают водные объекты защитой от загрязнения, засорения, заиления и

истощения вод согласно водного законодательства и законодательства в области охраны окружающей среды.

Несмотря на то, что Водный кодекс Российской Федерации не запрещает строительство систем возобновляемой энергетики в пределах водоохранных зон и прибрежных защитных полос, в силу специфики региона, в связи с засушливостью и слабой обеспеченностью водными ресурсами, возможным риском изменения гидрологического режима водных объектов, в данной работе водоохранные зоны и прибрежно-защитные полосы будут выделяться как непригодные для строительства систем возобновляемой энергетики участка.

Эти же требования касаются и систем солнечной энергетики. Однако строительство обширных по площади объектов возобновляемой энергетики нарушат существующие условия водосборных бассейнов может привести к перестройки режима водоема. В данной ситуации наиболее рациональным решением будет размещения малых солнечных установок на уже существующих постройках в пределах водоохранных зон и прибрежных защитных полос.

В программе ArcGis 10.2 на карту были нанесены все водные объекты Юго-Восточного Крыма, и с помощью функции Buffer (Proximity в разделе Analysis Tools) построены водоохранные зоны вокруг этих объектов согласно [54] в зависимости от протяженности и площади водного объекта. В результате получили слой нормативно-экологических ограничений при строительстве систем солнечной энергетики для последующего анализа.

Природоохранные ограничения. Территория Юго-Восточного Крыма характеризуется уникальными природными и эстетическими ресурсами, основная часть которых приурочена к особо охраняемым природным территориям (ООПТ). ООПТ имеют особый режим использования, и в зависимости от категории в их границах запрещена деятельность, противоречащая задачам ООПТ и установленному для нее режиму особой охраны. При строительстве систем возобновляемой энергетики необходимо учитывать не только ареалы обитания животных, в том числе птиц, но и пути их миграции, так как возведение

препятствий может негативно сказаться на численности и жизнедеятельности мигрирующих видов.

Для учета природоохранных ограничений при оценке ландшафтного потенциала необходимо построить карту экологического каркаса территории. Для этого на полученную ранее карту наземного покрова (рисунок 3.6) были нанесены границы ООПТ, пути миграции животных, включая птиц. Перечень объектов ООПТ Юго-Восточного Крыма представлен в работе [209]. Границы ООПТ в программе ArcGis 10.2 нанесены на основе материалов [247], пути миграции животных, включая птиц – на основе [209]. К полученным слоям был добавлен слой нормативно-экологических ограничений, что позволило получить карту элементов экологического каркаса территории (рисунок 4.2).

Строительство площадных объектов энергетики повлечет изменения в наземном покрове заповедных территорий, нанесет ущерб растительному и животному миру уникальных участков природы. Однако практически на любом ООПТ есть уже построенные, существующие здания, выполняющие административные, хозяйственные функции или функции охраны. Обеспечение таких зданий локальными малыми солнечными установками повысит энергоэффективность зданий, в то же время способствуя поддержанию стабильной благоприятной экологической ситуации.

Историко-археологические ограничения. Территория Юго-Восточного Крыма, как и всего полуострова в целом, с давних времен была заселена человеком. Проживание на данной территории различных культур, этносов в различные периоды времени обуславливает насыщенность территории историко-культурными, археологическими и историческими памятниками, а также памятниками архитектуры. Ряд объектов, расположенных на изучаемой территории внесены в предварительный список всемирного наследия ЮНЕСКО.

На территории городского округа Феодосия расположено 18 памятников истории и культуры и 45 памятников монументального искусства, городского округа Судак – 21 объект истории и монументального искусства [243].

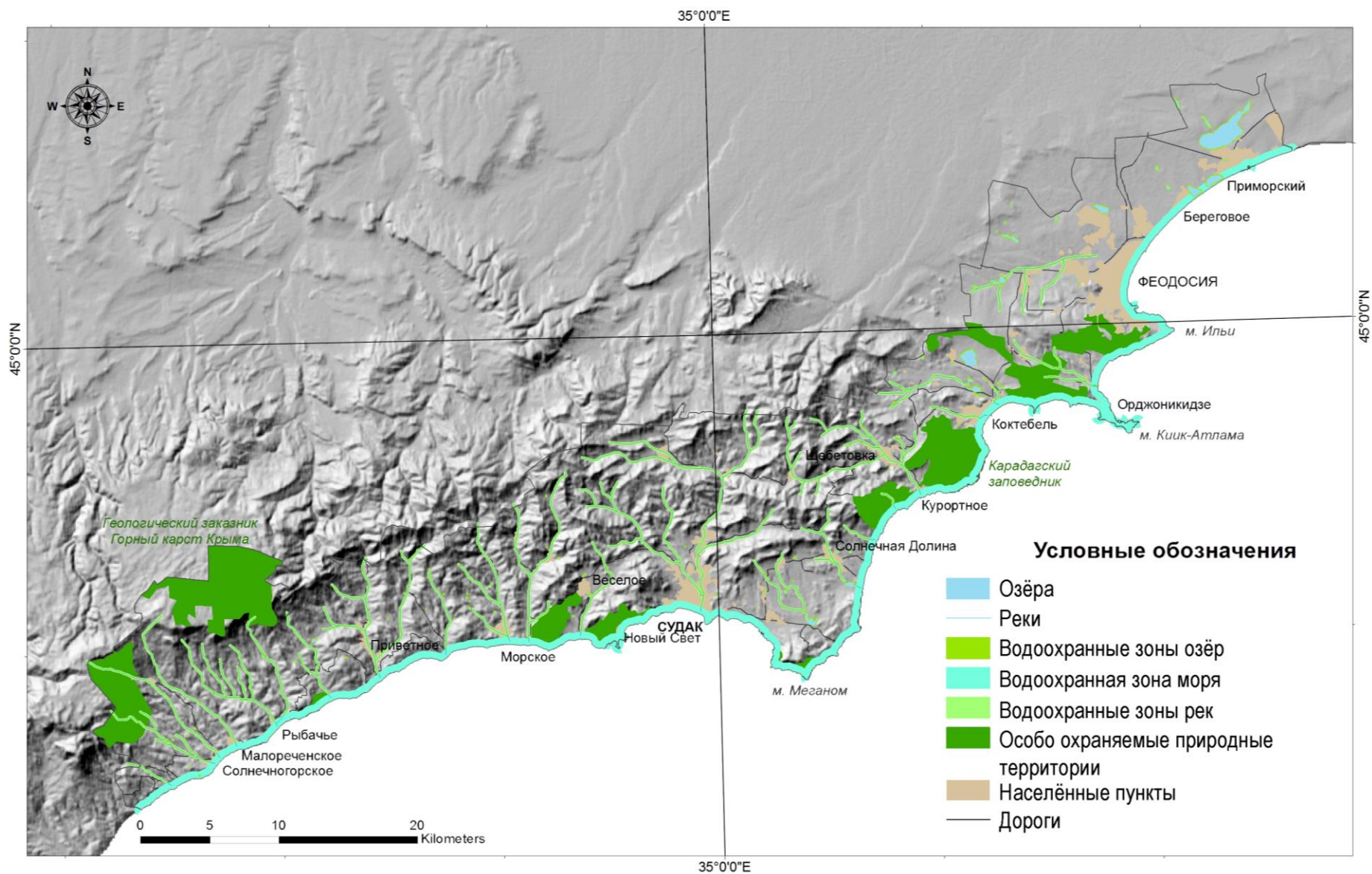


Рисунок 4.2 – Элементы экологического каркаса Юго-Восточного Крыма

На изучаемой территории сохранилось достаточно большое количество археологических памятников разных эпох. Для оценки историко-археологической ценности территории необходимо провести анализ и учет археологических памятников Юго-Восточного Крыма, их границ и охранных зон. К сожалению, на данный момент нет точных данных по количеству и расположению археологических памятников и выявленных объектов археологии на изучаемой территории. Имеющиеся в свободном доступе данные о примерном расположении этих объектов [9] позволяют только точно нанести их на результирующую карту территорий перспективных для строительства систем возобновляемой энергетики (рисунок 4.3). В этом случае инвестор должен будет провести археологические изыскания и откорректировать границы участка строительства.

Туристско-рекреационные ограничения. Туристско-ресурсный потенциал Юго-Восточного Крыма во многом обусловлен туристской ресурсной базой. Основными элементами туристской ресурсной базы являются природно-климатические, культурно-исторические, материальные туристические, кадровые и технологические ресурсы [257]. По функциональной структуре туристско-рекреационного комплекса Юго-Восточного Крыма выделяются санаторно-курортное лечение, оздоровительная рекреация и туризм. Среди туризма необходимо выделить такие направления как горно-пешеходный туризм, аэротуризм, конный туризм, дайвинг, экскурсионный туризм, экологический туризм, винный туризм и некоторые другие.

Туристско-рекреационная специфика региона обуславливает непостоянное периодическое увеличение населения за счет приезжих и отдыхающих и следственно увеличивается нагрузка и потребления электроэнергии. Тот факт, что использование дополнительных источников традиционной энергетики приведет к ухудшению экологической обстановки территории, приведет к снижению пейзажно-эстетической ценности территории и снизит туристско-рекреационные потоки не вызывает сомнения.

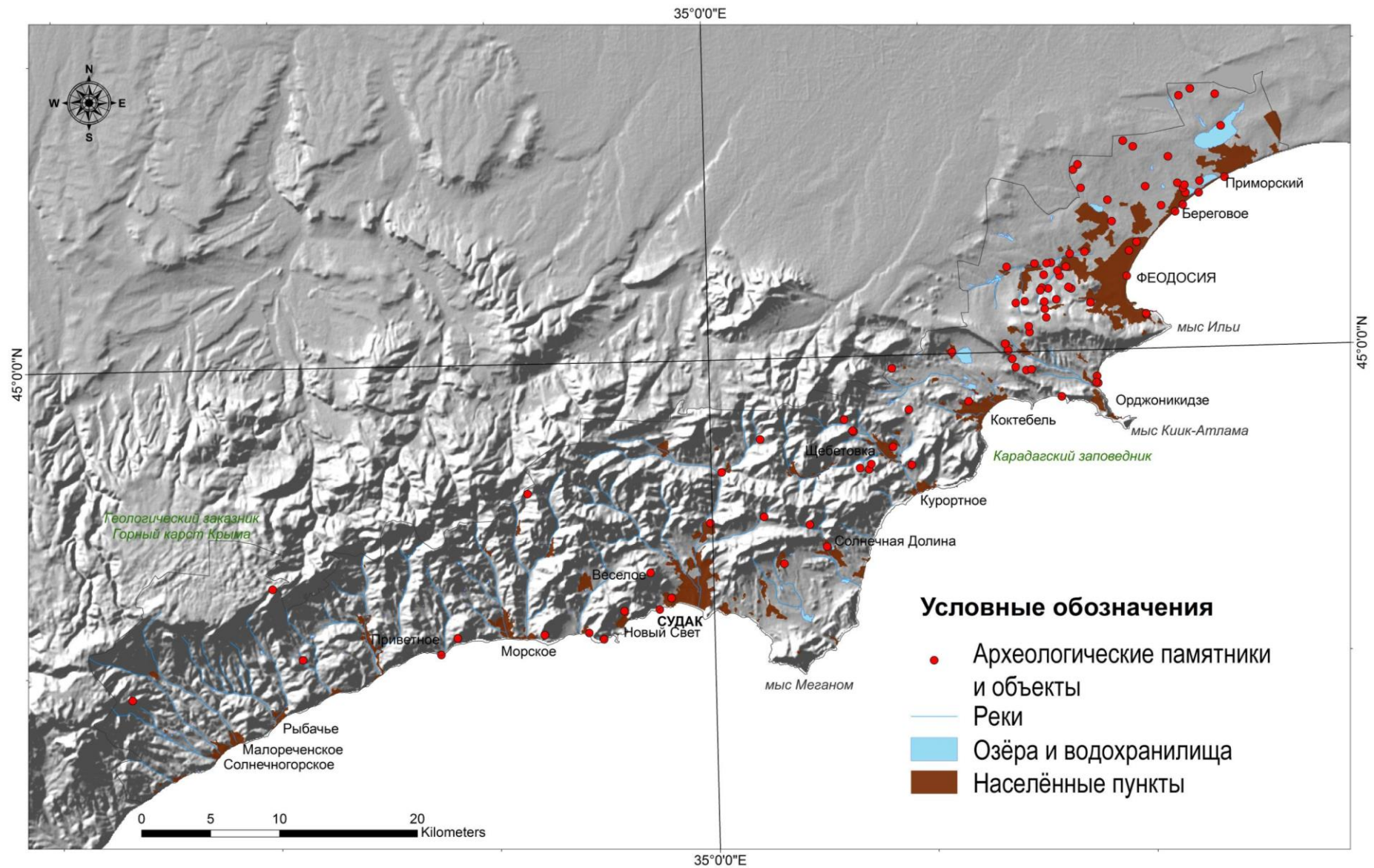


Рисунок 4.3 – Археологические объекты, попадающие на территорию перспективных участков для строительства систем возобновляемой энергетики

В связи с этим актуальным для рационального развития данной территории было бы внедрение систем возобновляемой энергетики, которые бы обеспечили возрастающие сезонные потребности региона и обеспечили экологическую безопасность территории.

Эстетические ограничения. Для выявления эстетических ограничений территории были проведены полевые исследования (подробнее подраздел 2.2). В результате проведенного исследования по материалам экспедиции и оценок экспертов построена комплексная карта пейзажно-эстетической ценности ландшафтов Юго-Восточного Крыма (рисунок 4.4).

Разработанная карта дает общее представление о пейзажно-эстетических ресурсах Юго-Восточного Крыма. Анализ показывает, что к наиболее ценным пейзажам относятся территории, входящие в состав особо охраняемых природных территорий [79; 80]. Наиболее низкую оценку получили равнинные антропогенно преобразованные ландшафты степей.

Всего наивысшую оценку пейзажно-эстетической ценности получили пейзажи, формирующиеся на 4,58 % территории Юго-Восточного Крыма; 43,62 % территории отнесены к категории «высокоценных» пейзажей; «среднеценные» пейзажи характерны для 37,61 % площади региона; на 5,37 % территории распространены «малоценные» пейзажи; и, наконец, «наименее ценные» пейзажи занимают 8,82 % площади региона.

К наиболее ценным в эстетическом плане пейзажам относятся 4 группы местностей: 1) эрозионное древневулканическое низкогорье с широким развитием скал с фисташково-дубовыми и дубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами (рисунок 4.5А); 2) ступенчато-склоновое эрозионное овражно-балочное низкогорье с широким развитием оползней, с фисташково-дубовыми и сосново-можжевеловыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами (рисунок 4.5Б); 3) эрозионное низкогорье амфитеатров с сосново-можжевеловыми и дубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами (рисунок 4.5В); 4) эрозионное долинно-балочное низкогорье с дубовыми и смешанными широколиственными лесами (рисунок 4.5Г).

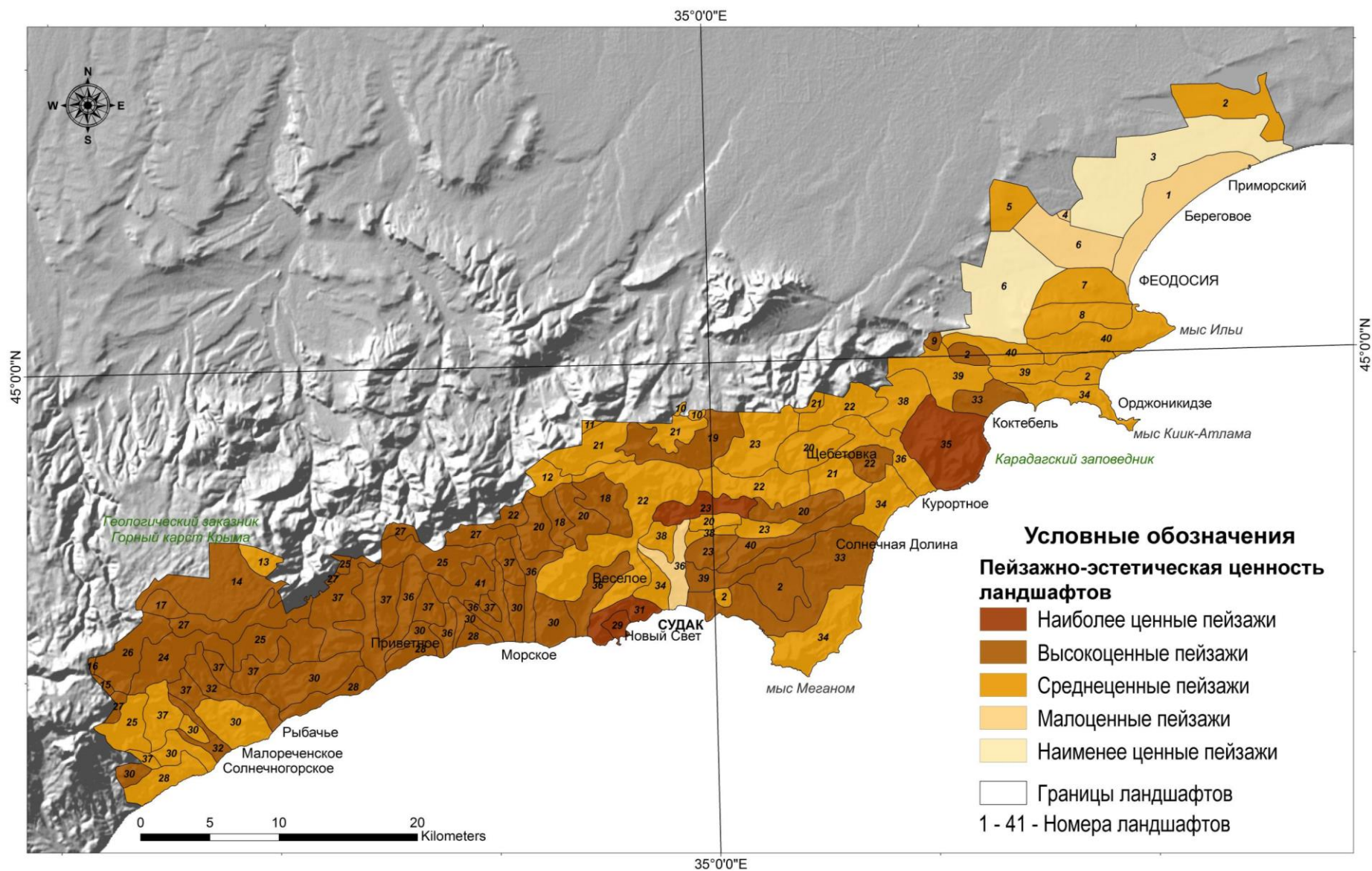


Рисунок 4.4 – Пейзажно-эстетическая ценность ландшафтов Юго-Восточного Крыма



Рисунок 4.5 – Наиболее ценные в эстетическом плане пейзажи Юго-Восточного Крыма: А – Г – описания в тексте (фото Л.В. Знаменской, Р.В. Горбунова, А.А. Ключкиной)

Первые три группы местностей относятся к особо охраняемым природным территориям (Карадагский заповедник, заказник «Новый Свет», памятник природы «Горный массив Караул-Оба», памятник природы «гора Лягушка»), поэтому антропогенные нагрузки на них лимитированы и находятся под контролем. На указанных территориях наблюдается наиболее оптимальное сочетание пейзажных узлов, линий, расположение пейзажных кулис и перспектив. Эти группы местностей получили наивысшие баллы, как при анкетном оценивании, так и при экспертном.

Наивысшая пейзажно-эстетическая ценность четвертой группы местностей объясняется разнообразием пейзажей, открывающихся с ее территории. Она расположена вблизи сильно преобразованной Судакской долины, окруженной холмами и горными хребтами. Вместе с тем, территория города рационально вписана в окружающий ландшафт и не снижает эстетическую ценность пейзажа.

Ландшафты с высокой пейзажно-эстетической ценностью располагаются условно единым блоком на западе Юго-Восточного Крыма, а также небольшое скопление наблюдается в центральной южной части. Единичные ландшафты с высокими показателями расположены на востоке и севере центральной части, а также на крайнем западе исследуемой территории.

Эстетическая привлекательность западной части Юго-Восточного Крыма объясняется развитой овражно-балочной сетью на ступенчато-склоновом низкогорье, что создает чередование форм рельефа на достаточно большом протяжении. На северо-востоке указанного массива располагается пояс лесных и лугово-лесных плато, с которого открывается вид на весь юго-восточный берег. Исключением является северо-восточная часть плато, с которой виден лишь однообразный волнистый рельеф плато. Этот участок обладает средней пейзажно-эстетической ценностью.

Высокая пейзажно-эстетическая ценность ландшафтов центральной южной части Юго-Восточного Крыма и окрестностей п.г.т. Коктебель формируется за счет разнообразия рельефа. Волнистый горный хребет в центральной южной части Юго-Восточного Крыма резко переходит в равнину, окруженную кольцом холмов. Антропогенная преобразованность ландшафтов Коктебеля не снижает пейзажно-эстетическую ценность в силу рационального их преобразования.

Высокая ценность ландшафтов Баракольской котловины определяется несколькими факторами: расположением в центральной части котловины пересыхающего озера и окружающими котловину высокими крутыми склонами хребта Узун-Сырт и горы Коклюк. Несмотря на то, что радиус видимости значительно ограничен, в котловине наблюдаются высокоценные пейзажи. Гора Коклюк представляет собой плосковершинный холм, с которого открывается вид на все прилегающие соседние ландшафты, определяя тем самым высокую пейзажно-эстетическую ценность ландшафта.

Низкая пейзажно-эстетическая ценность ландшафтов восточной части Юго-Восточного Крыма обусловлена равнинным рельефом и антропогенной преобразованностью территории. Данные ландшафты местами заболочены,

застроены прибрежными поселками или используются под пашню, в связи с этим естественные природные различия между ними нивелировались хозяйственной деятельностью. Однообразие пейзажа таких территорий может быть изменено за счет внедрения экологически чистых систем возобновляемой энергетики, что в свою очередь повысило бы эстетическую привлекательность этих ландшафтов.

Таким образом, при проектировании систем возобновляемой энергетики необходимо учитывать возможность изменения пейзажно-эстетической ценности ландшафта не только в сторону ее уменьшения, но и в сторону увеличения ценности при изменении ландшафтов с низкой пейзажно-эстетической ценностью.

Учитывая рекреационную направленность региона как одну из основных отраслей хозяйствования в Юго-Восточном Крыму, очень важным является сохранение данной территории в максимально неизменном, эстетически привлекательном виде. Однако те территории, которые уже подверглись сильному антропогенному влиянию и имеют низкую пейзажно-эстетическую ценность, можно использовать для получения экологически чистой солнечной энергии путем строительства на таких участках солнечных электростанций. Для таких целей можно было бы использовать заброшенные сельскохозяйственные участки, пустыри и восстановленные степные участки. Результатом такого использования низко эстетических ландшафтов может стать общее увеличение привлекательности региона за счет внедрения современных безопасных технологий.

4.1.4. Ландшафтный потенциал

Как указано в разделе 2.1, под ландшафтным солнечноэнергетическим потенциалом территории в работе понимается способность ландшафта выполнять функцию получения электроэнергии от солнечных электростанций и установок исходя из наличия природного ресурса, доступных технических решений и

нормативно-экологических, природоохранных, и социально-культурных ограничений.

Для расчета ландшафтного потенциала для использования систем солнечной энергетики путем наложения полученных ранее карт пейзажно-эстетической ценности ландшафтов, современного землепользования и экологического каркаса территории, постоянно затененных территорий получили территории, пригодные для строительства солнечных электростанций (рисунок 4.6). На выделенных территориях разместив согласно формуле [274] солнечные модули получили значения ландшафтного солнечноэнергетического потенциала Юго-Восточного Крыма (рисунок 4.7). Суммарная мощность электроэнергии, которую можно получить, разместив на выделенных участках солнечные модули, представлена в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Ландшафтный солнечноэнергетический потенциал Юго-Восточного Крыма

Месяц	Выработка электроэнергии одним солнечным модулем, кВтч	Ландшафтный потенциал, млн. кВтч
Январь	5,65	174,20
Февраль	7,01	215,87
Март	10,60	326,46
Апрель	12,25	377,44
Май	14,38	443,12
Июнь	14,67	451,83
Июль	14,91	459,44
Август	13,49	415,55
Сентябрь	10,95	337,42
Октябрь	8,92	274,87
Ноябрь	5,93	182,57
Декабрь	4,34	133,85
Год	123,1	3792,62

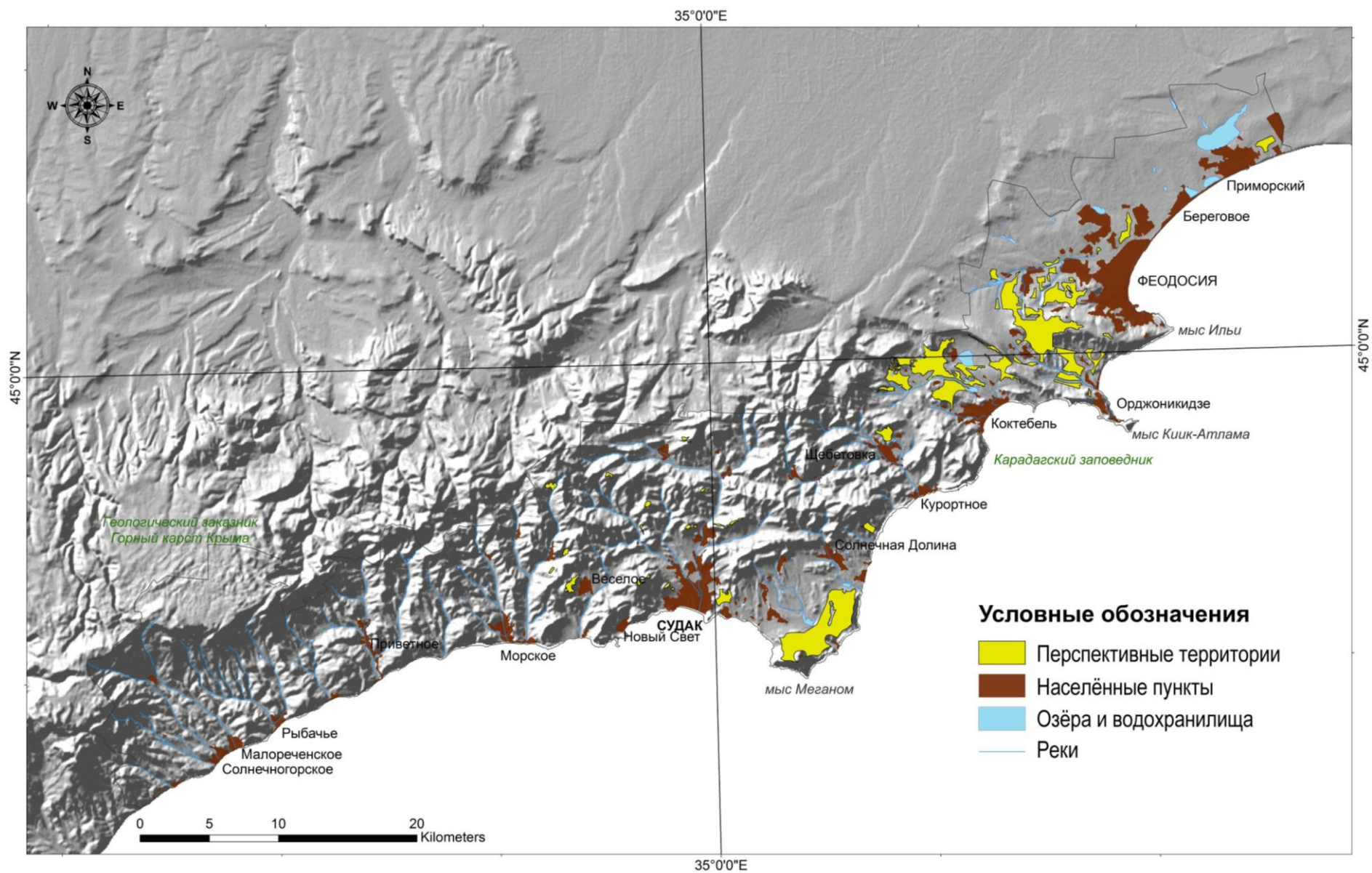


Рисунок 4.6 – Перспективные территория для строительства солнечных электростанций в Юго-Восточном Крыму

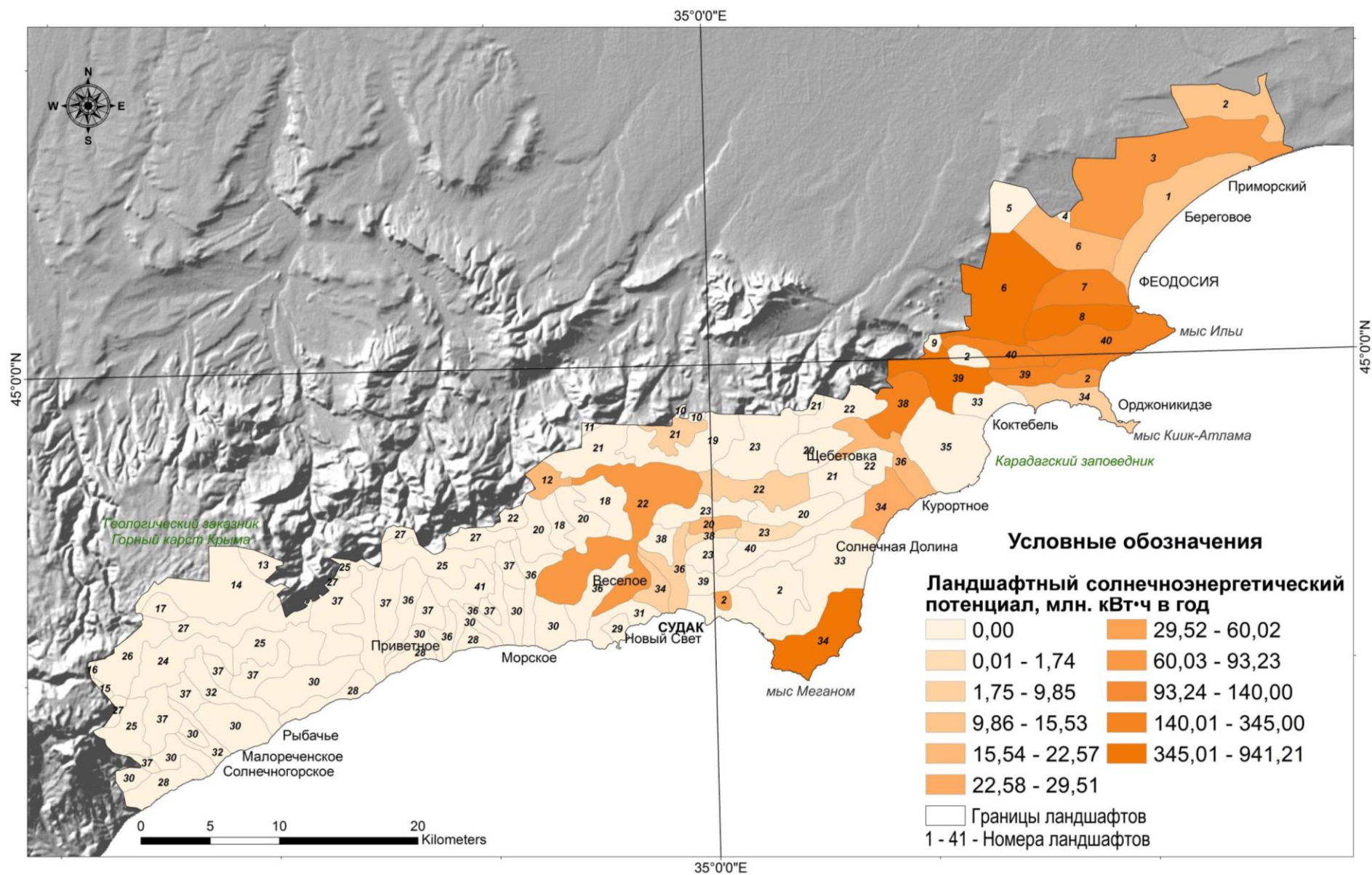


Рисунок 4.7 – Ландшафтный солнечноэнергетический потенциал Юго-Восточного Крыма

Как видно из рисунка 4.7, максимальными значениями ландшафтного потенциала для использования систем солнечной радиации обладают останцово-денудационные эрозионное овражно-балочное мелкогорье с выходами коренных пород в виде скал с шибляковыми зарослями и фриганоидами (941,21 млн. кВтч), овражно-балочные равнины с шибляковыми зарослями и фриганоидами (695,19 млн. кВтч), денудационные и аккумулятивные равнины с зарослями типа «дубки» в комплексе с зарослями типа «шибляк» и разнотравными степями (375,9 млн. кВтч), денудационные мелкогорно-останцовые равнины с зарослями типа «дубки» и лесостепью (352,52 млн. кВтч). Немного меньшими значениями обладают денудационно-останцовые равнины с разнотравными степями, зарослями типа «дубки» и колючекустарниковыми зарослями типа «шибляк», эрозионное ступенчато-склоновое низкогорье с выходами коренных пород в виде скал с шибляковыми зарослями и фриганоидами, останцово-денудационные и аккумулятивные равнины межгорных котловин с дубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами, останцово-денудационные овражно-балочные равнины с шибляковыми зарослями и фриганоидами (148,86–239,09 млн. кВтч), расположенные с северо-восточной части исследуемого региона.

Учитывая величины поступающей солнечной радиации с учетом облачности и туманов во всех населенных пунктах исследуемой территории возможно использование систем малой солнечной энергетики. Для этого было рассчитано количество поступающей солнечной радиации, поступающей на территории населенных пунктов (таблица 4.3).

Повышение температуры модуля приводит к снижению преобразования солнечной энергии в электрическую. Типичный температурный коэффициент для кристаллических модулей составляет – 0,45%/°C (т.е. при повышении температуры модуля на каждый градус его выработка уменьшается на 0,45%) [292]. Для аморфных модулей этот показатель обычно раза в 2 меньше. В связи с этим важен учёт роли температуры в выработке электроэнергии на выделенных участках.

Таблица 4.3 – Значения поступления суммарной солнечной радиации на территории населенных пунктов

Населенный пункт	Значения суммарной солнечной радиации, кВтч/м ² в год		
	Минимальное	Максимальное	Средневзвешенное
Сотера	1358,8	1869,1	1658,6
Солнечногорское	1354,5	1920,3	1705,1
Малореченское	1542,8	1819,9	1677,9
Рыбачье	1452,7	1906,9	1707,8
Канака	1521,7	1826,0	1724,0
Приветное	1383,3	1956,6	1693,9
Морское	1477,9	1917,7	1678,7
Веселое	1206,5	1950,4	1682,7
Новый Свет	1562,4	1945,0	1781,9
Капсель	1651,1	1801,3	1736,3
Солнечная Долина 2	1602,1	1785,0	1701,7
Меганом	1629,4	1801,8	1708,4
Богатовка	1267,8	2022,2	1762,1
Судак	1353,4	1922,3	1674,5
Солнечная Долина	1407,8	1919,3	1727,8
Курортное	1481,1	1945,7	1668,5
Щебетовка	1312,0	1859,8	1663,5
Коктебель	1235,8	1879,4	1666,8
Наниково	1619,7	1843,2	1727,6
Подгорное	1581,7	1747,3	1667,4
Насыпное	1615,3	1757,6	1667,5
Феодосия	1357,8	1894,7	1653,1
Береговое	1670,7	1724,6	1700,6
Приморский	1644,5	1758,1	1713,4
Орджоникидзе	1356,8	1973,3	1683,1
Прибрежное	1637,1	1764,2	1696,5
Краснокаменка	1400,3	1997,2	1723,9
Дачное	1267,5	1927,4	1698,6
Лесное	1451,7	1938,8	1746,1
Междуречье	1270,7	2014,0	1713,4
Ворон	1437,5	1911,8	1670,3
Громовка	1360,5	1906,9	1732,3
Генеральское	1564,2	1862,7	1744,7
Ближнее	1603,3	1727,1	1671,0
Солнечное	1592,1	1670,5	1641,6
Миндальное	1624,0	1764,2	1699,0

В результате проведенного исследования рассчитан ландшафтный потенциал Юго-Восточного Крыма для внедрения систем солнечной энергетики. Выделены наиболее перспективные участки для строительства солнечных электростанций, к которым относятся южная часть полуострова Меганом, Армутлукская долина и окрестности, местность вокруг хребта Хоба-Тепе.

Системы малой солнечной энергетики рекомендуется размещать на крышах зданий в населенных пунктах. Рассчитаны значения поступления суммарной солнечной радиации с учетом облачности на территории населенных пунктов. Таким образом ландшафтный потенциал Юго-Восточного Крыма для использования системами солнечной энергетики составляет 3792,67 млн. кВтч за год. Значения выработки электроэнергии варьируются от 133,85 млн. кВтч в декабре до 459,44 млн. кВтч в июле.

4.2 Системы ветровой энергетики

4.2.1 Природный потенциал

Первичная оценка ветропотенциала Юго-Восточного Крыма проводилась по материалам базы данных NASA SSE [287] С целью верификации данных БД NASA SSE для Юго-Восточного Крыма было проведено сравнение многолетних средних значений скорости ветра по наземным измерениям [230] и по данным NASA SSE [287] по метеостанции г. Феодосия. На рисунке 4.8 представлено распределение указанных величин. Среднеквадратичное отклонение и относительная погрешность для двух наборов данных составили соответственно 0,35 м/с и 7,65%, что вполне приемлемо для задач исследования.

БД NASA SSE использует результаты реанализа с учетом типов растительности и поверхностей. Скорости ветра для различных типов растительности и поверхности для квадрата сетки $1 \times 1^\circ$, включающего метеостанцию Феодосия, представлены в таблице 4.4. Для поиска наиболее близкого соответствия метеоданным была проведена верификация данных NASA SSE для всех типов растительности и поверхностей с данными по скорости ветра из [230] на высоте 10 м.

Таблица 4.4 – Среднемесячная скорость ветра по координатам метеостанции Феодосия для различных типов растительности и поверхностей [287], м/с

№	Тип растительности и поверхности	Месяц												Год
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	35-м широколиственные вечнозеленые деревья (70%)	3,14	3,19	3,09	2,69	2,39	2,27	2,21	2,25	2,36	3,02	2,95	3,16	2,72
2	20-м широколиственные листопадные деревья (75%)	3,88	3,87	3,69	3,16	2,72	2,46	2,31	2,44	2,68	3,55	3,52	3,83	3,17
3	20-м широколиственные и хвойные деревья (75%)	2,95	3,19	3,3	2,96	2,72	2,63	2,55	2,48	2,51	3,07	2,9	3,01	2,85
4	17-м хвойные вечнозеленые деревья (75%)	3,35	3,63	3,69	3,32	2,9	2,71	2,59	2,65	2,77	3,49	3,36	3,48	3,16
5	14-м хвойные листопадные деревья (50%)	3,46	3,63	3,63	3,26	2,9	2,8	2,72	2,6	2,55	3,17	3,1	3,37	3,1
6	Саванна: 18-м широколиственные деревья (30%) & почвопокровная растительность	3,46	3,52	3,41	2,96	2,63	2,5	2,43	2,48	2,6	3,32	3,25	3,48	3
7	0,6-м многолетняя почвопокровная растительность (100%)	4,34	4,4	4,27	3,71	3,3	3,14	3,04	3,11	3,25	4,17	4,07	4,36	3,76
8	0,5-м широколиственные кустарники (различный %) & почвопокровная растительность	4,34	4,4	4,27	3,71	3,3	3,14	3,04	3,11	3,25	4,17	4,07	4,36	3,76
9	0,5-м широколиственные кустарники (10%) & голая почва	4,34	4,4	4,27	3,71	3,3	3,14	3,04	3,11	3,25	4,17	4,07	4,36	3,76
10	Тундра: 0,6-м деревья / кустарники (различный %) & почвопокровная растительность	4,34	4,4	4,27	3,71	3,3	3,14	3,04	3,11	3,25	4,17	4,07	4,36	3,76
11	Неровная голая почва	4,7	4,77	4,63	4,02	3,57	3,4	3,3	3,37	3,53	4,51	4,42	4,73	4,08
12	Сельскохозяйственные поля: 20-м широколиственные листопадные деревья (10%) & пшеница	4,27	4,2	4,55	3,26	2,9	2,76	2,68	2,73	2,86	3,78	3,82	4,22	3,5
13	Неровная поверхность снега/льда	3,82	4	4,07	3,65	3,24	3,09	3	3,06	3,1	3,78	3,64	3,83	3,52

Продолжение таблицы 4.4

№	Тип растительности и поверхности	Месяц												Год
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
14	Гладкий морской лед	5,02	5,34	5,44	4,96	4,41	4,19	4,07	3,96	3,95	4,74	4,64	4,96	4,64
15	Открытая водная поверхность	5,71	5,79	5,61	4,88	4,34	4,12	4	4,09	4,28	5,48	5,36	5,73	4,95
16	"Аэропорт" – плоская грубая трава	5,27	5,34	5,18	4,5	4	3,8	3,69	3,77	3,95	5,05	4,94	5,29	4,56

Для этих целей использовались формулы однофакторного дисперсионного анализа (4) и относительной погрешности (5). Результаты расчетов представлены в таблице 4.5.

$$D = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{12} [(V_{meteo} - V_{NASA})^2]}{12}} \quad (4)$$

$$\delta = \frac{D}{V_{\text{ср.год. NASA}}} * 100\% \quad (5)$$

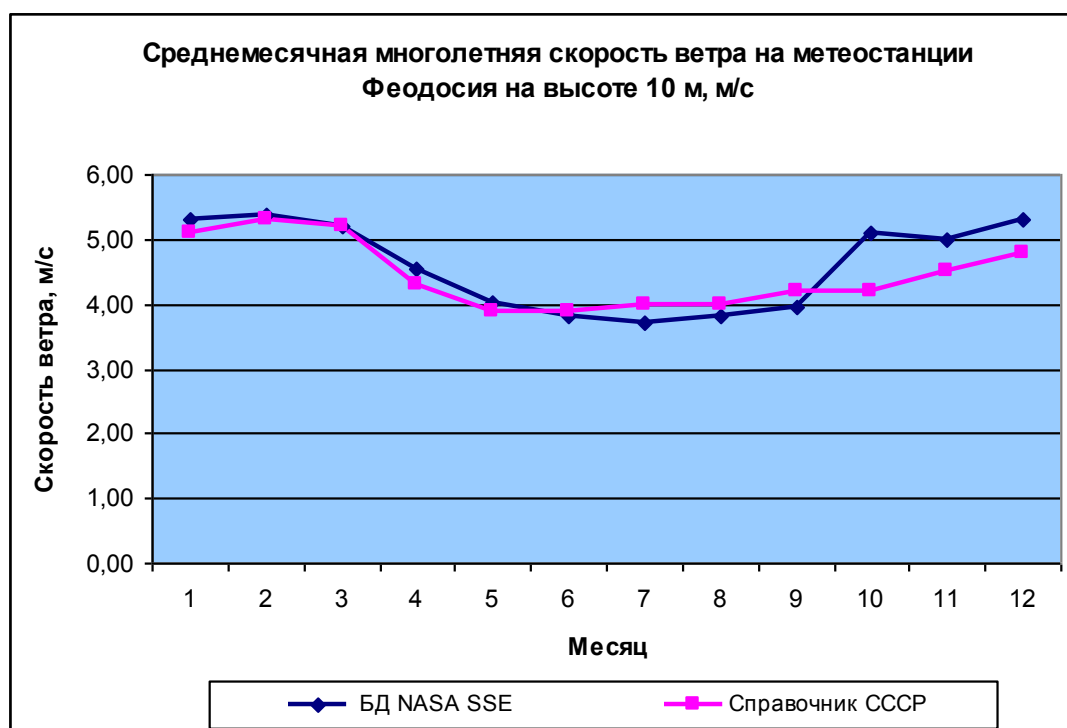


Рисунок 4.8 – Среднемесячная скорость ветра на высоте 10 м по данным метеостанции Феодосия [230] и данным NASA SSE (для поверхности типа «Аэропорт») [287]

Наименьшие значения дисперсии и относительной погрешности относятся к типу поверхности «Аэропорт – плоская грубая трава», составляющие 0,35 и 7,65% соответственно. Таким образом, в дальнейших расчетах использованы значения скорости ветра для этого типа растительности и поверхности.

Данные NASA SSE в каждой точке градусной сетки распространяются на площадь всей соседней ячейки (1°×1°), поэтому в соответствии с расположением исследуемой территории (Юго-Восточный Крым) для дальнейшей работы были

взяты данные по 3 ячейкам: 44° с.ш. × 34° в.д.; 44° с.ш. × 35° в.д.; 45° с.ш. × 35° в.д. Оценка плотности энергии ветрового потока и удельного природного ветроэнергетического потенциала проводилась для высоты 50 м в предположении использования ветроэлектрических установок такого же диаметра ветроколеса (например, ВЭУ GAMESA G58-850 kW с высотой башни 53 м и диаметром ветроколеса 58 м [299]).

Таблица 4.5 – Сравнение скоростей ветра БД NASA SSE [287] и Научно-прикладного справочника СССР [168] (D – дисперсия, δ – относительная погрешность)

Тип растительности и поверхности	D	δ
35-м широколиственные вечнозеленые деревья (70%)	1,74	64,04
20-м широколиственные листопадные деревья (75%)	1,31	41,23
20-м широколиственные и хвойные деревья (75%)	1,63	57,11
17-м хвойные вечнозеленые деревья (75%)	1,32	41,77
14-м хвойные листопадные деревья (50%)	1,37	44,29
Саванна: 18-м широколиственные деревья (30%) & почвопокровная растительность	1,47	48,92
0,6-м многолетняя почвопокровная растительность (100%)	0,74	19,62
0,5-м широколиственные кустарники (различный %) & почвопокровная растительность	0,74	19,62
0,5-м широколиственные кустарники (10%) & голая почва	0,74	19,62
Тундра: 0,6-м деревья / кустарники (различный %) & почвопокровная растительность	0,74	19,62
Неровная голая почва	0,47	11,51
Сельскохозяйственные поля: 20-м широколиственные листопадные деревья (10%) & пшеница	0,99	28,37
Неровная поверхность снега/леда	0,96	27,29
Гладкий морской лед	0,32	6,96
Открытая водная поверхность	0,62	12,53
"Аэропорт" – плоская грубая трава	0,35	7,65

В таблице 4.6 представлены значения среднемесячной скорости ветра для исследуемых ячеек на высоте 50 м. Повторяемость различных градаций скоростей ветра на высоте 50 м для каждой ячейки были взяты из [15].

Таблица 4.6 – Среднемесячная скорость ветра для исследуемых ячеек на высоте 50 м, м/с

Широта	44° с.ш.	44° с.ш.	45° с.ш.
Долгота	34° в.д.	35° в.д.	35° в.д.
Январь	7,45	7,32	6,71
Февраль	6,93	6,71	6,81
Март	6,44	6,22	6,60
Апрель	5,88	5,72	5,74
Май	5,36	5,24	5,10
Июнь	5,08	4,91	4,85
Июль	5,01	4,97	4,71
Август	5,02	5,02	4,81
Сентябрь	5,20	5,14	5,03
Октябрь	6,20	5,98	6,44
Ноябрь	6,62	6,40	6,30
Декабрь	7,27	7,04	6,74
Год	6,04	5,89	5,82

Результаты расчетов плотности энергии ветрового потока, удельного природного ветроэнергетического потенциала представлены в таблице 4.7. На рисунке 4.9 представлен удельный природный ветроэнергетический потенциал Юго-Восточного Крыма по ландшафтным контурам.

Таблица 4.7 – Характеристики природного ветроэнергетического потенциала для ячеек градусной сетки в пределах Юго-Восточного Крыма

Угловые координаты ячеек		Плотность энергии ветрового потока (мощность воздушной струи единичной площади сечения), Вт/м ²	Удельный валовый потенциал энергии ветра, тыс кВтч/год
44° с.ш.	34° в.д.	270	3,71
44° с.ш.	35° в.д.	255	3,50
45° с.ш.	35° в.д.	200	2,74

4.2.2 Технический потенциал

Построение карты современного землепользования с учетом экологического каркаса территории и эстетической ценности ландшафтов подробно описано в разделе 2.2 и подразделе 4.1. Для строительства ВЭС, согласно мировому и отечественному опыту [231], используются земли сельскохозяйственного назначения, земли запаса и земли пастбищ.

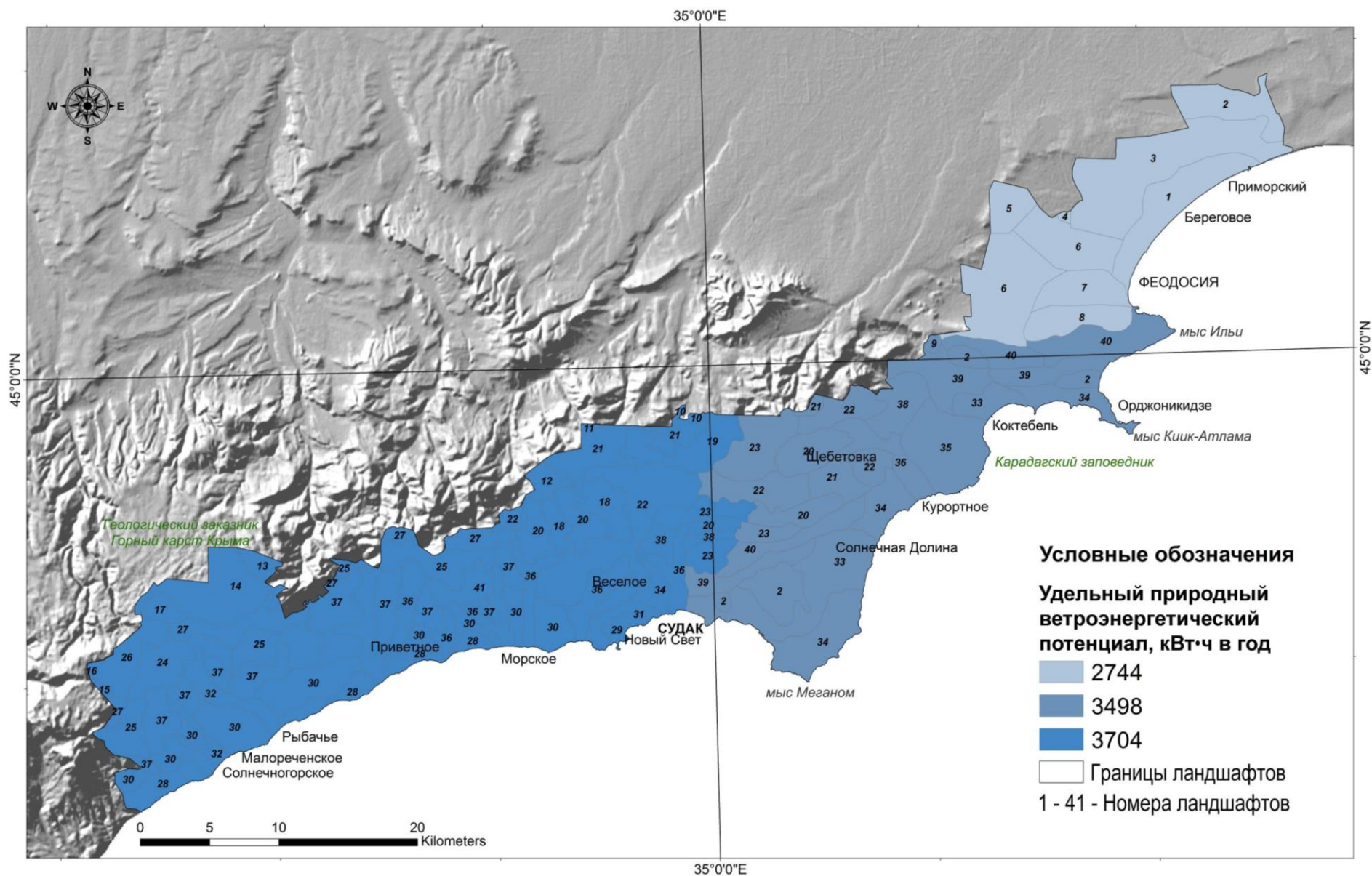


Рисунок 4.9 – Удельный природный ветроэнергетического потенциал Юго-Восточного Крыма

Однако при выборе участков для строительства необходимо учитывать специализацию сельскохозяйственных земель: строительство ВЭС на землях, используемых под виноградники, подразумевает уничтожение культур на больших площадях и значительную потерю урожая. В нашем исследовании предполагается, что для строительства ВЭС могут быть использованы только земли под степными сообществами. Кроме того, для предотвращения проблем, связанных с турбулентностью воздуха при выборе участков принимался во внимание фактор крутизны поверхности. Для определения участков, наиболее перспективных для строительства ветроэлектростанций на территории Юго-Восточного Крыма была построена карта крутизны склонов, которая в дальнейшем была переклассифицирована согласно работе [246] на 2 класса – уклон наклона менее 5° и более 5° . Территории с крутизной поверхности более 5° были исключены из дальнейшего анализа.

Инженерно-геологические и инженерно-геоморфологические условия строительства при проектировании ветроэлектростанций являются крайне важным ограничивающим фактором при выборе участков пригодных для строительства. Согласно многим авторам [48; 148; 190; 195; 226; 242], территория Юго-Восточного Крыма, относится к оползне-, селе- и сейсмоопасным районам с наличием катрующихся пород. Строительство объектов энергетики, в особенности ветроагрегатов, в зонах проявления указанных процессов может привести как к трещинам и просадкам самих пород, так и к повреждению несущих конструкций объекта строительства. Такие территории должны быть изъяты из анализа как неблагоприятные для строительства систем ветровой энергетики. Согласно инженерно-строительного районирования [247], а также на основе характеристик, описанных в разделе 2.2, на исследуемой территории есть особо сложные участки, не рекомендуемые для градостроительного освоения. К ним относятся Караби-Яйла, северная часть Судакского городского совета.

4.2.3 Геоэкологический потенциал

При проектировании ветровых электростанций исключение территорий водоохранных зон должно быть обязательным, так как строительство таких электростанций подразумевает установку объемного фундамента, что неизбежно повлечет за собой изменение поверхностного и подземного стока вблизи водных объектов. В программе ArcGis 10.2 были нанесены все водные объекты Юго-Восточного Крыма, и с помощью функции Buffer (Proximty в разделе Analysis Tools) построены водоохранные зоны вокруг этих объектов согласно характеристикам, приведенным в подразделе 4.1.1.

При выборе перспективных участков для строительства ВЭС также учитывалось шумовое воздействие. По санитарным нормам, допустимым уровнем шума, который не наносит вреда слуху даже при длительном воздействии на слуховой аппарат, принято считать: 55 дБ в дневное время и 40 дБ ночью [221]. Согласно литературным источникам [221], на расстоянии 300 м от ветротурбины уровень шума не превышает 40 дБ, т.е. установленной нормы. С помощью этой же функции Buffer были нанесены буферные зоны шириной 300 м вокруг городов.

Аналогично с солнечными электростанциями, в случае расположения на выделенных перспективных территориях археологических памятников и объектов, инвестор должен будет провести археологические изыскания и откорректировать границы участка строительства. Учитывая тот факт, что в пределах ООПТ ограничена возможность использования земель, на таких территориях целесообразно использование единичных ВЭУ, расположенных в пределах административно-хозяйственных зон.

4.2.4 Ландшафтный потенциал

Основываясь на описанных выше критериях выделения территорий, для строительства ВЭС в качестве перспективных территорий были определены земли под степными сообществами, ландшафты со средней и менее пейзажно-эстетической ценностью, крутизной менее 5°, находящиеся на расстоянии не

менее 300 м от населенных пунктов и не входящие в состав ООПТ и водоохранных зон.

На рисунке 4.10 представлены перспективные участки для строительства ВЭС на территории Юго-Восточного. Эти участки расположены на северо-восточной равнинная часть изучаемого региона, а также занимают всю равнинную часть полуострова Меганом. Для Юго-Восточного Крыма рассчитан ландшафтный потенциал для использования систем ветровой энергетики (рисунок 4.11).

Максимальным ландшафтным потенциалом для исследуемой территории обладают абразионно-денудационные слабодренированные равнины с полынно-типчаковыми, гейнальдиево-эгилопсовыми степями в комплексе с галофитными лугами – 322,45 млн кВтч в год. Большими потенциалами также обладают денудационные и аккумулятивные равнины с зарослями типа «дубки» в комплексе кустарниковыми зарослями типа «шибляк» и разнотравными степями (188,75 млн. кВтч) и озерно-западинные на абразионно-денудационной равнине, с галофитными лугами в комплексе с полынно-типчаковыми степями (118,19 млн. кВтч).

Таким образом, удельный природный потенциал энергии ветра Юго-Восточного Крыма изменяется от 2,74 до 3,71 тыс кВтч/год. Количество ВЭУ (GAMESA G58-850 kW с высотой башни 53 м и диаметром ветроколеса 58 м), которое можно разместить на территории Юго-Восточного Крыма, составило 3175 шт. Ландшафтный потенциал энергии ветра Юго-Восточного Крыма в этом случае составил 1030 млн. кВтч в год.

После проведенных расчетов на выделенных на территориях, определенных в процессе анализа как пригодные и без существенных ограничений, рекомендуется провести более детальную оценку ветропотенциала и учет особенностей рельефа территории. Этот анализ можно провести на основе данных ветромониторинга и специализированного программного обеспечения (WAsP, Wind Farm, WindNinja и др.).

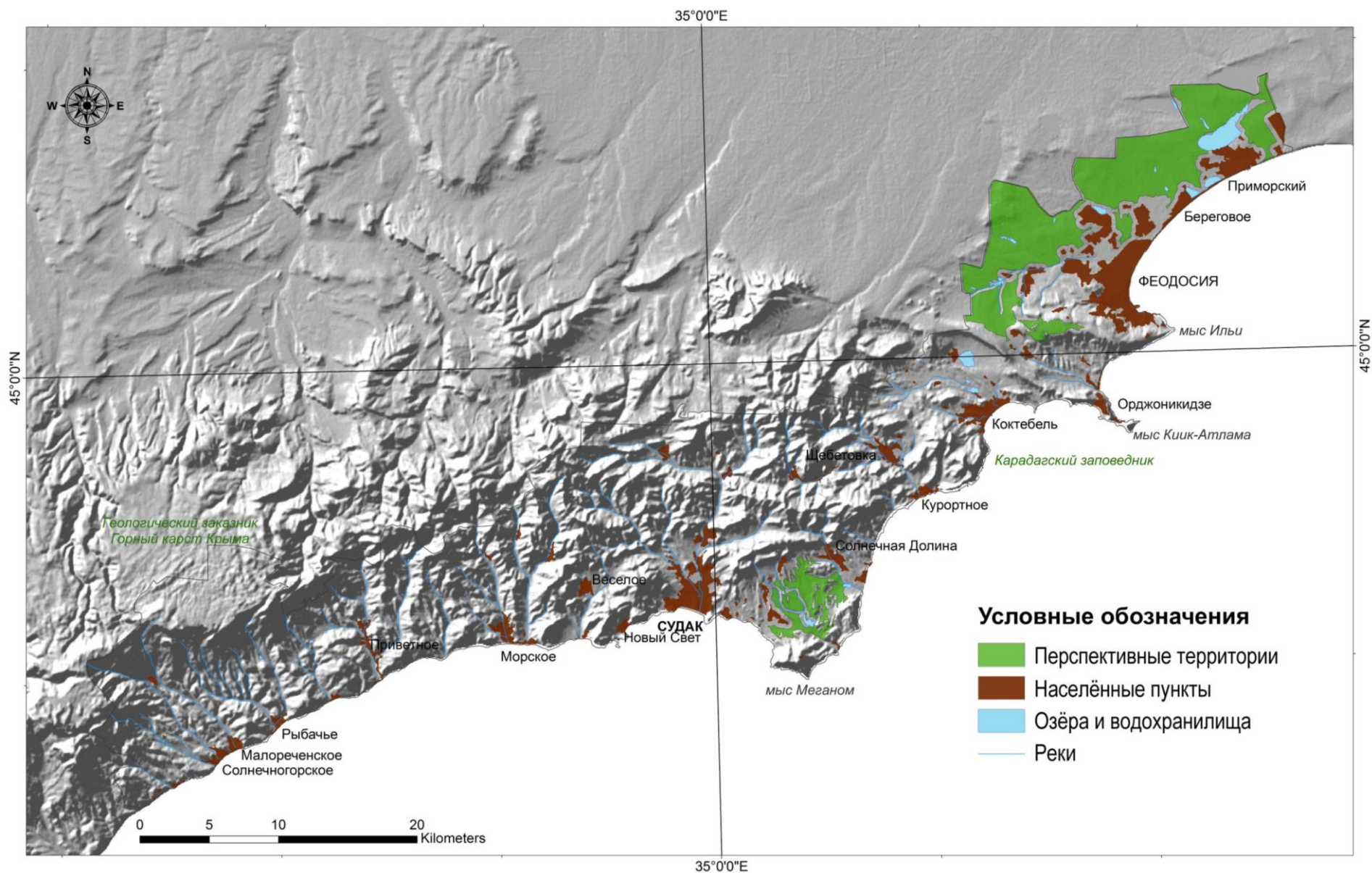


Рисунок 4.10 – Перспективные территории для строительства ветровых электростанций в Юго-Восточном Крыму

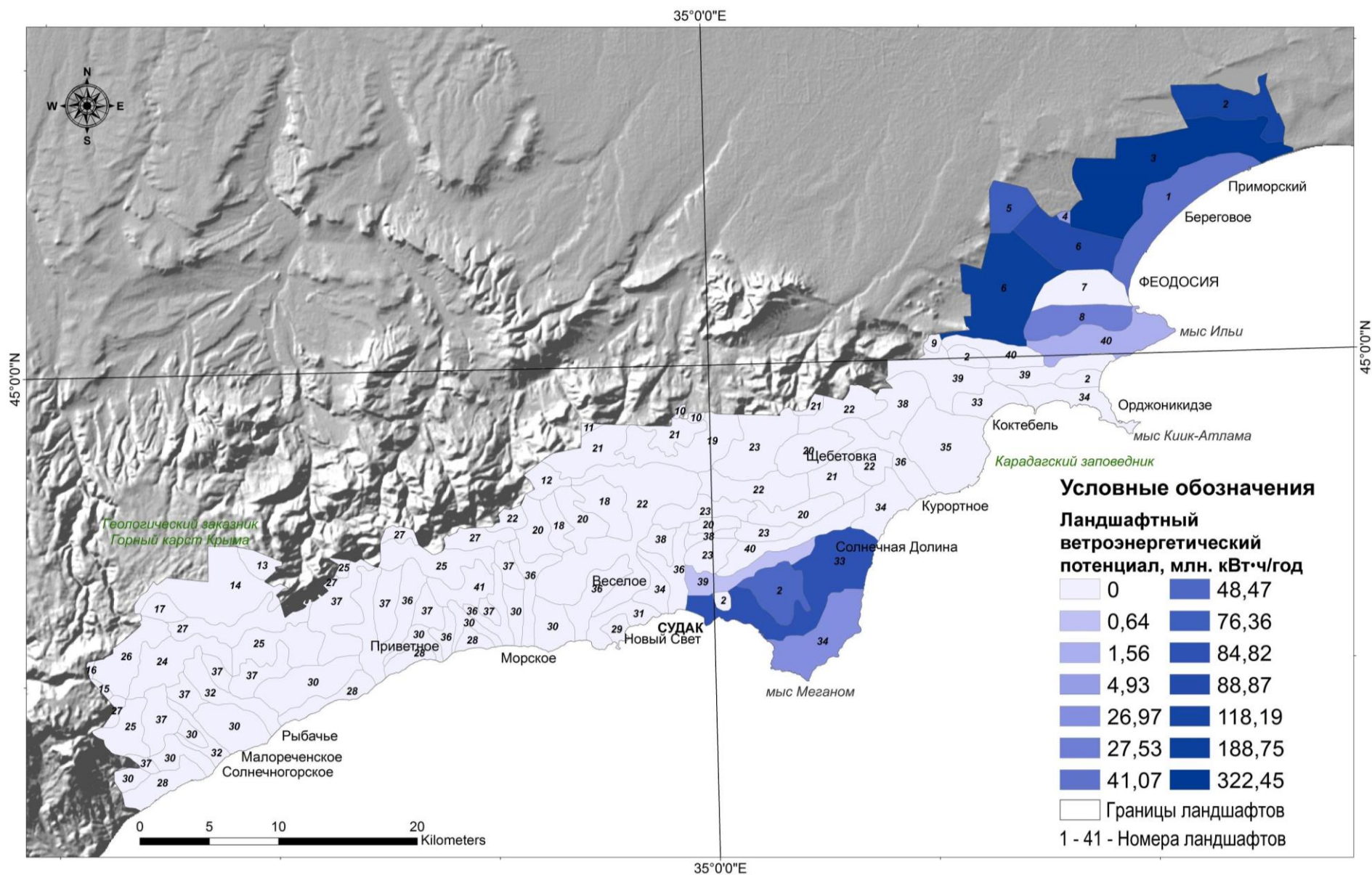


Рисунок 4.11 – Ландшафтный ветроэнергетический потенциал Юго-Восточного Крыма

4.3 Геоэкологический эффект от внедрения систем солнечной и ветровой энергетики

Проведенные в разделе 4 расчеты показали, что территория Юго-Восточного Крыма обладает значительным ландшафтными потенциалами для использования систем возобновляемой энергетики. С целью выявления геоэкологического эффекта от внедрения систем солнечной и ветровой энергетики на выделенных в Юго-Восточном Крыму перспективных территориях были рассчитаны следующие показатели: возможность обеспечения потребностей Республики Крым в электрической энергии и сокращение выбросов CO_2 в атмосферу при использовании систем солнечной и ветровой энергетики вместо традиционных видов топлива (нефть, природный газ и каменный уголь)

Для расчетов возможности обеспечения потребностей Республики Крым в электроэнергии, полученной с помощью систем солнечной и ветровой энергетики на выделенных территориях использовались данные по совокупному фактическому потреблению электроэнергии в Республике Крым за 2017 год, представленные в [182]. На рисунке 4.12 отображено соотношение потребления электрической энергии в Республике Крым и потенциальной выработки электроэнергии системами солнечной энергетики на территории Юго-Восточного Крыма по месяцам. Выявлено, что при условии строительства систем солнечной энергетики на всех территориях, выделенных как благоприятные для строительства (рисунок 4.6), можно обеспечить потребности Республики Крым в электрической энергии на 106,1 %.

Однако имеются различия в годовой динамике потребления и выработки электрической энергии. Так, максимум выработки электроэнергии и системами солнечной энергетики на выделенных участках наблюдается в теплый сезон с марта по октябрь. Выработка электроэнергии в зимние месяцы сокращается практически в три раза по сравнению с летними месяцами. В динамике совокупного потребления электроэнергии по Республике Крым наблюдается два максимума (продолжительный период зимнего повышенного потребления и резких пик в августе) и два резких минимума – в мае и сентябре.

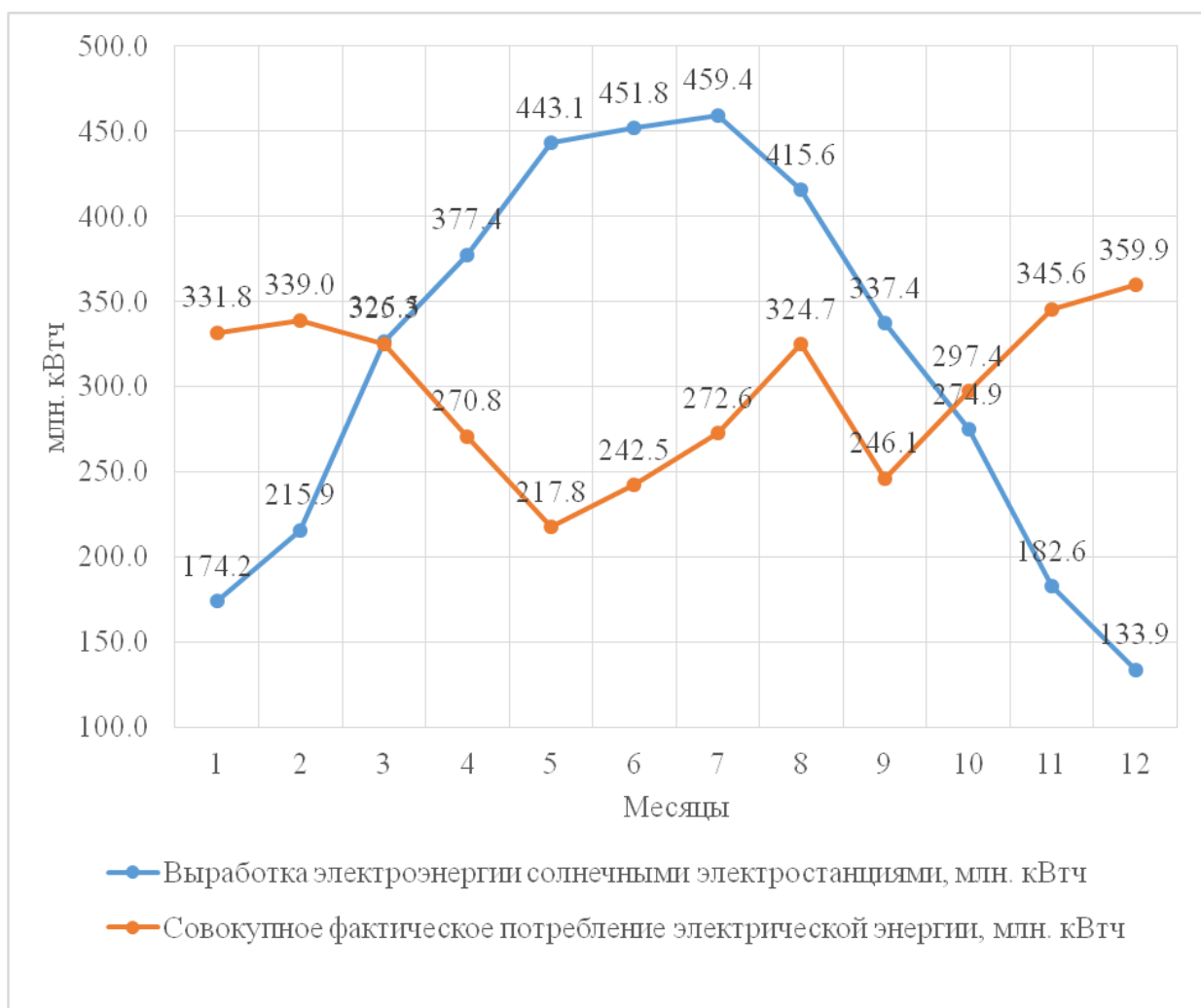


Рисунок 4.12 – Соотношение потребления электрической энергии в Республике Крым и потенциальной выработки электроэнергии системами солнечной энергетики в Юго-Восточном Крыму по месяцам

Таким образом, строительство предложенных в работе систем солнечной энергетики на выделенных перспективных участках Юго-Восточного Крыма может полностью обеспечить потребности Республики Крым в электроэнергии в теплый период года.

При строительстве систем ветровой энергетики на всех перспективных территориях (рисунок 4.10), можно обеспечить потребности Республики в электроэнергии на 28,8 %. Согласно рисунка 4.8 максимальные скорости ветра наблюдаются в зимние месяцы. Соответственно, при комплексном использовании систем солнечной и ветровой энергетики возможно практически полное покрытие потребностей Республики Крым в электроэнергии.

Экологический эффект использования систем возобновляемой энергетики оценивается сокращением выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, которые могли быть произведены при генерации электроэнергии теплоэлектростанциями в количестве, равном количеству электроэнергии, произведенной с помощью систем возобновляемой энергетики. Расчет экологического эффекта от внедрения систем солнечной и ветровой энергетики на выделенных территориях был произведен согласно «Методическим указаниям и руководству по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации» [208].

Количественное определение выбросов CO₂ от стационарного сжигания топлива выполняется расчетным методом по отдельным источникам, группам источников или организации в целом по формуле [208]:

$$E_{CO_2,y} = \sum_{j=1}^n (FC_{j,y} \times EF_{CO_2,y} \times OF_{j,y}), \quad (6)$$

где $E_{CO_2,y}$ – выбросы CO₂ от стационарного сжигания топлива за период y , т CO₂;

$FC_{j,y}$ – расход топлива j за период y , тыс. м³, т, т.у.т. или ТДж;

$EF_{CO_2,j,y}$ – коэффициент выбросов CO₂ от сжигания топлива j за период y , т CO₂/ед.;

$OF_{j,y}$ - коэффициент окисления топлива j , доля;

j – вид топлива, используемого для сжигания;

n – количество видов топлива, используемых за период y .

Для расчета использовались коэффициенты перевода расхода топлива в энергетические единицы, коэффициенты выбросов CO₂ и содержание углерода по видам топлива [208], представленные в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Коэффициенты перевода расхода топлива в энергетические единицы, коэффициенты выбросов CO₂ и содержание углерода по видам топлива

Виды топлива	Коэффициенты перевода в тонны условного топлива и энергетические единицы			Коэффициенты выбросов (EF _{CO₂,j,y})	
	Единица измерения	т.у.т. / (тыс. м ³)	ТДж / тыс. т (млн м ³)	т CO ₂ / т.у.т.	т CO ₂ / ТДж
Нефть	тонна	1,430	41,9	2,15	73,3
Каменный уголь	тонна	0,768	22,5	2,77	94,6
Газ природный	тыс. м ³	1,154	33,8	1,59	54,4

Исходя из полученных результатов было выявлено, что использование систем солнечной энергетики на всех выделенных перспективных территориях позволит сократить выбросы CO₂ в атмосферу на 1290,4 тыс. тонн в год при пересчете на каменный уголь, на 1001,6 тыс. тонн в год при пересчете на нефть, и на 740,7 тыс. тонн в год при пересчете на природный газ. При использовании систем ветровой энергетики эти цифры соответственно составляют 350,6, 272,2 и 201,3 тыс. тонн в год.

Таким образом, внедрение систем солнечной и ветровой энергетики на всех выделенных перспективных территориях Юго-Восточного Крыма способно полностью обеспечить функционирование локальной энергетической системы Крымского полуострова в теплый период года. Сокращение выбросов в атмосферы CO₂ за счет строительства систем возобновляемой энергетики позволит улучшить экологическую обстановку в местах производства электроэнергии на теплоэлектростанциях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие основные выводы диссертационного исследования:

1. Изучены существующие представления о возобновляемых энергетических ресурсах, подходы к их оценке в мире и, в том числе, в Крыму. Выявлено, что на данный момент нет единой строгой общепринятой методики, не разработаны теоретические и методологические основы оценки потенциала для использования системами возобновляемой энергетики. В мировой практике проработаны отдельные аспекты оценки потенциала для использования системами возобновляемой энергетики, они представлены фрагментарно в зависимости от целей и уровня исследования.

2. Систематизированы и проанализированы результаты исследований солнечного и ветрового потенциала на территории Крымского полуострова с начала XX века. Анализ проведенных количественных оценок и карт показывает достаточно широкий разброс определяемых величин и полученных результатов. Сопоставление результатов затруднено тем, что в рассмотренных работах зачастую не приведены методики определения потенциала, и сами оценки базируются на различных исходных данных, а в случае оценок ветропотенциала – относятся к различным высотам (10–12 м, 50 м и выше).

3. Раскрыты некоторые аспекты теории и методики оценки ландшафтного потенциала для использования систем возобновляемой энергетики. Сформулировано понятие о ландшафтном потенциале для использования систем возобновляемой энергетики как о сумме трех его составляющих – природной, технической и геоэкологической. В ландшафтном потенциале для использования систем возобновляемой энергетики выделены три составляющие – природная, техническая и геоэкологическая. Природная составляющая состоит в оценке максимально возможного природного потенциала, определяемого компонентами,

условиями и свойствами самого ландшафта. Техническая составляющая – это часть природного потенциала, которую возможно использовать на данном этапе технологического и социально-экономического развития. Геоэкологическая составляющая заключается в необходимости сохранения ландшафтного разнообразия и обеспечении устойчивого развития территории с помощью введения системы геоэкологических ограничений. При высоких значениях природного потенциала, ландшафтный потенциал может быть нулевым при низких значениях технического и геоэкологического потенциалов. Под ландшафтным потенциалом для использования систем возобновляемой энергетики мы понимаем способность ландшафта выполнять функцию энергообеспечения с учетом природных ресурсов, современного уровня технологического развития, а также существующих технических (инженерных) и геоэкологических ограничений использования территории.

4. Изучены природные и социально-экономические предпосылки формирования ландшафтного потенциала для использования систем солнечной и ветровой энергетики в Юго-Восточном Крыму. Климатические условия региона благоприятны для развития возобновляемой энергетики. Несмотря на то, что значительные площади занимают территории со сложным геологическим строением и большой крутизной поверхности, при грамотном размещении объектов энергетики исследуемая территория может считаться перспективной для строительства систем солнечной и ветровой энергетики. Показано, что физико-географическое положение региона в целом благоприятствует развитию возобновляемой энергетики. На территории Юго-Восточного Крыма имеются также социально-экономические предпосылки развития возобновляемой энергетики. Компактное размещение населенных пунктов с относительно большой плотностью населения вместе с потребностью в энергетических ресурсах и относительной удаленностью от основных энергетических магистралей позволяет говорить о необходимости внедрения систем возобновляемой энергетики в структуру хозяйства региона.

5. Впервые разработана методика оценки ландшафтного потенциала для использования систем солнечной и ветровой энергетики на региональном уровне. На основе методики выявлены территории наиболее благоприятные для строительства систем солнечной и ветровой энергетики исходя из наличия природного ресурса, доступных технических решений и нормативно-экологических, природоохранных и социально-культурных ограничений.

6. Произведена оценка природного солнечноэнергетического потенциала, ландшафтного солнечноэнергетического потенциала Юго-Восточного Крыма на уровне ландшафтных местностей. Наибольшим ландшафтным потенциалом для использования систем солнечной энергетики обладают эрозионное овражно-балочное мелкогорье с выходами коренных пород в виде скал с шибляковыми зарослями и фриганоидами (южная окраина полуострова Меганом), останцово-денудационные овражно-балочные равнины с шибляковыми зарослями и фриганоидами (Арматлукская долина с окрестностями), денудационные и аккумулятивные равнины с зарослями типа «дубки» в комплексе с зарослями типа «шибляк» и разнотравными степями и денудационные мелкогорно-останцовые равнины с зарослями типа «дубки» и лесостепью (равнины в окрестности хребта Хоба-Тепе).

Природный потенциал Юго-Восточного Крыма для использования систем солнечной энергетики изменяется от 1133,36 до 1446,20 кВтч/м². Количество солнечных модулей (компания Nevel Solar, номинальная пиковая мощность 280 Вт, с КПД 20%, размеры 1656 x 991 мм), которые можно разместить на территории Юго-Восточного Крыма, составило 30809260 шт. Ландшафтный потенциал Юго-Восточного Крыма для использования систем солнечной энергетики составляет 3792,67 млн. кВтч за год. Значения выработки электроэнергии варьируются от 133,85 млн. кВтч в декабре до 459,44 млн. кВтч в июле.

7. Произведена оценка удельного природного ветроэнергетического потенциала, ландшафтного ветроэнергетического потенциала Юго-Восточного Крыма. Максимальным ландшафтным ветроэнергетическим потенциалом для

исследуемой территории обладают абразионно-денудационные слабодренированные равнины с полынно-типчачковыми, гейнальдиево-эгилопсовыми степями в комплексе с галофитными лугами (северо-восточная часть Феодосийского городского округа, близ поселка Приморское). К наиболее благоприятным для строительства ветровых электростанций территориям относится северо-восточная равнинная часть изучаемого региона (Феодосийский городской округ), а также равная часть полуострова Меганом. Удельный природный ветроэнергетический потенциал Юго-Восточного Крыма изменяется от 2,74 до 3,71 тыс кВтч в год. Количество ВЭУ (GAMESA G58-850 kW с высотой башни 53 м и диаметром ветроколеса 58 м), которое можно разместить на территории Юго-Восточного Крыма, составило 3175 шт. Ландшафтный ветроэнергетический потенциал Юго-Восточного Крыма в этом случае составил 1030,6 млн. кВтч в год.

8. Денудационные и аккумулятивные равнины с зарослями типа «дубки» в комплексе с зарослями типа «шибляк» и разнотравными степями выделяются как ландшафты, обладающие большим ландшафтным потенциалом как для использования системами солнечной энергетики, так и для использования системами ветровой энергетики.

9. Произведен расчет возможности обеспечения населения Республики Крым электроэнергией, полученной с помощью систем солнечной и ветровой энергетики на выделенных территориях. Выявлено, что при условии строительства систем солнечной энергетики на территориях, выделенных как благоприятные для строительства, можно обеспечить население Республики Крым на 106,1%. При строительстве систем ветровой энергетики на всех перспективных территориях, можно обеспечить население Республики Крым на 28,8%.

10. Произведен расчет экологической эффективности от внедрения систем солнечной и ветровой энергетики на выделенных территориях. Использование систем солнечной энергетики позволит сократить выбросы CO₂ в атмосферу на 1290,4 тыс. тонн в год при пересчете на каменный уголь, на 1001,6 тыс. тонн в год

при пересчете на нефть, и на 740,7 тыс. тонн в год при пересчете на природный газ. При использовании систем ветровой энергетики эти цифры соответственно составляют 350,6, 272,2 и 201,3 тыс. тонн в год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаев А. Р. Использование возобновляемых источников энергии в Автономной Республике Крым // Экология и промышленность. – 2011. – № 3. – С. 11–15.
2. Абдуллаев А. Р. Перспективы развития нетрадиционных источников энергии в Автономной Республике Крым // Экология и промышленность. – 2012. – № 3. – С. 18–21.
3. Абдуллаев А. Р. Вітроенергетичний потенціал Криму та перспективи його розвитку // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. Экономические науки. – 2011. – Вып. 28. – С. 9–12.
4. Алгоритм формирования региональных программ энергосбережения [Консультативная программа IFC в Европе и Центральной Азии]. – Москва : ОАО «Объединение ВНИПИЭнергопром», 2010. – 64 с.
5. Алексеев Г. Н. Преобразование энергии. – Москва : Наука, 1966. – 191 с.
6. Аналитический доклад «Политика в области развития возобновляемой энергетики: как разбудить Российского великана» / Программа IFC по развитию возобновляемых источников энергии в России. – International Finance Corporation. – Пенсильвания Авеню NW, Вашингтон, DC, 2011. – 40 с.
7. Андерсон Б. Солнечная энергия (Основы строительного проектирования) / пер. с англ. А. Р. Анисимова ; под ред. Ю. Н. Малевского. – Москва : Стройиздат, 1982. – 375 с.
8. Андреевский А. К. Проблемы мировой энергетики и устойчивое развитие // Экологические аспекты энергетической стратегии как фактор устойчивого развития России. – Москва : Ноосфера, 2000. – С. 171–179.
9. Археологическая карта Крыма. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.archmap.ru/>

10. Атаев З. А. Ресурсные возможности развития малой гидроэнергетики центральной России // Материалы VI Международной научно- практической конференции «Образование. Наука. Культура», 21 ноября 2014 г. : сб. науч. ст. / под общ. ред. Б. В. Илькевича ; отв. ред. Н. В. Соловьева. – Гжель : ГГХПИ, 2015. – С. 608–616.
11. Атаев З. А. Федеральные округа России: условия для развития возобновляемой энергетики // Проблемы безопасности российского общества. – 2016. – № 1. – С. 137–146.
12. Атлас Автономной республики Крым / под ред. Н. В. Багрова, Л. Г. Руденко. – Киев ; Симферополь, 2004. – 32 с.
13. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / С. О. Кудря, Л. В. Яценко, Г. П. Душина та ін. – Киев : ТОВ «Віол Принт», 2008. – 41 с.
14. Атлас ресурсов возобновляемой энергетики на территории России. – Москва : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2015. – 160 с.
15. Атлас ресурсов солнечной энергии на территории России / О. Попель, С. Фрид, Ю. Коломиец и др. – Москва : Изд-во МФТИ, 2010. – 83 с.
16. Атлас энергетического потенциала возобновляемых и нетрадиционных источников энергии Украины / Кудря С. О. и др. – Киев, 2001. – 110 с.
17. Бабенко Г. А. Экономичность использования нетрадиционной энергетики в Автономной Республике Крым // Экономика Крыма. – 2002. – № 5. – С. 44–50.
18. Багрова Л. А. Современные тенденции развития возобновляемой энергетики в мире // Культура народов Причерноморья. – 2009. – № 159. – С. 39–46.
19. Багрова Л. А., Бобра Т. В., Боков В. А. Экологические аспекты стратегии развития энергетики АР Крым // Український географічний журнал. – 2006. – № 1. – С. 35–39.
20. Багрова Л. О. Ландшафтна характеристика східної частини Південного берега Криму // Фізична географія та геоморфологія. – 1971. – № 5. – С. 52–55.

21. Башта А. И. Инновационная стратегия развития рекреационной системы на базе энергосбережения / под науч. ред. С. Ю. Цёхла. – Симферополь : КРП Изд-во «Крымучпедгиз», 2011. – 382 с.
22. Башта А. И. Инновационное развитие рекреационных территорий на базе энергосбережения // Проблемы економіки. – 2011. – № 3. – С. 55–58.
23. Башта А. И. Социально-экономические основы развития энергосберегающих технологий в рекреационной сфере // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України : зб. наук.-техн. праць. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2011. – Вип. 21.9. – С. 85–93.
24. Башта А. И. Сценарии роста процентного использования возобновляемой энергии в рекреационной системе в общем энергетическом бюджете региона // Экономика Крыма. – 2011. – № 3 (36). – С. 128–130.
25. Башта А. И. Экономические аспекты применения возобновляемых источников энергии в рекреационных предприятиях // Бізнес Інформ. – 2011. – № 9. – С. 78–82.
26. Башта А. И. Приоритетные направления реализации энергосберегающей модели развития АР Крым // Культура народов Причерноморья. – 2011. – № 206. – С. 195–197.
27. Безруких П. П. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива. – Москва : ИАЦ Энергия, 2007. – 272 с.
28. Бекиров Э. А. Возобновляемая энергетика. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2016. – 384 с.
29. Бекиров Э. А., Бекирова С. Э. Перспектива повышения энергоэффективности и энергетического потенциала Крыма на основе возобновляемых источников энергии // Строительство и техногенная безопасность. – 2010. – Вып. 33–34. – С. 321–327.
30. Бекиров Э. А. Повышение энергетического потенциала Крыма при использовании возобновляемых источников энергии // Строительство. Материаловедение. Машиностроение. Серия: Создание

- высокотехнологических экокомплексов в Украине на основе концепции сбалансированного (устойчивого) развития. – 2013. – Вып. 68. – С. 47–51.
31. Бекиров Э. А., Калачик Ю. М. Увеличение энергетического потенциала Крыма при использовании возобновляемых источников энергии // Строительство и техногенная безопасность. – 2011. – Вып. 40. – С. 115–122.
32. Березкин М. Ю. Перспективы возобновляемой энергетики (на примере Крыма) // Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2008. – Т. 4. – С. 53–56.
33. Березкин М. Ю. Проблемы природопользования Крыма и возобновляемая энергетика // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10, № 2 (13). – С. 423–427.
34. Биологическое и ландшафтное разнообразие Крыма. – Симферополь : СОНАТ, 1999. – 180 с.
35. Биоресурсный потенциал географических ландшафтов северо-запада таёжной зоны России (на примере Республики Карелия) / под ред. А. Д. Волкова, А. Н. Громцева. – Петрозаводск : Карельский науч. центр РАН, 2005. – 188 с.
36. Бобра Т. В., Лычак А. И. Карта современных ландшафтов Крыма // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2010. – Т. 6, вып. 1–2. – С. 101–104.
37. Боков В. А. Организация воздушных и водных потоков и природные комплексы // Вопросы географии. – 1981. – Т. 117. – С. 68–77.
38. Боков В. А., Лущик А. В. Основы экологической безопасности. – Симферополь : СОНАТ, 1998. – 224 с.
39. Боков В. А. Проблемы оценки увлажнения ландшафтов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2008. – Т. 21 (60), № 2. – С. 47–50.
40. Боков В. А. Пространственно-временная организация геосистем. – Симферополь : СГУ, 1983. – 56 с.

41. Боков В. А. Роль местоположений в формировании ландшафтно-геофизической дифференциации на локальном уровне // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2014. – Т. 27 (66), № 2. – С. 16–26.
42. Боков В. А., Бобра Т. В., Лычак А. И. Геоэкологическая ситуация в Крыму // Культура народов Причерноморья. – 1998. – № 3. – С. 13–18.
43. Боков В. А., Горбунов Р. В. Климатическая диссимметрия склоновых локальных ландшафтных комплексов Горного Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2011. – Т. 24 (63), № 1. – С. 3–14.
44. Боков В. А., Черванев И. Г. Энергетика окружающей среды. – Симферополь : ТНУ, 2005. – 187 с.
45. Большаков Б. Е. Основы теории развития системы общественное производство – природная среда с использованием измеримых величин : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.10. – Дубна, 2000. – 40 с.
46. Большой энциклопедический словарь / под ред. Д. Н. Ушакова, В. И. Даля. – Москва : dicView, 2000. – 1000 с.
47. Ваниева Э. А., Абдиева Г. Т. Анализ современного состояния и перспективы развития и использования альтернативных (нетрадиционных) источников энергии в Автономной Республике Крым // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. – 2013. – Вып. 39. – С. 22–26.
48. Вахрушев Б. А., Вахрушев И. Б. Моделирование карстового процесса в условиях хозяйственного освоения и антропогенной активизации карста // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2017. – Т. 3 (69), № 2. – С. 161–176.
49. Ведь И. П. Климатопы растительных сообществ Горного Крыма // Известия АН СССР. Сер. Географ. – 1983. – № 3. – С. 83–99.
50. Величко С. А. Энергетика навколишнього середовища України (з електронними картами та графіками) / під ред. І. Г. Черваньова. – Харків : Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2003. – 52 с.

51. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. – Москва : Наука. – 1988. – 576 с.
52. Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста. – Москва : Наука, 1988. – 520 с.
53. Ветрова Н. М. Экологическая безопасность рекреационного региона. – Симферополь : РИО НАПКС, 2006. – 297 с.
54. Водный кодекс Российской Федерации от 03.06.2006 № 74-ФЗ (ред. от 28.11.2015). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_law_60683/
55. Возобновляемая энергетика – 2003: состояние, проблемы, перспективы : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф., 4–6 ноября 2003 г., Санкт-Петербург. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского политехнического ун-та, 2003. – 616 с.
56. Возобновляемая энергия в России: от возможности к реальности / Международное энергетическое агентство. – Париж, 2004. – 120 с.
57. Волов Г. Я., Кочepasов К. Л. Использование тепловых насосов в теплоснабжении и горячем водоснабжении // Энергия и менеджмент. – 2002. – № 2. – С. 14–19.
58. Выработка приоритетов: новый подход к сохранению биоразнообразия в Крыму // Результаты программы «Оценка необходимости сохранения биоразнообразия в Крыму», осуществлённой при содействии Программы поддержки биоразнообразия BSP (Biodiversity support program). – Вашингтон : Isaid, 2000. – 257 с.
59. Геец В. М. Отраслевое прогнозирование. Методический и организационный аспекты. – Киев, 1990. – 120 с.
60. Генеральная ассамблея ООН. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.un.org/ru/ga/33/docs/33res.shtml>
61. Геоинформационный портал ГИС-Ассоциации – геоматика. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gisa.ru/13078.html>
62. Геология СССР. Том 8. Крым. Часть 1. Геологическое описание. – Москва : «Недра», 1969. – 576 с.

63. Герасимов И. П. Вклад конструктивной географии в проблему оптимизации воздействия общества на окружающую среду // Известия Всесоюзного географического общества. – 1982. – Т. 114, вып. 3. – С. 193–200.
64. Герасимов И. П. Конструктивная география: цели, методы, результаты // Известия Всесоюзного географического общества. – 1966. – Т. 98, вып. 5. – С. 389–403.
65. Герасимов И. П. Научная методология советской конструктивной географии // Известия АН СССР. Серия географическая. – 1981. – № 2. – С. 230–252.
66. Герасимов И. П. Конструктивная география. Избранные труды. – Москва : Наука, 1996. – 142 с.
67. Герасимов И. П. Советская конструктивная география: задачи, подходы, результаты. – Москва : Наука, 1976. – 208 с.
68. Глобальный атлас возобновляемых источников энергии. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.irena.org/globalatlas/>
69. Гоголев Г. А. Urban Environmental Accords как общий план экологического развития городов // Экология урбанизированных территорий. – 2007. – № 4. – С. 16–29.
70. Гоголев Г. А. Международный опыт использования возобновляемых источников энергии как решение некоторых проблем устойчивого развития: опыт Дании. – Москва : Тов-во науч. изданий КМК, 2009. – 320 с. – (Устойчивое развитие: проблемы и перспективы ; т. 4.)
71. Гоголев Г. А. Эколого-географические основы использования возобновляемых источников энергии в Российской Федерации : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 25.00.36. – Москва, 2008. – 20 с.
72. Гоголев Г. А. Перспективы изучения и развития использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в Российской Федерации // Проблеми розвитку наук про Землю в баченні молодих науковців : матеріали міжнар. наук. конф., Київ, 29–30 травня 2008 р. / НАН України, Ін-т географії. – Киев : Реферат, 2008. – С. 44.

73. Головки В. М., Душина Г. П. Визначення енергетичних характеристик режиму вітру для автономних систем // Відновлювана енергетика. – 2005. – № 2. – С. 45–52.
74. Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю., Ильина О. И. и др. Потенциал использования солнечной энергетики на территории Большой Феодосии // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 11. – С. 63–72.
75. Горбунова Т. Ю., Гапон С. В., Горбунов Р. В. Картографирование типов наземных покровов субсредиземноморских низкогорных ландшафтов средствами геоматики (на примере Юго-Восточного Крыма) // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2017. – Т. 25, № 1. – С. 104–115.
76. Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В. Ветроэнергетический потенциал территории Юго-Восточного Крыма // В. И. Вернадский и глобальные проблемы современной цивилизации : тез. Междунар. конф., 23–25 апреля 2013 г. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2013. – С. 143.
77. Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В. Изучение ресурсных возможностей и ландшафтных ограничений использования солнечной энергетики на примере Юго-Восточного Крыма // Возобновляемые источники энергии : материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием и X Научной молодежной шк., Москва, 10–13 октября 2016 г. – Москва : Университетская книга, 2016. – С. 72–79.
78. Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В. Изученность солнечного энергетического потенциала Крымского полуострова // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2017. – № 7–9 (219–221). – С. 12–20. <https://doi.org/10.15518/isjaee.2017.07-09.012-020>
79. Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В. Картографирование эстетической ценности ландшафтов Юго-Восточного Крыма // Международный год карт в России: объединяя пространство и время : сб. тез. Всерос. науч. конф., Москва, Российская государственная библиотека, 25–28 октября 2016 г. – Москва : Географический факультет МГУ, 2016. – С. 70–71.

80. Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В., Ключкина А. А. Оценка пейзажно-эстетической ценности ландшафтов Юго-Восточного Крыма // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. – 2017. – Т. 3 (69), № 2. – С. 236–248.
81. Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В. Подходы к оценке теоретического и технического потенциалов территории для возможности внедрения систем солнечной энергетики (на примере территории Юго-Восточного Крыма) // Возобновляемые источники энергии : материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием и IX Научной молодёжной шк. – Москва : Университетская книга, 2014. – С. 128–134.
82. Горбунова Т. Ю. Изученность потенциала ветровой энергетики Крымского полуострова // Геология, география и глобальная энергия. – 2017. – № 3 (66). – С. 147–161.
83. Горбунова Т. Ю. Ландшафтный потенциал Юго-Восточного Крыма для использования солнечно энергетических установок // Ландшафтознание: стан, проблеми, перспективи : матеріали міжнар. наук. конф., 24–27 вересня 2014 р., Львів – Ворохта. – Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2014. – С. 139–140.
84. Горбунова Т. Ю. Некоторые аспекты оценки потенциала территории Юго-Восточного Крыма для использования систем ветровой энергетики // Управление природопользованием и экологическая безопасность регионов : сб. материалов науч.-практ. семинара для стипендиатов Фонда имени В. И. Вернадского. – Москва, 2015. – С. 38–45.
85. Горбунова Т. Ю. Оценка территории Юго-Восточного Крыма для использования систем солнечной энергетики // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2015. – Т. 1 (11), вып. 4. – С. 49–59.
86. Горбунова Т. Ю. Учет ландшафтных и социальных особенностей при оценке солнечного и ветрового потенциала курортно-рекреационных территорий // Возобновляемая энергетика – XXI век: энергетическая и экономическая эффективность. REENCON-2015 : материалы Междунар. конгресса, 27–28

- октября 2015 г. / под ред. Д. О. Дуникова, О. С. Попеля, С. П. Филиппова. – Москва : ОИВТ РАН – ВШЭ, 2015. – С. 369–372.
87. Горшков В. Г. Энергетика биосферы и устойчивость состояния окружающей среды // Итоги науки и техники. Сер. Теоретические и общие вопросы географии. – 1990. – Т. 7. – 238 с.
88. Гродзинский М. Д. Устойчивость геосистем к антропогенным воздействиям. – Киев : Ликей, 1995. – 233 с.
89. Гродзинський М. Д. Ландшафтна екологія. – Киев : Знання, 2014. – 550 с.
90. Гродзинський М. Д. Пізнання ландшафту: місце і простір. – Киев : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. – Т. 1. – 431 с.
91. Гродзинський М. Д. Пізнання ландшафту: місце і простір. – Киев : Видавничо-поліграфічний центр «Київський університет», 2005. – Т. 2. – 503 с.
92. Давидович О. М. О зависимости между суммами прямой солнечной радиации на перпендикулярную к лучам поверхность и суммами ее на горизонтальную поверхность // Метеорология и гидрология. – 1938. – № 7. – С. 3–7.
93. Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С., Рейф И. Е. Перед главным вызовом цивилизации. Взгляд из России // Зеленый мир. – 2006. – № 19–20. – С. 134–137.
94. Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Экологический вызов и устойчивое развитие. – Москва : Прогресс-традиция, 2000. – 416 с.
95. Дегтерев А. Х., Мордашев В. И. Изменение суммарной солнечной радиации в Крыму // Вестник СевГТУ. Серия: Механика, энергетика, экология. – 2002. – № 42. – С. 41–44.
96. Дидух Я. П., Шелях-Сосонко Ю. Р. Карадагский государственный заповедник. Растительный мир. – Киев : Наукова думка, 1982. – 151 с.
97. Дирин Д. А. Пейзажно-эстетические ресурсы горных территорий: оценка, рациональное использование и охрана (на примере Усть-Коксинского района Республики Алтай). – Барнаул : Изд-во Азбука, 2005. – 260 с.
98. Дмитренко Л. В., Барандіч С. Л. Вітроенергетичні ресурси в Україні // Наукові праці УкрНДГМІ. – 2007. – Вип. 256. – С. 166–173.

99. Дмитренко Л. В. Геліо- та вітроенергетичні ресурси // Клімат України. – Киев : Вид-во Раєвського, 2003. – С. 267–279.
100. Драган Н. А. Почвенные ресурсы Крыма. – Симферополь : ДОЛЯ, 2004. – 208 с.
101. Дьяконов К. Н., Аношко В. С. Мелиоративная география. – Москва : Изд-во Моск. ун-та, 1995. – 254 с.
102. Дьяконов К. Н., Дончева А. В. Экологическое проектирование и экспертиза. – Москва : Аспект-Пресс, 2002. – 384 с.
103. Егорченко Т. И. Ресурсное обеспечение энергетической безопасности Крыма // Наукові праці Південного філіалу Національного університету біоресурсів і природокористування України «Кримський агротехнологічний університет». Економічні науки. – 2012. – Вып. 147. – С. 209–215.
104. Ена В. Г. Физико-географическое районирование Крымского полуострова // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 1960. – № 2. – С. 33–43.
105. Ена В. Г., Ена Ал. В., Ена Ан. В. Заповедные ландшафты Тавриды. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2013. – 428 с.
106. Ефимов В. В., Робустова Р. С., Шокуров М. В., Барабанов В. С. Атлас ветропотенциала Крымского региона. – Севастополь : НПЦ «ЭКОСИ-Гидрофизика», 2009. – 46 с.
107. Ефимов В. В., Барабанов В. С., Шокуров М. В. и др. Численное моделирование ветрового энергopotенциала Украины // Відновлювана енергетика. – 2010. – № 1. – С. 44–50.
108. Зайфрид Д. Энергия: веские аргументы. – Киев : Эхо-Восток, 1994. – 154 с.
109. Закон Республики Беларусь «Об энергосбережении» от 08.01.2015 № 239-З. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://minenergo.gov.by/dfiles/000437_303862__ob_energoberezhennii_2015.pdf
110. Закон Республики Казахстан «Об энергосбережении и повышении энергоэффективности» от 28.12.2016 № 541-IV. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://adilet.zan.kz/rus/docs/Z1200000541>

111. Закон України «Про енергозбереження» // Верховна Рада України. – Киев : Відомості Верховної Ради України, 1994. – № 30. – Ст. 283.
112. Иванов Е. С., Кочуров Б. И., Черная В. В. Экологическое ресурсоведение : учебное пособие / под ред. Ю. А. Можайского. – Москва : Ленанд, 2014. – 512 с.
113. Ильина О. И., Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В. Перспективы использования систем возобновляемой энергетики на территории Большой Феодосии // Бранта : сб. науч. тр. Азово-Черноморской орнитологической станции. – 2014. – Вып. 17. Спец. вып. – С. 143–152.
114. Информационно-географическое обеспечение планирования стратегического развития Крыма / под ред. Н. В. Багрова, В. А. Бокова, С. А. Карпенко. – Симферополь : ДиАйПи, 2006. – 188 с.
115. Исаченко А. Г. Введение в экологическую географию : учебное пособие. – СПб. : Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2003. – 192 с.
116. Исаченко А. Г. Методы прикладных ландшафтных исследований. – Ленинград : Наука, 1980. – 224 с.
117. Каргашин П. Е., Новаковский Б. А., Киселева С. В. и др. База пространственных данных для решения задач проектирования объектов возобновляемой энергетики // Геоинформатика. – 2015. – № 4. – С. 2–9.
118. Карпов В. П., Хазановский П. М. Тысячелетия энергетики. – Москва : Знание, 1984. – 240 с.
119. Келлер М. В. Энергетические ресурсы ветра и его использование // Плановое хозяйство. – 1929. – № 8. – С. 243–256.
120. Кизевальтер Д. С., Муратов М. В. Длительное развитие геосинклинальных складчатых структур Восточного Крыма // Известия АН СССР. Сер. геол. – 1959. – № 5. – С. 16–34.
121. Кирюшин В. И. Структурно-функциональный анализ ландшафта как основа территориального планирования // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития : материалы XII Междунар. ландшафтной конф., Тюмень – Тобольск,

- 22–25 августа 2017 г. : в 3 т. / отв. ред. К. Н. Дьяконов ; Мин-во образования и науки РФ ; Тюменский гос. ун-т ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова ; Русское географ. о-во. – Тюмень : Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2017. – Т. 1. – С. 36–39.
122. Киселева С. В., Попель О. С., Фрид С. Е. О возможности использования дистанционных методов для оценки потенциала солнечной и ветровой энергии // Вестник Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности. – 2008. – Т. 13, № 3. – С. 134–142.
123. Киселева С. В., Рафикова Ю. Ю. Использование климатических баз данных для оценки природно-ресурсного и технического потенциала ветровой энергии // Вестник аграрной науки Дона (Ростов-на-Дону). – 2010. – № 1. – С. 27–32.
124. Киселева С. В., Горбунова Т. Ю. Исследование ресурсных возможностей развития ветроэнергетики с учетом физико-географических ограничений и особенностей природопользования (на примере Юго-Восточного Крыма) // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2016. – № 1–2 (189–190). – С. 12–24.
125. Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма / под ред. К. Т. Логвинова, М. Б. Барабаш. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1982. – 318 с.
126. Климатический атлас Крыма / под ред. И. П. Ведя. – Симферополь : Таврия-Плюс, 2000. – 120 с.
127. Клименко В. В., Снытин С. Ю., Федоров М. В. Энергетика и предстоящее изменение климата в 1990–2020 гг. // Теплоэнергетика. – 1990. – № 6. – С. 14–20.
128. Клімат України / под ред. В. М. Ліпінського [и др.]. – Киев : Вид-во Раєвського, 2003. – 343 с.
129. Козин В. В., Идрисов И. Р., Маршинин А. В., и др. Ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования в нефтегазопромысловых районах Западной Сибири // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития : материалы XII Междунар. ландшафтной конф., Тюмень – Тобольск, 22–25

- августа 2017 г. : в 3 т. / отв. ред. К. Н. Дьяконов ; Мин-во образования и науки РФ ; Тюменский гос. ун-т ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова ; Русское географ. о-во. – Тюмень : Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2017. – Т. 2. – С. 435–438.
130. Коммонер Б. Замыкающийся круг. Природа, человек, технологии. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1974. – 367 с.
131. Комплексная программа энергосбережения в Автономной Республике Крым до 2010 года / С. А. Кибовский, С. К. Петрук, В. А. Сафонов и др. // Приложение к сборнику «Вопросы развития Крыма». – Симферополь : Таврия, 1998. – 164 с.
132. Кондратьев К. Я., Пивоварова З. И., Федорова М. П. Радиационный режим наклонных поверхностей. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1978. – 216 с.
133. Котляков В. М. Проблема устойчивого развития природы и общества на этапе переходной экономики // Географические аспекты проблемы перехода к устойчивому развитию стран СНГ. – Москва : МААН, 1999. – С. 9–14.
134. Кочуров Б. И., Шишкина Д. Ю., Антипова А. В., Костовска С. К. Геоэкологическое картографирование : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / под ред. Б. И. Кочурова ; 2-е изд. – Москва : Издат. центр «Академия», 2012. – 224 с.
135. Кочуров Б. И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс. – Москва ; Смоленск : СГУ, 1999. – 154 с.
136. Кочуров Б. И., Лобковский В. А., Смирнов А. Я. Эффективность и культура природопользования. – Москва : ООО «РУСАЙНС», 2018. – 162 с.
137. Красовский Н. В. Использование энергии ветра для целей электрификации // Доклады IX Всесоюзного электротехнического съезда. – [Москва], 1936. – С. 1–36.
138. Красовский Н. В. Как использовать энергию ветра. – Москва ; Ленинград : Объедин. науч.-техн. изд-во, Главная редакция энергет. лит-ры, 1936. – 170 с.

139. Красовский Н. В., Сабинин Г. Х. Проблема использования энергии ветра // Труды Центрального аэрогидродинамического института. – 1923. – Вып. 2. – С. 1–21.
140. Красовский Н. В. Использование энергии ветра в народном хозяйстве СССР. – Ленинград : Полиграфкнига, 1934. – 20 с.
141. Красовский Н. В. О перспективах использования энергии ветра // Доклад на II Съезде по изучению производительных сил Крымской АССР. Симферополь : Крымполиграфтреста, 1932. – 16 с.
142. Круглов І. С., Божук Т. І. Геоєкологічна інтерпретація рослинного покриву Українського Мармарошу за космічним зображенням ASTER VNIR // Вісник геодезії та картографії. – 2004. – № 3 (34). – С. 48–52.
143. Кувшинов В. В. Перспективы развития солнечной энергетики в Крыму // Збірник наукових праць Севастопольського національного університету ядерної енергії та промисловості. – Севастополь, 2013. – Вип. 1. – С. 180–185.
144. Кувшинов В. В., Сафонов В. А. Некоторые результаты исследования комбинированной установки для фототермопреобразования солнечной энергии // Сборник трудов СНУЯЭиП. – 2009. – № 3. – С. 158–163.
145. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії. – Киев : НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
146. Кузнецов О. Л., Кузнецов П. Г., Большаков Б. Е. Система природа – общество – человек. Устойчивое развитие. – Дубна, 2000. – 392 с.
147. Кучин Б. Л., Якушева Е. В. Управление развитием экономических систем: технический прогресс, устойчивость. – Москва : Экономика, 1990. – 117 с.
148. Ландшафтно-геофизические условия произрастания лесов юго-восточной части горного Крыма / под ред. В. А. Бокова. – Симферополь : Таврия-Плюс, 2001. – 136 с.
149. Лосев К. С. Климат вчера, сегодня... и завтра? – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 176 с.

150. Лычак А. И. Некоторые аспекты разработки методики оценки геоэкологических ситуаций в Крыму на ландшафтной основе // Культура народов Причерноморья. – 1998. – № 5. – С. 398–399.
151. Лычак А. И., Бобра Т. В. Новые подходы к геоэкологическому анализу и прогнозу антропогенной трансформации ландшафтов Крыма // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: География. – 2012. – Т. 25 (64), № 1. – С. 146–154.
152. Мазинов А. С., Бекиров Э. А. Фотоэлектрические преобразователи и системы // Солнечная энергетика для устойчивого развития Крыма. – Симферополь : ДОЛЯ, 2009. – С. 120–137.
153. Макаровский Е. Л. Энергетический потенциал нетрадиционных и возобновляемых источников энергии Украины // Интегрированные технологии и энергосбережение. – 2004. – № 3. – С. 75–82.
154. Малеев В. П. Растительность Южного Крыма // Труды Никитского ботанического сада. – 1948. – Т. 25, вып. 1–2. – С. 29–48.
155. Маркина И. А. Определение оптимального соотношения ресурсов как элемент ресурсосбережения // Экономика Крыма. – 2011. – № 4 (37). – С. 8–11.
156. Микроклимат СССР / под ред. И. А. Гольцберг. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1967. – 285 с.
157. Миллер Т. Жизнь в окружающей среде. – Москва : Галактика, 1990. – Т. 1. – 352 с.
158. Михно В. Б. Ландшафтно-мелиоративное проектирование и вопросы оптимизации природной среды // Ландшафтоведение: теория, методы, ландшафтно-экологическое обеспечение природопользования и устойчивого развития : материалы XII Международной ландшафтной конференции, Тюмень – Тобольск, 22–25 августа 2017 г. : в 3 т. / отв. ред. К. Н. Дьяконов ; Мин-во образования и науки РФ ; Тюменский гос. ун-т ; Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова ; Русское географ. о-во. – Тюмень : Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2017. – Т. 2. – С. 76–79.

159. Моисеев Н. Н. Биосфера. Эволюция, пространство, время. – Москва : Прогресс, 2012. – 464 с.
160. Моисеев Н. Н. Человек и биосфера. – Москва : Молодая гвардия, 1995. – 302 с.
161. Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития. – Москва : Наука, 1987. – 304 с.
162. Моисеев Н. Н. Модели экологии и эволюции. – Москва : Знание, 1983. – 64 с.
163. Моисеев Н. Н. Пути к созиданию. – Москва : Республика, 1992. – 255 с.
164. Моисеев Н. Н. Слово о научно-технической революции. – Москва : Молодая гвардия, 1978. – 222 с.
165. Моисеев Н. Н. Человек и ноосфера. – Москва : Молодая гвардия, 1990. – 351 с.
166. Муратов М. В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. – Москва : ГОНТИ, 1960. – 208 с.
167. Мхитярян Н. М. Енергетика нетрадиційних і відновлювальних джерел. Дослід і перспективи. – Киев : Наукова думка, 1999. – 320 с.
168. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Ч. 1–6. Вып. 10: Украинская ССР. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1990.
169. Нгуен Тхань Луонг. Некоторые характеристики климата Крыма и их значение для прикладных целей : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.33. – Одесса, 1976. – 26 с.
170. Небел Б. Наука об окружающей среде. Как устроен мир. – Москва : Мир, 1993. – Т. 2. – 330 с.
171. Нееф Э. Теоретические основы ландшафтоведения. – Москва : Прогресс, 1974. – 220 с.
172. Николаев В. Г. Ресурсное и технико-экономическое обоснование широкомасштабного развития ветроэнергетики в России. – Москва : Атмограф, 2011. – 501 с.
173. Никольченко Ю. Н., Сухова М. Г. Ветроэнергетический потенциал Алтайского края как составляющая устойчивого развития региона // Вестник

- Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18, № 2. – С. 663–667.
174. Никольченко Ю. Н., Сухова М. Г. Энергоклиматические ресурсы Алтая // Алтай – Россия: через века в будущее : материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 260-летию добровольного вхождения алтайского народа в состав Российского государства и 25-летию образования Республики Алтай, 09–12 июня 2016 г. – Горно-Алтайск : РИО Горно-Алтайского гос. ун-та, 2016. – Т. 2. – С. 124–127.
175. Новаковский Б. А., Прасолова А. И., Киселева С. В., Рафикова Ю. Ю. Картографирование ресурсов возобновляемых источников энергии (на примере энергии ветра) // Геодезия и картография. – 2012. – № 11. – С. 31–39.
176. Носкова Е. В. Оценка ветроэнергетического потенциала на территории Забайкальского края // Вестник Забайкальского государственного университета. – 2015. – № 7 (122). – С. 12–19.
177. Носкова Е. В. Природный гелиоэнергетический потенциал Забайкальского края // Географический вестник. – 2017. – № 4 (43). – С. 105–112.
178. Об утверждении Энергетической стратегии России на период до 2020 года (с изменениями на 15 июня 2009 г.) (утратило силу на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р) // Собрание законодательства РФ, 06.12.2009, № 9, ст. 1029. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901872984>
179. Обзор возможностей для внедрения возобновляемой энергетики в Российской Федерации / под ред. Н. В. Хильченко ; Южно-Уральский государственный университет. – Москва ; Екатеринбург, 2013. – 22 с.
180. Область солнечного излучения (Area Solar Radiation) (Spatial Analyst) // Справка ArcGIS 10.1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/index.html#/na/009z000000t5000000/>
181. Общая теория систем / под ред. А. М. Иванова, В. П. Петрова, И. С. Сидорова, К. А. Козлова. – Спб. : Научная мысль, 2005. – 480 с.

182. Объем суммарного фактического потребления электрической энергии в субъекте РФ // «Администратор торговой системы оптового рынка электроэнергии». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.atsenergo.ru/results/market/fact_region
183. Одум Г., Одум Э. Энергетический базис человека и природы. – Москва : Прогресс, 1978. – 380 с.
184. Ожегова Л. А. Пространственные особенности развития солнечной энергетики: глобальный и региональный аспекты // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Серия: География. – 2014. – Т. 27 (66), № 1. – С. 68–82.
185. Отмывка (Hillshade) (Spatial Analyst) // Справка ArcGIS 10.1. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/index.html#/na/009z000000v0000000/>
186. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка инновационной стратегии развития региона на базе возобновляемых источников энергии, ресурсо- и энергосбережения» / под ред. А. И. Башты, В. А. Бокова, В. О. Смирнова. – Симферополь : Крымский научный центр НАН Украины, 2013. – 610 с.
187. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка системной и картографической модели социоэкополиса на территории Щebetовского поселкового совета». – Симферополь : СГУ, 1995. – 125 с.
188. Павлова Н. Н. Физическая география Крыма. – Ленинград : Изд-во Ленинград. ун-та, 1964. – 104 с.
189. Паспорт федеральной целевой программы «Социально-экономическое развитие Республики Крым и г. Севастополя до 2020 г.» (утверждён постановлением Правительства Российской Федерации от 11 августа 2014 г. № 790). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://government.ru/media/files/41d4fa3a896280aaadfa.pdf>
190. Пасынков А. А., Вахрушев Б. А. Активизация карстовых процессов в пределах разрывных структур природных и урбанизированных территорий

- Горного и Предгорного Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия: География. Геология. – 2017. – Т. 3 (69), № 1. – С. 192–204.
191. Паштецкий В. С. Научные основы оптимизации агроландшафтов и эффективного аграрного производства Республики Крым. – Симферополь : ИТ «АРИАЛ», 2015. – 276 с.
192. Перспективы развития альтернативной энергетики и её воздействие на окружающую среду / В. В. Алексеев, Н. А. Рустамов, К. В. Чекарев, Л. А. Ковешников. – Москва ; Кацивели : МГУ, 1999. – 152 с.
193. Пивоварова З. И., Стадник В. В. Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – 292 с.
194. Погода в 243 странах мира. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rp5.ru>
195. Подгородецкий П. Д. Крым. Природа. – Симферополь : Таврия, 1988. – 192 с.
196. Подсолонко В. А. Инновационная стратегия развития экономики в Крыму и Украине // Ученые записки ТНУ им. В. И. Вернадского. – 2008. – Т. 21 (60), № 1. – С. 186–202.
197. Позаченюк Е. А. Введение в геоэкологическую экспертизу. Междисциплинарный подход, функциональные типы, объектные ориентации. – Симферополь : Таврия, 1999. – 413 с.
198. Позаченюк Е. А., Горбунова Т. Ю. Теоретико-методологические подходы к оценке ландшафтного потенциала территории для использования системами возобновляемой энергетики // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2018. – Т. 4 (14), вып. 4. – С. 69–81.
199. Позаченюк Е. А. Ландшафтное разнообразие Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Серия: География. Геология. – 2015. – Т. 1, № 4. – С. 37–50.

200. Позаченюк Е. А. Территориальное планирование. – Симферополь : ДОЛЯ, 2003. – 256 с.
201. Позаченюк Е. А. Экологическая экспертиза: природно-хозяйственные системы. – Симферополь : Таврический экол. ин-т, 2006. – 473 с.
202. Позаченюк Е. А., Панкеева Т. В. Геоэкологическая экспертиза административных территорий (Большой Севастополь). – Симферополь : Бизнес-Информ, 2008. – 296 с.
203. Позаченюк Е. А., Панкеева Т. В. Оценка средообразующего потенциала лесов территории Большого Севастополя // Геополитические и географические проблемы Крыма в многовекторном измерении Украины : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 70-летию географ. фак-та, Симферополь, 20–22 мая, 2004 г. – Симферополь : ТНУ, 2004. – С. 245–247.
204. Позаченюк К. А., Горбунова Т. Ю., Горбунов Р. В. Аналіз ландшафтного потенціалу використання відновлювальної енергетики на території Південно-Східного Криму // Фізична географія та геоморфологія. – 2013. – Вип. 3 (71). – С. 177–186.
205. Попель О. С., Туманов В. Л. Возобновляемые источники энергии: состояние и перспективы развития // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. – 2007. – № 2 (46). – С. 135–148.
206. Преображенский В. С. Ландшафтные исследования. – Москва : Наука, 1966. – 128 с.
207. Преображенский В. С., Александрова Т. Д., Куприянова Т. П. Основы ландшафтного анализа. – Москва : Наука, 1988. – 192 с.
208. Приказ Минприроды России от 30.06.2015 № 300 Об утверждении методических указаний и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-30062015-n-300/>

209. Природа Восточного Крыма. Оценка биоразнообразия и разработка проекта локальной экологической сети / отв. ред. С. П. Иванов. – Киев, 2013. – 272 с.
210. Природа Украинской ССР. Климат / отв. ред. М. И. Щербань. – Киев : Наукова думка, 1984. – 232 с.
211. Программа энергосбережения в Автономной Республике Крым на 2010–2014 годы № 1569-5/10 от 17.02.2010. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/krym/show/rb1569002-10/page#n17>
212. Развитие альтернативной энергетики в мире и в России. 2015 год / Информационно-аналитическая служба АО «Корпорация «Развитие». Белгородская обл. – [Белгород], 2015. – Спецвыпуск. – 88 с.
213. Рамазанова З. У. Методи прогнозування вітрового енергетичного потенціалу регіону : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.08. – Киев, 2007. – 18 с.
214. Рамазанова З. У., Скульский К. А., Тучинский Б. Г. Методика и результаты долгосрочного прогнозирования ветрового энергетического потенциала территорий Крыма // Проблемы загальної енергетики. – 2005. – № 12. – С. 40–43.
215. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 № 1715-р «Энергетическая стратегия России на период до 2030 года» // Собрание законодательства РФ, 02.12.2009, № 9, ст. 1025. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/96681/>
216. Рафикова Ю. Ю. Геоинформационное картографирование ресурсов возобновляемых источников энергии (на примере Юга России) : автореф. дис. ... канд. географ. наук : 25.00.33 / Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова. – Москва, 2016. – 22 с.
217. Ресульева Н. Ш. Возобновляемая энергетика как приоритетное направление инновационного развития АР Крым // Культура народов Причерноморья. – 2011. – № 197, т. 2. – С. 52–54.
218. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6: Украина и Молдавия. Вып. 4. Крым. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1966. – 344 с.

219. Романова Е. Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. – Ленинград : Гидрометеоиздат, 1977. – 278 с.
220. Рубцов А. В. Факторы экономической эффективности развития солнечной энергетики // Строительство и техногенная безопасность. – 2006. – Вып. 15–16. – С. 175–181.
221. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, Минздрав России. Москва. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.standartov.ru/norma_doc/5/5212/
222. Смирнов В. О. Влияние условий затенения на распределение прямой солнечной радиации на территории заповедника «Мыс Мартьян» // Культура народов Причерноморья. – 2009. – № 164. – С. 168–171.
223. Смирнов В. О. Алгоритмизация выделения местоположений и расчета ландшафтно-геофизических параметров на различных пространственных уровнях как элемент диагностики в исследовании ландшафтов // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2015. – Т. 11, № 1 (14). – С. 62–71.
224. Смирнов В. О. Некоторые аспекты фитоактинометрических исследований в лесах заповедника «Мыс Мартьян» // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2012. – Т. 8, № 1–2. – С. 104–109.
225. Смирнов В. О., Башта А. И. Региональные условия развития возобновляемых источников энергии и энергосбережения Крыма // Экономика Крыма. – 2010. – № 4 (33). – С. 108–110.
226. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий : монография // науч. ред. Е. А. Позаченюк. – Симферополь : Бизнес-Информ, 2009. – 672 с.
227. Солнечная энергетика в Крыму : метод. пособие / под ред. В. А. Бокова, В. У. Стоянова. – Киев ; Симферополь, 2008. – 201 с.
228. Солнечная энергетика для устойчивого развития Крыма / под ред. Н. В. Багрова. – Симферополь : ДОЛЯ, 2009. – 294 с.
229. Соцкова Л. М. Управление ландшафтами. – Симферополь : ДОЛЯ, 2012. – 360 с.

230. Справочник по климату СССР. Вып. 10. Украинская ССР. Ч. 1. Солнечная радиация. Радиационный баланс и солнечное сияние. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1966. – 126 с.
231. Справочник ресурсов возобновляемых источников энергии России и местных видов топлива. Показатели по территориям. [Электронный ресурс] / П. П. Безруких, В. В. Дегтярев, В. В. Елистратов и др. Москва : Энергия, Ин-т энергетической стратегии, 2007. — 272 с. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/3686.html>
232. Стратегия развития нетрадиционных источников энергии. – Симферополь : СМ АРК, 1999. – Т. 4: Разработка плана развития энергетики АРК: проект ЕНУК 9701. – 469 с.
233. Стратегия социально-экономического развития Автономной Республики Крым на 2011–2020 гг., утверждена Постановлением Верховной Рады Автономной Республики Крым № 121-6/10 от 22 декабря 2010 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.minek-crimea.gov.ua/files/file/strategy.pdf>
234. Стратегия социально-экономического развития Республики Крым до 2030 года (утверждена Законом Республики Крым № 352-ЗРК/2017 от 09 января 2017 г.) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://crimea.gov.ru/textdoc/ru/7/act/352z.pdf>
235. Стратегія енергозбереження в Україні: аналітично-довідкові матеріали в 2 томах: загальні засади енергозбереження / за ред. В. А. Жовтянського, М. М. Кулика, Б. С. Стогнія. – Киев : Академперіодика, 2006. – Т. 1. – 510 с.
236. Стребков Д. С., Муругов В. П. Энергосбережение и возобновляемые источники энергии // Вестник сельскохозяйственных наук. – 1991. – № 2 (413). – С. 117–125.
237. Талецкий С. Н. Основные направления практического освоения теплоэнергетических вод в Крыму в ближайший период // Нетрадиционная энергетика в XXI веке : науч. сб. II Междунар. конф., 17–22 сент. 2001 г., г. Ялта. – Киев : ИТТФ НАНУ, 2001. – С. 46–48.

238. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Крым. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://crimea.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/crimea/ru/
239. Тетиор А. Н. Индивидуальный дом. – Симферополь : Таврия-Плюс, 2004. – 232 с.
240. Тетиор А. Н. Устойчивое развитие. Устойчивое проектирование и строительство. – Москва : РЭФИА, 1998. – 310 с.
241. Трансформация водного баланса в Крыму в XX веке – начале XXI века / под ред. В. А. Бокова. – Симферополь : Крымский научный центр, 2011. – 227 с.
242. Трансформация ландшафтно-экологических процессов в Крыму в XX веке – начале XXI века / под ред. В. А. Бокова. – Симферополь : ДОЛЯ, 2010. – 304 с.
243. Туристско-рекреационные паспорта городских округов и районов Республики Крым и города Севастополя / под ред. И. М. Яковенко. – Симферополь : Ариал, 2017. – 286 с.
244. Туристско-рекреационный потенциал Республики Крым и г. Севастополь / под ред. И. М. Яковенко. – Симферополь : Ариал, 2015. – 408 с.
245. Устойчивое развитие – стратегия развития Крыма в XXI веке / В. А. Боков, В. Г. Ена, С. А. Ефимов и др. – Симферополь, 2000. – 80 с.
246. Устойчивый Крым. Энергетическая стратегия XXI века / под ред. В. А. Бокова. – Симферополь : Экология и мир, 2001. – 400 с.
247. Федеральная государственная информационная система территориального планирования. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://fgis.economy.gov.ru/fgis/>
248. Федеральное государственное бюджетное учреждение Российское энергетическое агентство Министерства энергетики Российской Федерации. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rosenergo.gov.ru>
249. Федеральный закон от 26.03.2003 № 35-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об электроэнергетике». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_41502/

250. Федосенко Л. П., Денисенко О. Г., Маргалик С. В. Математическое моделирование и методы оценки ресурсов ветровой энергетики в УССР. – Киев : ИЭД, 1989. – 31 с.
251. Федосенко Л. П., Денисенко О. Г., Кудря С. А., Маргалик С. В. Математическое моделирование и методы оценки энергии солнечной радиации в УССР. – Киев : Ин-т электродинамики АН УССР, 1989. – 33 с.
252. Хорошев А. В. Полимасштабная организация географического ландшафта. – Москва : Тов-во науч. изд. КМК, 2016. – 416 с.
253. Худаев Д. В. Динамика потребления энергоресурсов на региональном уровне. Проблемы стабилизации и экономического развития // Вестник Харьковского государственного университета. – 1998. – № 404. – Ч. 3. – С. 25–28.
254. Цёхла С. Ю., Башта А. И. Экономические основы энергосбережения в рекреационной системе. – Симферополь : Крымский научный центр НАН Украины и МОН Украины, 2013. – 325 с.
255. Цехла С. Ю., Башта А. И. Инновационное развитие рекреационных объектов на базе энергосбережения // Розвиток туристичного бізнесу : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 17–19 бер. 2011 р., м. Донецьк. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2011. – С. 167–169.
256. Цехла С. Ю., Башта А. И. Использование экологических подходов в энергосбережении // Розвиток екологічної економіки й освіти в Україні і в світі : зб. матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Київ, 25 лист. 2011 р. – Киев : Нац. ун-т ім. Т. Шевченка, 2011. – С. 47–50.
257. Шарафутдинов В. Н., Яковенко И. М., Позаченюк Е. А., Онищенко Е. В. Крым: новый вектор развития туризма в России. – Москва : ООО «ИНФРА-М», 2017. – 364 с.
258. Шеер Г. Восход солнца в мировой экономике. Стратегия экологической модернизации. – Москва : Тайдекс Ко, 2002. – 320 с.

259. Шуткин О. И. Эколого-экономическая оценка конкурентоспособности проектов солнечной энергетики в Российской Федерации : дис. ... канд. эконом. наук : 08.00.05. – Москва, 2014. – 171 с.
260. Экология Крыма: справочное пособие / под ред. Н. В. Багрова, В. А. Бокова. – Симферополь : Крымучпедгиз, 2003. – 255 с.
261. Экономика энергетики : учебное пособие для вузов / Н. Д. Рогалев, А. Д. Зубкова, И. А. Мастерова и др. ; под ред. Н. Д. Рогалева. – Москва : Изд-во МЭИ, 2005. – 288 с.
262. Энергетический потенциал Украины. Исследование. – Киев : Центр социальных исследований «София», 2007. – 49 с.
263. 40 Years of Advanced Energy Innovation. [Electronic resource]. – Available at: <http://www.nrel.gov/gis/about.html>
264. Berberoglu S., Lloyd C. D., Atkinson P. M., Curran P. J. The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean // *Computers & Geosciences*. – 2000. – Vol. 26, iss. 4. – P. 385–396.
265. Bertalanfy L. von. An outline of general system theory // *British Journal for the Philosophy of Science*. – 1950. – Vol. 1, iss. 2. – P. 134–165. <https://doi.org/10.1093/bjps/I.2.134>
266. Blaschke T., Lang S., Lorup E., Strobl J., Zeil P. Object-oriented image processing in an integrated GIS/remote sensing environment and perspectives for environmental applications // *Environmental Information for Planning, Politics and the Public*. – 2000. – Vol. 2. – P. 555–570.
267. Bloomberg New Energy Finance. China's 12GW solar market outstripped all expectations in 2013. – BNEF, 2014. – Available at: <http://about.bnef.com/press-releases/chinas-12gw-solar-marketoutstripped-all-expectations-in-2013>
268. Bobek H., Schmithusen J. Die Landschaft im logischen System der Geographie // *Erdkunde*. – 1949. – Bd. 3. – S. 112–120.

269. Bostan I., Gheorghe A. V., Dulgheru V., Sobor I., Bostan V., Sochirean A. Sisteme de conversie a energiilor regenerabile. – Ch. : “Tehnica-Info”, 2007. – 592 p.
270. Bostan I., Gheorghe A. V., Dulgheru V., Sobor I., Bostan V., Sochirean A. Resilient Energy Systems. Renewables: Wind, Solar, Hydro. – Dordrecht : Springer Science+Business Media B. V., 2013. – 517 p. – <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4189-8>
271. Commission of the European Communities. ExternE: Externalities of Energy. Vol. 1–6. – Luxembourg : Office for Official Publications of the European Communities, 1995.
272. Commoner B. The Closing Circle: Nature, Man, and Technology. – New York : Knopf, 1971. – 339 p.
273. Commoner B. The Poverty of Power: Energy and the Economic Crisis. – New York : Random House, 1976. – 297 p.
274. Cooper B-Line. Solar Power Panel Orientation: Landscape vs. Portrait. [Electronic resource]. – Available at: <http://www.cooperindustries.com/content/dam/public/bline/Markets/Solar/Resources/Panel-Orientation-Landscape-vs-Portrait.pdf>
275. European Photovoltaic Industry Association. Grid Integration Cost of Photovoltaic Power Generation // EPIA. – 2013. – Available at: http://www.pvparity.eu/fileadmin/PVPARITY_docs/public/PV_PARITY_D44_Grid_integration_cost_of_PV_-_Final_300913.pdf
276. Eurostat. Renewable energy statistics in EU-27. – Available at: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/index.php/Renewable_energy_statistics
277. Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety. Renewable energies already provide more than 380,000 jobs in Germany. – Available at: <http://www.bmu.de/N48528-1/>
278. Fetisova Y. A., Ermolenko B. V., Ermolenko G. V., Kiseleva S. V. Determining the parameters of Weibull function to estimate the wind power potential in

- conditions of limited source meteorological data // *Thermal Engineering*. – 2017. – Vol. 64, iss. 4. – P. 251–257. <https://doi.org/10.1134/S0040601517040036>
279. Fisher P. F., Comber A., Wadsworth R. Land Use and Land Cover: Contradiction or Complement // Fisher P. F., Unwin D. J. (Eds). In *Representing GIS*. – London : John Wiley, 2005. – P. 85–98.
280. German Advisory Council on Global Change Report. *World in Transition: Towards Sustainable Energy Systems* // Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. – Available at: <https://www.wbgu.de/de/> (accessed 29.07.2019).
281. Gorbunova T. Algorithm of estimation of territories potential for using renewable energy systems (territory of Big Feodosia as an example) // *Geography, Culture and Society for Our Future Earth (IGU–2015) : Book of Abstracts of the International Geographical Union Regional Conference, 17–21 August, 2015, Moscow, Russia*. – [Moscow], 2015. – P. 668.
282. Gridasov M. V., Kiseleva S. V., Nefedova L. V., Popel' O. S., Frid S. E. Development of the geoinformation system “Renewable sources of Russia”: Statement of the problem and choice of solution methods // *Thermal Engineering*. 2011. – Vol. 58, iss. 11. – P. 924–931. – <https://doi.org/10.1134/S0040601511110073>
283. Hevel Solar. Производство солнечных модулей. [Electronic resource]. – Available at: <http://www.hevelsolar.com/modules/>
284. Jones R. G. Generating high resolution climate change scenarios using PRECIS / R. G. Jones, M. Noguer, D. S. Hassel, D. Hudgon, S. S. Wilson, G. J. Jenkins, J. F. Witchell. – Exeter, UK : Met. Office Hadley Centre, 2004. – 40 p.
285. Kargashin P. E., Prasolova A. I., Novakovsky B. A., Rafikova Yu. Yu., Gorbunov R. V., Gorbunova T. Y. Data processing as a critical part of GIS based mapping of renewable energy perspectives // *MATEC Web Conf.* –2018. – Vol. 178. – P. 09004-1–09004-6.
286. Meehan B. *Empowering electric and gas utilities with GIS*. – Redlands : ESRI Press, 2007. – 280 p.

287. NASA Surface Meteorology and Solar Energy. [Electronic resource]. – Available at: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/sse.cgi?skip@larc.nasa.gov>
288. Pozachenyuk E., Gorbunova T., Arseni L., Gorbunov R. Calculation of the electricity cost at the maximum possible use of wind potential in the South-Eastern Crimea // Географические и геоэкологические исследования в Украине и сопредельных территориях : сб. науч. ст. / под общ. ред. Б. А. Вахрушева. – Симферополь : ДИАЙПИ, 2013. – Т. 1. – С. 531–534.
289. REN21. Renewables 2016: Global Status Report. [Electronic resource]. – Available at: <http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-statusreport/renewables-2016-global-status-report/>
290. Renewable Energy – 3tier. [Electronic resource]. – Available at: <https://www.3tier.com/>
291. Renewable Energy and Its Impact on Rural Development and Sustainability in the UK; Report no. URN 03/886; ADAS Consulting for University of Newcastle : Newcastle, UK, 2003; p. 68. [Electronic resource]. – Available at: <http://seg.fsu.edu/Library/case%20of%20the%20UK.pdf>
292. Solar Home. Ваш солнечный дом. [Electronic resource]. – Available at: <http://www.solarhome.ru/basics/pv/techsolarpanels.htm>
293. Solargis. Available at: <http://solargis.info/imaps/>
294. Steele B. M. Combining multiple classifiers. An application using spatial and remotely sensed information for land cover type mapping // Remote Sensing of Environment. – 2000. – Vol. 74, iss. 3. – P. 545–556. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00145-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00145-0)
295. Surface Meteorology and Solar Energy. [Electronic resource]. – Available at: <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
296. Survey of Energy Resources Interim Update 2009 / World Energy Council. – London : Regency House, 2009. – 98 p.
297. Text of the European Landscape Convention in Russian. [Electronic resource]. – Available at: http://alaros.ru/dokumenty/evropejskaja_landshaftnaja_konvencija.pdf
298. VT Energy Atlas. [Electronic resource]. – Available at: www.vtenergyatlas.com

299. Wind turbine models. [Electronic resource]. – Available at: <http://en.windturbine-models.com/turbines/762-gamesa-g58>
300. World Energy Outlook 2004 / International Energy Agency. – Paris, 2005. – 577 p.
301. World Energy Outlook 2009 / International Energy Agency. – Paris, 2009. – 698 p.
302. World Radiation Data Centre. [Electronic resource]. – Available at: <http://wrdc.mgo.rssi.ru>

Легенда к ландшафтно-типологической карте Юго-Восточного Крыма

I. Пояс прибрежных недренированных низменностей, пляжей и кос с галофитными лугами, солончаками и сообществами псаммофитов.

1. Абразионно-денудационные недренированные низменности с галофитными лугами.

2. Озерно-западинный на абразионно-денудационной равнине, с галофитными лугами в комплексе с полынно-типчаковыми степями.

II. Пояс аккумулятивных и денудационных недренированных и слабодренированных низменностей с полынно-типчаковыми, полынно-житняковыми и ковыльно-типчаковыми степями.

3. Абразионно-денудационные слабодренированные равнины с полынно-типчаковыми, гейнальдиево-эгилопсовыми степями в комплексе с галофитными лугами.

III. Нижний денудационно-аккумулятивный ярус с ковыльно-типчаковыми, кустарниково-разнотравными и петрофитными степями.

4. Пологонаклонные аккумулятивно-денудационные лессовидные равнины с ковыльно-типчаковыми и ковыльно-разнотравными степями.

IV. Пояс бородачево-разнотравных и асфоделиново-разнотравных степей на аккумулятивных и денудационных равнинах.

5. Денудационно-останцовые и аккумулятивные равнины с ковыльно-типчаковыми степями.

V. Пояс лесостепи на останцово-денудационных, структурных денудационных и аккумулятивных равнинах, куэстовых возвышенностях.

6. Денудационные и аккумулятивные равнины с зарослями типа «дубки» в комплексе с кустарниковыми зарослями типа «шибляк» и разнотравными степями.

7. Денудационно-останцовые равнины с разнотравными степями, зарослями типа «дубки» и колючекустарниковыми зарослями типа «шибляк».

8. Денудационные мелкогорно-останцовые равнины с зарослями типа «дубки» и лесостепью.

VI. Пояс котловин и эрозионного низкогорья, дубовых, смешанных широколиственных и сосновых лесов.

9. Эрозионное мелкогорье с можжевельново-дубовыми лесами и кустарниковыми зарослями.

10. Эрозионное долинно-балочное низкогорье с дубовыми лесами и лесокустарниковыми зарослями.

11. Эрозионное массивное низкогорье с дубовыми и смешанными широколиственными лесами на склонах и парковой горно-луговой растительностью на водораздельных пространствах.

VII. Пояс среднегорно-склоновый, буковых, буково-грабовых, смешанных широколиственных лесов.

12. Массивное среднегорье с грабово-буковыми и смешанными широколиственными лесами на склонах и лугово-парковой растительностью на плоских вершинах.

VIII. Пояс лесных и лугово-лесостепных плато.

13. Денудационные сильно расчлененные плато с широким развитием карстовых форм с горно-луговой лесостепью.

14. Денудационные волнистые плато с широким развитием карстовых форм с горно-луговыми степями.

15. Денудационные волнистые плато с горно-луговыми степями.

IX. Пояс луговых и лугово-лесных плато.

16. Пологие седловины с горными лугами и участками грабовобуковых лесов.

17. Останцово-денудационные расчлененные плато с горными лугами.

X. Пояс низкогорно-склоновый дубовых и смешанных широколиственных лесов.

18. Эрозионный низкогорно-склоновый, межгорных котловин с дубовыми и смешанными широколиственными лесами.

19. Останцово-денудационные и аккумулятивные межгорные котловины с дубовыми лесами и лесостепью

20. Низкогорный ступенчато-склоновый с выходами коренных пород в виде скал, с дубовыми лесами, лесокустарниковыми зарослями, горно-луговыми и петрофитными степями.

21. Низкогорно-склоновый расчлененный долинами и балками со смешанными широколиственными и буково-грабовыми лесами.

22. Эрозионное, расчлененное балками, низкогорье с дубовыми лесами, лесокустарниковыми зарослями и парково-луговой растительностью на водораздельных пространствах.

23. Эрозионное долинно-балочное низкогорье с дубовыми и смешанными широколиственными лесами.

XI. Пояс среднегорно-склоновый, дубовых, сосновых и смешанных широколиственных лесов.

24. Среднегорно-склоновый, расчлененный оврагами и балками, с дубовыми и смешанными широколиственными лесами и лесокустарниковыми зарослями.

25. Среднегорно-склоновый, расчлененный балками, с лесокустарниковыми зарослями.

XII. Среднегорный пояс буковых и смешанных широколиственных лесов.

26. Среднегорный ступенчато-склоновый, с буковыми и смешанными широколиственными лесами.

27. Среднегорный ступенчато-склоновый, с выходами коренных пород в виде скал, с горными лугами и участками дубовых и смешанных широколиственных лесов.

XIII. Низкогорный пояс дубово-фисташковых, можжевельново-сосновых лесов и шибляковых зарослей.

28. Ступенчато-склоновое эрозионное низкогорье с широким развитием оползней, с фисташково-дубовыми и дубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

29. Ступенчато-склоновое эрозионное овражно-балочное низкогорье с широким развитием оползней, с фисташково-дубовыми и сосново-можжевельновыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

30. Эрозионное овражно-балочное низкогорье, с фисташководубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

31. Эрозионное низкогорье амфитеатров с сосново-можжевельновыми и дубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

32. Аллювиально-пролювиальные равнины и эрозионное овражнобалочное мелкогорье с фисташково-дубовыми и дубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

33. Эрозионное овражно-балочное низкогорье и мелкогорье с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

34. Эрозионное овражно-балочное мелкогорье с выходами коренных пород в виде скал с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

35. Эрозионное древневулканическое низкогорье с широким развитием скал с фисташково-дубовыми и дубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

36. Долинно-террасовый с фисташково-дубовыми и дубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и саванноидами.

XIV. Низкогорный пояс сосновых, дубовых и смешанных широколиственных лесов и шибляковых зарослей.

37. Эрозионное, овражно-балочное, ступенчато-склоновое низкогорье с дубовыми лесами и шибляковыми зарослями.

38. Останцово-денудационные и аккумулятивные равнины межгорных котловин с дубовыми лесами в комплексе с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

39. Останцово-денудационные овражно-балочные равнины с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

40. Эрозионное ступенчато-склоновое низкогорье с выходами коренных пород в виде скал с шибляковыми зарослями и фриганоидами.

41. Аллювиально-пролювиальные равнины и эрозионное овражнобалочное мелкогорье с дубовыми лесами и шибляковыми зарослями.

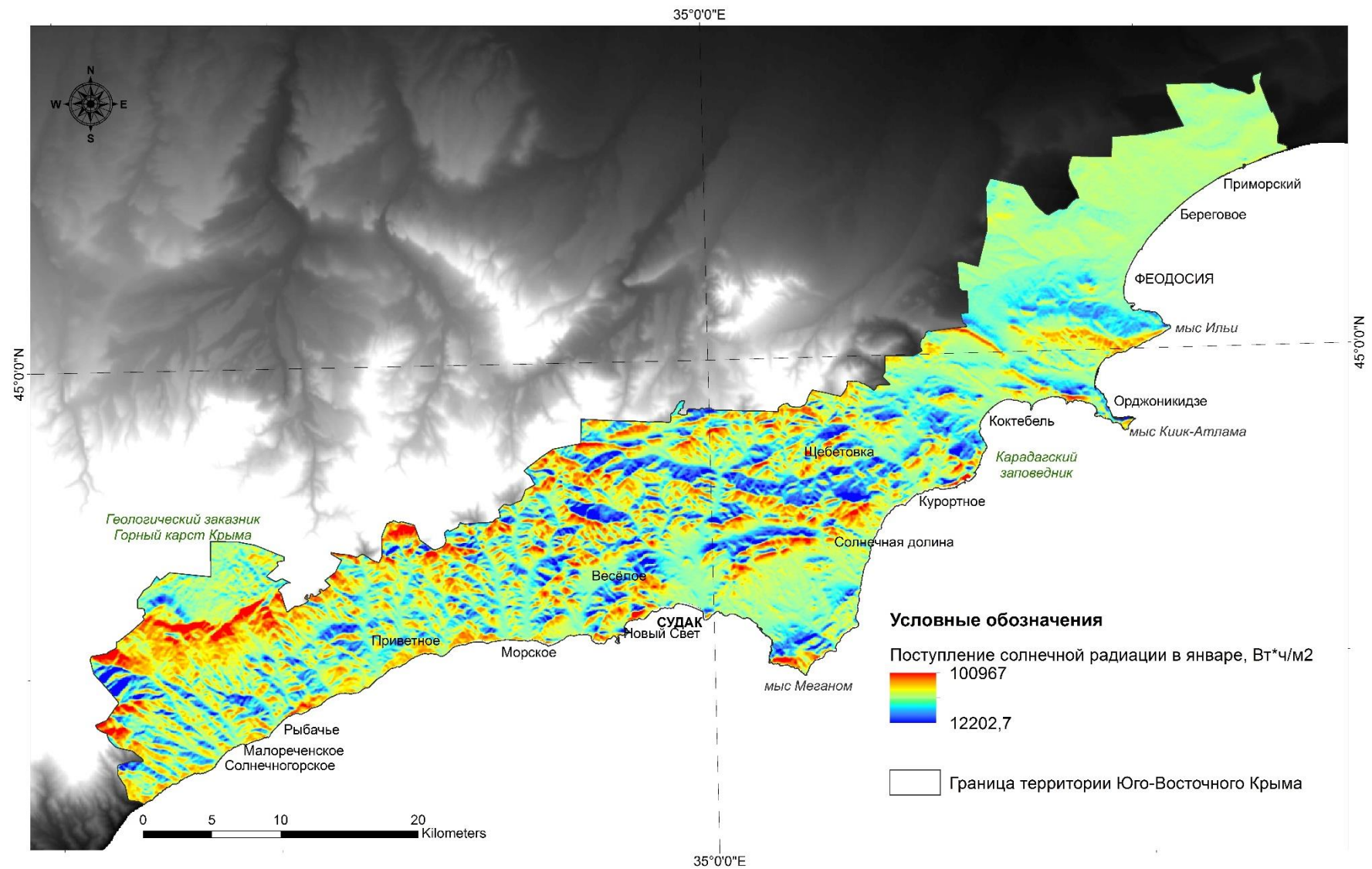


Рисунок Б.1 – Поступление суммарной солнечной радиации в январе, Вт·ч/м²

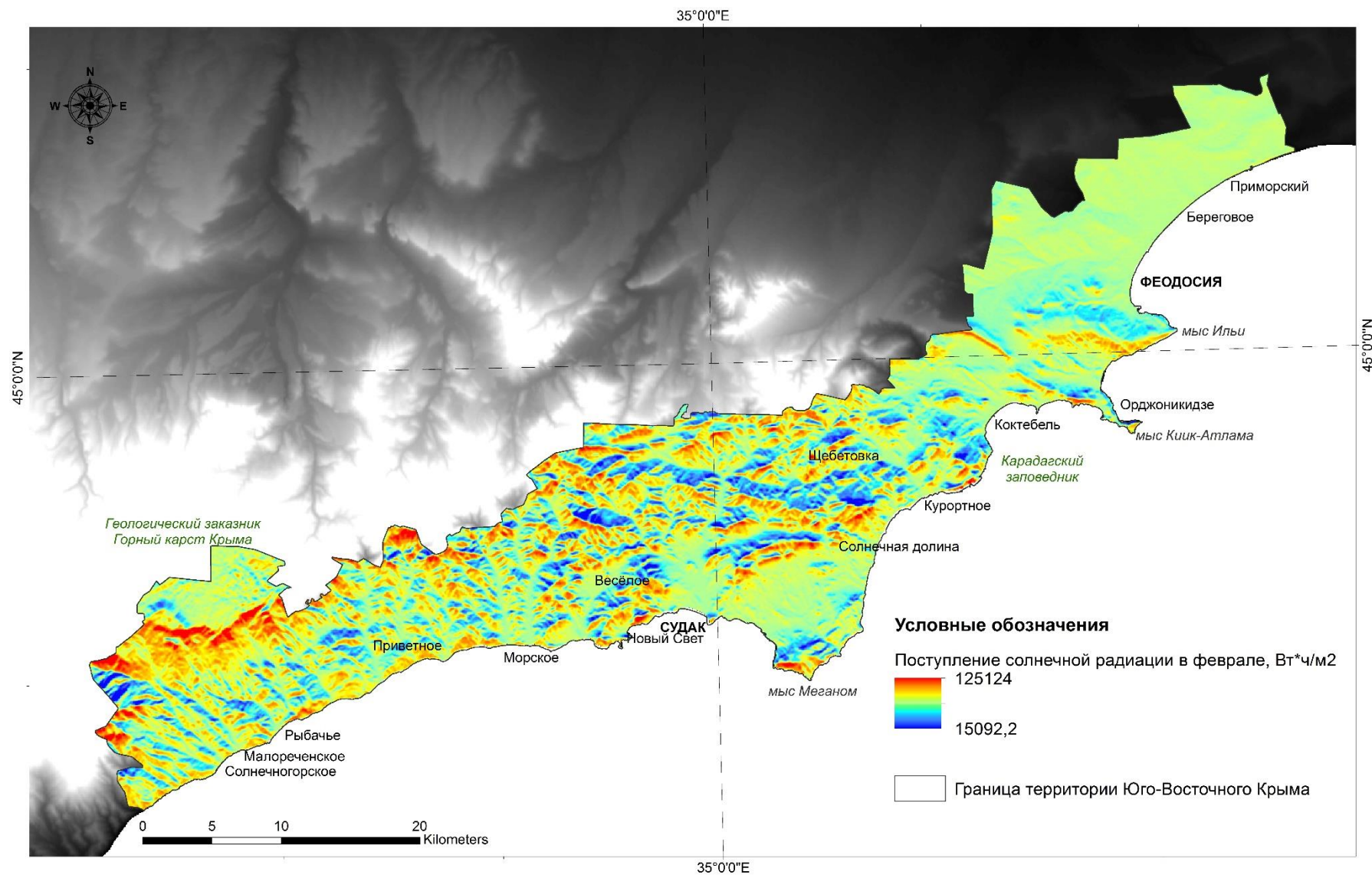


Рисунок Б.2 – Поступление суммарной солнечной радиации в феврале, Вт·ч/м²

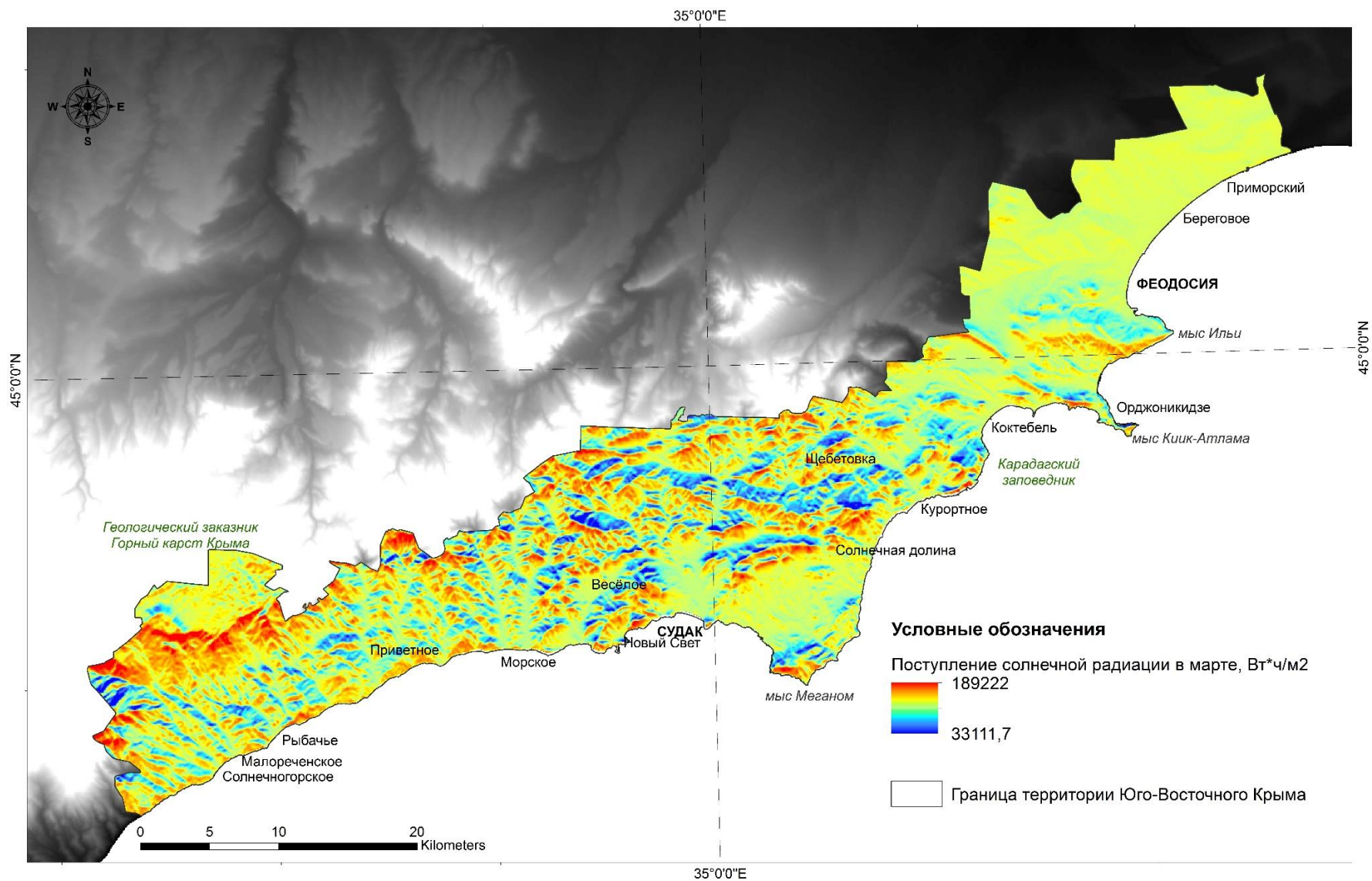


Рисунок Б.3 – Поступление суммарной солнечной радиации в марте, Вт·ч/м²

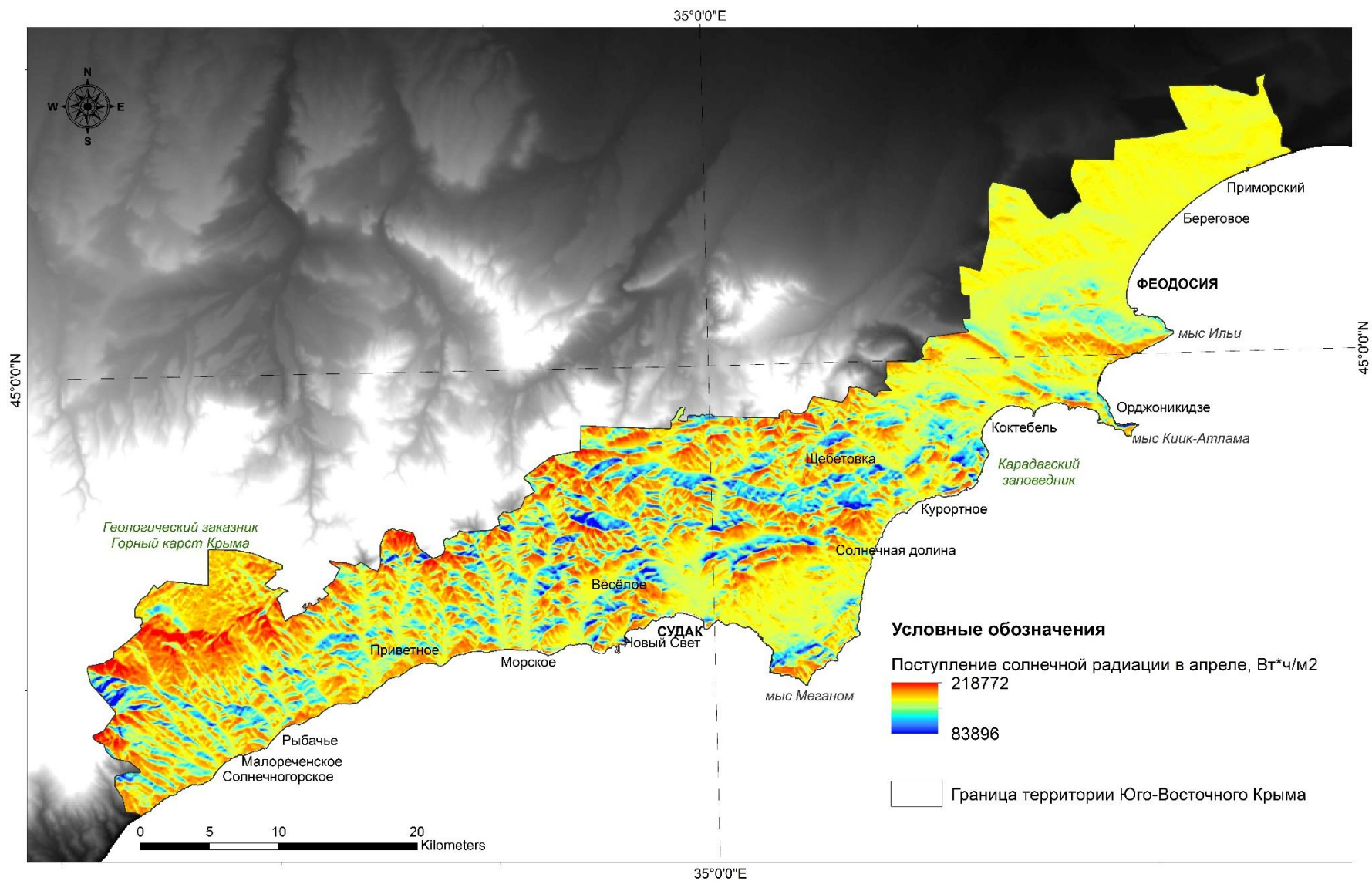


Рисунок Б.4 – Поступление суммарной солнечной радиации в апреле, Вт·ч/м²

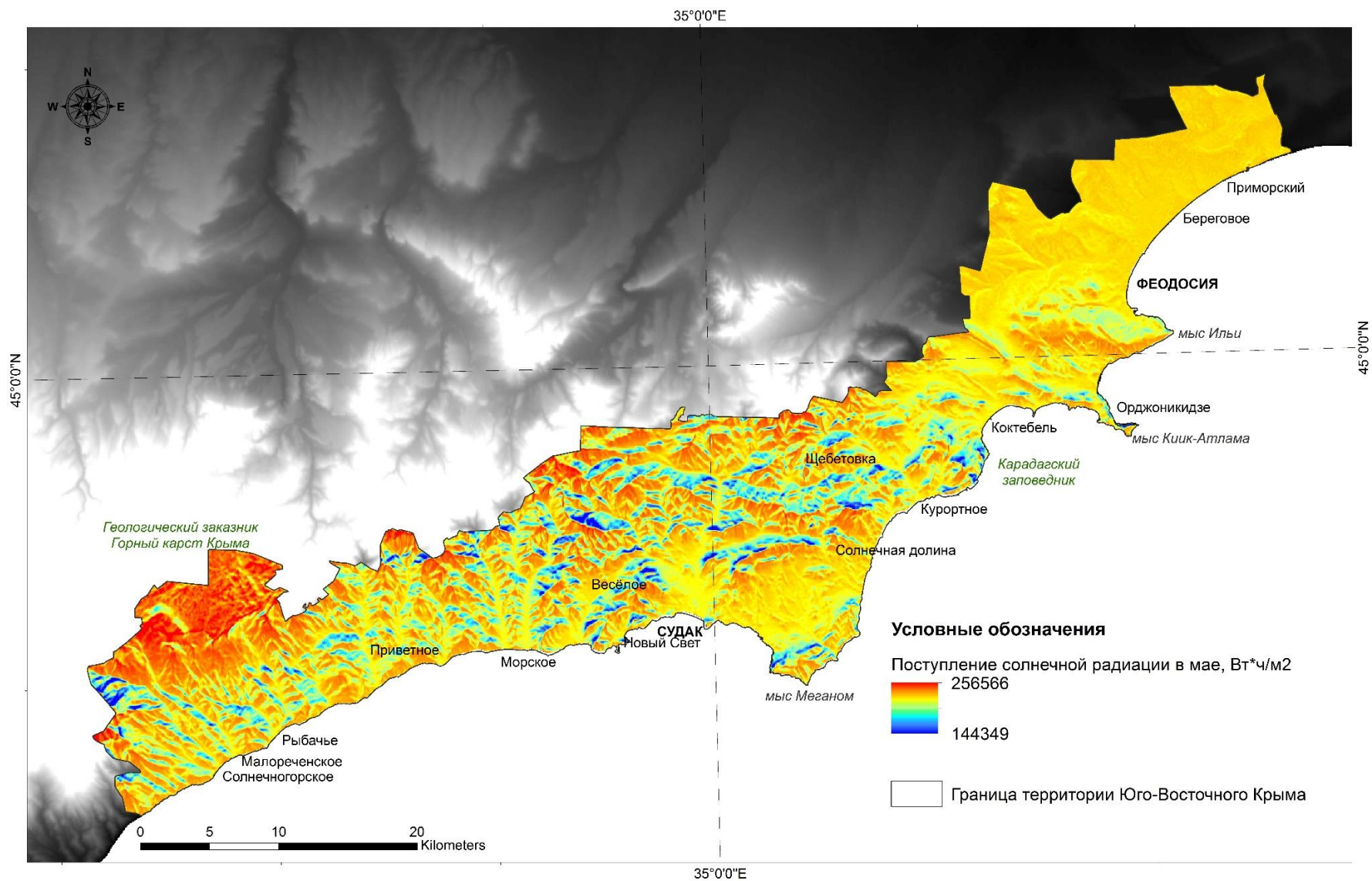


Рисунок Б.5 – Поступление суммарной солнечной радиации в мае, Вт·ч/м²

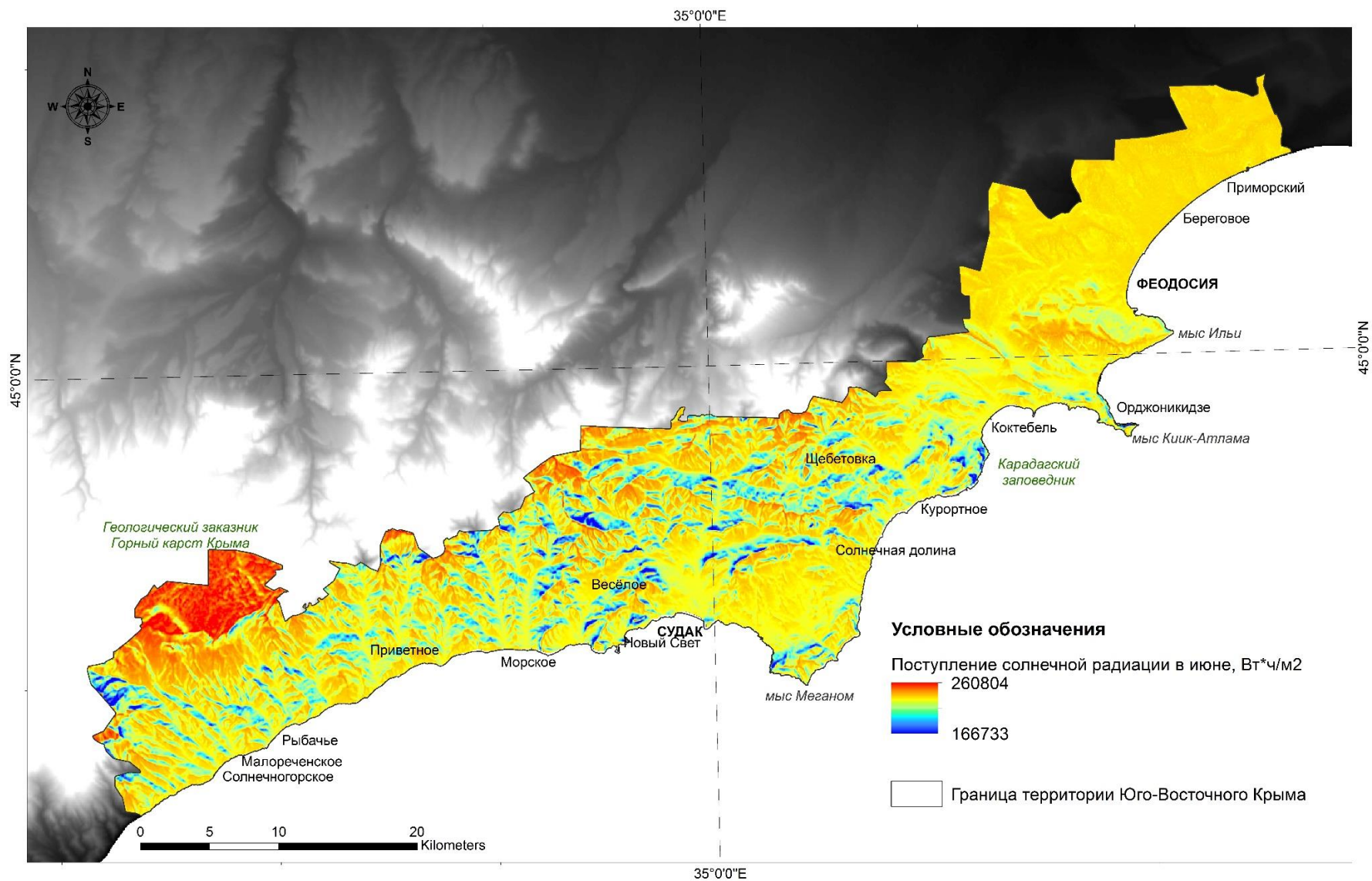


Рисунок Б.6 – Поступление суммарной солнечной радиации в июне, Вт·ч/м²

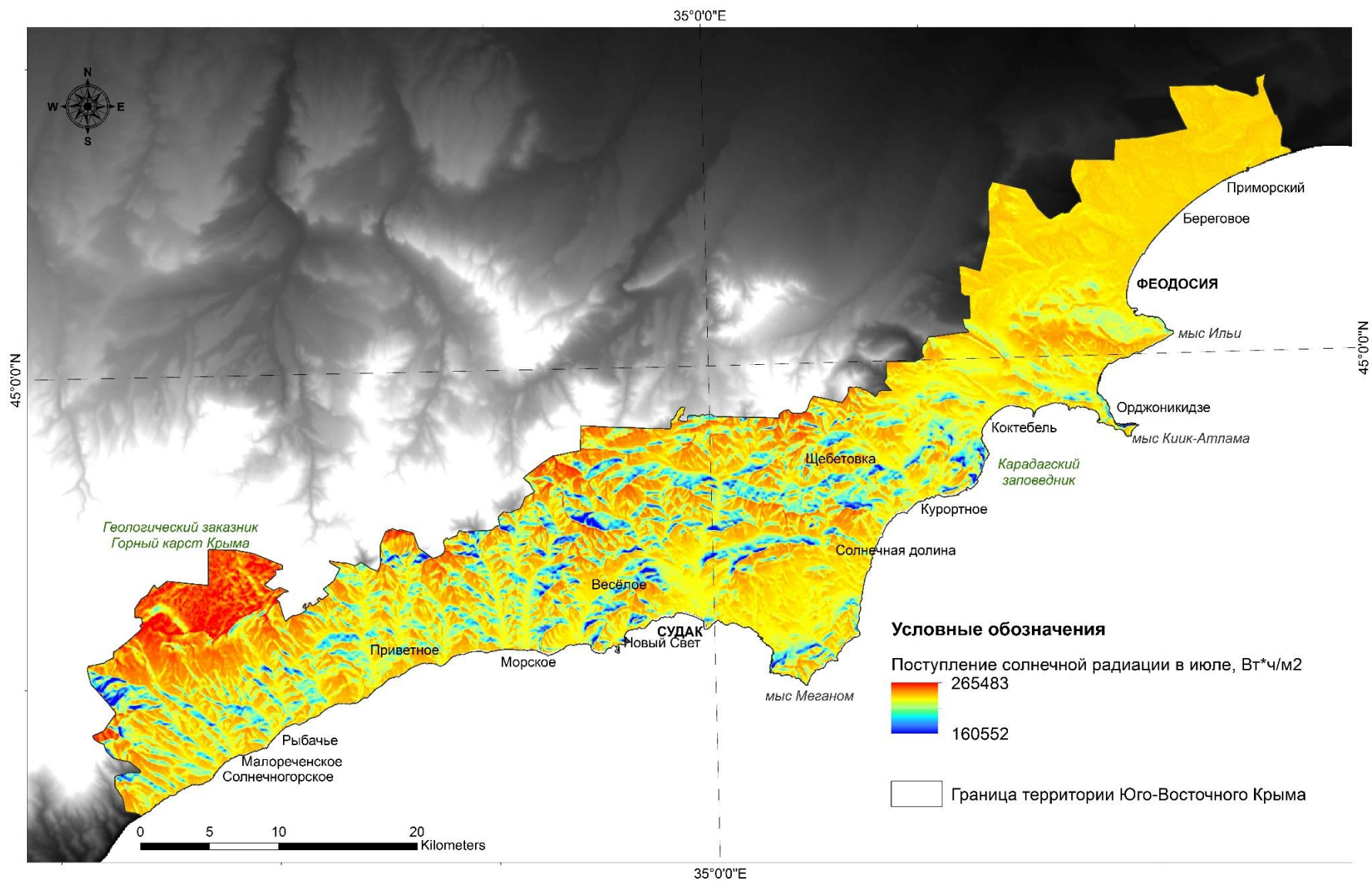


Рисунок Б.7 – Поступление суммарной солнечной радиации в июле, Вт·ч/м²

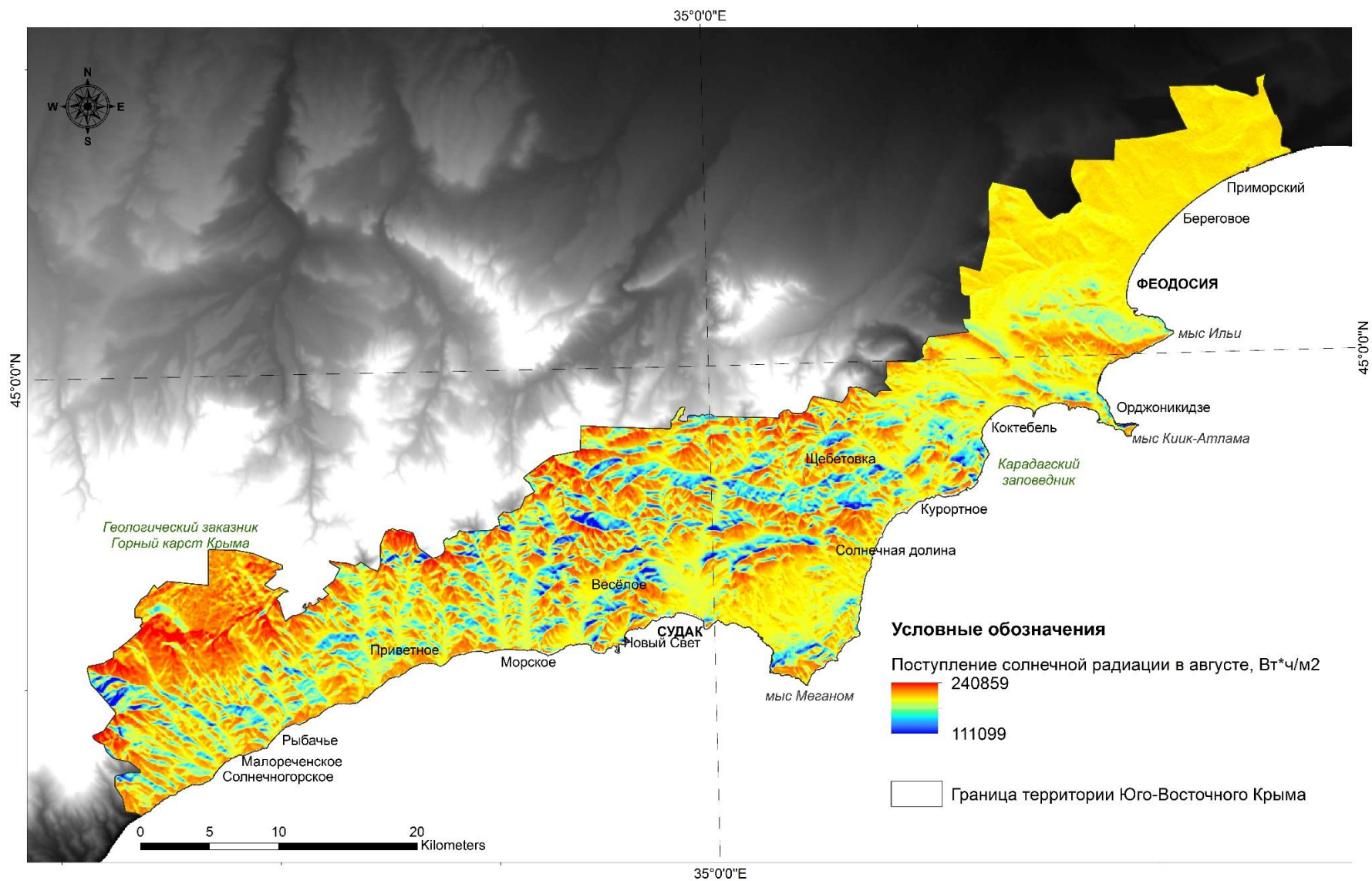


Рисунок Б.8 – Поступление суммарной солнечной радиации в августе, Вт·ч/м²

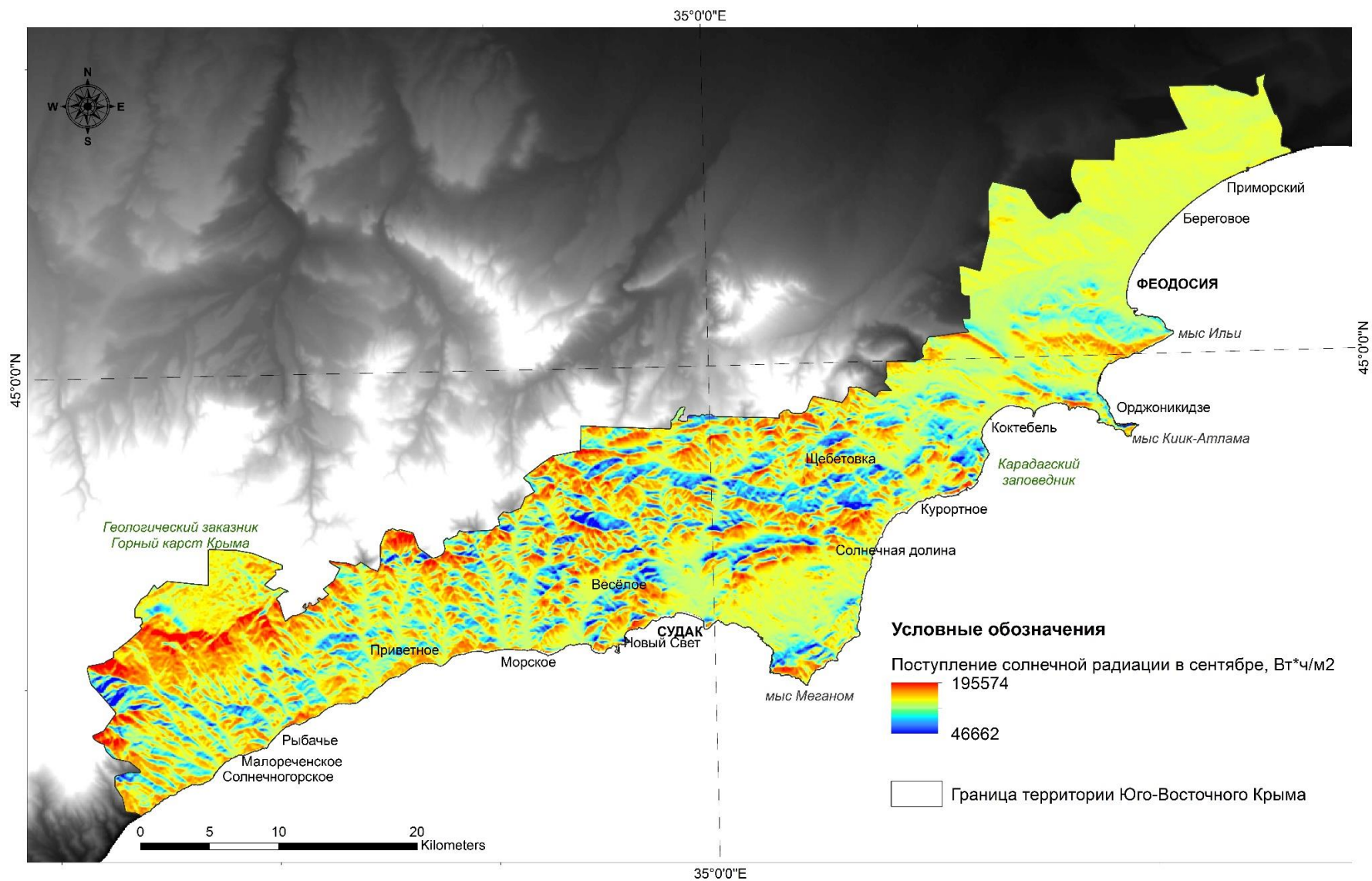


Рисунок Б.9 – Поступление суммарной солнечной радиации в сентябре, Вт·ч/м²

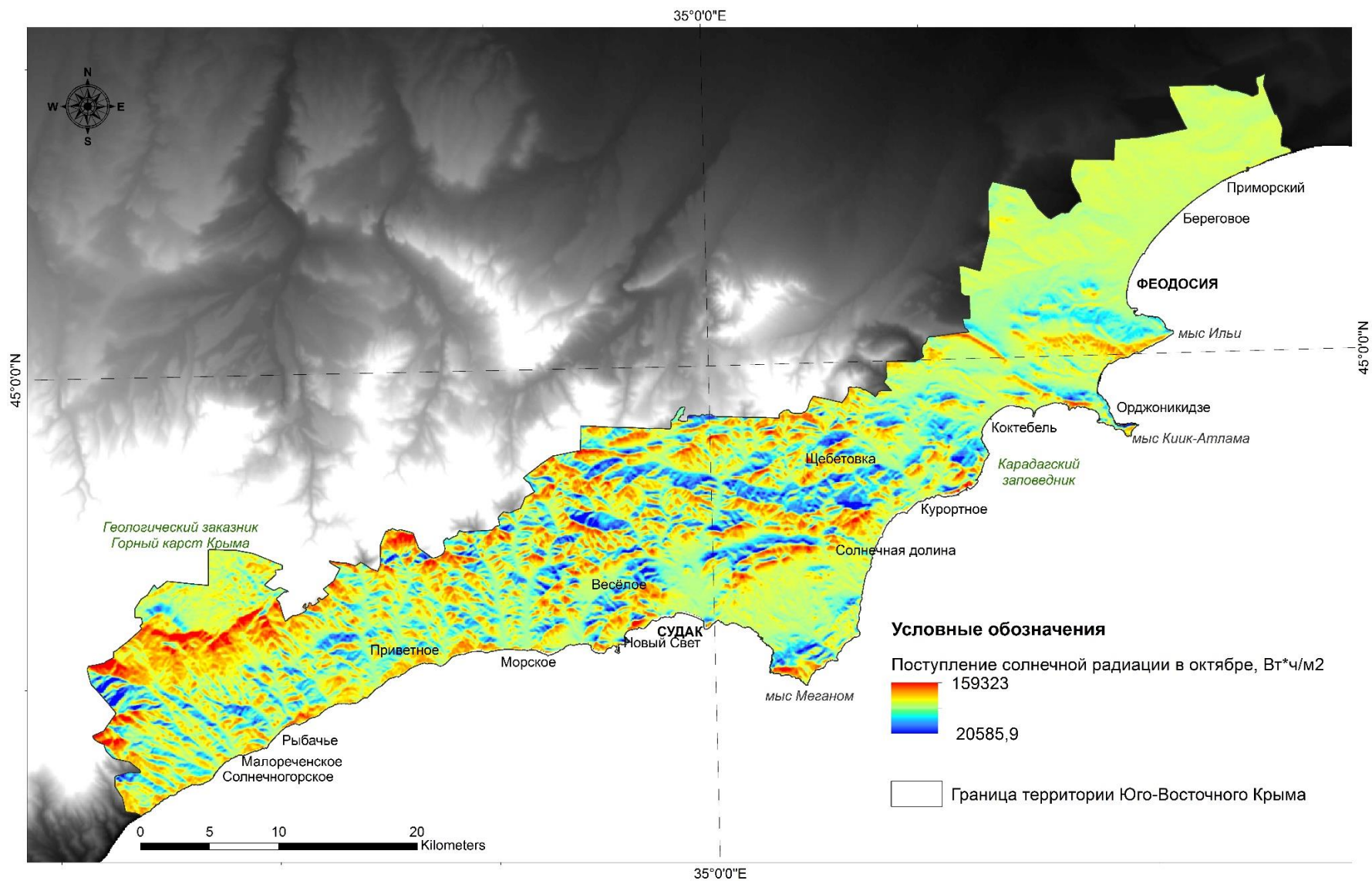


Рисунок Б.10 – Поступление суммарной солнечной радиации в октябре, Вт·ч/м²

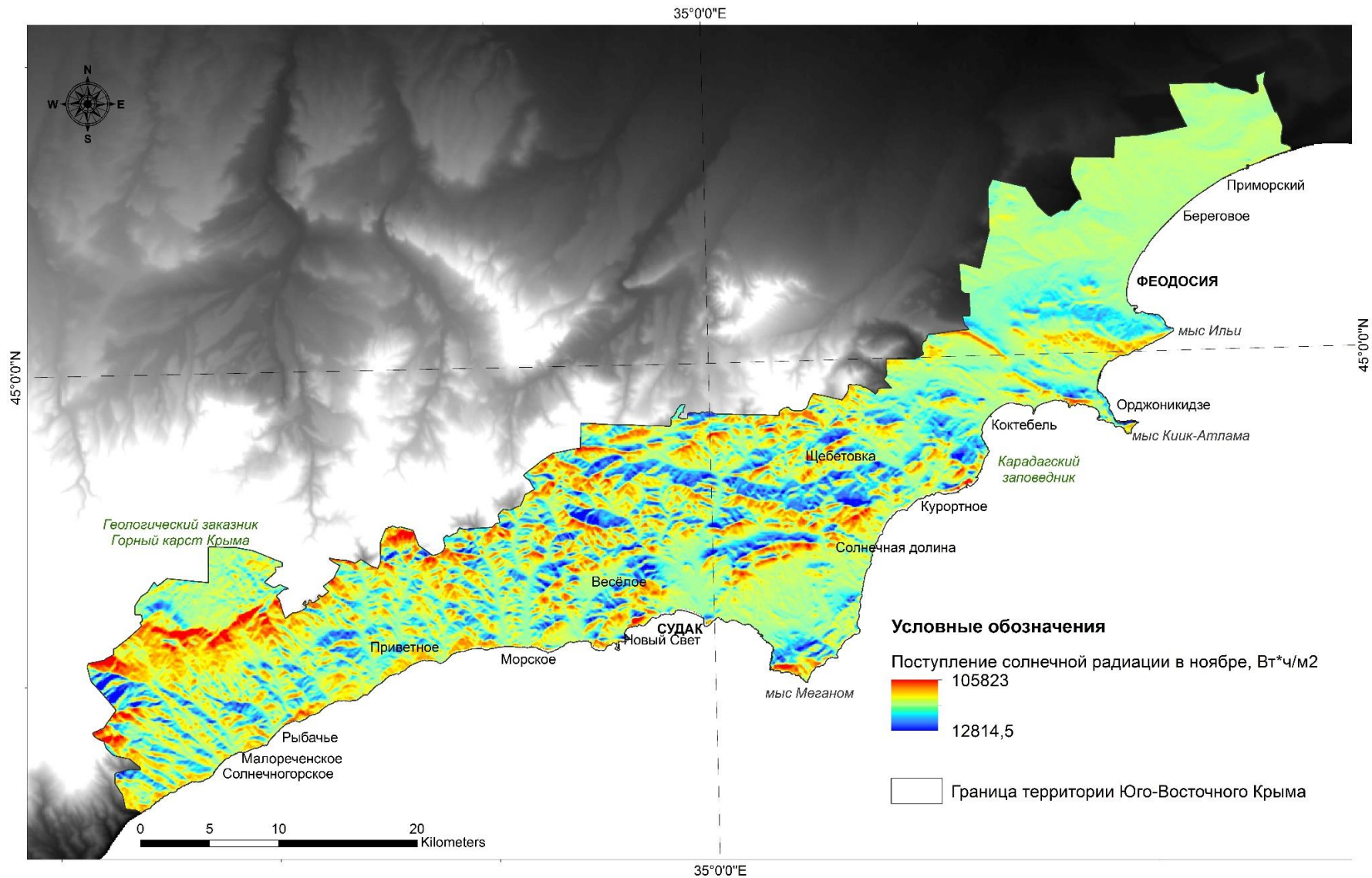


Рисунок Б.11 – Поступление суммарной солнечной радиации в ноябре, Вт·ч/м²

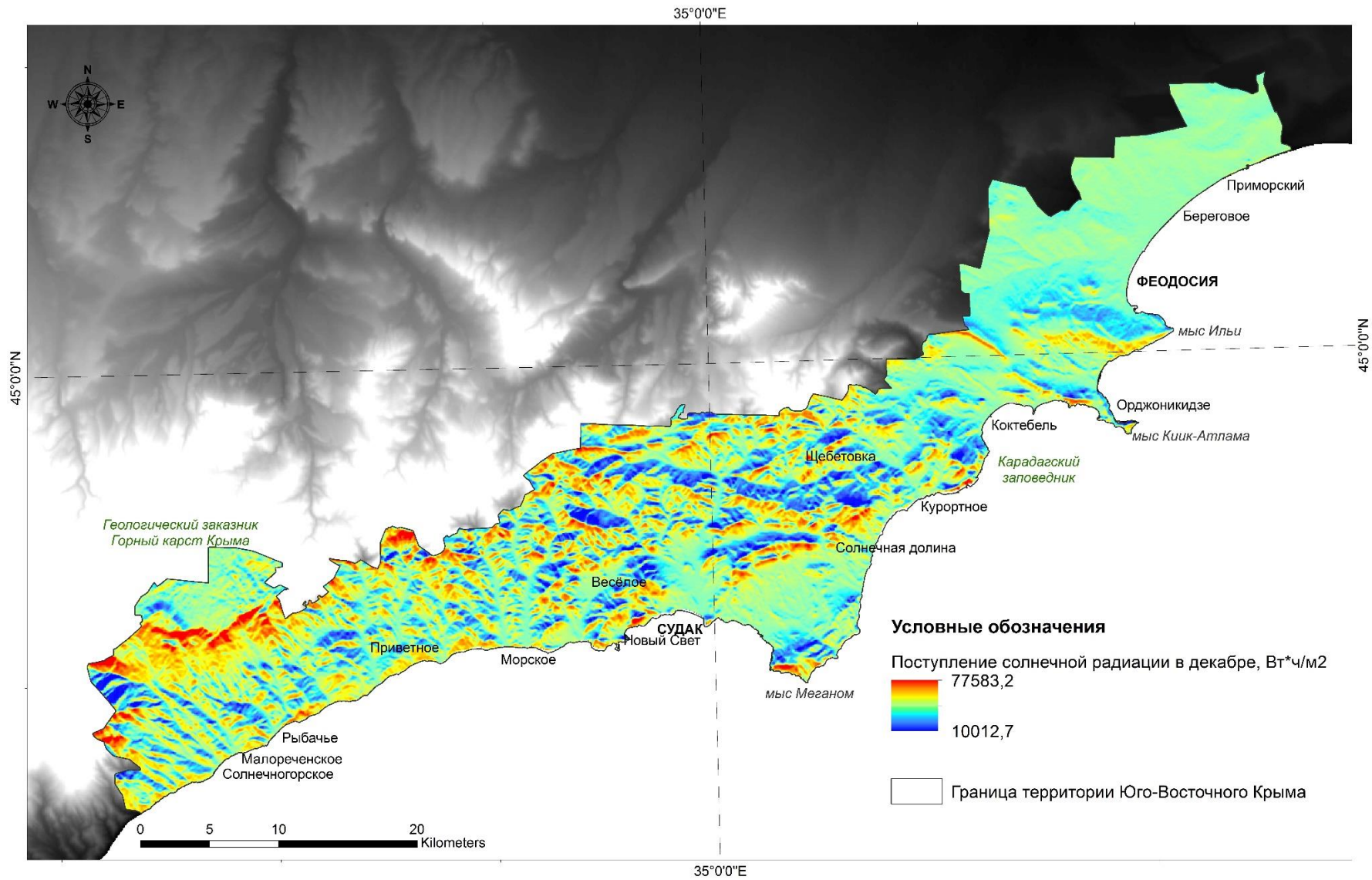


Рисунок Б.12 – Поступление суммарной солнечной радиации в декабре, Вт·ч/м²

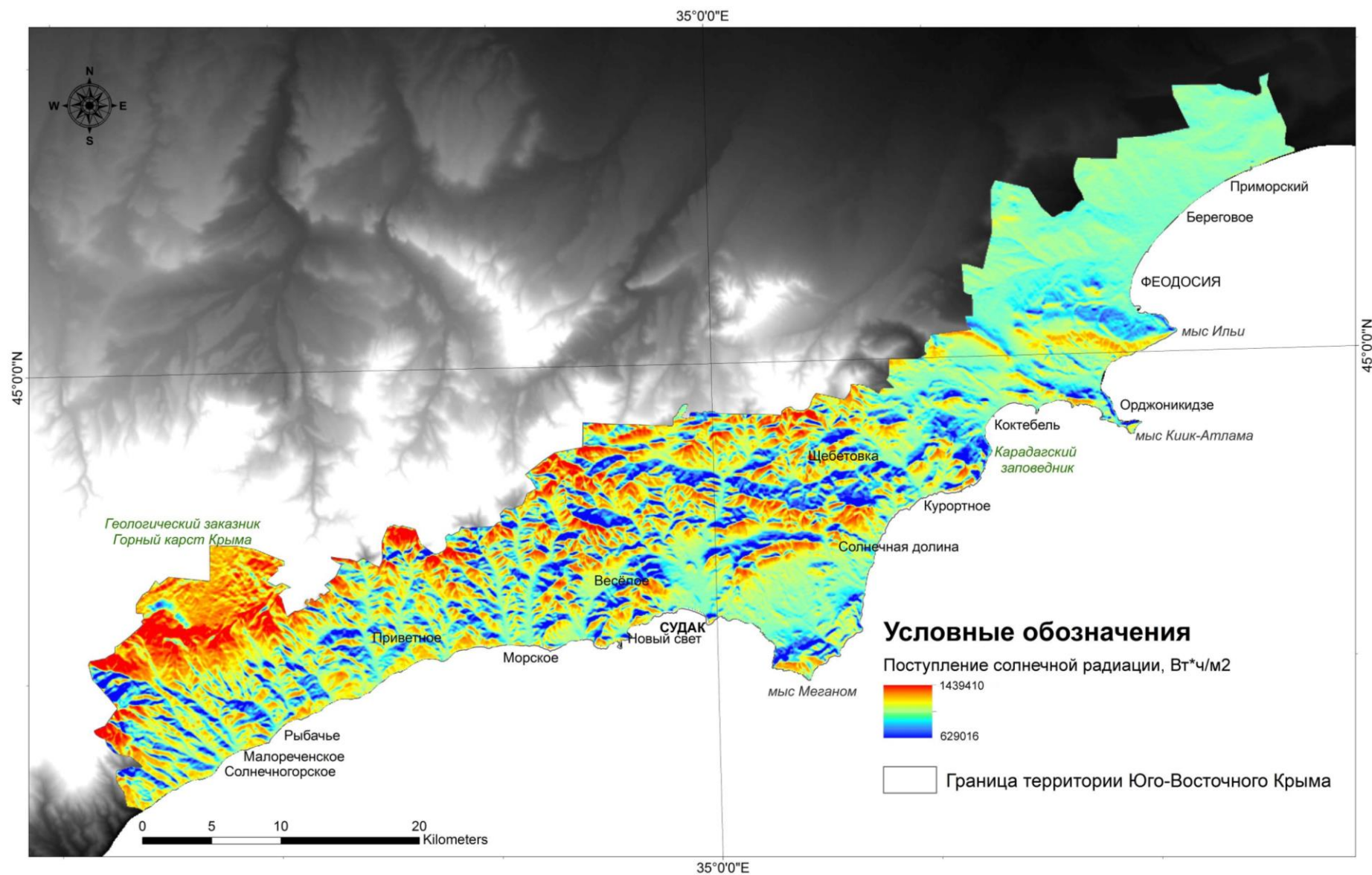


Рисунок Б.13 – Поступление суммарной солнечной радиации в год, Вт·ч/м²